



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΜΙΧΑΛΟΛΙΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Βόλος, Οκτώβριος 2014

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θέλω να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους που χωρίς τη βοήθειά τους δεν θα μπορούσα να ολοκληρώσω την εργασία μου.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Διακόπουλο για τη συνεργασία που είχαμε σε όλους τους τομείς. Στη συνέχεια την κ. Κασιτεροπούλου η οποία μου έδειξε το πρόγραμμα και με βοήθησε όποτε είχα προβλήματα πάνω σε αυτό. Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Οικονομίδη, ο οποίος όποτε είχα θέμα με τον υπολογιστή της σχολής με βοηθούσε προκειμένου να συνεχίσω τη προσομοίωση. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της 3μελούς επιτροπής, το κ. Κανακούδη τη κ. Κατσαρδή και το κ. Κεραμάρη οι οποίοι δέχτηκαν με μεγάλη ευχαρίστηση να μπουν στη 3μελή επιτροπή αλλά και για τις επισημάνσεις τους.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία όλα αυτά τα χρόνια με στήριξε οικονομικά προκειμένου να σπουδάσω αυτό που επιθυμούσα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΚΟΙΝΟΤΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 2007/60/ΕΚ (ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ)	6
1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ	6
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ	7
1.2.1 Οι υποχρεώσεις των κρατών μελών σύμφωνα με τα άρθρα της οδηγίας	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 2007/60/ΕΚ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ	13
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
2.2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΥΝΗΤΙΚΑ ΥΨΗΛΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	22
2.2.1 Γενικά	22
2.2.2 Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας	22
2.2.2.1 Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας	25
2.2.2.2 Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας	26
2.2.2.3 Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας & Σποράδων	26
2.2.2.4 Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων	26
2.2.3 Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας Υδατικού Διαμερίσματος GR08	27
2.2.4 Ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας υδατικών διαμερισμάτων	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΧΕΙΜΑΡΡΟΙ-ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΕΡΓΑ	39
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	39
3.2 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΧΕΙΜΑΡΡΩΝ	39
3.2.1 Χαρακτηριστικά του χειμάρρου	40
3.2.2 Φερτά υλικά	41
3.2.3 Διαβρώσεις	43
3.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ	43
3.4 ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΕΡΓΑ	44
3.4.1 Γενικά	44
3.4.2 Μείωση της παροχής αιχμής της πλημμύρας	44
3.4.3 Αύξηση της διοχετευτικής ικανότητας της κοίτης	46
3.4.4 Σκοπός των έργων προστασίας	47
3.4.5 Έργα διευθέσεως χειμάρρων	48
3.4.6 Έργα διευθέσεως ποταμών	51
3.4.6.1 Βελτίωση συνθηκών ροής	51
3.4.6.2 Συγκράτηση πλημμυρικών παροχών σε τεχνητές λίμνες	52
3.4.6.3 Αναχώματα	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΡΟΗ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	54
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	54
4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΡΟΗΣ	54
4.2.1 Μέσος ρους	54
4.2.2 Άκρες του πυθμένα	54
4.2.3 Παρόχθιο / πλημμυρικό ανάχωμα	55
4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΛΟΓΩ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	55
4.3.1 Υδρόβια βλάστηση	56
4.3.2 Αγρωστώδες κάλυμμα	57
4.3.3 Δέντρα/Θάμνοι/Συστάδες δενδρυλλίων	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ CFΧ, ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΠΟΤΑΜΟ ΜΕ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	61
5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	61
5.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	61
5.3 ΠΕΙΡΑΜΑ	63
5.3.1 Γενικά	63
5.3.2 Πειραματική διάταξη.....	63
5.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΥΡΒΗΣ.....	64
5.4.1 Κλιμακωτές συναρτήσεις τοιχώματος	66
5.4.2 Υπολογισμός αριθμού Re.....	66
5.4.3 Αριθμητική επίλυση.....	67
5.4.4 Καθορισμός του αριθμητικού πλέγματος του προβλήματος.....	69
5.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	69
5.5.1 Υπολογισμοί-Αποτελέσματα-Σχολιασμός.....	73
5.5.2 Συμπεράσματα	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε σκοπό την επιρροή της βλάστησης στη ροή ποταμών και γενικότερα υδάτινων ρευμάτων. Κατά τη διάρκεια μιας έντονης βροχόπτωσης η στάθμη των υδάτων ανεβαίνει απότομα και σε αρκετές περιπτώσεις ποτάμια και χείμαρροι πλημμυρίζουν. Η βλάστηση μπορεί να επηρεάσει αρνητικά αλλά και θετικά τέτοιου είδους φαινόμενα.

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κοινοτική οδηγία της Ε.Ε προς τα κράτη μέλη, που εκδόθηκε το 2007, για την αξιολόγηση και τη διαχείριση κινδύνων πλημμύρας. Απώτερος σκοπός της, ήταν η δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας πλημμυρών. Η προκαταρκτική αξιολόγηση δημοσιεύτηκε στις 21/12/2012 και αναθεωρήθηκε στις 07/06/2013. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά για την εφαρμογή της στον Ελλαδικό χώρο με ειδική μνεία στη περιφέρεια της Θεσσαλίας, και επισημαίνονται οι ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνονται οι ορισμοί του χειμάρρου και του ποταμού, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους. Επίσης παρουσιάζονται τρόποι προστασίας σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων (αντιπλημμυρικά έργα). Στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά στην αντίσταση που προκαλεί η βλάστηση στη ροή. Ακόμα δίνονται τύποι υπολογισμού της ροής ανάλογα με το είδος της βλάστησης. Στο κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από μία προσομοίωση που έγινε με αφορμή μία σειρά πειραμάτων που διεξήχθησαν το 1996 στο εργαστήριο υδροσυστημάτων του πανεπιστημίου του Illinois. Πιο συγκεκριμένα, τα πειράματα μελέτησαν την αντίσταση στη ροή ενός ποταμού που προκαλεί υπάρχουσα βλάστηση. Ένας ορθογωνικός αγωγός με ελεύθερη επιφάνεια και δύσκαμπτοι κύλινδροι με σταθερή διάμετρο, αποτέλεσαν τη προσομοίωση στο cfx (πρόγραμμα υπολιστικής ρευστομηχανικής).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΚΟΙΝΟΤΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 2007/60/ΕΚ (ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ)

1.1 Στόχος της οδηγίας

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο εξέδωσε στις 23 Οκτωβρίου του 2007, την οδηγία 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 26 Νοεμβρίου του 2007. Σκοπός αυτής, είναι η θέσπιση ενός πλαισίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, με στόχο τη μείωση των δυσμενών συνεπειών της στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική ανάπτυξη (άρθρο 1, 2007/60/ΕΚ)

Η οδηγία 2007/60/ΕΚ περιλαμβάνει τρία βήματα εφαρμογής. Αρχικά, ορίζει την εφαρμογή της προκαταρκτικής αξιολόγησης των κινδύνων πλημμύρας. Εν συνεχεία, ακολουθεί η κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας (flood hazard) και χαρτών κινδύνου πλημμύρας (flood risk) και τέλος εκπονούνται τα σχέδια διαχείρισης για κάθε λεκάνη απορροής.

Έτσι, σύμφωνα με το άρθρο 6 της οδηγίας 2007/60/ΕΚ, τα κράτη μέλη καταρτίζουν, σε επίπεδο περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και χάρτες κινδύνων πλημμύρας, στην πλέον κατάλληλη κλίμακα για τις περιοχές, στις οποίες τα κράτη μέλη κρίνουν ότι υπάρχουν δυνητικά σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή ότι είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα.

Οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας καλύπτουν τις γεωγραφικές περιοχές που θα μπορούσαν να πλημμυρήσουν σύμφωνα με τα ακόλουθα σενάρια

- α) Πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας ή σενάρια ακραίων φαινομένων,
- β) Πλημμύρες μέσης πιθανότητας (με πιθανή περίοδο επαναφοράς ≥ 100 χρόνια)
- γ) Πλημμύρες υψηλής πιθανότητας, ανάλογα με τη περίπτωση

Για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια παρατίθενται τα ακόλουθα στοιχεία:

- i. η έκταση της πλημμύρας ,
- ii. το βάθος νερού ή στάθμη νερού ανάλογα με την περίπτωση
- iii. ανάλογα με την περίπτωση, η ταχύτητα ροής ή η σχετική ροή των υδάτων.

Οι χάρτες κινδύνου πλημμύρας περιγράφουν τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες που συνδέονται με τις πλημμύρες υπό τις συνθήκες των προαναφερθέντων σεναρίων και εκφράζονται ως εξής:

- i. Ενδεικτικός αριθμός κατοίκων που ενδέχεται να πληγούν,
- ii. Τύπος οικονομικής δραστηριότητας στη περιοχή που ενδέχεται να πληγεί,
- iii. Εγκαταστάσεις οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν τυχαία ρύπανση σε περίπτωση πλημμύρας και προστατευόμενες περιοχές, οι οποίες ενδέχεται να πληγούν,
- iv. Άλλες πληροφορίες που το κράτος μέλος θεωρεί χρήσιμες όπως η επισήμανση των περιοχών όπου υπάρχει το ενδεχόμενο πλημμυρών με αυξημένο ποσοστό μεταφερόμενων ιζημάτων και πλημμυρών που παρασύρουν υπολείμματα και πληροφορίες για πιθανές άλλες σημαντικές πηγές ρύπανσης.

1.2 Διάρθρωση της οδηγίας

Η οδηγία έχει ενσωματωθεί στο ελληνικό δίκαιο με την Κ.Υ.Α.Η.Π. 31822/1542/Ε103/2010 (ΦΕΚ Β' 1108/21.07.2010), όπου στην έννοια της πλημμύρας περιλαμβάνονται και οι πλημμύρες από καταστροφές μεγάλων υδραυλικών έργων, όπως θραύσεις αναχωμάτων και φραγμάτων, που δεν αναφέρονται στην οδηγία. Η οδηγία περιλαμβάνει οκτώ κεφάλαια όπου δίνονται κατευθυντήριες αρχές και ορίζονται μέτρα για την εφαρμογή της. Ειδικότερα :

- Στο Κεφάλαιο I παρουσιάζονται οι γενικές διατάξεις (άρθρο 1 σκοπός, άρθρο 2 ορισμοί και άρθρο 3 αρμόδιες αρχές για την εφαρμογή)
- Στο Κεφάλαιο II (άρθρα 4 και 5) δίνονται οι κατευθυντήριες αρχές για την προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας
- Στο Κεφάλαιο III (άρθρο 6) δίνονται οι κατευθυντήριες αρχές για την κατάρτιση Χαρτών Επικινδυνότητας και Χαρτών Κινδύνων πλημμύρας
- Στο Κεφάλαιο IV (άρθρα 7 και 8) δίνονται οι κατευθυντήριες αρχές για την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας
- Στο Κεφάλαιο V (άρθρα 9 και 10) δίνονται οι κατευθυντήριες αρχές για το συντονισμό με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, την ενημέρωση του κοινού και τη διαβούλευση
- Στο Κεφάλαιο VI (άρθρα 11 και 12) ορίζονται τα μέτρα εφαρμογής και οι τροποποιήσεις
- Στο Κεφάλαιο VII (άρθρο 13) ορίζονται τα μεταβατικά μέτρα
- Στο Κεφάλαιο VIII (άρθρα 14, 15, 16, 17, 18 και 19) ρυθμίζονται θέματα που αφορούν στις επανεξετάσεις, εκθέσεις και τελικές διατάξεις

1.2.1 Οι υποχρεώσεις των κρατών μελών σύμφωνα με τα άρθρα της οδηγίας

Στον Πίνακα 1.1 παρατίθενται τα θέματα και οι υποχρεώσεις των Κρατών Μελών που προσδιορίζονται σε κάθε άρθρο της οδηγίας 2007/60/ΕΚ κατά επί μέρους Άρθρο.

Πίνακας 1.1

Υποχρεώσεις των Κρατών Μελών σε εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ (Υ.Π.ΕΚ.Α.)

Άρθρο της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ	Υποχρεώσεις των Κρατών Μελών
1	Περιγραφή των Στόχων της Οδηγίας
2	<p>Ορισμοί και προσδιορισμός των εννοιών της «πλημμύρας» και του «κινδύνου πλημμύρας».</p> <ul style="list-style-type: none"> • «πλημμύρα» ορίζεται η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χειμάρρους, εφήμερα ρέματα της Μεσογείου και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, δύναται δε να εξαιρεί πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης. • «κίνδυνος πλημμύρας» ορίζεται ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται με αυτήν την πλημμύρα.
3	<p>Συντονισμός διοικητικών ρυθμίσεων σε επίπεδο περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού. Η οδηγία 2007/60/ΕΚ υιοθετεί την προσέγγιση του άρθρου 3 της Ευρωπαϊκής οδηγίας πλαίσιο για τη διαχείριση των υδάτων (οδηγία 2000/60/ΕΚ) με δυνατότητα εξαιρέσεων ιδίως σε ότι αφορά στη μονάδα διαχείρισης της περιοχής της λεκάνης απορροής ποταμού και της αρμόδιας αρχής που έχουν οριστεί βάσει της οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Επιπλέον των</p>

	<p>λεκανών και υπολεκανών απορροής που περιλαμβάνονται στις εν λόγω περιοχές, όλα τα τμήματα της ακτής θεωρούνται τμήμα των περιοχών της λεκάνης απορροής ποταμού και ως εκ τούτου καλύπτονται από τις διατάξεις του άρθρου αυτού.</p>
4 και 5	<p>προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας και προσδιορισμός των περιοχών όπου υπάρχουν δυνητικά σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανό να σημειωθεί πλημμύρα (Κεφάλαιο II, άρθρα 4 και 5). Σημειώνεται ότι στην Κ.Υ.Α.Η.Π 31822/1542/Ε103/2010 (ΦΕΚ Β' 1108/21.07.2010), η οποία αφορά στη μεταφορά της Οδηγίας στο Εθνικό Δίκαιο, οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται ως «Ζώνες δυνητικά Υψηλού Κινδύνου πλημμύρας». Υποχρέωση υλοποίησης των προβλεπόμενων στο άρθρο 4 (προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας με βάση στοιχεία ιστορικών πλημμυρών) έως την 22^α Δεκεμβρίου 2011 και κοινοποίησης στην ΕΕ των απαιτούμενων στοιχείων μέχρι το Μάρτιο 2012. Για την υλοποίηση των προβλεπόμενων στο άρθρο 5 (προσδιορισμός των περιοχών όπου υπάρχουν δυνητικοί σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας) δεν καθορίζεται συγκεκριμένη ημερομηνία. Σύμφωνα με τα σχετικά καθοδηγητικά έγγραφα (Document No.1: Floods Directive reporting: User manual v3.0 και Document No.2: Floods Directive reporting: User Guide to the reporting schema v3.0, παρ. 3.3) πρέπει να ολοκληρωθεί έγκαιρα ώστε να τηρηθούν οι χρονικές δεσμεύσεις υλοποίησης του άρθρου 6.</p>

Άρθρο της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ	Υποχρεώσεις των Κρατών Μελών
6	Κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας και χαρτών κινδύνων πλημμύρας για περιοχές που καθορίζονται με βάση το άρθρο 5, όπου υπάρχουν δυνητικοί σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανό να σημειωθεί πλημμύρα. Υποχρέωση υλοποίησης των προβλεπόμενων στο άρθρο αυτό έως την 22 ^α Δεκεμβρίου 2013 και κοινοποίησης στην ΕΕ των απαιτούμενων στοιχείων μέχρι το Μάρτιο 2014.
7, 8 και Παράρτημα	Κατάρτιση και εφαρμογή σχεδίων διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας σε επίπεδο Περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού (Υδατικό Διαμέρισμα-ΥΔ) για τις περιοχές υψηλού κινδύνου πλημμύρας που ορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5 και συντονισμός κρατών στην περίπτωση διεθνών περιοχών λεκανών απορροής. Υποχρέωση υλοποίησης των προβλεπόμενων στα άρθρα αυτά έως την 22 ^α Δεκεμβρίου 2015 και κοινοποίησης στην ΕΕ των απαιτούμενων στοιχείων μέχρι το Μάρτιο 2016.
9 και 10	Ενημέρωση του κοινού κατά το στάδιο προκαταρκτικής αξιολόγησης κινδύνων πλημμύρας, κατάρτισης χαρτών επικινδυνότητας και χαρτών κινδύνων πλημμύρας και εξασφάλιση της ενεργής συμμετοχής του κοινού κατά τη διαμόρφωση και την επανεξέταση των σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρα σε συντονισμό με την οδηγία 2000/60/ΕΚ (εξαμηνιαία διαβούλευση με βάση το άρθρο 14).
11 και 12	Πρόβλεψη για τη θέσπιση τεχνικών υποδειγμάτων για την επεξεργασία και τη διαβίβαση των δεδομένων στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΕ), συμπεριλαμβανομένων των στατιστικών και χαρτογραφικών δεδομένων. Η κανονιστική επιτροπή του άρθρου 21 της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ ορίζεται ότι θα επικουρεί την Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (Ε.Ε.Κ.) και για τα θέματα

	της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ.
13	<p>Ορίζονται τα μεταβατικά μέτρα σχετικά με την προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας, τους χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και τα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας .</p> <p>Τα κράτη μέλη μπορούν να αποφασίσουν να μη διεξάγουν την προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας του άρθρου 4 εφόσον:</p> <ul style="list-style-type: none"> • είτε έχουν ήδη διενεργήσει αξιολόγηση κινδύνου η οποία οδηγεί πριν από τις 22-12-2010 στην επισήμανση των περιοχών όπου υπάρχουν δυνητικά σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανό να σημειωθεί πλημμύρα που προβλέπονται στο άρθρο 5, • είτε έχουν αποφασίσει, πριν από τις 22-12-2012, να καταστρώσουν χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και χάρτες κινδύνων πλημμύρας και να καταρτίσουν σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας , σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις της παρούσας οδηγίας <p>Τα κράτη μέλη μπορούν να αποφασίσουν να χρησιμοποιούν χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και χάρτες κινδύνων πλημμύρας που έχουν</p>
Άρθρο της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ	Υποχρεώσεις των Κρατών Μελών
	καταστρωθεί πριν από τις 22-12-2010 εάν οι χάρτες αυτοί παρέχουν ισοδύναμο επίπεδο πληροφοριών με το προβλεπόμενο στο άρθρο 6. Επίσης, μπορούν να αποφασίσουν να χρησιμοποιούν σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας που έχουν

	καταρτιστεί πριν από τις 22-12-2010 εφόσον το περιεχόμενο των σχεδίων αυτών είναι ισοδύναμο με τις προδιαγραφές σχεδίου που ορίζει το άρθρο 7.
14, 15 και 16	Περιλαμβάνονται διατάξεις που αφορούν στην επανεξέταση και επικαιροποίηση της προκαταρκτικής αξιολόγησης, των χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας, των χαρτών κινδύνου πλημμύρας, των σχεδίων διαχείρισης για την υποβολή εκθέσεων και τις επανεξετάσεις των χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας, τους χάρτες κινδύνων πλημμύρας και τα σχέδια διαχείρισης πλημμύρας. Η προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας επικαιροποιείται έως τις 22-12-2018 και στη συνέχεια ανά εξαετία. Στους ίδιους χρόνους η Επιτροπή υποβάλλει στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο έκθεση σχετικά με την εφαρμογή της οδηγίας. Οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και κινδύνου πλημμύρας επικαιροποιούνται έως τις 22-12-2019 και στη συνέχεια ανά εξαετία. Τα Σχέδια διαχείρισης επικαιροποιούνται έως τις 22-12-2021 και στη συνέχεια ανά εξαετία.
17, 18 και 19	Καλύπτουν τη θέσπιση διατάξεων συμμόρφωσης με την παρούσα οδηγία, τη θέση τους σε ισχύ και τους αποδέκτες της οδηγίας

Τα χρονοδιαγράμματα για την κατάρτιση των χαρτών επικινδυνότητας και κινδύνων πλημμύρας καθώς επίσης για την κατάρτιση των σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας είναι πλήρως συγχρονισμένα με τα αντίστοιχα χρονοδιαγράμματα της οδηγίας 2000/60/ΕΚ συμπεριλαμβανομένων και των προβλέψεων για την επανεξέταση της επικρατούσας κατάστασης ανά εξαετία. Παράλληλα, η οδηγία 2007/60/ΕΚ εξασφαλίζει το συντονισμό με τις διαδικασίες που προβλέπει η οδηγία 2000/60/ΕΚ και τους κύκλους χαρακτηρισμού των περιοχών των λεκανών απορροής ποταμών (με χαρτογράφηση των περιοχών υψηλού κινδύνου πλημμύρας) και τα σχέδια για τη διαχείριση των λεκανών απορροής (με σχέδιο διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας). Επιπλέον, ορίζει ότι τα κράτη μέλη πρέπει να ενσωματώσουν το σχέδιο διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας στα σχέδια διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών, που προβλέπονται στην οδηγία 2000/60/ΕΚ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 2007/60/ΕΚ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

2.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α.Η.Π. 31822/1542/Ε103/2010 η γεωγραφική μονάδα εφαρμογής της οδηγίας 2007/60/ΕΚ είναι οι περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού. Με την υπ. αριθμό 706/16-07-2010 (ΦΕΚ 1383 Β'/02.09.2010) απόφαση της εθνικής επιτροπής υδάτων έχουν καθοριστεί σε επίπεδο χώρας σαράντα πέντε (45) λεκάνες απορροής ποταμών, οι οποίες υπάγονται σε δεκατέσσερις (14) περιοχές λεκανών απορροής ποταμών (υδατικά διαμερίσματα) που παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.1, 2.2.

1. Δυτική Πελοπόννησος
2. Βόρεια Πελοπόννησος
3. Ανατολική Πελοπόννησος
4. Δυτική Στερεά Ελλάδα
5. Ήπειρος
6. Αττική
7. Ανατολική Στερεά Ελλάδα
8. Θεσσαλία
9. Δυτική Μακεδονία
10. Κεντρική Μακεδονία
11. Ανατολική Μακεδονία
12. Θράκη
13. Κρήτη
14. Νήσοι Αιγαίου

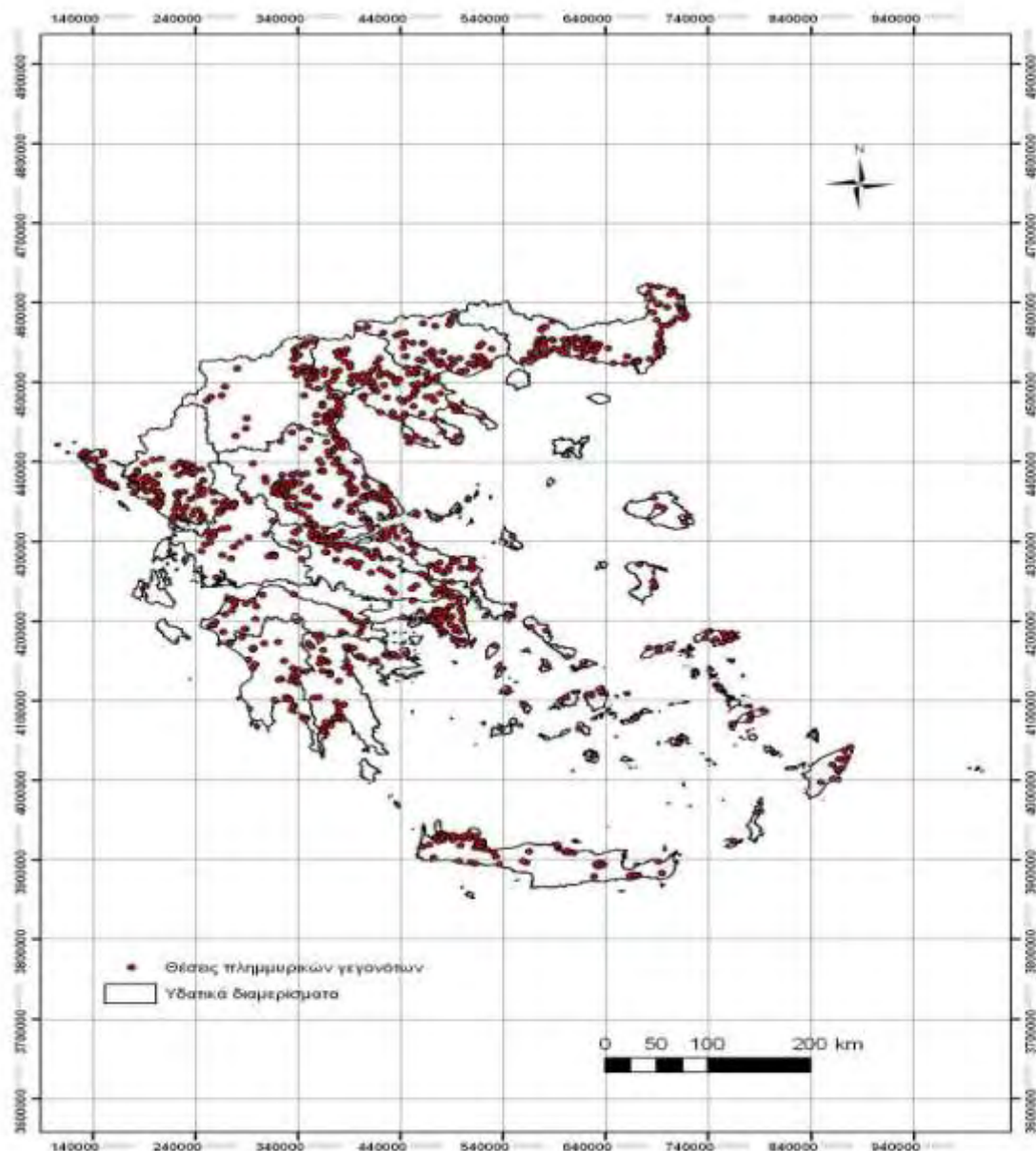


Σχήμα 2.1: Υδατικά Διαμερίσματα (πηγή:www.ypreka.gr)



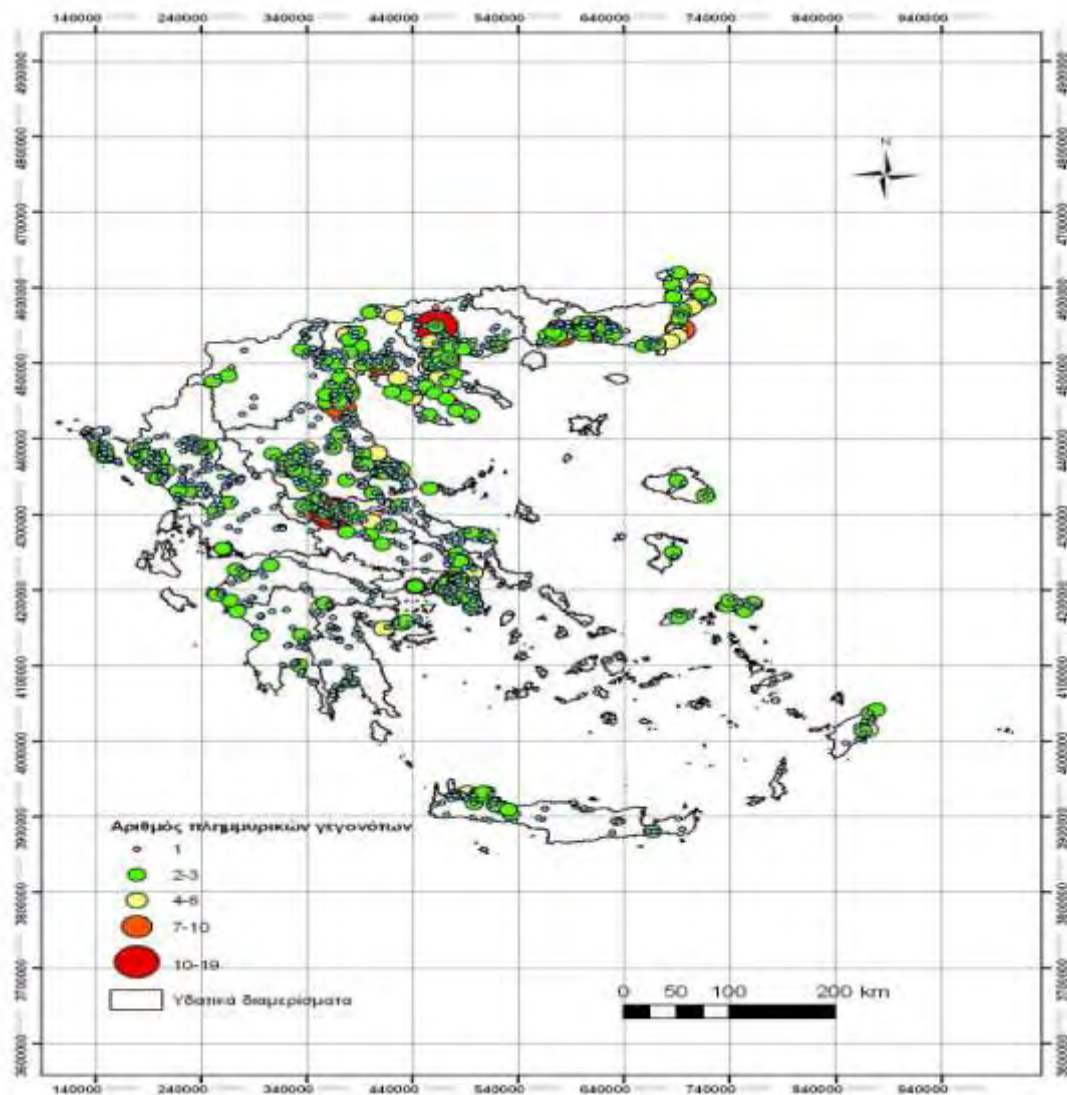
Σχήμα 2.2: Λεκάνες απορροής (πηγή:www.ypreka.gr)

Στο παρακάτω Σχήμα 2.3 απεικονίζονται οι 1076 θέσεις πλημμυρικών γεγονότων που έχουν λάβει χώρα στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, 749 από στοιχεία της Υπηρεσίας Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων (ΥΑΣ), 429 από τον οργανισμό Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛ.Γ.Α.) και 449 από τις εφημερίδες, τις πανεπιστημιακές εργασίες, τις μελέτες και τις αναφορές των υπηρεσιών. Οι περιοχές που καταγράφονται πλημμύρες είναι κυρίως οι πεδινές και οι παραθαλάσσιες περιοχές της Βόρειας και Ανατολικής Ελλάδας.



Σχήμα 2.3: Θέσεις ιστορικών πλημμυρικών συμβάντων (πηγή:www.ypeka.gr)

Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζονται τα 1627 πλημμυρικά γεγονότα που έλαβαν χώρα στην Ελλάδα. Ο μεγαλύτερος αριθμός συμβάντων ανά θέση καταγράφεται στον ποταμό Έβρο, στις πεδιάδες Ξάνθης-Κομοτηνής, στην πεδιάδα του ποταμού Στρυμόνα, στη Θεσσαλονίκη, στην πεδιάδα Κατερίνης, στη Θεσσαλική πεδιάδα, στην κοιλάδα του ποταμού Σπερχειού στα Χανιά της Κρήτης και στη Ρόδο. Στη δυτική Ελλάδα πλημμύρες καταγράφονται κυρίως στη νήσο Κέρκυρα, στην κλειστή λεκάνη Ιωαννίνων, στις πεδινές περιοχές του ποταμού Καλαμά και των ποταμών Αχέροντα, Λούρου και Αράχθου. Επίσης μεγάλος αριθμός συμβάντων καταγράφεται στο λεκανοπέδιο Αττικής.

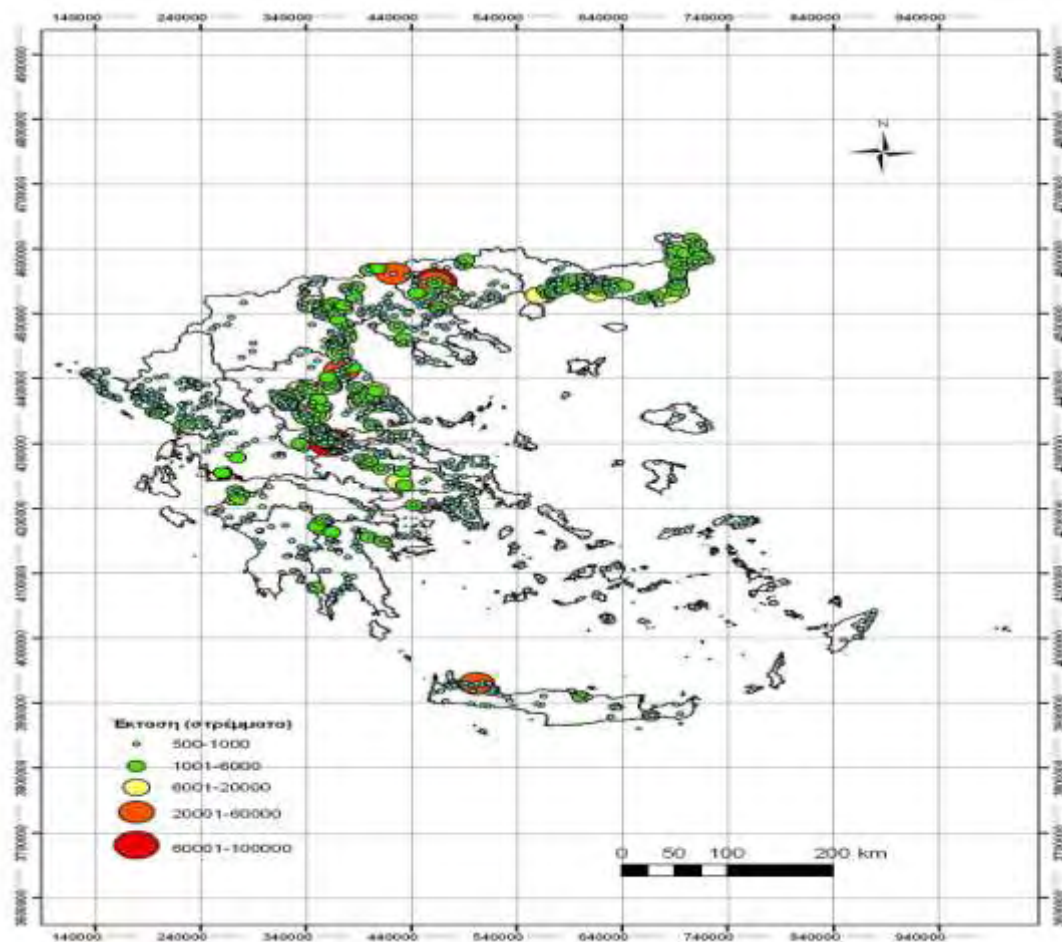


Σχήμα 2.4: Κατηγορίες ανά αριθμό πλημμυρικών γεγονότων στις θέσεις ιστορικών πλημμυρικών συμβάντων (πηγή:www.yreka.gr)

Στο Σχήμα 2.5 κατηγοριοποιούνται τα πλημμυρικά γεγονότα ανάλογα με την έκτασή τους (σε στρέμματα). Πιο συγκεκριμένα έχει γίνει ο εξής διαχωρισμός σε κατηγορίες:

- I. 500-1000
- II. 1001-6000
- III. 6001-20000
- IV. 20001-60000
- V. 60001-100000

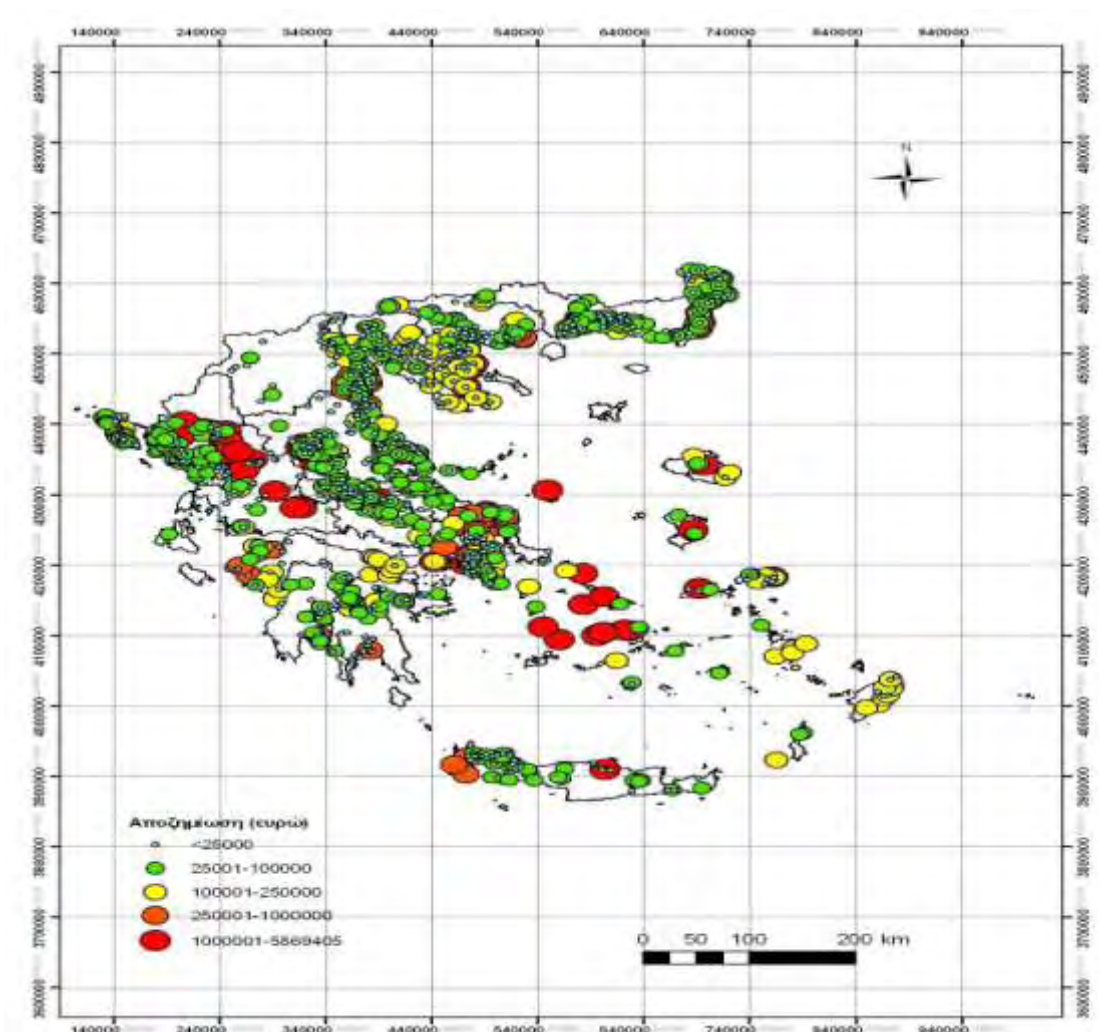
Παρατηρείται ότι, τα συμβάντα με τις μεγαλύτερες σε έκταση ζημιές καταγράφονται στην πεδιάδα της Ξάνθης-Κομοτηνής, στις πεδιάδες Θεσσαλονίκης και Κατερίνης, στη Θεσσαλική πεδιάδα, στην κοιλάδα του ποταμού Στρυμόνα και στα Χανιά στην Κρήτη



Σχήμα 2.5: Κατηγορίες ανά έκταση πλημμύρας (πηγή:www.ypeka.gr)

Στο Σχήμα 2.6 απεικονίζονται οι 5 κατηγορίες ανάλογα με το ύψος αποζημίωσης που αποφασίστηκε για τα πλημμυρικά γεγονότα που έλαβαν χώρα. Ειδικότερα η κατηγοριοποίηση είναι η ακόλουθη

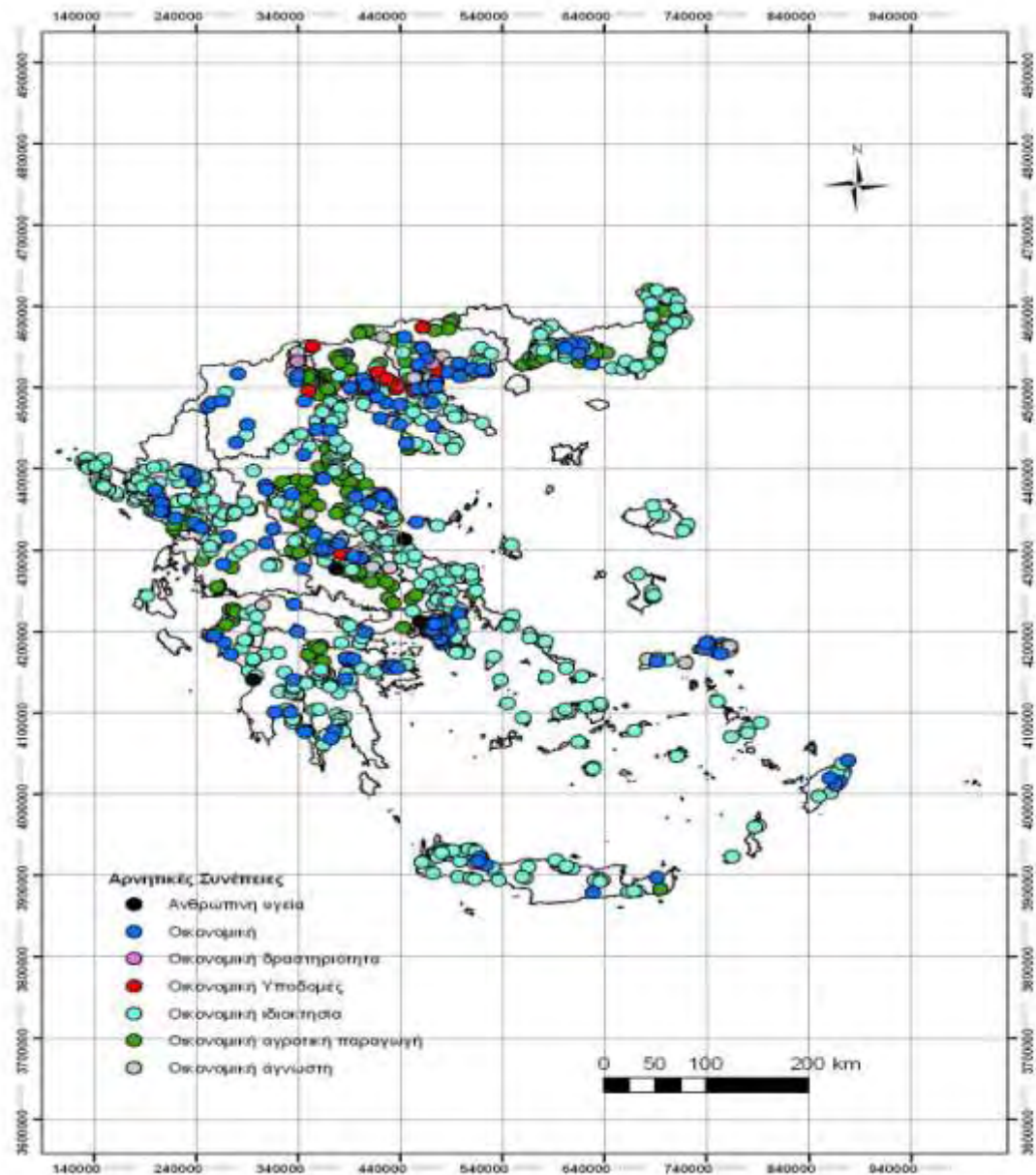
- <25000
- 25001-100000
- 100001-250000
- 250001-1000000
- 1000001-5869405



Σχήμα 2.6: Κατηγορίες ανά ύψος αποζημίωσης (πηγή:www.ypka.gr)

Στο Σχήμα 2.7 φαίνονται οι αρνητικές συνέπειες που επιφέρουν τα φαινόμενα πλημμύρας. Οι περισσότερες επικεντρώνονται στον οικονομικό τομέα. Ειδικότερα,

αφορούν την αγροτική παραγωγή, την ιδιοκτησία, τις υποδομές, αλλά και τη γενικότερη οικονομική δραστηριότητα της εκάστοτε περιοχής. Δυστυχώς όμως, προκαλούν προβλήματα και στον άνθρωπο.



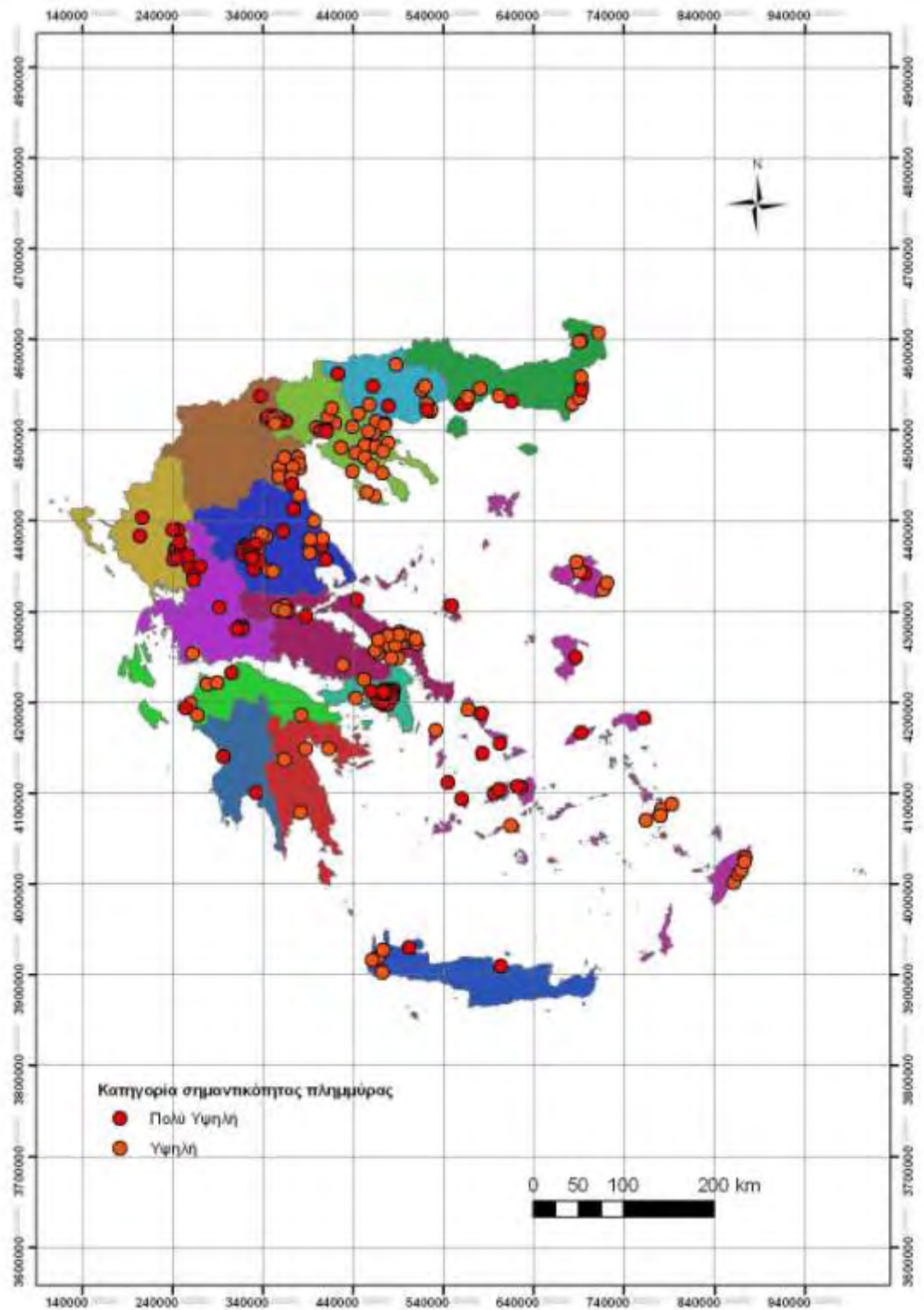
Σχήμα 2.7: Κατηγορίες ανά τύπο καταστροφής (πηγή: www.ypeka.gr)

Τα ιστορικά πλημμυρικά συμβάντα κατατάσσονται ανάλογα με την απώλεια ανθρωπίνων ζωών, το ύψος της χρηματικής αποζημίωσης αλλά και το εύρος της κατακλυζόμενης έκτασης σε 4 κατηγορίες σημαντικότητας. Αναλυτικότερα τα κριτήρια που το καθορίζουν παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα

Πίνακας 2.1**Κατάταξη ιστορικών πλημμυρικών συμβάντων**

Σημαντικότητα πλημμύρας	Ανθρώπινα θύματα	Αποζημίωση (ευρώ)	Έκταση (στρέμματα)
Χαμηλή		<50.000	<2.000
Μέση		50.000-200.000	2.000-5.000
Υψηλή		200.000-500.000	5.000-10.000
Πολύ υψηλή	>=1	>500.000	>10.000

Σημαντικά ιστορικά γεγονότα ορίστηκαν αυτά που εμπίπτουν για οποιοδήποτε από τα τρία κριτήρια στις κατηγορίες «Υψηλή» και «Πολύ Υψηλή». Ορίζονται έτσι 147 γεγονότα στην κατηγορία «Πολύ Υψηλή» και 150 γεγονότα στην κατηγορία «Υψηλή». Το σύνολο των 297 αυτών γεγονότων (όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8) θεωρήθηκαν ως σημαντικές πλημμύρες. Τα γεγονότα αυτά αντιστοιχούν σε 261 θέσεις.



Σχήμα 2.8: Κατηγορία σημαντικότητας πλημμύρας (πηγή:www.ypreka.gr)

2.2 Περιοχές δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας

2.2.1 Γενικά

Οι πλημμύρες είναι πιθανόν να επιφέρουν αρνητικές συνέπειες. Οι περιοχές όπου είναι περισσότερο ευάλωτες σε αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Πόλεις και οικισμοί
- Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες
- Γεωργικές εκτάσεις με σημαντική οικονομική αξία
- Παραγωγικές μονάδες που ενδέχεται να προκαλέσουν ρύπανση
- Προστατευόμενες περιοχές
- Μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς
- Υποδομές (οδικό, σιδηροδρομικό δίκτυο, λιμάνια, αεροδρόμια, νοσοκομεία, μεγάλα φράγματα)

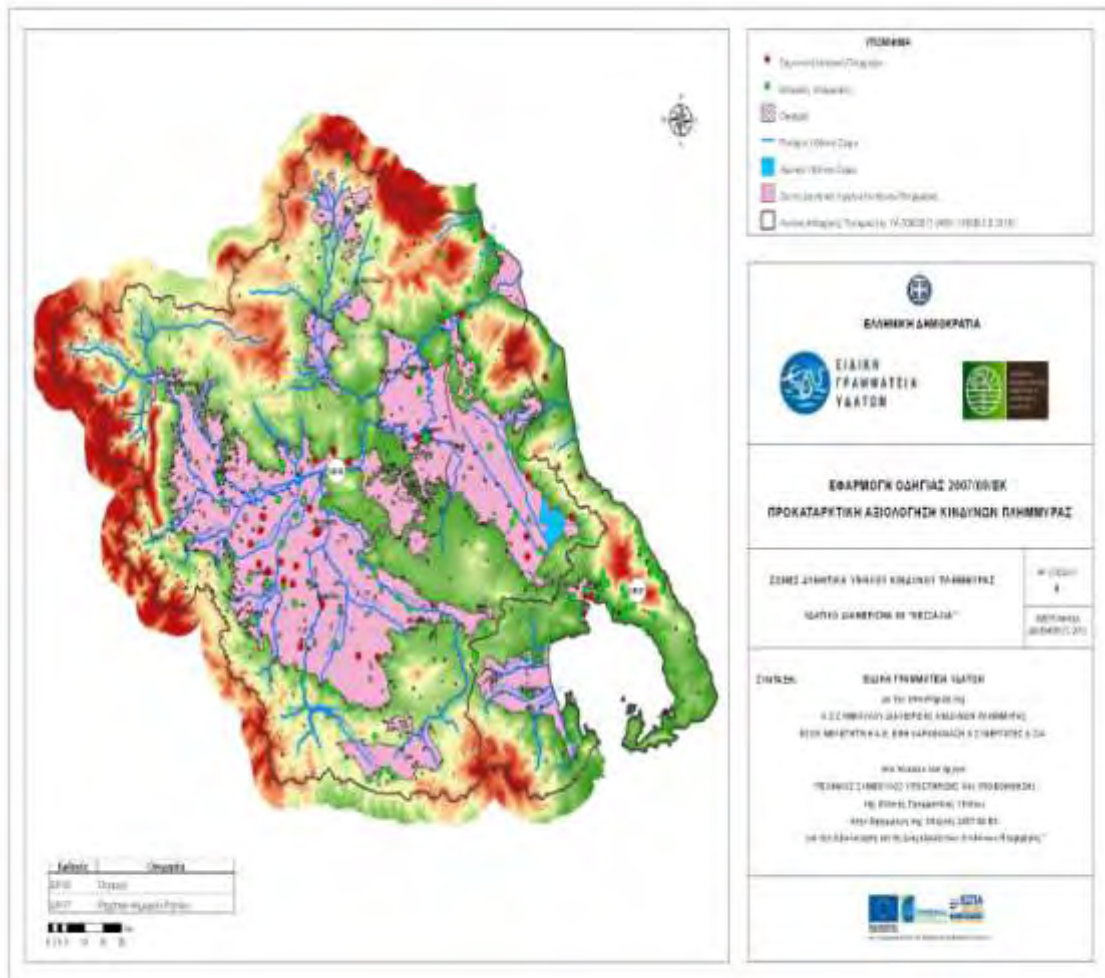
Οι περιοχές όπου είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα ορίστηκαν ως αυτές που ικανοποιούν έναν τουλάχιστον από τους δύο παρακάτω περιορισμούς:

1. βρίσκονται σε θέσεις προσχωματικών αποθέσεων
2. βρίσκονται σε έδαφος με κλίση μικρότερη από 2%

2.2.2 Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας

Για κάθε υδατικό διαμέρισμα οι ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας (Areas with Potential Significant Flood Risk: APSFR) ορίστηκαν συνδυάζοντας τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό των περιοχών όπου είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα και των περιοχών με δυνητικά σημαντικές συνέπειες από μελλοντικές πλημμύρες λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις αναφορές των περιφερειακών φορέων και τις σημαντικές ιστορικές πλημμύρες. Στο παρακάτω

Σχήμα 2.9 αποτυπώνονται οι περιοχές με δυνητικά σημαντικό κίνδυνο πλημμύρας για το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.



Σχήμα 2.9: Περιοχές με δυνητικά σημαντικό κίνδυνο πλημμύρας στη Θεσσαλία (πηγή: www.ypeka.gr)

Το ΥΔ 08 «Θεσσαλία» περιλαμβάνει το σύνολο πρακτικά της περιφέρειας Θεσσαλίας (εκτός από τα νησιά των σποράδων, ένα μικρό τμήμα δυτικά που ανήκει στο ΥΔ 04, ένα μικρό τμήμα νότια που ανήκει στο ΥΔ 07 και ένα μικρό τμήμα βόρεια που ανήκει στο ΥΔ 09) και το νότιο τμήμα της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας (περιοχή Πλαταμώνια). Συγκεκριμένα περιλαμβάνει το κεντρικό και ανατολικό τμήμα της περιφερειακής ενότητας Τρικάλων, το κεντρικό και ανατολικό τμήμα της περιφερειακής ενότητας Καρδίτσας, την περιφερειακή ενότητα Μαγνησίας και Σποράδων εκτός από τα νησιά των Σποράδων, το σύνολο πρακτικά της περιφερειακής ενότητας Λάρισας, ένα μικρό τμήμα στο βόρειο μέρος της

περιφερειακής ενότητας Φθιώτιδας, ένα μικρό νότιο τμήμα της περιφερειακής ενότητας Πιερίας και ένα μικρό τμήμα της περιφερειακής ενότητας Γρεβενών. Η συνολική έκταση του διαμερίσματος είναι 13.140 km². Ο πληθυσμός του, με βάση τα απογραφικά στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ του 2001 είναι 750.445 κάτοικοι.

Το ΥΔ της Θεσσαλίας περιλαμβάνει τις λεκάνες απορροής Πηνειού (GR16) και Αλμυρού Πηλίου (GR17), με έκταση 11.062 km² και 2.078 km² αντίστοιχα. Το ΥΔ παρουσιάζει μία απλή γεωμορφολογική εικόνα με τα ορεινά τμήματά του στις περιφερειακές περιοχές και τα πεδινά τμήματα στις κεντρικές. Το Θεσσαλικό πεδίο είναι ένα τεκτονικό βύθισμα που περιβάλλεται από τις οροσειρές Ολύμπου – Καμβουνίων στα βόρεια, Πίνδου στα δυτικά, Όθρυος στα νότια και Πηλίου – Όσσας στα ανατολικά. Χωρίζεται από τα μικρά Χαλκηδόνια όρη στις πεδινές εκτάσεις της δυτικής και ανατολικής Θεσσαλίας, οι οποίες θεωρούνται ανεξάρτητες από υδρογεωλογική άποψη. Το μέσο υψόμετρο του ΥΔ υπολογίζεται ίσο με 285 m.

Από υδρολογική άποψη η μέση ετήσια κατακρήμνιση στη Θεσσαλία υπολογίζεται ίση με 686,8 mm (για την περίοδο 1980-81 έως 2000-01), με μικρότερα κατακρημνίσματα να καταγράφονται στα κεντρικά πεδινά αυξανόμενα προς την ορεινή περιφέρεια, κυρίως όμως προς τα δυτικά. Η κύρια υδρολογική λεκάνη του ΥΔ είναι εκείνη του π. Πηνειού, με επιφάνεια στη θέση Πυργετός, κοντά στις εκβολές στο Θερμαϊκό κόλπο, ίση με περίπου 9.500 km². Κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού είναι προς τα νότια ο Ενιπέας, ο Φαρσαλιώτης, ο Σοφαδίτης (στον οποίο κατασκευάστηκε το φράγμα Σμοκόβου) και ο Καλέντζης (που δέχεται τα νερά από την εκτροπή του π. Ταυρωπού μέσω του ταμειυτήρα Πλαστήρα), προς τα δυτικά ο Πορταϊκός, ο Πάμισος (Πλιούρης) και το Μουργκάνι και προς τα βόρεια ο Ληθαίος (που διασχίζει την πόλη των Τρικάλων), ο Νεοχωρίτης και ο Τιταρήσιος.

Στη λεκάνη απορροής Πηνειού εντάσσεται και η κλειστή λεκάνη της λίμνης Κάρλας (έκτασης 1.050 km²), το σύστημα της οποίας βρίσκεται υπό διαμόρφωση, με ένα σύστημα τάφρων αμφίδρομης ροής προς και από τον Πηνειό για αντιπλημμυρική προστασία των πεδινών καλλιεργημένων εκτάσεων. Στη λεκάνη απορροής Αλμυρού – Πηλίου δεν υπάρχουν κύριοι ποταμοί. Στο ΥΔ της Θεσσαλίας υπάρχουν οι τεχνητές λίμνες Σμοκόβου, έκτασης 9,9 km², Αργυροπουλίου, έκτασης 0,5 km² και η τεχνητή λίμνη Κάρλα, έκτασης 34,9 km². Με βάση την επεξεργασία των ιστορικών συμβάντων οι περιοχές όπου έχουν σημειωθεί στο παρελθόν σημαντικές πλημμύρες είναι :

- οι χαμηλές, πεδινές περιοχές της λεκάνης του ποταμού Πηνειού, από το ύψος της συμβολής του ποταμού Νεοχωρίτη και προς τα κατάντη
- μέχρι το ύψος του οικισμού Κουτσόχερο, στο ύψος της πόλης της Λάρισας, και στο τμήμα ανάντη της κοιλάδας των Τεμπών

- οι παραποτάμιες περιοχές των ποταμών Καλέντζη και Φαρσαλιώτη (παραπόταμοι του ποταμού Πηνειού)
- οι χαμηλές περιοχές της κλειστής λεκάνης Κάρλας
- η παραθαλάσσια ζώνη της περιοχής του Βόλου.

Επεισόδια πλημμύρας καταγράφονται επίσης στο χείμαρρο Δερμπίνας στον Πλαταμώννα, στα ρέματα του Πηλίου και στην παράκτια ζώνη του Πηλίου προς την πλευρά του Αιγαίου Πελάγους.

2.2.2.1 Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας

Σύμφωνα με τη διεύθυνση τεχνικών έργων της περιφερειακής ενότητας Καρδίτσας ευάλωτες περιοχές είναι οι :

- ποταμός Ενιπέας και τάφροι Φαρσαλίτης, Ιτόλη, Ταμπάκος (ΙΙα), Κακάρας (περιοχές Πέτρινος
Συκεών, Αστρίτσα, Γεφύρια, Πασχ/τσα, Κυψέλη, Ερμήτσι, Γραμμικό, Ν. Ικόνιο)
- ποταμός Σοφαδίτης, Οργόζινος (λεκάνη Σμοκόβου). Περιοχές δασοχώρι, Μελισοχώρι, Σοφάδες, Ματαράγκα
- ποταμός Καλέντζης, Λείψιμος, Ιταλικός. Περιοχές Μεταμόρφωση, Παλαμάς, Βλοχός, Κόσκινα, Ψαθοχώρια, Μακρυνάρι, Μυρίνη
- ποταμός Καράμπαλης και τάφος Ξυρονερίου (περιοχές Γεωργικό, Παπατζά, Μαρυδά, Καμινάδες, Καρδίτσα)
- ποταμός Πάμισος, Κουτάς, περιοχή Μαγούλα
- ποταμός Μέγας και Βουβουλίνας (περιοχές Κρασιά, Ροζοβούνι, Κάρλα, Αγ. Τριάδα, Προάστιο, Πεδινό, Αρτεσιανό, παραγ/κο).

2.2.2.2 Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας

Σύμφωνα με τη διεύθυνση τεχνικών έργων της περιφερειακής ενότητας Λάρισας περιοχές που πλημμυρίζουν σε περιπτώσεις ισχυρών βροχοπτώσεων (T=100) είναι η κοίτη του ποταμού Πηνειού, μεταξύ της εκβολής του Ενιπέα σε αυτόν (περιοχή Φαρκαδώνας) και του οικισμού Κουτσόχερο, μήκους περίπου 13 km σε ευθυγραμμία και μέσου πλάτους 2 km μεταξύ των υψωμάτων Ζάρκου και Τίτανου. Το αίτιο είναι η στένωση της κοίτης του ποταμού Πηνειού κατάντη της γέφυρας στον οικισμό Κουτσόχερο. Στην κοιλάδα αυτή οι μαιανδρισμοί του Πηνειού είναι έντονοι. Απαιτούνται αντιπλημμυρικά έργα προστασίας (αναχώματα εκατέρωθεν της κοίτης του Πηνειού και έργα ευθυγράμμισης/διευθέτησης) τα οποία όμως θα μετατόπιζαν πάλι το πρόβλημα της κατάκλισης στις κατάντη περιοχές.

2.2.2.3 Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας & Σποράδων

Σύμφωνα με τη διεύθυνση τεχνικών έργων της περιφερειακής ενότητας Μαγνησίας και Σποράδων εμφανίζονται πλημμυρικά φαινόμενα, κυρίως λόγω αστικοποίησης των περιοχών στα ρέματα:

- της περιοχής Αλμυρού (περιοχές Αλμυρού–Αμαλιάπολης-Ευξεινούπολη, Σούρπη)
- της περιοχής Ξηριά του Βόλου (περιοχές πολεοδομικού συγκροτήματος Βόλου, Αγριάς, Πήλιο)
- τοπικά προβλήματα σε ρέματα του Πηλίου (Πορταριά, Μακρινίτσα)
- της περιοχής της Κάρλας

2.2.2.4 Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων

Σύμφωνα με τη διεύθυνση τεχνικών έργων της περιφερειακής ενότητας Τρικάλων, οι περιοχές υψηλού κινδύνου πλημμύρας είναι οι :

- ποταμός Πηνειός ανάντη της συμβολής του ρέματος Μαλακασιώτικο (χείμαρρος Μύκανης) στην περιοχή του Δήμου Καλαμπάκας

- ποταμός Ληθαίος, περιοχή Δήμου Καλαμπάκας (οικισμός Θεόπετρα) και περιοχή οικισμού Πατουλιάς Δήμου Τρικκαίων.
- παραποτάμιες περιοχές ποταμών Πηνειού, Πορταϊκού, Ανάποδου και Παλαιοπόταμου, περιοχής Δήμου Τρικκαίων, όπου σημειώνονται συχνά πλημμύρες σε καλλιέργειες
- παραποτάμιες περιοχές ποταμού Πηνειού, περιοχή οικισμών Νομής-Φανερωμένης δήμου Τρικκαίων.
- παραποτάμιες περιοχές ποταμού Πηνειού περιοχής Δήμου Φαρκαδόνας (κατάντη της συμβολής του ποταμού Ενιπέα από το ύψος του οικισμού Κεραμίδι έως το ύψος του οικισμού Κουτσόχερο), όπου σημειώνονται συχνά πλημμύρες μεγάλης έκτασης (περίπου 20.000 στρ.) σε καλλιέργειες.
- παραποτάμιες περιοχές ποταμού Πάμισου, περιοχής Μεγάλων Καλυβίων Δήμου Τρικκαίων.

2.2.3 Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας Υδατικού Διαμερίσματος GR08

Οι ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας που σημειώνονται στο Σχήμα 2.9:

1. ποταμός Πηνειός και παραπόταμοι, μαζί με την κλειστή λεκάνη της λίμνης Κάρλας (GR08RAK0003)
2. Χαμηλή ζώνη κλειστής λεκάνης Καλοχωρίου (GR08RAK0004)
3. Δέλτα ποταμού Πηνειού, Παραλία Κουλούρας-Παλαιοπύργου (GR08RAK0006)
4. Χαμηλή ζώνη μέσω ρου ποταμού Τιταρήσιου, περιοχή Ελασσόνας (GR08RAK0005)
5. Χαμηλή ζώνη άνω ρου ποταμού Τιταρήσιου (GR08RAK0007)
6. Χαμηλή ζώνη λεκάνης άνω ρου ρέμα Κουσμπασανιώτικο (GR08RAK0002)
7. Χαμηλή ζώνη άνω ρου ποταμού Ενιπέα, τάφρου Ξυνιάδας (GR08RAK0001)

8. Χαμηλή ζώνη λεκανών ρέμα Αλμυρού και Χολόρεμμα στο Νομό Μαγνησίας (GR08RAK0008)

9. Χαμηλή ζώνη λεκάνης χείμαρρος Ξηριά στο Βόλο και ρεμάτων ευρύτερης περιοχής Βόλου (GR08RAK0009).

Στον παρακάτω Πίνακα 2.2 δίνονται οι εκτάσεις των ζωνών δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας για το ΥΔ 08 «Θεσσαλία» και σημειώνεται η συμμετοχή τους στη συνολική έκταση του ΥΔ.

Πίνακας 2.2

Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 08(πηγή www.ypeka.gr)

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 13.140			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	ποταμός Πηνειός και παραπόταμοι μαζί με την κλειστή λεκάνη της λίμνης Κάρλας	GR08RAK0003	3.353
2	Χαμηλή ζώνη κλειστής λεκάνης Καλοχωρίου	GR08RAK0004	54
3	Δέλτα ποταμού Πηνειού, Παραλία Κουλούρα Παλαιοπύργου	GR08RAK0006	69
4	Χαμηλή ζώνη μέσω ρου ποταμού Τιταρήσιου, περιοχή Ελασσώνας	GR08RAK0005	137
5	Χαμηλή ζώνη άνω ρου ποταμού Τιταρήσιου	GR08RAK0007	113
6	Χαμηλή ζώνη λεκάνης άνω ρου ρέμα Κουσμπασανιώτικο	GR08RAK0002	27
7	Χαμηλή ζώνη άνω ρου ποταμού Ενιπέα, τάφρου Ξυνιάδας	GR08RAK0001	173
8	Χαμηλή ζώνη λεκανών ρέμα Αλμυρού και Χολόρεμμα στο Ν. Μαγνησίας	GR08RAK0008	215
9	Χαμηλή ζώνη λεκάνης χείμαρρος Ξηριά στο Βόλο και ρεμάτων ευρύτερης περιοχής Βόλου	GR08RAK0009	31
Σύνολο			4.172

Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)	31.7%
-------------------------------	-------

2.2.4 Ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας υδατικών διαμερισμάτων

Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται οι εκτάσεις των ζωνών υψηλού κινδύνου πλημμύρας καθώς και η συμμετοχή τους στη συνολική έκταση του εκάστοτε υδατικού διαμερίσματος.

Πίνακας 2.3

Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 01(πηγή www.ypeka.gr)

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 7.235			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Χαμηλές περιοχές ποταμού Αλφειού και παράκτια ζώνη χειμάρρων από το ύψος της πόλης Κρέστενα μέχρι τα Φιλιατρά (περιοχές ποταμού Νέδα, ρέμα Καλού Νερού, ρέμα Φιλιατρινό και λοιπών χειμάρρων)	GR01RAK0 004	298
2	Πεδινή περιοχή Μελιγαλά	GR01RAK0 002	78
3	Πεδινή περιοχή ρεμάτων Καλαμάτας-Μεσσήνης (ποταμός Πάμισος, Άρης, Βέλικας)	GR01RAK0 001	170
4	Οροπέδιο Μεγαλόπολης	GR01RAK0 003	90
Σύνολο			637
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			8.8%

Πίνακας 2.4**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 02(πηγή www.ypeka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 7.397			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Πεδινή ζώνη λεκανών απορροής Πείρου – Βέργα – Πηνειού –Γλαύκου	GR02RAK0008	887
2	Χαμηλή ζώνη ποταμού Σελινούντα	GR02RAK0007	34
3	Χαμηλή ζώνη ρεμάτων παραλίας Βόρειας Πελοποννήσου από το Κιάτο έως την Κόρινθο	GR02RAK0006	120
4	Υψηλή ζώνη ποταμού Ασωπού	GR02RAK0002	38
5	Χαμηλή ζώνη λεκάνης λίμνης Στυμφαλίας	GR02RAK0004	29
6	Χαμηλή ζώνη λεκάνης τεχνητής λίμνης Φενεού	GR02RAK0005	39
7	Πεδινή περιοχή οικισμών Λουτρών Ωραίας Ελένης	GR02RAK0001	3
8	Χαμηλά Ζακύνθου	GR02RAK0003	76
Σύνολο			637
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			8.8%

Πίνακας 2.5**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 03(πηγή www.ypeka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 8.442			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Οροπέδιο Τρίτολης	GR03RAK0005	203
2	Κοιλιάδα ποταμού Ευρώτα στο ύψος της Σπάρτης	GR03RAK0002	89
3	Χαμηλή ζώνη ποταμού Ευρώτα (περιοχές οικισμών Σκάλας, Έλους)	GR03RAK0001	74
4	Πεδιάδα Άργους – Ναυπλίου - Δρεπάνου	GR03RAK0006	167
5	Χαμηλή ζώνη ποταμού Ράδου	GR03RAK0004	13
6	Πεδινή περιοχή Άστρους	GR03RAK0003	29

7	Πεδινή περιοχή Βλαχέρνας	GR03RAK0007	31
Σύνολο			606
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			7.2%

Πίνακας 2.6**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 04(πηγή www.yreka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 10.498			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Χαμηλή ζώνη ποταμού Αχελώου και παραλίμνιας περιοχής λιμνοθάλασσας Μεσολογίου, παραλίμνιες εκτάσεις Τριχωνίδας, Λυσιμαχίας, Οζερού, Αμβρακίας	GR04RAK0003	639
2	Περιοχή δέλτα ποταμού Ευήνου	GR04RAK0002	108
3	Παραλίμνιες εκτάσεις τεχνητής λίμνης Πλαστήρα	GR04RAK0006	27
4	Παραλίμνιες εκτάσεις λίμνης Βουλκαρίας	GR04RAK0004	34
5	Πεδινές εκτάσεις λεκάνης ρεμάτων Αμφιλοχίας	GR04RAK0005	26
6	Δέλτα ποταμού Μόρνου-παρακτιες περιοχές Ναυπακτίας	GR04RAK0001	40
Σύνολο			874
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			8.3%

Πίνακας 2.7**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 05(πηγή www.yreka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 9.980			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Χαμηλή ζώνη κλειστής λεκάνης Ιωαννίνων	GR05RAK0009	180
2	Χαμηλή περιοχή άνω ρου του ποταμού Καλαμά στην περιοχή Δολιανά	GR05RAK0010	42
3	Μέσος ρούς Καλαμά από το ύψος της Βροσίνας έως το Καστρί	GR05RAK0007	30
4	Κάτω ρούς - Δέλτα ποταμού Καλαμά και παράκτια ζώνη Ηγουμενίτσας	GR05RAK0008	66
5	Χαμηλές περιοχές λεκάνης ποταμού Αχέροντα και κλειστής λεκάνης Μαργαριτίου	GR05RAK0005	148
6	Μέσος ρους ποταμού Λούρου	GR05RAK0001	7
7	Πεδιάδες Άρτας, Χαμηλή ζώνη ποταμών Λούρου Αράχθου	GR05RAK0003	428
8	Πεδιάδα Πρέβεζας	GR05RAK0002	38
9	Χαμηλή ζώνη νήσου Κέρκυρας από το ύψος της Στρογγυλής μέχρι τους Βιταλάδες	GR05RAK0006	35
10	Περιοχή Λευκίμμης νήσου Κέρκυρας	GR05RAK0004	29
Σύνολο			1003
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			10.0%

Πίνακας 2.8**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 06(πηγή www.yreka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 3.186			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Χαμηλή ζώνη Λουτρακίου	GR06RAK0002	11
2	Χαμηλή ζώνη Μεγάρων-Ν. Περάμου	GR06RAK0004	48
3	Χαμηλή ζώνη Ασπροπύργου-Ελευσίνας	GR06RAK0005	94
4	Λεκάνη ποταμού Κηφισού	GR06RAK0011	213
5	Παράκτιες περιοχές Γλυφάδας-Βούλας	GR06RAK0012	17

6	Χαμηλή ζώνη λεκάνης τεχνητής λίμνης Μαραθώνα	GR06RAK0006	47
7	Περιοχή των Μεσογείων	GR06RAK0003	162
8	Παράκτια πεδινή περιοχή Μαραθώνα-Νέας Μάκρης	GR06RAK0007	52
9	Παράκτιες περιοχές Σαρωνίδας-Αναβύσσου Παλαιάς Φωκαίας	GR06RAK0001	29
Σύνολο			675
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			21.2%

Πίνακας 2.9**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 07(πηγή www.ypeka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 12.291			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Παρόχθιες χαμηλές περιοχές ποταμού Σπερχειού Χαμηλή ζώνη ρεμάτων παράκτιας περιοχής Στυλίδας-Καμένων Βούρλων	GR07RAK0016	496
2	Χαμηλή ζώνη άνω ρου Βοιωτικού Κηφισού	GR07RAK0014	93
3	Χαμηλή ζώνη μέσω-κάτω ρου λεκάνης Βοιωτικού Κηφισού-Λιμνών Υλίκης Παραλίμνης-χαμηλής ζώνης περιοχής Σχηματαρίου - Δήλεσι	GR07RAK0012	535
4	Χαμηλή ζώνη άνω ρου ποταμού Ασωπού	GR07RAK0018	433
5	Χαμηλή ζώνη περιοχής Αυλώνας λεκάνης ποταμού Ασωπού	GR07RAK0002	73
6	Κάτω ρους ποταμού Ασωπού, περιοχή Σκάλας Ωρωπού, Αγ. Κωνσταντίνου	GR07RAK0001	30
7	Άνω ρους ρέμα Αλαργινό	GR07RAK0019	7
8	Περιοχή Αταλάντης ρέμα Αλαργινό	GR07RAK0013	43
9	Ωραιοί, Ιστιαία, Κανατάδικα νήσου Ευβοίας	GR07RAK0017	56
10	Χαμηλή ζώνη λεκάνης ρέμα Κηρεύς νήσου Ευβοίας	GR07RAK0015	28
11	Χαμηλή ζώνη λεκάνης ρέμα Μανικιάτη νήσου Ευβοίας	GR07RAK0009	7

12	Χαμηλή ζώνη ρέμα Χονδρός νήσου Ευβοίας	GR07RAK0006	18
13	Παραλία περιοχής Στόμιο νήσου Ευβοίας (κατάντη ρους ρέμα Χονδρός)	GR07RAK0008	2
14	Μέσος ρους ρέμα Σαρανταπόταμος, περιοχή Γυμνόν νήσου Ευβοίας	GR07RAK0004	6
15	Πεδινά ρέμα Σαρανταπόταμου, παραλία Αμάρυνθου νήσου Ευβοίας	GR07RAK0003	6
16	Μέσος ρους ποταμού Λήδα, περιοχή Αμφιθέας- Πισσώνα νήσου Ευβοίας	GR07RAK0007	15
17	Κάτω ρους ποταμού Λήδα, παράκτια περιοχή Βασιλικό, Χαλκίδα, Ν. Αρτάκη νήσου Ευβοίας	GR07RAK0005	41
18	Άνω ρους ρέμα Ψαχνών	GR07RAK0010	4
19	Χαμηλή ζώνη λεκάνης ρέμα Ψαχνών, Παραλία Πολιτικών νήσου Ευβοίας	GR07RAK0011	45
Σύνολο			1940
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			15.8%

Πίνακας 2.10**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 09(πηγή www.ypeka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 13.620			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Χαμηλή ζώνη λεκάνης Πρεσπών	GR09RAK0010	26
2	Χαμηλή ζώνη λεκάνης ποταμού Αξιού στο Νομό Φλώρινας (περιοχή Λύγκος)	GR09RAK0012	290
3	Χαμηλή ζώνη άνω ρου ποταμού Αλιάκμονα και λίμνης Καστοριάς	GR09RAK0007	637
4	Χαμηλή ζώνη μέσω ρου ποταμού Αλιάκμονα (περιοχή Σαρακήνα, Καρπερό)	GR09RAK0002	102
5	Δεξιά παρόχθια περιοχή τεχνητής λίμνης Πολυφύτου	GR09RAK0003	63
6	Αριστερή παρόχθια περιοχή τεχνητής λίμνης Πολυφύτου, Χαμηλή ζώνη Φτελιάς	GR09RAK0004	51
7	Πεδιάδα Κοζάνης	GR09RAK0005	70

8	Χαμηλή ζώνη κλειστής λεκάνης Πτολεμαΐδας, παραλίμνιες εκτάσεις λιμνών Ζάζαρη, Χειμαδίτιδα, Πετρών και νότια της λίμνης Βεγορίτιδας	GR09RAK0008	698
9	Χαμηλή ζώνη Ξηρολίμνης	GR09RAK0006	36
10	Περιοχή Άρνισσα, Αγ. Αθανάσιος παρόχθιες εκτάσεις βόρεια της λίμνης Βεγορίτιδας	GR09RAK0009	34
11	Χαμηλή ζώνη ποταμού Μαυροπόταμου (περιοχή Αλμωπαίου) και συμβαλλόντων ποταμών	GR09RAK0013	177
12	Άνω ρους περιφερειακής τάφρου Τ66	GR09RAK0011	34
13	Χαμηλή ζώνη περιφερειακής τάφρου και συμβαλλόντων ποταμών, πεδιάδα Κατερίνης και Λιτόχωρου	GR09RAK0001	880
Σύνολο			3098
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			22.7%

Πίνακας 2.11**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 10(πηγή www.ypeka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 10.165			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Χαμηλή ζώνη λεκανών περιφερειακής τάφρου Τ66, ποταμών Λουδία, Αξιού, συμπεριλαμβανομένης της περιοχής της πρώην λίμνης Αρτζάν, και Γαλλικού, παραλίμνιες εκτάσεις λίμνης Δοϊράνης, Χαμηλήζώνη λεκάνης λιμνών Κορώνειας-Βόλβης, Χαμηλή ζώνη Πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και ρέματος Ανθεμούνας	GR10RAK0008	3.297
2	Άνω ρους νότιων ρεμάτων λιμνών Κορώνεια Βόλβη (περιοχή Ζαγκλιβέριο)	GR10RAK0006	36
3	Χαμηλή ζώνη περιοχή Ξηροποτάμου λεκάνης λίμνης Βόλβης	GR10RAK0007	65
4	Παραθαλάσσια ζώνη Επανομής	GR10RAK0005	28
5	Χαμηλή ζώνη λεκάνης ρέματος Ν. Ηρακλείας Ν. Καλλικράτειας	GR10RAK0004	49
6	Χαμηλή ζώνη λεκανών ρεμάτων Ν. Μουδανιών, Αγ. Μάμα και βόρειου τμήματος χερσονήσου Κασσάνδρειας Χαλκιδικής	GR10RAK0003	211
7	Παραθαλάσσια ζώνη περιοχών Χανιώτη Πολύδροσο νότιου τμήματος χερσονήσου Κασσάνδρειας	GR10RAK0001	24

8	Κατάντη ρους ποταμού Χαβρία	GR10RAK0009	21
9	Παραθαλάσσια ζώνη περιοχής Αγ. Νικολάου	GR10RAK0002	3
Σύνολο			3735
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			36.7%

Πίνακας 2.12**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 11(πηγή www.ypeka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 7.321			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Χαμηλή ζώνη άνω ρου Στρυμόνα αμέσως κατάντη των συνόρων	GR11RAK0004	31
2	Χαμηλή ζώνη λεκάνης ποταμού Στρυμόνα και παραλίμνια ζώνης της Κερκίνης, Χαμηλή ζώνη λεκάνης ποταμού Αγγίτη, συμπεριλαμβανομένου του κάμπου των Τεναγών Φιλίππων, και ρεμάτων Πηγαδούλι, Πλατανόρεμα και Μαρμαρά	GR11RAK0003	2664
3	Χαμηλή ζώνη κλειστής λεκάνης Οχυρού	GR11RAK0005	87
4	Χαμηλή ζώνη λεκάνης ρέμα Ν. Περάμου	GR11RAK0002	16
5	Χαμηλή ζώνη λεκάνης ρέμα Ασπροβάλτας	GR11RAK0001	18
Σύνολο			2817
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			38.5%

Πίνακας 2.13**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 12(πηγή www.ypeka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 11.243			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Πεδιάδα Ξάνθης - Κομοτηνής (χαμηλές ζώνες ποταμών Νέστου, Κόσυνθου, Κομφάτου,	GR12RAK0001	1.927

	Απροποτάμου, Μποσμπόζη, Φιλιουρή και παρόχθιες εκτάσεις λίμνης Βεγορίτιδας)		
2	Παρόχθιες περιοχές και δέλτα ποταμού Έβρου	GR12RAK0002	1.447
3	Χαμηλές περιοχές από Αλεξανδρούπολη έως ρέμα Ξυλά	GR12RAK0003	328
Σύνολο			3701
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			32.9%

Πίνακας 2.14**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 13(πηγή www.yreka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 8.345			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Χαμηλή ζώνη λεκανών ρεμάτων Χανίων	GR13RAK0010	49
2	Χαμηλή ζώνη λεκανών ρεμάτων Ηρακλείου	GR13RAK0009	27
3	Χαμηλή ζώνη λεκάνης οροπεδίου Λασιθίου	GR13RAK0008 27	27
4	Χαμηλή ζώνη άνω ρου Γερω-Ποτάμου	GR13RAK0005	26
5	Μέσω ρους Γερω-Ποτάμου, περιοχή Πόμπιας	GR13RAK0001	3
6	Μέσω ρους Γερω-Ποτάμου, περιοχή Αγ. Ιωάννη	GR13RAK0003	2
7	Χαμηλή ζώνη παραπόταμου Κουτσουλίδη	GR13RAK0006	5
8	Κάτω ρους Γερω-Ποτάμου, περιοχή Τυμπάκι	GR13RAK0007	23
9	Χαμηλή ζώνη περιοχών Στάβιες-Αγ. Φωτιά	GR13RAK0004	36
10	Χαμηλή ζώνη λεκανών ρεμάτων Γρα Λυγιάς-Ιεράπετρας	GR13RAK0002	21
Σύνολο			220
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			2.6%

Πίνακας 2.15**Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας-Υ.Δ. 14(πηγή www.ypeka.gr)**

Συνολική έκταση ΥΔ (Km ²): 9.142			
α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (Km ²)
1	Χαμηλή ζώνη λεκάνης ποταμού Τσικνιά και ρεμάτων κόλπου Καλλονής νήσου Λέσβου	GR14RAK0010	31
2	Χαμηλές περιοχές νήσου Λήμνου	GR14RAK0011	143
3	Χαμηλή ζώνη περιοχής Κάμπου Χίου και πόλης Χίου	GR14RAK0009	30
4	Χαμηλή ζώνη ρεμάτων Πυθαγορείου νήσου Σάμου	GR14RAK0006	8
5	Χαμηλή ζώνη περιοχής Μυτιληνίων νήσου Σάμου	GR14RAK0008	3
6	Περιοχή Μεσοκάμου νήσου Σάμου	GR14RAK0007	4
7	Παραθαλάσσια περιοχή Αγ. Προκόπης, Αγ. Άννα και πόλης Νάξου νήσου Νάξου	GR14RAK0005	16
8	Παραθαλάσσια ζώνη βόρειων ακτών νήσου Κω από το ύψος της Αντιμάχειας μέχρι και την πόλη της Κω	GR14RAK0004	54
9	Χαμηλές ζώνες λεκανών ρεμάτων βόρειας ακτής νήσου Ρόδου, από το ύψος των οικισμών Καλαβάρδα έως την πόλη της Ρόδου	GR14RAK0003	56
10	Χαμηλή ζώνη λεκανών ρεμάτων βόρειοανατολικής ακτής νήσου Ρόδου (περιοχή Αφάντου)	GR14RAK0002	24
11	Χαμηλή ζώνη λεκανών ρεμάτων ανατολικής ακτής νήσου Ρόδου (περιοχή Μάλωνας, Μάσαρη, Κάλαθος)	GR14RAK0001	22
Σύνολο			389
Ποσοστό στο σύνολο του ΥΔ (%)			4.3%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΧΕΙΜΑΡΡΟΙ-ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στους χειμάρρους και στους ποταμούς. Δίνονται οι ορισμοί τους, μέσω των οποίων γίνεται αντιληπτή η διαφορετικότητα τους, καθώς και επιμέρους χαρακτηριστικά τους. Επίσης, παρουσιάζονται ορισμένα έργα που πρέπει να γίνουν κατά μήκος τους, με σκοπό την προστασία των γειτονικών περιοχών σε περιόδους έντονης βροχόπτωσης. Δυστυχώς τα μέτρα αυτά (αντιπλημμυρική προστασία) δεν είναι ικανά για πλήρη προστασία αλλά λαμβάνουν χώρα για την μετρίαση των ζημιών.

3.2 Σχηματισμός χειμάρρων

Αρχικά, δίδεται ο τρόπος δημιουργίας των χειμάρρων. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία ξεκινάει από το νερό που πέφτει στο έδαφος λόγω των κατακρημνισμάτων και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρών ρευμάτων. Τα ρεύματα αυτά στα χαμηλότερα σημεία του εδάφους ενώνονται και με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται μικρά ρυάκια. Στη πορεία αυτά ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν μεγαλύτερα ρεύματα που συνεχίζουν να μεγαλώνουν μέχρι να φθάσουν στη θάλασσα. Αυτός είναι ο τρόπος σχηματισμού των **χειμάρρων**.

Ως χείμαρροι ορίζονται ρεύματα ορμητικά (αριθμός Froude >1 , υπερκρίσιμη ροή) πρόσκαιρης τις περισσότερες φορές ροής, με κίνδυνο να προκαλέσουν πλημμύρα μετά από έντονη βροχόπτωση και με μικρή ή μηδαμινή, τη καλοκαιρινή περίοδο, παροχή. Η παροχή των χειμάρρων προέρχεται από την απορροή του νερού της βροχής (κατακρημνίσματα) και το γρήγορο λιώσιμο του χιονιού. Γι' αυτό το λόγο και οι πλημμύρες των χειμάρρων έχουν μικρή διάρκεια και σχεδόν πάντοτε συμβαίνουν ξαφνικά. Βέβαια, αρκετές φορές παρόλο τη μικρή τους χρονική διάρκεια οι συνέπειές τους είναι δυσμενείς. Το νερό που συγκεντρώνεται απορρέει γρήγορα και προκαλεί διαβρώσεις στις ορεινές λεκάνες, με αποτέλεσμα η ροή όλων σχεδόν των χειμάρρων να γίνεται σε χαραδρώδεις κοίτες, γεγονός που χρειάζεται προσοχή λόγω της ανεπιθύμητης διάβρωσης του εδάφους.

Οι εδαφικές συνθήκες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία των χειμάρρων. Ενδεχόμενη καταστροφή δασικής έκτασης έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του συντελεστή απορροής. Σε αυτή τη περίπτωση η ποσότητα που απορρέει αυξάνει και η διαβρωτική ικανότητα φθάνει στο σημείο να προκαλέσει τον

αφανισμό του εδάφους. Η διαβρωτική ικανότητα του νερού που ρέει με μεγάλη ταχύτητα, προκαλεί τον εκμηδενισμό των υψωμάτων, τη μεταφορά των υλικών σε χαμηλότερα υψόμετρα και στα σημεία που η ταχύτητα ροής είναι μικρή, εμφανίζονται αποθέσεις των μεταφερθέντων από τα βουνά υλικών. Οι αποθέσεις αυτές με την πάροδο του χρόνου προκαλούν ανύψωση του εδάφους της περιοχής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μετά από λίγα χρόνια τη δημιουργία του **κώνου προσχώσεως**, δηλαδή ο πυθμένας να βρίσκεται ψηλότερα από το έδαφος.

3.2.1 Χαρακτηριστικά του χειμάρρου

Ο χειμάρρος διακρίνεται σε τρία μέρη :

α) Στη λεκάνη απορροής

Πρώτα από όλα πρέπει να μιλήσουμε για το φαινόμενο της απορροής. Το νερό που φθάνει στην επιφάνεια της γης σαν κατακρήμνισμα, συγκρατείται κατά ένα μέρος από το φύλλωμα των φυτών που καλύπτει το έδαφος. Το ποσοστό της φυτοκάλυψης καθώς και τα χαρακτηριστικά του κατακρημνίσματος διαμορφώνουν τη ποσότητα του νερού που συγκρατείται με τον τρόπο αυτό. Ένα άλλο μέρος του νερού συγκρατείται από τις εδαφικές κοιλότητες και ένα τρίτο επιστρέφει πάλι πίσω στην ατμόσφαιρα με την διαδικασία της εξάτμισης και της διαπνοής. Το υπόλοιπο κινείται στη επιφάνεια του εδάφους ή διηθείται στο έδαφος. Από το διηθούμενο νερό ένα μέρος κινείται πλευρικά, αμέσως κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και ξαναεμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους ή τις κοίτες των ρευμάτων, ενώ το υπόλοιπο πηγαίνει σε βαθύτερα στρώματα και εμπλουτίζει την κορεσμένη ζώνη από την οποία, πάλι κινούμενο πλευρικά, μπορεί να φθάσει στην κοίτη κάποιου ρεύματος ή να φύγει έξω από τα όρια της υδρολογικής λεκάνης.

Το νερό που φθάνει σε ένα υδάτινο ρεύμα με κάποιο από τους παραπάνω τρόπους αποτελεί την **απορροή**. Ειδικότερα το μέρος εκείνο του νερού που φθάνει στο ρεύμα κινούμενο πάνω στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί την **επιφανειακή απορροή**, το μέγεθος της οποίας είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών του κατακρημνίσματος και της τοπογραφικής και εδαφολογικής διαμόρφωσης της περιοχής, που συνεισφέρει νερό στο ρεύμα.

Η έκταση που τροφοδοτεί με νερό απορροής ένα ρεύμα αποτελεί τη **λεκάνη απορροής** του ρεύματος αυτού. Τα όρια της περιοχής που συνεισφέρει υπόγειο νερό σε ένα ρεύμα μπορεί να μη ταυτίζονται με αυτά της περιοχής που συνεισφέρει επιφανειακή απορροή. Γενικά, όταν η λεκάνη απορροής είναι μεγάλης έκτασης, τα

όρια των δύο αυτών περιοχών θεωρούνται ότι πρακτικά ταυτίζονται. Στην περίπτωση μικρών λεκανών συμβαίνει το υπόγειο νερό να μετακινηθεί από μία λεκάνη στη γειτονική της ή και πολύ μακρύτερα. Αυτό προκαλεί ορισμένες ασάφειες κατά τον καθορισμό των ορίων των λεκανών. Οι ασάφειες αυτές οδήγησαν στο να επικρατήσει να θεωρείται σαν **υδρολογική λεκάνη** η έκταση που συνεισφέρει νερό άμεσης απορροής σε ένα ρεύμα.

β) Στο λαιμό

Αποτελεί το συνδυαστικό κρίκο μεταξύ της έναρξης διαδικασίας του φαινομένου και της έκβασης του στο τελικό στάδιο. Ειδικότερα, πρόκειται για ένα στένωμα από το οποίο ο χειμάρρος μεταφέρεται στην πεδιάδα. Οι όχθες του λαιμού τις περισσότερες φορές είναι απότομες και βραχώδεις. Σ' αυτόν δεν συμβαίνουν ούτε διαβρώσεις ούτε αποθέσεις. Η μηκοτομή του ρεύματος παρουσιάζει ένα σπάσιμο (γόνατο) με μεγάλη κλίση προς τα ανάντη και μικρή προς τα κατόντη.

γ) Στην πεδινή κοίτη

Πρόκειται για το τελικό στάδιο του χειμάρρου και στο οποίο παρατηρούνται φαινόμενα πλημμύρας. Στη πεδινή κοίτη ο χειμάρρος αποθέτει τα μεταφερόμενα προϊόντα της διαβρώσεως. Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του ρεύματος είναι το ποσοστό της φυτοκαλύψεως της λεκάνης απορροής. Η κατάσταση στη λεκάνη απορροής πρέπει να μεταβληθεί, προκειμένου οι συνεχείς βροχοπτώσεις να μην επιφέρουν πλήρη διάβρωση και αποσάθρωση που φθάνει μέχρι το σκληρό υπόστρωμα της λεκάνης, με αποτέλεσμα ο κώνος να μην ανυψώνεται και εξαπλώνεται με καταστρεπτικές συνέπειες. Οι ενέργειες που απαιτούνται να γίνουν έχουν σχέση με τη δέντροφύτευση καθώς και με κατάλληλα τεχνικά έργα. Για να υπάρχει μια σταθερή κατάσταση στην κοίτη του χειμάρρου και για να μην διαβρώνεται τόσο ο πυθμένας όσο και οι όχθες του, είναι αναγκαία η κατασκευή κατάλληλων έργων με τα οποία επιδιώκεται μια κλίση ισορροπίας που να ανταποκρίνεται στην ιδιομορφία του ρεύματος. Η διευθέτηση της κοίτης μπορεί να αρχίσει από το λαιμό και να προχωρήσει προς τα κατόντη, δηλαδή διευθέτηση της πεδινής κοίτης, η προς τα ανάντη, δηλαδή σταθεροποίηση των εδαφών της λεκάνης απορροής και συγκράτηση των φερτών υλών στη λεκάνη. Η πραγμάτωση των έργων ξεκινά από εκεί που κρίνονται πιο αναγκαία να πραγματοποιηθούν.

3.2.2 Φερτά υλικά

Ο ρόλος τους στην αποφυγή φαινομένων πλημμύρας είναι ζωτικής σημασίας. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση του όγκου των υλικών που φθάνει στη πεδινή κοίτη

συμβάλλει στη προστασία της περιοχής τις περιόδους έντονης βροχόπτωσης. Τα υλικά αυτά φθάνουν στο τελικό προορισμό ακολουθώντας μία διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, το νερό που ρέει επιφανειακά προκαλεί διάβρωση του εδάφους και χαλάρωση της συνοχής των κόκκων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά γαιώδη υλικών προς τα κατάντη. Η ποσότητα και το μέγεθος των μεταφερόμενων υλικών καθορίζεται από την ορμή του νερού, η οποία εξαρτάται από τη κλίση του εδάφους. Αυτό συμβαίνει διότι, όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του νερού και κατά συνέπεια και η διαβρωτική δύναμή του (ευθέως ανάλογα μεγέθη). Τα υλικά που μεταφέρονται μέσω του νερού προς τα κατάντη, στη διαδρομή υπόκεινται σε αλλοιώσεις. Πιο συγκεκριμένα οι παρασυρόμενοι όγκοι συντρίβονται κατά τη διαδρομή τους και τέλος φθάνουν στην πεδιάδα σε ένα μεγάλο ποσοστό ως άμμος. Επομένως γίνεται κατανοητό ότι, όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος μεταφοράς τόσο λεπτότερα γίνονται.

Το ειδικό βάρος γ ($\gamma=w/v$, όπου w το βάρος και v ο όγκος), των στερεών υλικών είναι πρωτεύουσας σημασίας και επηρεάζει τη <<συρτική>> ικανότητα του ρεύματος. Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερο είναι το ειδικό βάρος γ του υλικού τόσο μεγαλύτερη <<συρτική>> ταχύτητα χρειάζεται για να μετακινηθεί. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ειδικό βάρος ενός υλικού τόσο πιο δύσκολα παρασύρεται σε σύγκριση με άλλο υλικό που έχει την ίδια μορφή τον ίδιο όγκο και μικρότερο ειδικό βάρος. Επομένως, το ειδικό βάρος του εκάστοτε υλικού καθορίζει, τον όγκο που θα μεταφερθεί μαζί με το νερό.

Η μορφή και η θέση που βρίσκεται μια πέτρα μέσα στη κοίτη, καθορίζει τη μετακίνηση της. Οι πέτρες που είναι στρωμένες με τη μικρή τους διάσταση κατά μήκος του άξονα του ρεύματος, μετακινούνται ευκολότερα από εκείνες που βρίσκονται με τη μεγαλύτερή τους επιφάνεια κατά μήκος του άξονα. Η ικανότητα του νερού για μεταφορά φερτών υλικών εξαρτάται από το βαθμό κορεσμού του σε φερτά. Η ταχύτητα του ρεύματος μειώνεται με την αύξηση των στερεών υλικών. Το αποτέλεσμα είναι ότι, όταν αυξάνονται οι ποσότητες των μεταφερόμενων υλικών, επιβραδύνεται η πορεία της μικτής μάζας (στερεή και υγρή παροχή) και έτσι το βάρος των σωμάτων που μπορούν να μετακινηθούν μικραίνει.

Στη περίπτωση που δεν μπορεί να γίνει πρόσθεση νέων υλικών, μπορεί να συμβεί ανταλλαγή των βαρύτερων ή μεγαλύτερων υλικών με ελαφρότερα ή μικρότερα. Έτσι, όταν ένα ρεύμα, που είναι φορτωμένο με υλικά ενός ορισμένου όγκου και βάρους βρεθεί σε κοίτη που είναι στρωμένη με λεπτόκοκκα και ελαφρά υλικά, τότε συμβαίνει μια ανταλλαγή υλικών, δηλαδή τα μεταφερόμενα βαριά υλικά κατακάθονται και αποσπώνται τα ελαφρά και λεπτά. Το φαινόμενο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τη συνεχή διαβάθμιση των φερτών. Αυτός είναι ο λόγος που στις εκβολές του το ρεύμα μεταφέρει μόνο λεπτή άμμο.

Τα υλικά που δεν μπορούν πια να αιωρούνται στο νερό, πέφτουν στον πυθμένα, οπότε αρχίζουν να κυλούν. Η μετάβαση αυτή από την αιώρηση στην κύλιση εναλλάσσεται από τη μία κατάσταση στην άλλη εξαρτώμενη από την ταχύτητα και τον κορεσμό του ρεύματος σε φερτά.

3.2.3 Διαβρώσεις

Η μεταβολή της κλίσης ενός ρεύματος ή ο περιορισμός του πλάτους της κοίτης με την κατασκευή προστατευτικών έργων, έχουν ως αποτέλεσμα το ρεύμα να προκαλέσει διάβρωση στα πρανή ή στον πυθμένα. Είναι δεδομένο ότι: $Q=E1 \times U1=E2 \times U2$ (εξίσωση συνέχειας)

όπου: $E1$ η διατομή πριν το έργο

$E2$ η διατομή μετά το έργο

$U1$ η ταχύτητα πριν και

$U2$ η ταχύτητα μετά

Έτσι έχουμε $E1/E2=U2/U1$, που σημαίνει πως όταν περιορίζεται η διατομή, δηλαδή $E2 < E1$ αυξάνεται η ταχύτητα $U2 > U1$ (αντιστρόφως ανάλογα μεγέθη). Η αύξηση της ταχύτητας προκαλεί μετά από ένα όριο (2,00 m/sec), τις διαβρώσεις στα πρανή ή αν υπάρχουν προστατευτικά έργα στις όχθες, τις διαβρώσεις στον πυθμένα.

Ενδιαφέροντα φαινόμενα συμβαίνουν σε περιπτώσεις συμβολής ρευμάτων. Η διαφορά κορεσμού σε δύο ρεύματα που συμβάλλουν, δημιουργεί είτε απόθεση και υπερύψωση είτε διάβρωση και εκβάθυνση του πυθμένα. Πάντως η προσθήκη της παροχής του παραπόταμου σε κάθε περίπτωση, προκαλεί μεταβολή στη μηκοτομή του πυθμένα.

3.3 Μορφολογία των ποταμών

Οι ποταμοί είναι ρεύματα ήρεμα, με συνεχή ροή και σταθερή σχετικά παροχή (με αριθμό Froude < 1 , υποκρίσιμη ροή). Σε αντίθεση με τους χειμάρρους δεν παρουσιάζουν βίαια φαινόμενα, γιατί η βασική τροφοδότησή τους γίνεται από πηγείο νερό. Η βροχόπτωση επιφέρει απλώς αύξηση της παροχής σε μικρό βαθμό. Η παροχή των ποταμών είναι σταθερή με ελαφρές μόνο διακυμάνσεις, οι ταχύτητες

ροής είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες των χειμάρρων και τα φερτά υλικά περιορισμένα σε όγκο και ποσοστό. Η Κοίτη των ποταμών ακολουθεί μαιανδρική διαδρομή η οποία προκαλεί υποσκαφή και διάβρωση στις όχθες. Το ρεύμα πέφτοντας στην όχθη δημιουργεί κοιλότητα που αυξάνεται με τη συνεχή μετωπική κρούση του νερού. Το ρεύμα μετά τη πρόσκρουσή του ανακλάται στην απέναντι όχθη δημιουργώντας κοίλωμα και έτσι συνεχίζει τη κίνησή του. Η παροχή ενός ποταμού μπορεί να είναι βασική ή πηγαία και επιφανειακή παροχή των βροχών.

3.4 Αντιπλημμυρικά έργα

3.4.1 Γενικά

Πριν μιλήσουμε για την αντιπλημμυρική προστασία καλό θα ήταν να δώσουμε τους ορισμούς της πλημμύρας και των αντιπλημμυρικών έργων. **Πλημμύρα** είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η κοίτη ενός ποταμού δεν επαρκεί για την ανεξέλεγκτη εξάπλωση του νερού στις παρακείμενες περιοχές με καταστρεπτικές συνέπειες. Οι καταστροφές αυξάνονται ακόμη περισσότερο από το γεγονός ότι τα πλημμυρικά νερά, λόγω των μεγάλων ταχυτήτων και αντίστοιχα της μεγάλης συρτικής τους δύναμης, μεταφέρουν μεγάλους όγκους φερτών υλών. **Αντιπλημμυρικά έργα** είναι τα έργα εκείνα που έχουν σκοπό την όσο το δυνατόν καλύτερη προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντός του από τις δυσμενείς συνέπειες του φαινομένου της πλημμύρας. Τα μέτρα στις περιοχές που είναι εκτεθειμένες στο κίνδυνο των πλημμυρών, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, αποσκοπούν στη μείωση των ζημιών και όχι την απόλυτη προστασία από αυτές διότι το οικονομικό κόστος θα ήταν τεράστιο και εκτός αυτού τα απαιτούμενα έργα, όπως τεράστια αναχώματα και τοιχία θα δημιουργούσαν περιβαλλοντικά προβλήματα. Για το λόγο αυτό διεθνώς χρησιμοποιείται η έκφραση «μετρίαση πλημμυρών»(flood mitigation) και όχι η «προστασία από τις πλημμύρες» (flood prevention).

3.4.2 Μείωση της παροχής αιχμής της πλημμύρας

Η μείωση της αιχμής της πλημμύρας μπορεί να επιτευχθεί με τους ακόλουθες ενέργειες:

α) Προστασία της ορεινής ζώνης της λεκάνης απορροής από τη διάβρωση

Η προστασία της ορεινής ζώνης από τη διάβρωση είναι η σημαντικότερη και απαραίτητη επέμβαση σε κάθε υδατόρρευμα ώστε να μειώνεται η αιχμή του

πλημμυρικού κύματος που δημιουργείται ύστερα από κάθε έντονη βροχόπτωση. Όπως ειπώθηκε παραπάνω, η διάβρωση του εδάφους χαλαρώνει τη συνοχή των κόκκων με συνέπεια την αύξηση των ταχυτήτων ροής, την ερημοποίηση της ορεινής ζώνης και τη μεταφορά φερτών υλών προς τα κατόντη με συνέπεια τη μείωση της διοχετευτικής ικανότητας του ποταμού. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες ενέργειες για τη προστασία της ορεινής ζώνης από τη διάβρωση

- **Δημιουργία αναβαθμών**

Οι αναβαθμοί κατασκευάζονται στην περιοχή της ορεινής ζώνης κατά μήκος της κοίτης των κύριων ρευμάτων με σκοπό τη μείωση της κλίσης με επακόλουθο τη μείωση της ταχύτητας (ευθέως ανάλογα μεγέθη) και της συρτικής δύναμης του ρεύματος.

- **Φυτοκάλυψη**

Η παρουσία της βλάστησης, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μειώνει τη ταχύτητα πρόσκρουσης των σταγόνων στο έδαφος με συνέπεια το περιορισμό της διάβρωσης. Επίσης, μειώνεται ο χρόνος συγκεντρώσεως της λεκάνης. Σύμφωνα με την ορθολογική μέθοδο η αιχμή της πλημμύρας είναι συνάρτηση της έντασης της βροχόπτωσης η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη διάρκεια βροχόπτωσης η οποία είναι ίση με το χρόνο βροχόπτωσης. Τέλος, η βλάστηση μειώνει το νερό που απορρέει (βλέπε 3.2.1 χαρακτηριστικά του χειμάρρου).

- **Κατάλληλη χρήση των καλλιεργήσιμων εδαφών**

Για χαμηλές κλίσεις, της τάξης του 2% και μικρότερες, η καλλιέργεια ενδύκνεται, ενώ για κλίσεις μεταξύ 2% και 25% η καλλιέργεια θεωρείται επικίνδυνη. Τέλος, για κλίσεις άνω του 25% τα εδάφη πρέπει να θεωρούνται ακατάλληλα για καλλιέργεια.

β) Με τη κατασκευή ταμιευτήρων ανασχέσεως ή αποθηκείσεως

- Οι **ταμιευτήρες ανασχέσεως** (check dams), σκοπεύουν στην προσωρινή μείωση της ταχύτητας του νερού και στην απόθεση των χονδρόκοκκων φερτών υλών. Δημιουργούνται από φράγματα από σκυρόδεμα που φέρουν άνοιγμα αρκετό για τη διέλευση του νερού στις χαμηλές παροχές και την άνοδο της στάθμης του νερού ανάντη του φράγματος στις πλημμυρικές παροχές.
- Οι **ταμιευτήρες αποθηκείσεως** νερού χρησιμοποιούνται συνήθως για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για υδρευτικούς, αρδευτικούς και βιομηχανικούς σκοπούς. Δημιουργούνται από φράγματα σκυροδέματος ή χωμάτινα φράγματα και στη λειτουργία τους προβλέπεται και η αντιπλημμυρική προστασία της κατόντη περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, η

μείωση της αιχμής της πλημμύρας που συμβαίνει κατά τη διόδευση του πλημμυρικού κύματος μέσω ταμειυτήρα αποτελεί τη προστασία που παρέχει στην περιοχή ο ταμειυτήρας αποθηκεύσεως.

γ) Με τη κατασκευή παραλλήλων προς τη κύρια κοίτη διόδων ανακούφισης πλημμυρών

Οι δίοδοι ανακούφισης (flood ways) είναι δεξαμενές αποθήκευσης νερού, παράλληλες προς το κύριο ρεύμα, φυσικές ή τεχνητές, στις οποίες διοχετεύονται πλημμυρικά νερά με σκοπό τη μείωση της αιχμής του πλημμυρικού κύματος. Ανάλογο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται και με ελεγχόμενη προσωρινή καταστροφή των πλευρικών αναχωμάτων σε κατάλληλα σημεία.

3.4.3 Αύξηση της διοχετευτικής ικανότητας της κοίτης

Η αύξηση της διοχετευτικής ικανότητας της κοίτης του ποταμού επιτυγχάνεται:

α) Με την **αύξηση της διατομής της κύριας κοίτης** με κατάλληλες εκσκαφές. Οι εκσκαφές αυτές επιφέρουν διαπλάτυνση και εκβάθυνση τη κύριας κοίτης του ποταμού ώστε να αυξηθεί η υγρή διατομή, επομένως να μεγαλώσει ο όγκος που μπορεί να παραλάβει.

β) Με τη δημιουργία πλημμυρικής κοίτης

Η πλημμυρική κοίτη δημιουργείται με τη κατασκευή αναχωμάτων. Στο πεδινό τμήμα των ποταμών όπου οι κλίσεις είναι μικρές (άρα και οι ταχύτητες είναι μικρές), η μέθοδος αυτή συνηθίζεται για την αύξηση της διατομής της κοίτης. Η απόσταση που δημιουργούνται τα αναχώματα είναι σημαντική σε σχέση με τη κύρια κοίτη. Συνήθως η περιοχή μεταξύ κύριας κοίτης και αναχώματος χρησιμοποιείται για καλλιέργειες, φυσικά μόνο σε περιόδους που δεν υφίσταται κίνδυνος πλημμύρας.

γ) Με την **αύξηση της ταχύτητας ροής** η οποία επιτυγχάνεται με τη μείωση του συντελεστή τραχύτητας ή την αύξηση της κλίσης του πυθμένα. Αυτό λαμβάνει χώρα με το καθαρισμό της κύριας κοίτης από τις φερτές ύλες, τη βλάστηση και τις τοπικές ανωμαλίες του εδάφους λόγω προσχώσεως και διαβρώσεων.

3.4.4 Σκοπός των έργων προστασίας

Τα έργα προστασίας αποσκοπούν στην πρόληψη και την αναστολή της επιταχυνόμενης διαβρώσεως στη λεκάνη απορροής καθώς και στην προστασία των πεδινών εκτάσεων από τις πλημμύρες. Όμως, τα έργα στην πεδινή κοίτη των ρευμάτων τις πιο πολλές φορές είναι ανίσχυρα να προστατεύσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα την περιοχή. Αυτό συμβαίνει γιατί τα φερτά υλικά μεταφερόμενα στη πεδιάδα τα αχρηστεύουν γρήγορα, προσχώνοντας τις δημιουργηθείσες κοίτες και μειώνοντας το ύψος της αντιπλημμυρικής προστασίας.

Για να φέρουν τα έργα τα απαιτούμενα αποτελέσματα πρέπει να αρχίζουν από τα ψηλότερα σημεία του ρεύματος (ορεινές κοίτες), διότι με αυτό το τρόπο προλαμβάνεται η μεταφορά φερτών υλών προς τα χαμηλότερα τμήματα στα οποία η συγκράτησή τους απαιτεί σοβαρότερα και δαπανηρότερα έργα. Η προστασία ορεινών ρευμάτων για να γίνει αποτελεσματική απαιτείται η κατασκευή εγκάρσιων έργων (αναβαθμών) τα οποία δημιουργούν με τη κατασκευή τους μία νέα, υπερυψωμένη περισσότερο ή λιγότερο κοίτη. Με τα έργα αυτά εκτός από την αποφυγή διαβρώσεως επιτυγχάνονται και μια σειρά άλλων πραγμάτων όπως :

- Μείωση της κλίσεως και του βάθους της κοίτης
- Μείωση της ταχύτητας και της συρτικής δυνάμεως
- Συγκράτηση των φερτών
- Εξασφάλιση της προσχώσεως της κοίτης
- Η σωστή με τη σκάφη απορροής τους κατεύθυνση της ροής

Η απόσταση των έργων μεταξύ τους και ο αριθμός τους καθορίζονται με βάση την υπολογιζόμενη κλίση και το ύψος κάθε έργου. Τα έργα αυτά διακρίνονται σε

- α) Εγκάρσια φράγματα
- β) Λίθινους αναβαθμούς
- γ) Ξύλινους αναβαθμούς
- δ) Ξύλινα πλέγματα

α) **Εγκάρσια φράγματα** : Αυτά θεμελιώνονται κάθετα στη ροή και τις περισσότερες

φορές κατασκευάζονται από σκυρόδεμα ή λιθοδομή.

β) Λίθινοι αναβαθμοί: Κατασκευάζονται σε μικρές κοίτες, όπου η παροχή είναι μικρή. Είναι χαμηλοί και κατασκευάζονται με ή χωρίς κονίαμα.

γ) Ξύλινοι αναβαθμοί: Κατασκευάζονται από κορμούς ξύλων με διάμετρο 20 cm. Ανάμεσα στους κορμούς αυτούς παρεμβάλλονται κορμοί κατά τη διεύθυνση της ροής και προσχώνονται για να σταθεροποιηθεί η κατασκευή. Η στέψη του τεχνικού έργου στρώνεται με πέτρες ενώ προς τα κατόπι κατασκευάζεται κοιτόστρωση με προστατευτικά τοιχία για να μην καταστρέφονται οι όχθες.

δ) Ξύλινα πλέγματα: Για τη κατασκευή τους ανοίγεται μικρό θεμέλιο στο οποίο υπάρχει μια σειρά από τρύπες για τη τοποθέτηση των πασσάλων. Ανάμεσα στους πασσάλους πλέκονται κλαδιά ιτιάς. Τα ξύλινα πλέγματα μπορεί να είναι από νεκρά ή ζωντανά κλαδιά. Όταν υπάρχει αρκετή υγρασία τα κλαδιά αναπτύσσονται. Τα έργα αυτά έχουν προσωρινό χαρακτήρα, χωρίς όμως να αποκλείεται η μονιμότητά τους.

3.4.5 Έργα διευθετήσεως χειμάρρων

Για να προστατευτούν οι όχθες ενός ρεύματος και να σταθεροποιηθούν τα πρανή και ο πυθμένας μιας κοίτης, πρέπει να γίνουν ορισμένα έργα. Τα έργα αυτά διακρίνονται σε:

- α) Παράλληλα
- β) Εγκάρσια

Τα έργα που κατασκευάζονται κατά μήκος του άξονα του ρεύματος και σκοπεύουν στη προστασία, στην ενίσχυση και στη σταθεροποίηση των όχθων χαρακτηρίζονται ως παράλληλα. Το έργο τις περισσότερες φορές αποτελείται από ένα προστατευτικό ανάχωμα, όταν δεν υπάρχει φυσική ψηλή όχθη, και από μια επένδυση της όχθης με υλικά που είναι αρκετά ανθεκτικά στη συνεχή επίδραση του νερού. Το βάθος θεμελιώσεως πρέπει να είναι τουλάχιστον στην ίδια ή βαθύτερη στάθμη από τη βαθιά κοίτη του ρεύματος για να μην υπάρχει κίνδυνος υποσκαφής τους. Τέλος, θα πρέπει να δίνεται μεγάλη σημασία στο ύψος των έργων διότι, η ανώτατη στάθμη πλημμύρας δεν θα πρέπει να το υπερκαλύπτει.

Τα πλημμυρικά έργα κατασκευάζονται από διάφορα υλικά και κατατάσσονται ως εξής:

- **Μονολιθικά έργα:** Χαρακτηρίζονται εκείνα τα έργα που δεν μπορούν να

ακολουθήσουν τις παραμορφώσεις της επιφάνειας στην οποία εδράζονται. Αξίζει να αναφερθεί ότι όταν συμβεί μια παραμόρφωση ή υποσκαφή του εδάφους, αυτή όχι μόνο δεν μπορεί να καλυφθεί και να προστατευτεί από το μονολιθικό έργο, αλλά απεναντίας γίνεται αιτία υποσκαφής και τελικά καταστροφής του όλου προστατευτικού έργου. Οι τοίχοι προστασίας κατασκευάζονται όταν το έδαφος είναι συνεκτικό και έχει την απαιτούμενη αντοχή. Ανά αποστάσεις διακόπτονται από αρμούς διαστολής. Η κατασκευή τους μπορεί να είναι από λιθοδομή ή από σκυρόδεμα.¹

- **Παραμορφούμενα έργα:** Είναι τα έργα που σε αντίθεση με τα μονολιθικά μπορούν να παραλάβουν τις παραμορφώσεις της επιφάνειας στην οποία εδράζονται. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη συνεχή κάλυψη του εδάφους από το προστατευτικό έργο και την αποφυγή της παραπέρα διαβρώσεως². Ειδικότερα τέτοιου είδους έργα είναι:
 - i. **Συρματόπλεκτα κιβώτια:** Τα προστατευτικά έργα από συρματόπλεκτα κιβώτια αποτελούνται από 2 τμήματα, το θεμέλιο και το κύριο σώμα. Το συρματόπλεγμα που χρησιμοποιείται έχει βρόχους εξαγωνικού σχήματος. Τα συρματόπλεκτα κιβώτια γεμίζονται με πέτρες. Οι πέτρες πρέπει να είναι μεγαλύτερες από το βρόχο του συρματοπλέγματος.³
 - ii. **Συρματοκύλινδροι:** Αυτοί έχουν συνήθως διάμετρο $D=0,30-0,50m$ και μήκος $L=2-3m$. Τοποθετούνται επάνω στο πρηνές του αναχώματος που θέλουμε να προστατεύσουμε και ράβονται μεταξύ τους κατά μία γενέτειρα. Το γέμισμα του κυλίνδρου με πέτρες γίνεται από την επάνω βάση, που για αυτόν ακριβώς το λόγο παραμένει ανοικτή. Όταν το γέμισμα τελειώσει η επάνω βάση κλείνεται και ράβεται με τη παράπλευρη επιφάνεια.⁴
 - iii. **Τσιμεντοπλάκες:** Οι πλάκες από σκυρόδεμα έχουν διάφορες διαστάσεις και μεταξύ τους μικρά ή μεγάλα κενά. Στις άκρες τους έχουν εγκοπές που συναρμολογούνται μεταξύ τους. Τοποθετούνται επάνω στο πρηνές του αναχώματος και συνδέονται με σιδερένιους συνδέσμους οι οποίοι περνούν από τις εγκοπές τους. Έτσι σχηματίζεται μία επένδυση εύκαμπτη που επιτρέπει μέσα στα κενά των πλακών την ανάπτυξη βλαστήσεως. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η αποφυγή της διαβρώσεως και η ενίσχυση

¹ Πηγή: Υδραυλικά Έργα, Τσόγκας

² Πηγή: Υδραυλικά Έργα, Τσόγκας

³ Πηγή: Υδραυλικά Έργα Τσόγκας

⁴ Πηγή: Υδραυλικά Έργα Τσόγκας

του αναχώματος.⁵

- **Ειδικές κατασκευές:** Είναι οι μεταλλικές πασσαλοσανίδες και οι ξύλινοι πάσσαλοι
 1. **Πασσαλοσανίδες μεταλλικές:** Η τοποθέτηση των πασσαλοσανίδων στο έδαφος γίνεται με τη βοήθεια καταλλήλων μηχανημάτων, που ονομάζονται πασσαλομπήχτες. Η κατασκευή τοίχου με αυτό τον τρόπο επιφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, εξασφαλίζει μονιμότητα στις όχθες, δεν εμφανίζει κινδύνους υποσκαφής και διαβρώσεως, αφού το βάθος στο οποίο φθάνει η πασσαλοσανίδα είναι πολύ μεγαλύτερο από το βάθος της θεμελιώσεως οποιουδήποτε άλλου έργου. Όμως χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε το τμήμα επάνω από την επιφάνεια του πυθμένα να μην είναι μεγάλο. Έτσι δεν θα υπάρχει κίνδυνος ανατροπής από την ώθηση του εδάφους.⁶
 2. **Ξύλινοι πάσσαλοι:** Εμβυθίζονται σε κοίλα τμήματα της κοίτης και προκαλούν μείωση της ταχύτητας του νερού που περνάει το τοίχος τους. Έτσι το ρεύμα εκφορτώνει πίσω από τους πασσάλους τα φερτά υλικά και σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα επιχωματώνεται ο χώρος που περιβάλλουν οι πάσσαλοι.⁷

Η άλλη μεγάλη κατηγορία έργων διευθετήσεως χειμάρρων είναι τα εγκάρσια. Τα έργα αυτά αντίθετα με τα παράλληλα κατασκευάζονται κάθετα ή σχεδόν κάθετα στη ροή του ρεύματος και διακρίνονται ως εξής:

- **Πρόβολοι:** Σκοπός της κατασκευής τους είναι να απομακρύνουν τη ροή από την όχθη, για να αποφευχθεί η διάβρωσή της. Η μείωση της ταχύτητας του νερού στα μεταξύ τους διαστήματα προκαλεί την απόθεση φερτών και τη δημιουργία με τη πάροδο του χρόνου, μιας νέας όχθης κατά μήκος της κεφαλής τους. Η διεύθυνση του προβόλου, σχετικά με τον άξονα του ρεύματος, μπορεί να είναι κάθετη ή με μία μικρή κλίση προς τα ανάντη ή τα κατόντη. Οι πρόβολοι κατασκευάζονται από συρματοπλεκτα κιβώτια και τοποθετούνται το ένα επάνω στο άλλο. Ο πρόβολος αποτελείται από τα εξής μέρη: τη **βάση**, που αποτελεί το τμήμα που συνδέεται με το παράλληλο έργο, το **κύριο σώμα**, που αποτελείται από ένα πρίσμα με διατομή που εκλέγεται ανάλογα με τη διαμόρφωση της κοίτης και τη δίαιτα του ρεύματος και με στέψη που μπορεί να είναι οριζόντια, κεκλιμένη ή κλιμακωτή, και τέλος τη

⁵ Πηγή: Υδραυλικά Έργα Τσόγκας

⁶ Πηγή: Υδραυλικά Έργα Τσόγκας

⁷ Πηγή: Υδραυλικά Έργα Τσόγκας

κεφαλή, που είναι το ελεύθερο άκρο του κύριου προβόλου.

- **Αναβαθμοί:** Κατασκευάζονται κάθετα στη διεύθυνση της ροής και σκοπεύουν στη συγκράτηση των φερτών και στη μείωση της κλίσεως. Τα υλικά κατασκευής μπορεί να είναι από συρματοπλεκτα κιβώτια, λιθοδομή ή σκυρόδεμα. Από άποψη μορφής κατασκευάζονται θολωτοί ή επίπεδοι. Η επάνω επιφάνειά τους διαμορφώνεται με μια σκάφη σε σχήμα τριγωνικό, ορθογωνικό, τραπεζοειδές ή κυκλικό. Η σκάφη μπορεί να βρίσκεται στον άξονα συμμετρίας του έργου ή έκκεντρα, ανάλογα με τους σκοπούς που θέλει να εξυπηρετήσει. Επειδή η συσσώρευση φερτών και η ύπαρξη νερού προκαλεί πολλές φορές προβλήματα στη σταθερότητα και ισορροπία των αναβαθμών, κατά την κατασκευή αφήνονται ανοίγματα στο σώμα του αναβάθρου που λειτουργούν ως στραγγιστήρια και μειώνουν ή εκμηδενίζουν την υδροστατική πίεση. Οι διαστάσεις τους εξαρτώνται από το μέγεθος του αναβαθμού. Συνήθως είναι ορθογώνια διαστάσεων 10x20, 20x30 ή 20x40.

3.4.6 Έργα διευθέσεως ποταμών

3.4.6.1 Βελτίωση συνθηκών ροής

Για να επιτευχθεί η βελτίωση των συνθηκών ροής απαιτείται μια σειρά ενεργειών:

A) Καθαρισμός της κοίτης

Στις πεδινές κοίτες των ποταμών εμφανίζονται νησίδες που προέρχονται από αποθέσεις στην κοίτη. Με την πάροδο του χρόνου αναπτύσσεται βλάστηση από θάμνους ή δένδρα. Οι νησίδες εκτρέπουν τη ροή προς τις όχθες προκαλώντας έτσι τη διάβρωσή τους. Ο καθαρισμός της κοίτης και η αφαίρεση των νησίδων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απορροής σε ποσοστό που φτάνει το 50%, γεγονός που καθιστά το καθαρισμό της κοίτης ιδιαίτερα σημαντικό.

B) Η αποκοπή των μαιανδρισμών διευκολύνει και επιταχύνει τη ροή

Πρέπει να γίνεται ύστερα από προσεκτική μελέτη, γιατί από τη σύντμηση του μήκους αυξάνεται η κατά μήκος κλίση, και επομένως η ταχύτητα και η διαβρωτική ικανότητα του νερού. Όταν η διάβρωση στις όχθες προχωρεί και οι μαιανδρισμοί συνεχώς μεγαλώνουν, με αποτέλεσμα ο λαιμός του μαιάνδρου

να είναι πολύ λεπτός, η σύντμηση γίνεται ακριβώς στα σημεία αυτά και αποφεύγονται μεγάλες εκσκαφές.

Γ) Δημιουργία διπλής τραπεζοειδούς διατομής

Σε ποταμούς με μικρή κατά μήκος κλίση όπου η ταχύτητα ροής είναι μικρή, η εφαρμογή διπλής τραπεζοειδούς διατομής μπορεί να επιφέρει αύξηση της παροχетеυτικότητας.

3.4.6.2 Συγκράτηση πλημμυρικών παροχών σε τεχνητές λίμνες

Τα μεγάλα φράγματα συγκρατούν τεράστιες ποσότητες νερού οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για άρδευση και ύδρευση. Από οικονομικής πλευράς αντεδεικνύεται η κατασκευή ενός φράγματος με αποκλειστικό σκοπό την αποθήκευση της πλημμυρικής παροχής, διότι το όφελος από τη προστασία των καλλιεργούμενων εκτάσεων τις περισσότερες φορές είναι μικρότερο από τις δαπάνες συντηρήσεως και αποσβέσεως των αρχικών εξόδων κατασκευής. Για την επιτυχή αντιμετώπιση των πλημμυρικών παροχών η λίμνη ενός μεγάλου φράγματος πολλαπλής χρήσεως πρέπει να έχει ελεύθερο χώρο, ικανό να δεχθεί και να αποθηκεύσει την πλημμυρική παροχή. Η παροχή π.χ. πλημμύρων που δημιουργεί το λιώσιμο των χιονιών από τις ανοιξιάτικες βροχές, αποθηκεύεται στη λίμνη, η οποία πρέπει να διατηρεί ελεύθερο χώρο. Αν όμως οι βροχές δεν πέσουν, η λίμνη θα μείνει με χαμηλή στάθμη και μικρή αποθηκευμένη ποσότητα το καλοκαίρι που οι απαιτήσεις σε νερό είναι μεγάλες. Συνήθως στις λίμνες των μεγάλων φραγμάτων δεν υπάρχει αυτό το πρόβλημα, γιατί η έκταση της λίμνης είναι πολύ μεγάλη και η πλημμυρική παροχή δεν επηρεάζει το ύψος της.

Εκτός από τα μεγάλα φράγματα και τις τεχνητές λίμνες μπορεί να κατασκευαστούν μικρότερα έργα τα οποία αναρρυθμίζουν το νερό των πλημμυρών και γι' αυτό λέγονται συνήθως αναρρυθμιστικές λίμνες ή αναρρυθμιστικές δεξαμενές. Η απαιτούμενη χωρητικότητα της λίμνης και το αντίστοιχο ύψος του φράγματος καθορίζονται με βάση τη μέγιστη επιτρεπόμενη παροχή που μπορεί χωρίς κίνδυνο πλημμυρών να δεχθεί η κοίτη κατάντη. Για να εκπληρώσουν το σκοπό τους οι αναρρυθμιστικές λίμνες είναι αναγκαία η εκκένωση τους μετά από κάθε πλημμύρα προκειμένου να έχουν το διαθέσιμο χώρο για τη συγκράτηση της επόμενης πλημμύρας.

3.4.6.3 Αναχώματα

Πρόκειται για έναν σωρό από χώματα που συσσωρεύονται κατά μήκος της κοίτης ενός ποταμού. Ο σωρός αυτός εμποδίζει τη πλημμυρική παροχή να εξαπλώνεται στη πεδιάδα και να προκαλεί ζημιές. Ανάλογα με τη συμπίεσή τους τα αναχώματα διακρίνονται σε:

- α) **Απλά:** Προκύπτουν από μεγάλη συσσώρευση χωμάτων απαλλαγμένων από κορμούς δένδρων, μεγάλες κροκάλες και άλλα ακατάλληλα υλικά.
- β) **Συμπιεσμένα:** Κατασκευάζονται κατά στρώσεις (πάχος 30cm) με χώματα κατάλληλα, το οποία συμπιέζονται με μηχανήματα.
- γ) **Συμπυκνωμένα:** Κατασκευάζονται όπως τα συμπιεσμένα με τη προσθήκη ότι η συμπύκνωσή τους ελέγχεται με τις προβλεπόμενες από τις προδιαγραφές μεθόδους (proctor).

Το ύψος των αναχωμάτων εξαρτάται από τη μεταξύ τους απόσταση και από την αναμενόμενη αιχμή πλημμύρας. Η ανώτατη στάθμη πλημμύρας πρέπει να βρίσκεται κατά 1m τουλάχιστον κάτω από τη στέψη των αναχωμάτων, για να μην υπάρχουν πιθανότητες υπερχειλίσεώς τους. Η απόσταση ανάμεσα στα αναχώματα πρέπει να μπορεί να παραλάβει τη μέγιστη παροχή και οπωσδήποτε να περιβάλλει τη βαθιά κοίτη ποταμού. Η χάραξή τους γίνεται ευθύγραμμη και σε ίση απόσταση από τη βαθιά κοίτη. Όταν η βαθιά κοίτη ακολουθεί μαιανδροειδή διαδρομή, τότε τα αναχώματα πρέπει να περιβάλλουν τους μαιανδρισμούς χωρίς να πλησιάζουν πολύ στα κοίλα. Η χάραξη οριζοντιογραφικά πρέπει να γίνεται με μεγάλες ακτίνες καμπυλότητας. Η στέψη τους κατασκευάζεται με πλάτος τουλάχιστον 4m ανεξάρτητα από τα υδραυλικά κριτήρια, για να κυκλοφορούν από τα οχήματα. Η κλίση των πρανών αποτελεί βασικό παράγοντα για την ασφάλειά τους και εξαρτάται από την ποιότητα των υλικών κατασκευής και το ύψος του αναχώματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις αναχωμάτων η κλίση της εξωτερικής πλευράς γίνεται 1:2 και της εσωτερικής 1:2,5. Όταν τα αναχώματα πρέπει να γίνουν ψηλά, τότε η εσωτερική πλευρά κατασκευάζεται κατά βαθμίδες, με κλίση στην επιφάνεια της βαθμίδας 5-10% για τη διευκόλυνση της απορροής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΡΟΗ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ

4.1 Εισαγωγή

Ο ρόλος της βλάστησης, όπως ειπώθηκε και προηγουμένως, είναι αναγνωρισμένος και ζωτικής σημασίας στην παρεμπόδιση της διάβρωσης και στην προστασία της κοίτης και των οχθών διαμέσου της συνδυαστικής δράσης των ριζών. Όμως υπάρχουν γνωστοί κίνδυνοι πλημμύρας, οι οποίοι προκαλούνται από πρόσθετη τραχύτητα λόγω υπερβολικής ανάπτυξης της βλάστησης, από τη μείωση της παροχτευτικότητας της κοίτης λόγω του όγκου των φυτών, από τη πιθανότητα αύξησης της τυρβώδους ροής γύρω από τα δέντρα κατά τις πλημμύρες, από το κίνδυνο ξαφνικής κατάρρευσης της όχθης λόγω πτώσης κάποιων δέντρων και από τη πιθανότητα συσσώρευσης κορμών σε θέσεις γεφυρών. Λόγω της σημαντικής επίδρασης της βλάστησης πρέπει αυτή να λαμβάνεται υπόψη κατά τους υδραυλικούς υπολογισμούς είτε για την ανάλυση της υπάρχουσας κοίτης είτε για το σχεδιασμό νέας κοίτης.

4.2 Επίδραση στη ταχύτητα ροής

4.2.1 Μέσος ρους

Η ύπαρξη ή όχι φυτών σε αυτή τη ζώνη εξαρτάται από τη ταχύτητα ροής και τις συνθήκες του πυθμένα της κοίτης. Σε υδατορεύματα με ασταθείς πυθμένες δεν υπάρχει βλάστηση. Εφόσον ο πυθμένας είναι σταθερός και οι ταχύτητες ροής υψηλές είναι δυνατό να υπάρχουν μόνο λειχήνες, βρύα και επιστρώσεις από φύκη, τα οποία δεν έχουν ουσιαστική επίδραση στη ροή. Σε μέσες ταχύτητες υπάρχουν ριζωμένα και βυθισμένα μέσα στο νερό φυτά με αεροδυναμικό σχήμα. Αν η ταχύτητα της ροής είναι χαμηλή είναι δυνατό να επικρατούν πλατύφυλλα και είδη με επιπλέοντα φύλλα. Στις μέσες και χαμηλές ταχύτητες η παρουσία της βλάστησης μπορεί να προκαλέσει σημαντική καθυστέρηση στη ροή.

4.2.2 Άκρες του πυθμένα

Αν ο πυθμένας είναι ασταθής ή αν η περιοχή είναι έντονα σκιασμένη από τα φυτά της υπερκείμενης όχθης δεν μπορούν να αναπτυχθούν φυτά. Σε αυτή την αβαθή ζώνη απαντώνται περισσότερο ευθυτενή και άκαμπτα είδη, όπως νερόκρινα και καλάμια.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παγιδευείται ιλύ και να σχηματίζονται φραγμοί που καταλαμβάνουν μεγάλο τμήμα της κύριας κοίτης. Η παρουσία αυτού του είδους της βλάστησης στα αβαθή, έχει ως αποτέλεσμα η ταχύτητα ροής διαμέσου αυτής να είναι συνήθως μικρή και συχνά ασήμαντη για τη συνολική εικόνα.

4.2.3 Παρόχθιο / πλημμυρικό ανάχωμα

Τα φυτά που αναπτύσσονται σε αυτή τη ζώνη αποτελούν έναν πολύ σημαντικό προστατευτικό παράγοντα και μια πρώτη άμυνα εναντίον των καταστροφικών διεργασιών της διάβρωσης. Το πλήθος των υπαρχόντων ειδών εξαρτάται από μια μεγάλη ποικιλία παραγόντων, μερικών φυσικών, άλλων όχι. Οι φυσικές επιδράσεις περιλαμβάνουν το βαθμό σκίασης, την κατανομή της όχθης, το καθεστώς πλημμύρας του ποταμού και την ανύψωση του υδροφόρου ορίζοντα. Οι πρακτικές των χρήσεων γης αποτελούν σημαντικό παράγοντα, ειδικά όταν η όχθη χρησιμοποιείται για βόσκηση, καθώς και όταν καλλιεργείται η γειτονική χέρσος. Αν οι όχθες είναι πολύ απότομες ή πυκνά σκιασμένες δεν συναντώνται φυτά. Αν οι κλίσεις των οχθών είναι πιο ήπιες μπορεί να υπάρχει μεγάλη ποικιλία ειδών, τα οποία μπορεί να παρουσιάζουν διαβάθμιση, που συνδέεται με αλλαγές στην περιεχόμενη υγρασία του εδάφους και στο μήκος της κατάκλυσης από τις πλημμυρές.

Τα κύρια είδη του εδαφικού καλύμματος σε αυτή τη ζώνη είναι αγρωστώδη. Δέντρα, θάμνοι και συστάσεις δενδρυλλίων είναι διάφορες άλλες φυσικές μορφές βλάστησης που μπορεί να παρατηρήσει κανείς σε αυτή τη ζώνη. Αν τα δέντρα ή οι θάμνοι αποτελούν μεμονωμένα εμπόδια και καταλαμβάνουν μικρό τμήμα του πλημμυρικού αναχώματος, αυτά μπορεί να μην λαμβάνονται υπόψη για την επίδρασή τους στην αντίσταση. Από την άλλη πλευρά, αν υπάρχει μεγάλος αριθμός τέτοιων χαρακτηριστικών πρέπει να γίνει κάποια προσπάθεια για να εκτιμηθεί η επίδρασή τους στη μείωση της ταχύτητας της ροής.

4.3 Μέθοδοι για τον υπολογισμό της αντίστασης της ροής λόγω βλάστησης

Το 1967 Οι Bruk και Volf ολοκλήρωσαν την έρευνά τους, η οποία περιλαμβάνει μέθοδο για το προσδιορισμό των συντελεστών τραχύτητας για τμήματα διατομών της κοίτης με διαφορετικό κάλυμμα βλάστησης. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος απαιτεί να είναι γνωστά η γεωμετρία της κοίτης, η συνολική παροχή και η κατά μήκος κλίση. Το υπό μελέτη τμήμα χωρίζεται σε ικανό αριθμό διατομών και κάθε διατομή διαιρείται

σε υποδιατομές, καθεμιά από τις οποίες είναι καλυμμένη με διαφορετικούς τύπους βλάστησης. Αν υποθέσουμε ότι η συνολική παροχή είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους παροχών των υποδιατομών, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση του Manning, για να συντεθεί μια εξίσωση στην οποία οι μόνοι άγνωστοι είναι οι συντελεστές τραχύτητας. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ληφθούν γι' αυτούς τους άγνωστους συντελεστές τραχύτητας. Οι Bruk και Volf εφάρμοσαν τη μέθοδό τους σε έναν παραπόταμο του Δούναβη. Οι υπολογισμοί τους κατέληξαν στις ακόλουθες τιμές για το συντελεστή τραχύτητας Manning:

- Κύρια κοίτη : 0.035
- Πεδίο κατάκλυσης με αγρωστώδη : 0.073
- Πεδίο κατάκλυσης με φυτεμένα δέντρα : 0.094
- Πεδίο κατάκλυσης με φυσικά δέντρα : 0.104

4.3.1 Υδρόβια βλάστηση

Το ινστιτούτο υδραυλικών ερευνών του Ηνωμένου Βασιλείου πραγματοποίησε πρόσφατα πειράματα σε συνεργασία με το υπουργείο Γεωργίας, Αλιείας και τροφίμων το 1985. Το πρόγραμμα αυτό έλαβε αρχικά τη μορφή παρατηρήσεων πεδίου. Η ανάλυση των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν είχε ως αποτέλεσμα τη σύνθεση μιας νέας εμπειρικής σχέσης για τον υπολογισμό του συντελεστή Manning σε ένα υδατόρρευμα με υδρόβια αγριόχορτα. Στη συνέχεια, η σχέση αυτή ελέγχθηκε με άλλα δεδομένα.

Η εμπειρική σχέση βρίσκεται ανάμεσα στο συντελεστή Manning και το λόγο K/F , όπου K είναι το ποσοστό της επιφανειακής έκτασης που καλύπτουν τα αγριόχορτα και F είναι ο αριθμός του Froude για τη ροή, ο οποίος υπολογίζεται με τη χρήση του ποσοστού της επιφανειακής έκτασης σαν να ήταν καθαρή από αγριόχορτα. Η σχέση αυτή είναι γραμμική και τη μορφή :

$$n = n_c + \lambda * K/F$$

όπου, n_c είναι ο συντελεστής Manning για κοίτη καθαρή από αγριόχορτα και λ μια σταθερά. Η τιμή του λ παρουσιάζει διακύμανση από υδατόρρευμα σε υδατόρρευμα, αλλά είναι συνήθως της τάξης του 0.02

Αλγόριθμος υπολογισμού της αντίστασης της ροής λόγω υδρόβιας βλάστησης

1. Προσδιορίζεται η ταχύτητα ροής με την υπόθεση ότι δεν υπάρχει ανάπτυξη αγριόχορτων (V)

2. Υπολογίζεται το μέσο βάθος d =υγρή διατομή / πλάτος υγρής διατομής στην επιφάνεια. Στην περίπτωση ορθογωνικών ή μεγάλου εύρους κοιτών το d μπορεί να θεωρηθεί ίσο με το βάθος ροής.
3. Προσδιορίζεται ο αριθμός Froude $F=V/\sqrt{G \times d}$, με απουσία αγριόχορτων και όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας ($=9.81 \text{ m/s}^2$)
4. Εκτιμάται ο συντελεστής Manning (n_c) για τη κοίτη- χωρίς να ληφθεί υπόψη η επίδραση της βλάστησης
5. Εκτιμάται το ποσοστό της επιφανειακής έκτασης που καλύπτουν τα αγριόχορτα (K) είτε από παρατήρηση είτε από σύγκριση με άλλες κοίτες
6. Υπολογίζεται ο συντελεστής Manning (n), οποίος λαμβάνει υπόψη την αντίσταση που οφείλεται τόσο στον πυθμένα και στα πρανή όσο και στην ανάπτυξη της βλάστησης, χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$n=n_c+0.02 \cdot K/F$$

4.3.2 Αγρωστώδες κάλυμμα

Το κύριο στοιχείο είναι η σχέση ανάμεσα στον συντελεστή Manning και το γινόμενο $V \cdot R$, όπου V είναι η μέση ταχύτητα ροής και R είναι η υδραυλική ακτίνα. Η σχέση αναπαριστάται ως μια οικογένεια καμπυλών, όπου κάθε καμπύλη καθορίζεται από μια άλλη κύρια μεταβλητή, που είναι τα φυσικά χαρακτηριστικά της βλάστησης. Το κύριο φυσικό χαρακτηριστικό θεωρείται ότι είναι το ύψος, αλλά και άλλοι παράγοντες, όπως η πυκνότητα και η ομοιομορφία, είναι σημαντικοί και μπορούν να αποτελέσουν κριτήριο. Με δεδομένο ότι η βλάστηση είναι ένα οργανικό κάλυμμα σχεδόν με συνεχή διακύμανση, η σχέση μεταξύ του συντελεστή Manning n και του $(V \cdot R)$ δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Ο ακόλουθος πίνακας δίνει έναν κατάλογο των κλάσεων επιβράδυνσης που παρουσιάστηκε στο εγχειρίδιο της USDA του 1954.

Πίνακας 4.1

Κατάλογος κλάσεων επιβράδυνσης

Αρκετά καλή	Μέσο μήκος	Επιβράδυνση
Καλή	$L > 70 \text{ cm}$	A
	$28 \text{ cm} \leq L \leq 61 \text{ cm}$	B
	$15 \text{ cm} \leq L \leq 25 \text{ cm}$	C
	$5 \text{ cm} \leq L \leq 15 \text{ cm}$	D
	$L \leq 5 \text{ cm}$	E

Αρκετά καλή	L>70cm	B
	28cm<=L<=61cm	C
	15cm<=L<=25cm	D
	5cm<=L<=15cm	D
	L<=5cm	E

Οι Green και Garton το 1983 έδωσαν εξισώσεις για τον υπολογισμό του συντελεστή τραχύτητας Manning για κάθε κλάση επιβράδυνσης. Οι εξισώσεις αυτές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 4.1

Εξισώσεις υπολογισμού συντελεστή Manning

Κλάση επιβράδυνσης	Εξίσωση	Όρια του (V*R) (m ²)
A	$n=0.440-1.6174V^*R$	$V^*R<0.1542$
	$n=0.046+0.0223/V^*R$	$0.0535<V^*R$
B	$n=0.403-3.3356V^*R$	$V^*R<0.0535$
	$n=0.046+0.0096/V^*R$	$0.0535<V^*R<0.1792$
	$n=0.0354+0.0115/V^*R$	$0.1792<V^*R$
C	$n=0.034+0.0046/V^*R$	$V^*R<0.0833$
	$n=0.028+0.0051/V^*R$	$0.0833<V^*R$
D	$n=0.038+0.0020/V^*R$	$V^*R<100$
	$n=0.030+0.0028/V^*R$	$0.100<V^*R$
E	$n=0.029+0.0007/V^*R$	$V^*R<0.123$
	$n=0.0225+0.0015/V^*R$	$0.123<V^*R$

Υπολογισμός της αντίστασης της ροής λόγω του καλύμματος των αγρωστωδών (Μέθοδος USDA)

1. Υπολογίζεται η ταχύτητα ροής υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει πρόσθετη αντίσταση λόγω βλάστησης (V)
2. Υπολογίζεται η υδραυλική ακτίνα = επιφάνεια υγρής διατομής / βρεχόμενη περίμετρο
3. Υπολογίζεται το γινόμενο ($V \cdot R$)
4. Εκτιμάται το μέσο μήκος των αγρωστωδών και η ποιότητα του στελέχους των αγρωστωδών
5. Με τη χρήση του πίνακα 1 προσδιορίζεται η κλάση επιβράδυνσης
6. Με τη βοήθεια της κατάλληλης εξίσωσης από το πίνακα 2 προσδιορίζεται ο συντελεστής τραχύτητας Manning

4.3.3 Δέντρα/Θάμνοι/Συστάδες δενδρυλλίων

Τα δέντρα και οι θάμνοι εφόσον είναι μεμονωμένα εμπόδια, τα οποία καταλαμβάνουν μόνο μικρό τμήμα της πλημμυρικής όχθης, τότε μπορεί να μην ληφθεί υπόψη η επίδρασή τους στην αντίσταση. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να γίνει κάποια προσπάθεια για να εκτιμηθεί η αντίσταση της ροής που δημιουργούν αυτά τα χαρακτηριστικά. Συστάδες από δενδρύλλια μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές αρχικές απώλειες. Κάποια προσπάθεια θα μπορούσε να γίνει για να εκτιμηθεί η αρχική απώλεια λόγω αυτών των χαρακτηριστικών.

Οι Petryk και Bosmajian το 1975 ανέλυσαν θεωρητικά τη ροή διαμέσου της βλάστησης. Για την πραγματοποίηση αυτής της ανάλυσης έκαναν τις εξής παραδοχές:

- Η ταχύτητα είναι αρκετά του μικρή ώστε να εμποδίζει σε μεγάλο βαθμό το λύγισμα των φυτών
- η βλάστηση είναι κατανεμημένη σχετικά ομοιόμορφα κατά την εγκάρσια διεύθυνση
- μεγάλες διακυμάνσεις στη μέση ταχύτητα δεν απαντώνται κατά πλάτος της κοίτης
- το μέγιστο βάθος ροής είναι μικρότερο ή ίσο του μέγιστου ύψους της βλάστησης
- μεγάλες διακυμάνσεις στην ταχύτητα ροής δεν απαντώνται για τιμές του βάθους ροής πάνω από τη μέση τιμή

Οι Petryk και Bosmajian πρότειναν την ακόλουθη εξίσωση (σε μονάδες του μετρικού συστήματος) για το συντελεστή Manning:

$$n = nb \sqrt{1 + \frac{cd \Sigma Ai R^{4/3}}{2GALnb^2}}$$

nb : είναι ο οριακός (αρχικός) συντελεστής τραχύτητας

R : η υδραυλική ακτίνα

$Cd \Sigma Ai / (A * L)$: τα χαρακτηριστικά της βλάστησης

Η παράσταση $cd \Sigma Ai / A * L$ αντιπροσωπεύει την πυκνότητα της βλάστησης στην κοίτη. Το cd είναι ο συντελεστής βάρους της βλάστησης, τον οποίο οι Petryk Bosmajian πρότειναν να είναι της τάξης του 1.0. Το ΣAi είναι η υπό μελέτη έκταση της βλάστησης κατά τη διεύθυνση του υδατορεύματος, σε μια κοίτη μήκους L , με εμβαδόν υγρής διατομής A .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ CFX, ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΠΟΤΑΜΟ ΜΕ ΒΛΑΣΤΗΣΗ

5.1 Γενικά

Η εξέλιξη των τελευταίων χρόνων στο τομέα της τεχνολογίας έχει λύσει τα χέρια του υδραυλικού πολιτικού μηχανικού. Όλο και περισσότερα προγράμματα υπάρχουν τώρα πια στη διάθεσή του, τα οποία μπορούν να εξάγουν αποτελέσματα πολύ χρήσιμα για τη μελέτη διαφόρων φαινομένων του τομέα της υδραυλικής.

Η υπολογιστική υδραυλική αποτελεί εργαλείο σχεδιασμού και μελέτης αντιπλημμυρικών έργων. Αυτό συμβαίνει διότι, τα αποτελέσματα που παρέχει μέσω των διαφόρων προγραμμάτων (π.χ. CFX) , είναι αρκετά αξιόπιστα και πολύ κοντά στις πειραματικές τιμές. Επομένως, μπορούν να ληφθούν υπόψη στη μελέτη. Επίσης, η υπολογιστική υδραυλική τώρα πια, μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για τη βασική μελέτη προβλημάτων αντιπλημμυρικής προστασίας.

Στο κεφάλαιο αυτό, με τη βοήθεια του Η/Υ, γίνεται προσπάθεια μοντελοποίησης ενός εξιδανικευμένου προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται το πρόγραμμα CFD (Computational Fluid Dynamics) προκειμένου να μελετηθεί η μεταβολή της ροής ενός φανταστικού ρευστού σε έναν ποταμό εξαιτίας της ύπαρξης βλάστησης, η οποία προσομοιώνεται με άκαμπτους κυλίνδρους σταθερής διατόμης. Παρακάτω, (στο κεφάλαιο 5.5-Προσομοίωση) γίνεται αναλυτική περιγραφή της μοντελοποίησης που έγινε.

5.2 Εισαγωγή

Το μοντέλο ANSYS- CFX χρησιμοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων όγκων για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων. Αντικαθιστά δηλαδή το σύνθετο πεδίο του προβλήματος με ένα σύνολο υποπεδίων, τα οποία ονομάζονται πεπερασμένοι όγκοι. Η πρώτη ενέργεια που πρέπει να κάνει κάποιος όταν χρησιμοποιεί το ANSYS CFX είναι να ορίσει μία << working directory>>, δηλαδή μία προεπιλεγμένη τοποθεσία όπου θα γίνεται η φόρτωση και η αποθήκευση των αρχείων που θα αφορούν σε μια συγκεκριμένη εργασία. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει μέσω του ANSYS- WORKBENCH. Η πλατφόρμα του ANSYS-WORKBENCH είναι ένα πλαίσιο εργασίας του μηχανικού που συμπυκνώνει ένα σύνολο προηγμένων τεχνολογιών προσομοίωσης. Διευκολύνει το

χρήστη καθώς μπορεί να έχει καθολική εποπτεία της εξέλιξης του έργου του με τη χρήση διαγραμμάτων ροής. Δίνει δηλαδή τη δυνατότητα σχεδιαγραμματικής απεικόνισης της δομής και της πορείας των εργασιών. Έτσι ο μηχανικός μπορεί ανά πάσα χρονική στιγμή να έχει πρόσβαση:

- στα εργαλεία διαμόρφωσης της γεωμετρίας του προβλήματος, τα οποία συμπεριλαμβάνονται στο Design Modeler. Το πρώτο βήμα για τη προσομοίωση περιλαμβάνει τη σχεδίαση της γεωμετρίας του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, εδώ γίνεται γραφική απεικόνιση του προβλήματος, ορίζονται οι άξονες και ονοματίζονται οι επιφάνειες που συνθέτουν τη γεωμετρία του προβλήματος.
- στα εργαλεία διαμόρφωσης του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων, μέσω του Mesher. Εδώ επιλέγεται ένα μέγιστο (maximum edge length) και ένα ελάχιστο μήκος ακμής (minimum edge length). Με αυτό τον τρόπο γίνεται ο υπολογισμός των πεπερασμένων στοιχείων του πλέγματος.
- στο στήσιμο του προβλήματος μέσω του Pre Processing. Εδώ γίνεται ο καθορισμός των αρχικών τιμών αλλά και άλλων παραμέτρων που αφορούν το πεδίο ορισμού του προβλήματος. Ειδικότερα, γίνεται επιλογή του ρευστού, των ιδιοτήτων του, καθορίζεται το μοντέλο επίλυσης καθώς και το κριτήριο σύγκλισης. Επίσης, ορίζεται η εκάστοτε οριακή συνθήκη για την κάθε επιφάνεια της γεωμετρίας του προβλήματος.
- στην επίλυση του προβλήματος (Solver) , που φαίνεται η εξέλιξη του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS, Root Mean Square) των μεγεθών που σχετίζονται με τη μάζα την ορμή και την τύρβη (mass and momentum turbulence)
- στα εργαλεία οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων (Post). Στο περιβάλλον αυτό, μπορεί να γίνει κατασκευή των ζητούμενων διαγραμμάτων, όπως της ταχύτητας, της πίεσης, της κινητικής ενέργειας κ.λ.π. Επίσης μπορεί να γίνει απεικόνιση των κατανομών των μεγεθών στις δύο διαστάσεις ή ακόμα και στις τρεις διαστάσεις μέσω των κατανομών τύπου (Contour), με τη χρήση διανυσμάτων (Vectors) για τα διανυσματικά μεγέθη όπως η ταχύτητα κ.λ.π. Μπορεί επίσης να γίνει απεικόνιση των γραμμών ροής σε ένα επίπεδο ή ακόμα και στο χώρο.

5.3 Πείραμα

5.3.1 Γενικά

Το 1996 στο εργαστήριο υδροσυστημάτων του πανεπιστημίου του Illinois οι Dunn, Garcia και Lopez πραγματοποίησαν μια σειρά πειραμάτων, με σκοπό τη συλλογή περισσότερων κανόνων που διέπουν τη ροή με ελεύθερη επιφάνεια καθώς και τον υπολογισμό της αντίστασης που προβάλλει η βλάστηση του πυθμένα. Τα πειράματα που διεξήχθησαν περιελάμβαναν την επίτευξη μόνιμης, ομοιόμορφης ροής σε έναν εργαστηριακό αγωγό νερού του οποίου ο πυθμένας ήταν καλυμμένος με προσομοιωμένη βλάστηση. Σε διάφορες θέσεις του αγωγού ελήφθησαν σημειακές μετρήσεις ταχυτήτων με χρήση του οργάνου μέτρησης ταχυτήτας Acoustic Doppler, το οποίο μπορεί να μετρήσει τη ταχύτητα και στις 3 διευθύνσεις. Οι μετρήσεις που έγιναν επέτρεψαν τον υπολογισμό των τάσεων Reynolds και εν τέλει των συντελεστών αντίστασης.

5.3.2 Πειραματική διάταξη

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε έναν κεκλιμένον αγωγό νερού μήκους 19.5 m πλάτους 0.91 m και βάθους 0.61 m. Για να επιτευχθεί και να διατηρηθεί σταθερή η παροχή του νερού κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, το νερό παρείχε μία δεξαμενή στην οποία η στάθμη του νερού παρέμενε σταθερή. Κατά την είσοδο του νερού στον αγωγό, η ροή περνούσε από μία σειρά κυψελωειδών εσχάρων για να ομαλοποιηθεί η ροή, προκειμένου να είναι ομοιόμορφη κατά το πλάτος του αγωγού. Ένας υδραυλικά κινούμενος υπερχειλιστής στο τέρμα του αγωγού ρύθμιζε το βάθος ροής στο κανάλι. Η μεταβολή της κλίσης του πυθμένα ρυθμιζόταν από έναν μηχανισμό με τον οποίο ήταν εξοπλισμένος ο αγωγός. Η παροχή εξόδου του καναλιού κατευθυνόταν σε μία δεξαμενή κάτω από το πάτωμα του εργαστηρίου και ανακυκλωνόταν με τη βοήθεια ενός συστήματος αντλιών, οι οποίες έστελναν το νερό στην αρχική δεξαμενή.

Η μέγιστη παροχή που επέτρεπε η δεξαμενή στον αγωγό ήταν 180 L/s. Η κλίση του καναλιού για τις ανάγκες του συγκεκριμένου πειράματος κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.0036 και 0.0161. Τα φυτά προσομοιώθηκαν με εύκαμπτους και δύσκαμπτους κυλίνδρους, διαμέτρου 6,35mm. Η τεχνητή άκαμπτη φυτοκάλυψη μέσα στο κανάλι ποίκιλε ως προς το ύψος, και το ύψος ηρ μετρήθηκε ίσο με $11,8 \pm 1,67$ cm. Αντίθετα το μέσο απαραμόρφωτο ύψος h των εύκαμπτων κυλίνδρων ήταν $16,9 \pm 1,61$ cm. Φυσικά η εύκαμπτη φύση τους επέτρεπε τη παραμόρφωσή τους και την απόκτηση νέου μέσου ύψους όταν αυτά τοποθετήθηκαν στο πεδίο ροής του νερού. Για τα διάφορα πειράματα πάρθηκαν 4 εναλλακτικές διατάξεις βλάστησης, δηλαδή 4 τύποι καννάβου

με αποστάσεις μεταξύ των κέντρων των κυλίνδρων 5,08 , 7,62 , 10,16 , 15,24 cm και χρησιμοποιήθηκαν 2 βασικοί τρόποι διάταξης.

Τελικά πραγματοποιήθηκαν 18 πειράματα (12 με δύσκαμπτους και 6 με εύκαμπτους κυλίνδρους) με σκοπό τη διερεύνηση των προφίλ των ταχυτήτων, των τάσεων Reynolds, της έντασης της τύρβης, και της αντίστασης στη ροή λόγω φυτοκάλυψης. Οι ελεγχόμενες μεταβλητές στο εργαστήριο ήταν η παροχή του νερού, η κλίση του αγωγού, οι αποστάσεις των κυλίνδρων και η δυσκαμψία των κυλίνδρων.

5.4 Μαθηματικό μοντέλο τύρβης

Οι περισσότερες περιπτώσεις ροής εμπεριέχουν τυρβώδεις δομές που είναι αδύνατο να αναλυθούν αριθμητικά. Το πρόβλημα αυτό παρακάμπτεται στα προγράμματα υπολογιστικής ρευστομηχανικής με την χρήση των μέσων κατά Reynolds εξισώσεων Navier-Stokes σε συνδυασμό με ένα μοντέλο τύρβης για την εκτίμηση των τάσεων Reynolds.

Στα μοντέλα τύρβης η επίλυση των εξισώσεων μεταφοράς γίνεται με τη χρήση ενός μέσου όρου μιας μεταβλητής και ενός όρου διακύμανσης. Για παράδειγμα η ταχύτητα δίδεται από το άθροισμα της μέσης ταχύτητας \bar{U} και μιας χρονοεξαρτημένης ταχύτητας u :

$$\vec{U} = \bar{\vec{U}} + \vec{u} \quad (1)$$

Ο μέσος όρος της ταχύτητας είναι:

$$\bar{\vec{U}} = \frac{1}{\Delta t} \int_f^{f+\Delta t} \vec{U} dt \quad (2)$$

Όπου Δt είναι ένα μια χρονική περίοδος μεγάλη σε σχέση με στις διακυμάνσεις στις τύρβης αλλά μικρή σε σχέση με το χρόνο στον οποίο λύνονται οι εξισώσεις. Για τις συμπιεστές ροές ο υπολογισμός του μέσου όρου εξαρτάται από τις διακυμάνσεις της πυκνότητας αλλά για λόγους ευκολίας οι τελευταίες θεωρούνται αμελητέες.

Η χρήση αυτών των μέσων όρων στις εξισώσεις μεταφοράς οδηγεί στις μέσες κατά Reynolds εξισώσεις Navier-Stokes. Όταν η ροή είναι ασυμπίεστη ($\rho = \text{σταθερό}$) η εξίσωση συνέχειας για τα χρονικά μέσα μεγέθη διατηρεί την ίδια μορφή που έχει και για τα στιγμιαία τυρβώδη μεγέθη, δηλαδή

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{U}) = 0 \quad (3)$$

Η εξίσωση της ορμής μεταβάλλεται σε σχέση με αυτή που ισχύει στην περίπτωση της στρωτής ροής καθώς περιλαμβάνει και έναν ακόμη όρο τάσης που οφείλεται στις τυρβώδεις διαταραχές των ταχυτήτων, γνωστές σαν τάσεις Reynolds :

$$\frac{\partial \rho \vec{U}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{U} \otimes \vec{U}) = \nabla \cdot (\tau - \rho \bar{\vec{u}} \otimes \bar{\vec{u}}) + \vec{S}_M \quad (4)$$

Συμπερασματικά η εξίσωση (4) δείχνει ότι οι τάσεις στην τυρβώδη ροή αποτελούνται από δύο μέρη:

- Τις τάσεις που οφείλονται στο μοριακό ιξώδες και είναι παρόμοιες με της τάσεις σε στρωτή ροή.
- Τις τάσεις που οφείλονται της τυρβώδεις διαταραχές των ταχυτήτων και είναι γνωστές σαν τάσεις Reynolds. Οι τάσεις αυτές στην εξίσωση (4) συμβολίζονται με $\rho \bar{u} \otimes \bar{u}$.

Το μοντέλο της τύρβης που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία είναι το μοντέλο k-ε.

Η ποσότητα k αναφέρεται στην τυρβώδη κινητική ενέργεια και η ε στην απόσβεση της τυρβώδους κινητικής ενέργειας. Το μοντέλο k-ε εισάγει δύο νέες μεταβλητές στο σύστημα των εξισώσεων. Η εξίσωση συνέχειας διαμορφώνεται ως εξής :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{U}) = 0 \quad (5)$$

Και η εξίσωση της ορμής γίνεται :

$$\frac{\partial \rho \bar{U}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{U} \otimes \bar{U}) - \nabla \cdot (\mu_{eff} \nabla \bar{U}) = -\nabla p' + \nabla \cdot (\mu_{eff} \nabla \bar{U})^T + \bar{B} \quad (6)$$

όπου \bar{B} είναι το σύνολο των καθολικών δυνάμεων, μ_{eff} είναι ο συντελεστής ικανούς τύρβης (effective viscosity) και υπολογίζεται για το μοντέλο τύρβης και p' είναι μία τροποποιημένη πίεση που προσδιορίζεται ως εξής:

$$p' = p + \frac{2}{3} \rho k + \nabla \cdot \bar{U} \left(\frac{2}{3} \mu_{eff} - \zeta \right) \quad (7)$$

όπου ζ είναι το ιξώδες όγκου, ρ η πυκνότητα και k η τυρβώδης κινητική ενέργεια.

Για το μοντέλο k-ε ο συντελεστής ικανούς τύρβης (effective viscosity) δίνεται από το άθροισμα του συντελεστή τυρβώδους συνεκτικότητας (μ_t) και της μοριακής συνεκτικότητας (μ) ως εξής:

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (8)$$

Ο συντελεστής τυρβώδους συνεκτικότητας (μ_t) συνδέεται με την κινητική ενέργεια της τύρβης με τη σχέση:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (9)$$

όπου $C_\mu = 0,09$.

Οι τιμές της κινητικής ενέργειας της τύρβης και της απόσβεσης της τυρβώδους κινητικής ενέργειας δίνονται από τις ακόλουθες διαφορικές εξισώσεις :

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{U} k) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (10)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{U} \varepsilon) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{e1} P_k - C_{e2} \rho \varepsilon) \quad (11)$$

Όπου $C_{e1} = 1,45$, $C_{e2} = 1,90$, $\sigma_k = 1,00$ και $\sigma_\varepsilon = 1,30$ και P_k είναι η παραγωγή τυρβώδους κινητικής ενέργειας

$$P_k = \mu_t \nabla \bar{U} \cdot (\nabla \bar{U} + \nabla \bar{U}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \bar{U} (3 \mu_t \nabla \cdot \bar{U} + \rho k) \quad (12)$$

5.4.1 Κλιμακωτές συναρτήσεις τοιχώματος

Οι κλιμακωτές συναρτήσεις τοιχώματος αφορούν τον χειρισμό των εξισώσεων μεταφοράς σε περιοχές κοντά στα τοιχώματα (κάτω τοίχωμα καναλιού στην περίπτωση μας). Στην μέθοδο των συναρτήσεων τοιχώματος οι πλησιέστεροι στο τοίχωμα κόμβοι του πλέγματος πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση που να εξασφαλίζει την ισχύ του λογαριθμικού νόμου για την ταχύτητα. Επιπρόσθετα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί κανός αριθμός κόμβων κοντά στο τοίχωμα για την ικανοποιητική ανάλυση του οριακού στρώματος που χαρακτηρίζει τις υψηλές κλίσεις ταχύτητας. Σε πολλές τεχνικές εφαρμογές, εμφανίζονται περιοχές με χαμηλούς τοπικούς αριθμούς Reynolds, με αποτέλεσμα η τοποθέτηση ικανού αριθμού κόμβων εντός του οριακού στρώματος να υπαγορεύει την τοποθέτηση του πρώτου κόμβου σε μικρή απόσταση Z^+ από το τοίχωμα, παραβιάζοντας έτσι την απαίτηση του λογαριθμικού νόμου για τιμές Z^+ ανάμεσα στις τιμές 25 και 500. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ενώ αυξάνεται η πυκνότητα του πλέγματος, τα αποτελέσματα γίνονται περισσότερο ανακριβή.

Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος, νέες συναρτήσεις τοιχώματος οι λεγόμενες κλιμακωτές συναρτήσεις τοιχώματος έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση. Η βασική ιδέα για τις κλιμακωτές συναρτήσεις τοιχώματος είναι η πλασματική ανύψωση του τοιχώματος στην τιμή $Z^+=11.06$ δηλαδή στην τομή του λογαριθμικού νόμου με αυτόν της γραμμικής σχέσης αδιάστατης ταχύτητας/αδιάστατης απόστασης του ιξώδους υποστρώματος. Έτσι εξασφαλίζεται η ισχύς του λογαριθμικού νόμου ακόμη και στις περιπτώσεις στις οποίες η απαίτηση για υψηλή ανάλυση του οριακού στρώματος τοποθετεί κόμβους εντός του ιξώδους υποστρώματος (Θεοδωρίδης και συνεργάτες, 2002).

5.4.2 Υπολογισμός αριθμού Re

Ο αριθμός Re προσδιορίζεται από το μέσο όρο της ταχύτητας \bar{u} και από το χαρακτηριστικό μήκος του υπό μελέτη συστήματος. Το χαρακτηριστικό μήκος (L_{scale}) υπολογίστηκε ίσο με 0.46m. Η χαρακτηριστική ταχύτητα που χρησιμοποιείται είναι η μέση ταχύτητα ροής. Το κινηματικό ιξώδες (ν) προσδιορίζεται από το δυναμικό ιξώδες (μ) και την πυκνότητα (ρ) του ρευστού. Ειδικότερα ο αριθμός Re δίνεται από τον τύπο:

$$Re = \frac{\bar{u}}{\nu} H \quad (13)$$

όπου

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (14)$$

5.4.3 Αριθμητική επίλυση

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση είναι το ANSYS CFX. Η επίλυση γίνεται με την χρήση πεπερασμένων όγκων που προκύπτουν με τον καθορισμό του αριθμητικού πλέγματος. Στην πραγματικότητα πρόκειται για την εφαρμογή ενός βασικού νόμου για παράδειγμα της μάζας ή της ορμής σε κάθε όγκο ελέγχου. Αυτές οι ολοκληρωτικές εξισώσεις μετατρέπονται σε ένα σύστημα αλγεβρικών εξισώσεων με την παραγωγή ενός συνόλου προσεγγίσεων για τους όρους των αντίστοιχων εξισώσεων.

Ο υπολογισμός των μεταβλητών του συστήματος γίνεται στους κόμβους του πλέγματος. Ωστόσο κάποιοι όροι στις εξισώσεις απαιτούν την επίλυση ή την αντίστοιχη κλίση της στα σημεία της ολοκλήρωσης. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητος ο υπολογισμός κάποιας μεταβλητής στο εσωτερικό του στοιχείου. Η ανάγκη αυτή οδηγεί στην χρήση και πεπερασμένων στοιχείων στους πεπερασμένους όγκους με την βοήθεια των εξισώσεων μορφής (shape functions). Για παράδειγμα η τιμή μιας μεταβλητής με την χρήση των εξισώσεων μορφής ορίζεται από την σχέση:

$$\phi = \sum_{i=1}^{N_{node}} N_i \phi_i$$

Όπου N_i είναι οι συναρτήσεις μορφής για τον κόμβο i και ϕ_i είναι η τιμή της μεταβλητής ϕ στον κόμβο i . Οι τιμές αυτών των μεταβλητών υπολογίζονται για κάθε κόμβο και στην συνέχεια γίνεται γραμμική παρεμβολή. Για τις συναρτήσεις μορφής ισχύει η σχέση:

$$\sum_{i=1}^{N_{node}} N_i = 1$$

$$\text{At node } j, N_i = \begin{cases} 1, & i=j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$

Αυτές οι συναρτήσεις μορφής είναι γραμμικές όσον αφορά τις παραμετρικές συντεταγμένες. Με την χρήση των πεπερασμένων όγκων και στην συνέχεια των εξισώσεων μορφής οι τελικές εξισώσεις γραμμικοποιούνται :

$$\sum a_i^{nb} \phi_i = b_i$$

Όπου a είναι οι αντίστοιχοι συντελεστές της εξίσωσης και i ο αριθμός του αντίστοιχου όγκου ελέγχου και nb είναι οι γειτονικοί όγκοι ελέγχου. Η επίλυση των εξισώσεων γίνεται με επαναληπτική διαδικασία. Η επαναληπτική προσέγγιση στοχεύει στην σύγκλιση του προβλήματος στην πραγματική λύση. Τα κριτήρια της σύγκλισης καθορίζονται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του υπό μελέτη προβλήματος, του μεγέθους και της μορφής των όγκων ελέγχου και του

μεγέθους των τελικών υπολοίπων. Οι σύνθετες φυσικές διαδικασίες, όπως η τύρβη, διαμορφώνονται χρησιμοποιώντας τις εμπειρικές σχέσεις.

Για τα τοιχώματα ισχύει η συνθήκη μη ολίσθησης (no-slip condition), σύμφωνα με την οποία το ιξώδες διαμορφώνει τις οριακές συνθήκες με αποτέλεσμα το ρευστό να έχει ταχύτητα ίδια με αυτή των τοιχωμάτων (αν το τοίχωμα είναι ακίνητο τότε και το ρευστό θα είναι ακίνητο στο τοίχωμα).

Η επιλογή του χρονικού βήματος προσομοίωσης έγινε με το κριτήριο ευστάθειας Courant – Friedrichs – Lewy (Courant *et al.*, 1928), σύμφωνα με το οποίο το χρονικό βήμα που επιλέγεται για τους υπολογισμούς πρέπει να είναι το μικρότερο δυνατό για την αποφυγή αστάθειας της ροής και αριθμητικών σφαλμάτων κατά την επίλυση και ο υπολογισμός του φαίνεται παρακάτω.

Ο υπολογισμός του χαρακτηριστικού μήκους (L_{scale}) γίνεται με βάση τις ακόλουθες σχέσεις:

$$L_{scale} = \min(L_{vol}, L_{ext})$$

Όπου $L_{vol} = \sqrt[3]{V}$ και $L_{ext} = \max(L_x, L_y, L_z)$ με L_x, L_y, L_z οι διαστάσεις κατά τις τρεις διευθύνσεις και V ο όγκος του συστήματος αναφοράς.

Ο υπολογισμός αντίστοιχα του χρονικού βήματος δίνεται από τις σχέσεις:

$$\Delta t = \min(\Delta t_U, \Delta t_{\Delta p}, \Delta t_g, \Delta t_{rot}, \Delta t_c)$$

όπου

$$\Delta t_U = 0,30 \frac{L_{scale}}{\max(U_{bc}, U_{node})}$$

$$\Delta t_{\Delta p} = 0,30 \frac{L_{scale}}{U_{\Delta p}}$$

$$\Delta t_g = \sqrt{\frac{L_{scale}}{g}}$$

$$\Delta t_{rot} = \frac{0,10}{\omega}$$

$$\Delta t_c = \frac{L_{bc}}{\max(U_{bc}, U_{node}, U_{\Delta p}, c)}$$

Όπου $U_{bc}, U_{node}, U_{\Delta p}, c$ δίνονται αντίστοιχα από τις σχέσεις:

$$U_{bc} = \max(|\bar{U}_{bc}|)$$

$$U_{node} = \max(|\bar{U}_{node}|)$$

$$U_{\Delta p} = \sqrt{\frac{P_{bc,max} - P_{bc,min}}{P_{node}}}$$

$$\bar{c} = \left(\overline{\frac{\partial p}{\partial \rho}} \right)^{-1}$$

Όπου U_{bc} είναι ο αριθμητικός μέσος όρος της ταχύτητας σε κάποιο όριο, U_{node} είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των ταχυτήτων των κόμβων, $p_{bc,max}$ και $p_{bc,min}$ η μέγιστη και ελάχιστη τιμή της πίεσης σε κάποιο 'ανοιχτό' όριο και p_{node} η μέση τιμή της πίεσης στους κόμβους (CFX – 5 Solver Theory).

5.4.4 Καθορισμός του αριθμητικού πλέγματος του προβλήματος

Η γεωμετρία του καναλιού διακριτοποιείται με ένα τρισδιάστατο πλέγμα με τη δημιουργία τετραέδρων στο εσωτερικό του καναλιού και κοντά στα στερεά τοιχώματα.

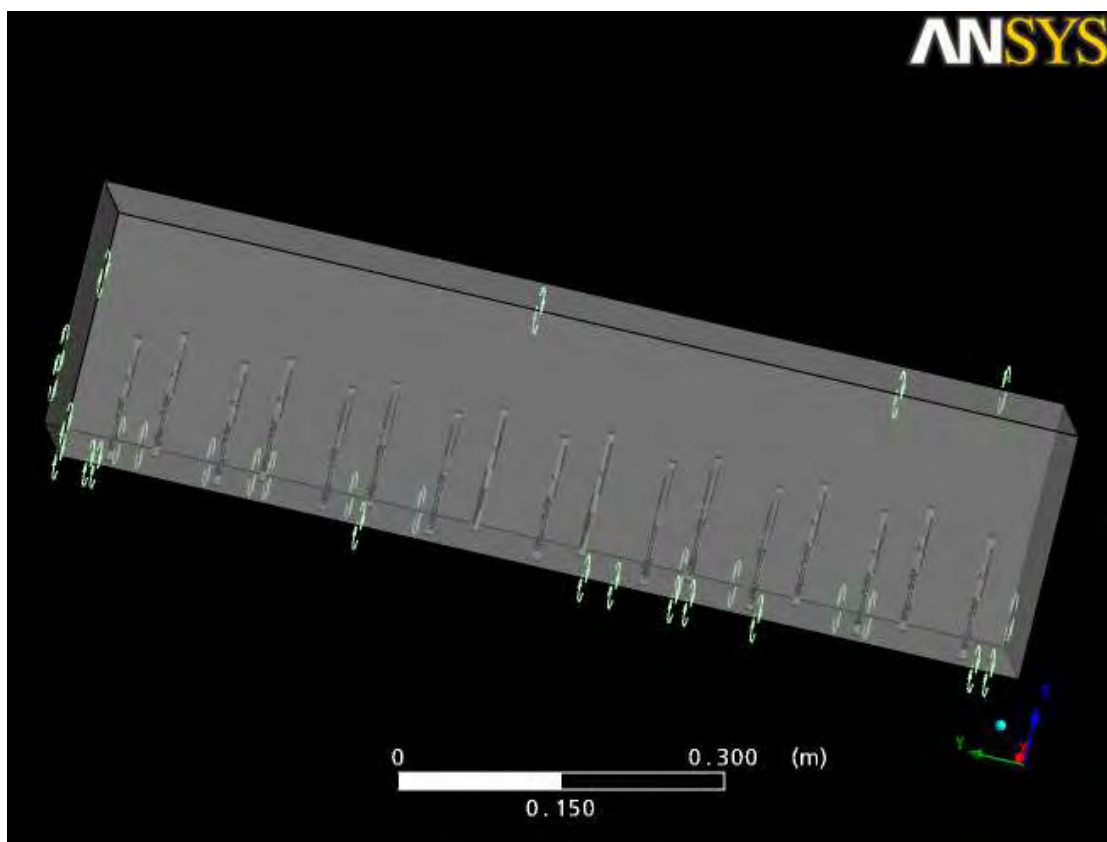
Η επιλογή των διαστάσεων των τετραέδρων έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε η διάσταση του στοιχείου να είναι μικρότερη από το 5% της μέγιστης διάστασης του υπό μελέτη συστήματος (για την περίπτωση μας το πλάτος του καναλιού).

Για την τελική επιλογή του πλέγματος αριθμητικής προσομοίωσης στη συγκεκριμένη εφαρμογή εξετάστηκαν τέσσερις περιπτώσεις (βλέπε πίνακα 5.1 και σχήματα 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 αλλά αυτή που τελικά επιλέχθηκε κρίθηκε ότι προσφέρει έναν καλό συμβιβασμό μεταξύ ευστάθειας της λύσης και επιλογής των στοιχείων του πλέγματος.

5.5 Προσομοίωση

Το 2012 οι (Στάμου, Παπαδονικολάκη, Γκεσούλη, Νικολετόπουλος) με βάση τη πειραματική διαδικασία του 1996 προσομοίωσαν στο cfx το πρόβλημα αυτό. Πιο συγκεκριμένα, για το κανάλι πήραν τις ακόλουθες διαστάσεις: 2m-0.91m-0.233m, τα φυτά τα μοντελοποίησαν με κυλίνδρους διαμέτρου 0.00635m και ύψους 0.118m. Όρισαν μία είσοδο (inlet) και μία έξοδο (outlet), όπου με περιοδικές συνθήκες στην κατεύθυνση x <<domain interface-translational periodicity>> εξασφαλίστηκε η ταύτιση των κατανομών των διάφορων φυσικών μεγεθών στις διατομές αυτές, την ελεύθερη επιφάνεια, που θεωρήθηκε στερεό όριο ελεύθερης ολίσθησης (free slip), και οι άλλες πλευρές ως τοίχοι (λείοι και χωρίς ολίσθηση-smooth no slip). Σχετικά με το πλέγμα έκαναν 4 διαφορετικά πλέγματα, ξεκίνησαν με 1 αραιό και πύκνωναν στη συνέχεια. Στο Pre Processing έδωσαν παροχή $Q=0.181 \text{ m}^3/\text{s}$, αριθμό Froude=0.58 (υποκρίσιμη ροή), cylinder density (α)=0.62 m^{-1} , που υποδηλώνει τη πυκνότητα της φυτοκάλυψης, $s=0.011$ (κλίση αγωγού) και σφάλμα RMS=10⁻⁴. Επίσης δεν συμπεριελήφθη η βαρύτητα καθώς ελήφθη έμμεσα υπόψη μέσω του καθορισμού του σταθερού βάθους ροής.

Με βάση τα παραπάνω ξεκίνησε η προσομοίωση του πειράματος. Αποφασίστηκε να ελεγχθεί εάν μειώνοντας το μήκος του καναλιού όσο το δυνατόν περισσότερο (0.2032m) τα αποτελέσματα είναι τα ίδια (μικρές αποκλίσεις είναι αποδεκτές). Επομένως, με αυτό το τρόπο το υπολογιστικό φορτίο της προσομοίωσης ελαχιστοποιείται. Σύμφωνα με το πείραμα οι κύλινδροι τοποθετήθηκαν σε σειρές που ανά δύο ήταν ίδιες, άρα δύο σειρές κυλίνδρων ήταν αρκετές. Χρησιμοποιήθηκε μήκος 0.2032m διότι οι κύλινδροι απέχουν μεταξύ τους 0.1016m και χρησιμοποιήθηκε 0.0508m εκατέρωθεν κενό. Η μία σειρά ξεκινούσε με κενό=0,1016m και η άλλη με κενό=0,0508m κατά πλάτος. Συνολικά τοποθετήθηκαν 17 κύλινδροι (9 στη μία σειρά και 8 στην άλλη). Τα υπόλοιπα στοιχεία της γεωμετρίας παρέμειναν αναλλοίωτα.



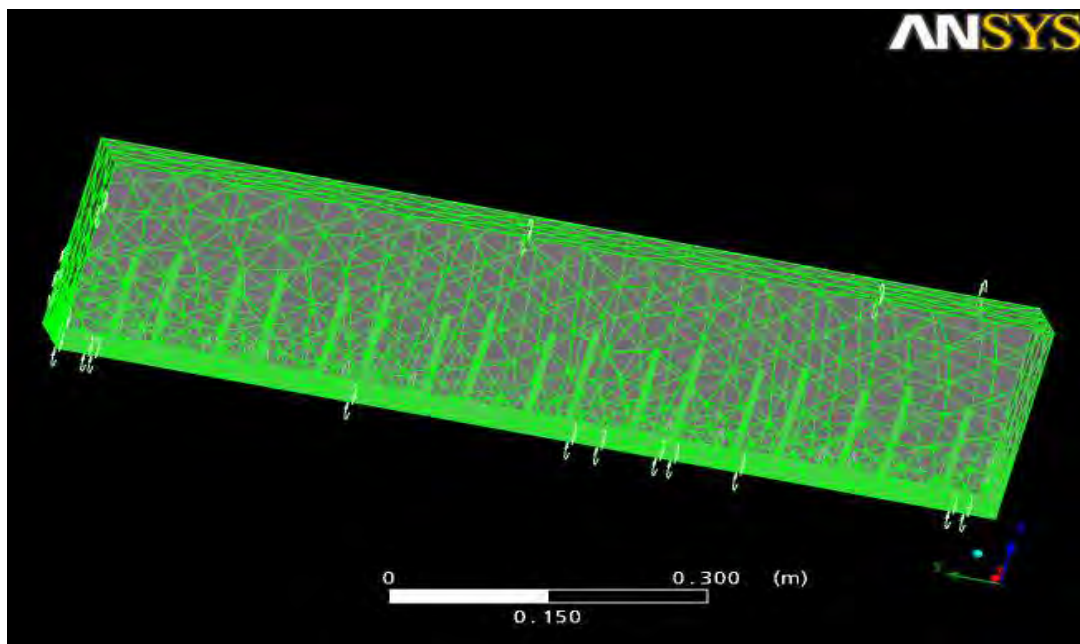
Σχήμα 5.1 Γεωμετρία ποταμού-βλάστησης προσομοιωμένη στο cfx . Η κατεύθυνση ροής του ρευστού μέσα στον αγωγό είναι κατά μήκος του άξονα x

Σχετικά με το πλέγμα έπρεπε να επιλεγεί ένα μέγιστο και ένα ελάχιστο μήκος ακμής. Η διαδικασία ξεκίνησε με μέγιστο μήκος (Maximum Edge Length) =0.05m και ελάχιστο μήκος ακμής (Minimum Edge Length) = 0.001m. Στη συνέχεια έγιναν και άλλες δοκιμές με απώτερο σκοπό τη πύκνωση του πλέγματος. Στο Πίνακα 5.1 που ακολουθεί φαίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της πύκνωσης.

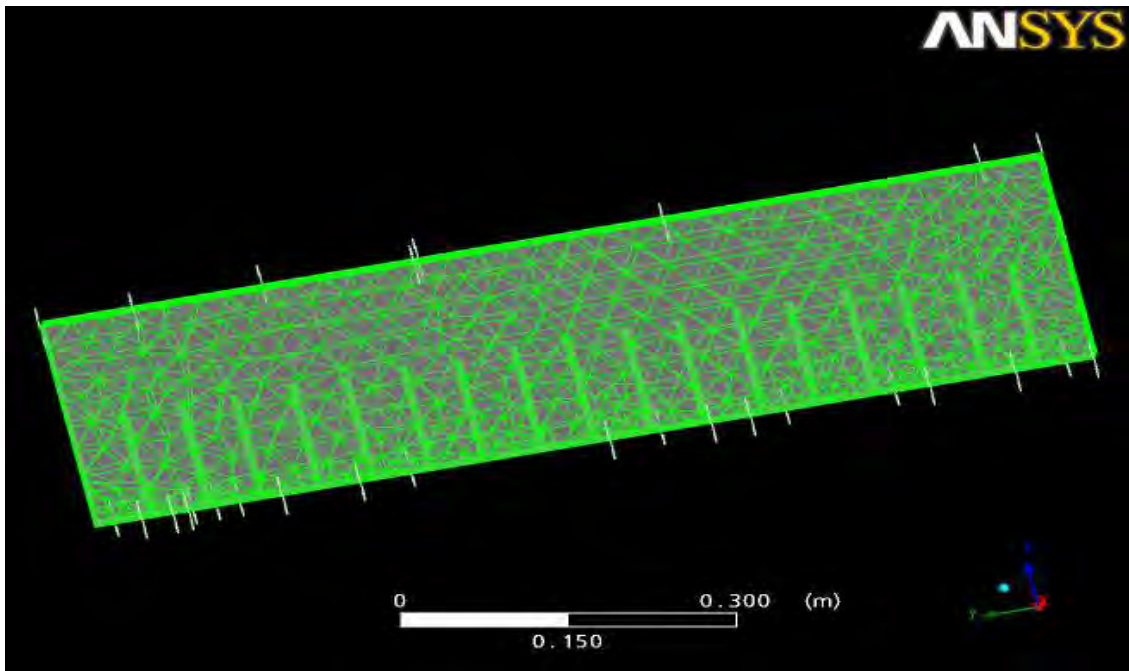
Πίνακας 5.1**Κατηγορίες πλεγμάτων**

	Maximum edge length	Minimum edge length	Nodes	Tetrahedra
Grid1	0.05	0.001	21035	77966
Grid2	0.026	0.0013	21504	79322
Grid3	0.016	0.001	23195	84616
Grid4	0.01	0.0001	27717	100086

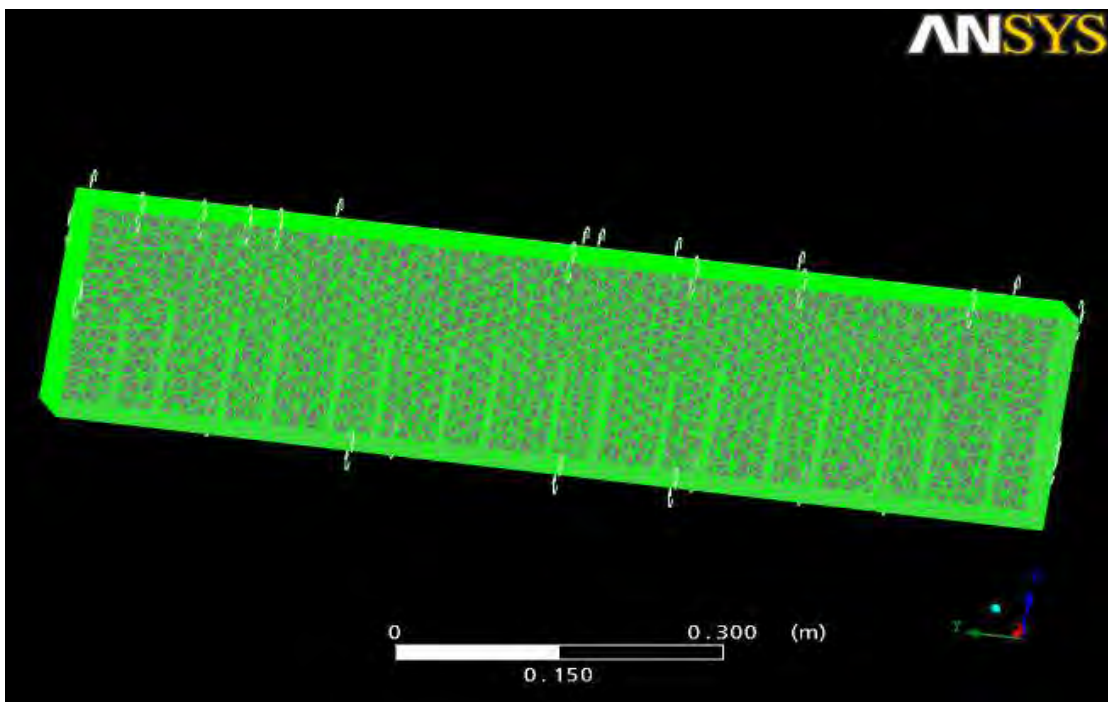
Στα Σχήματα 5.2 ,5.3 ,5.4, 5.5 που ακολουθούν, παρατίθενται τα 4 διαφορετικά πλέγματα με σχηματισμένα τα τετράεδρα στην είσοδο του αγωγού



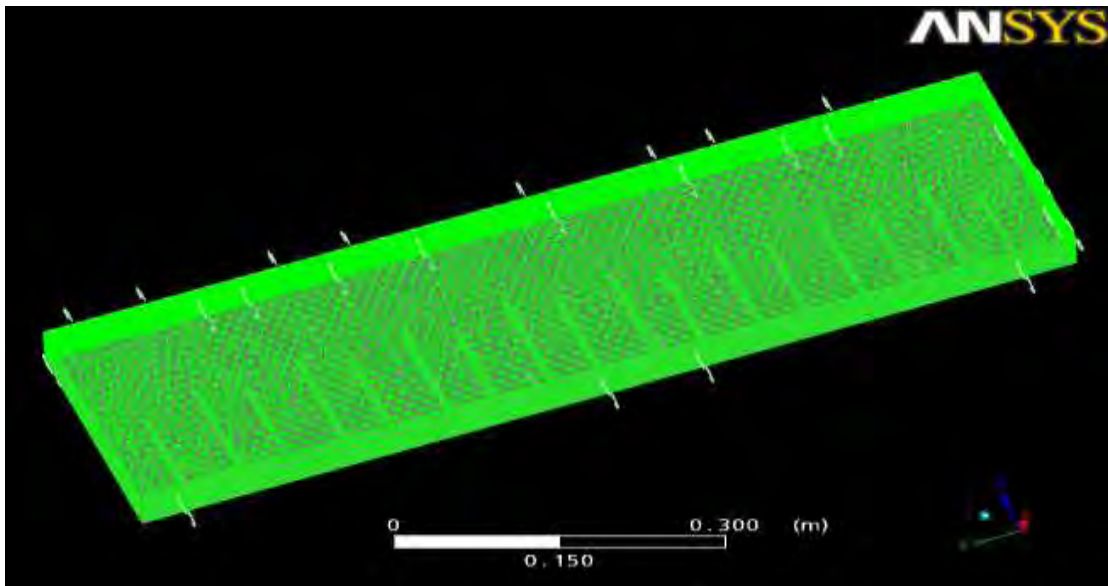
Σχήμα 5.2 Εικόνα της πλευράς εισόδου του αγωγού για το πλέγμα 1



Σχήμα 5.3 Εικόνα της πλευράς εισόδου του αγωγού για το πλέγμα 2



Σχήμα 5.4 Εικόνα της πλευράς εισόδου του αγωγού για το πλέγμα 3

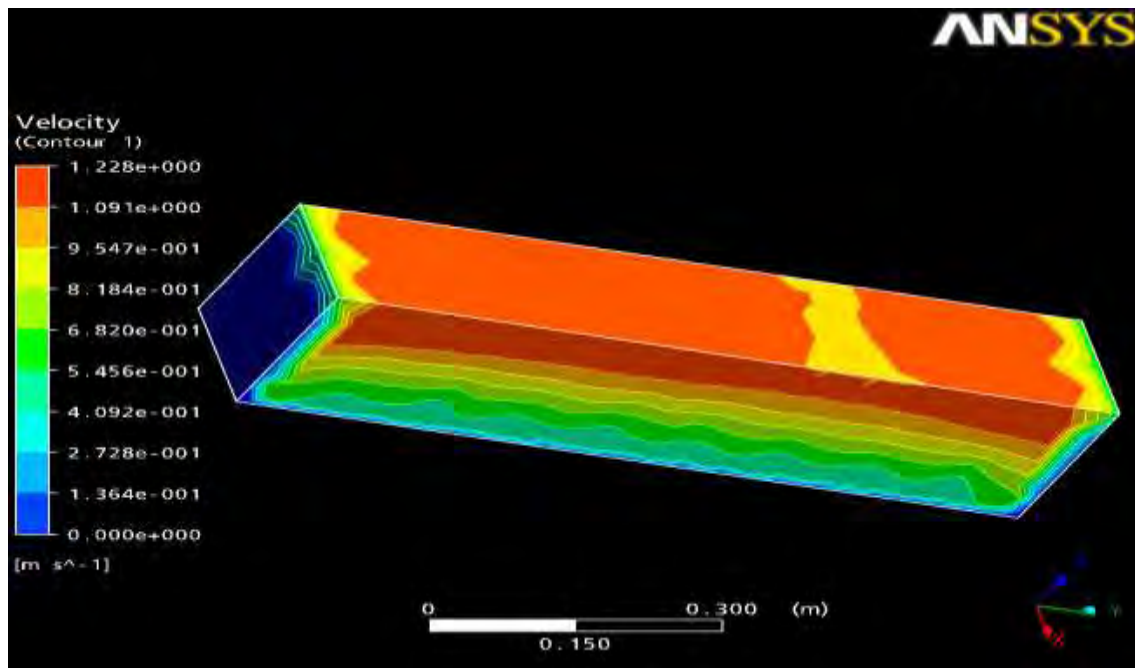


Σχήμα 5.5 Εικόνα της πλευράς εισόδου του αγωγού για το πλέγμα 4

Στο pre processing, όπως είπωθηκε και προηγουμένως κρατήθηκαν ίδια τα φυσικά χαρακτηριστικά και πραγματοποιήθηκαν πολλές δοκιμές μέχρις ότου επιτευχθεί ο αριθμός Reynolds όπου το πρόγραμμα δεν θα τερματιζόταν πριν φθάσει τις 10000 επαναλήψεις. Χρησιμοποιήθηκε ένα φανταστικό ρευστό με πυκνότητα $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ και δυναμικό ιξώδες $\mu=10^{-6} \text{ kg/m s}$. Επίσης, δόθηκε σφάλμα $\text{RMS}=10^{-6}$ και αριθμός επαναλήψεων=10000. Μελετήθηκαν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα τέσσερα πλέγματα και συγκρίθηκαν οι τιμές με αποτελέσματα γνωστά από την βιβλιογραφία.

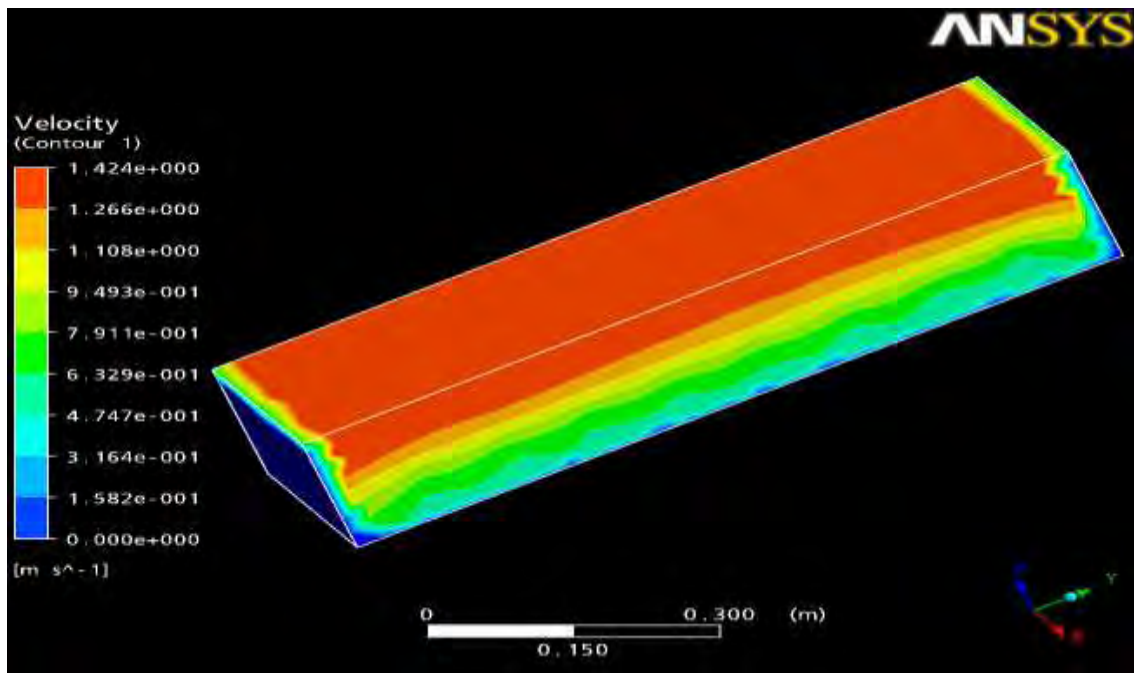
5.5.1 Υπολογισμοί-Αποτελέσματα-Σχολιασμός

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, μέσω διαφόρων σχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται το contour, της ταχύτητας, της τυρβώδους κινητικής ενέργειας, το διάνυσμα της ταχύτητας (vector-velocity), οι γραμμές ροής (streamline) καθώς και διάφορα προφίλ ταχυτήτων αλλά και της τυρβώδους κινητικής ενέργειας και για τα 4 πλέγματα. Επίσης, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των 4 πλεγμάτων.



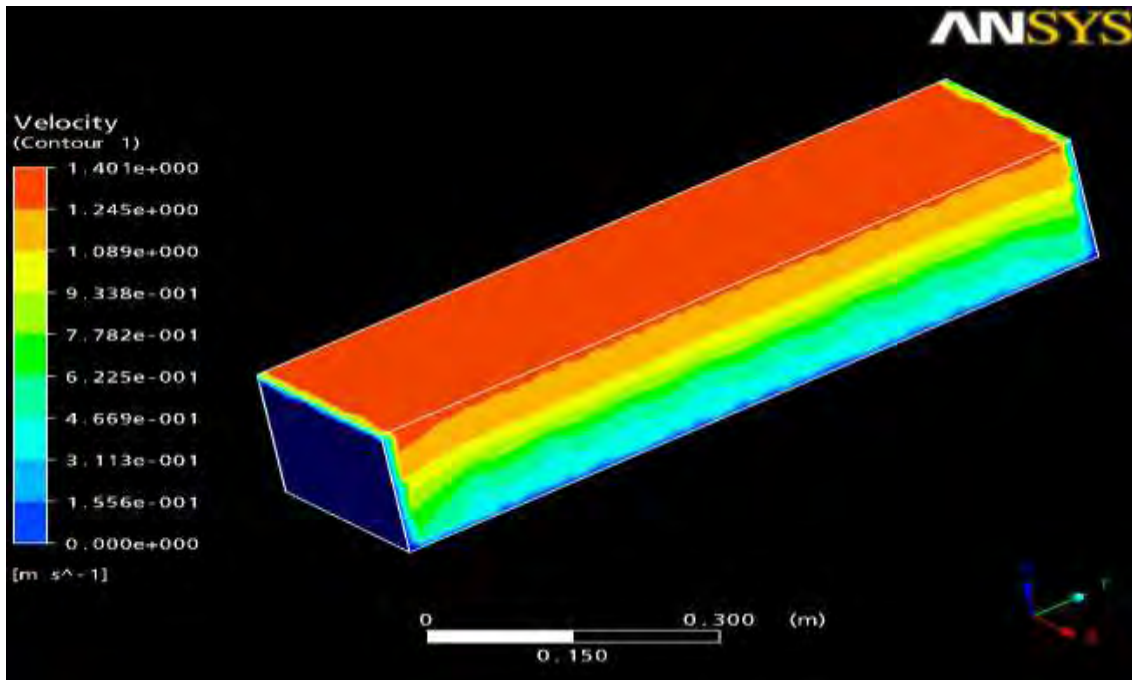
Σχήμα 5.6 Τιμές της ταχύτητας στα τοιχώματα του αγωγού αλλά και στην ελεύθερη επιφάνεια για το πλέγμα 1

Στο Σχήμα 5.6 αποτυπώνονται οι τιμές της ταχύτητας του ρευστού για το πλέγμα 1 σε κάθε πλευρά του αγωγού προσομοίωσης. Όπως ήταν αναμενόμενο η μέγιστη ταχύτητα εμφανίζεται στην ελεύθερη επιφάνεια. Βέβαια η ταχύτητα δεν είναι ίδια σε όλη την ελεύθερη επιφάνεια, αυτό γίνεται αντιληπτό από τους διαφορετικούς χρωματισμούς. Αντίθετα η ελάχιστη τιμή βρίσκεται στο πυθμένα. Τέλος, παρατηρείται αύξηση των τιμών της ταχύτητας από το πυθμένα προς την ελεύθερη επιφάνεια.

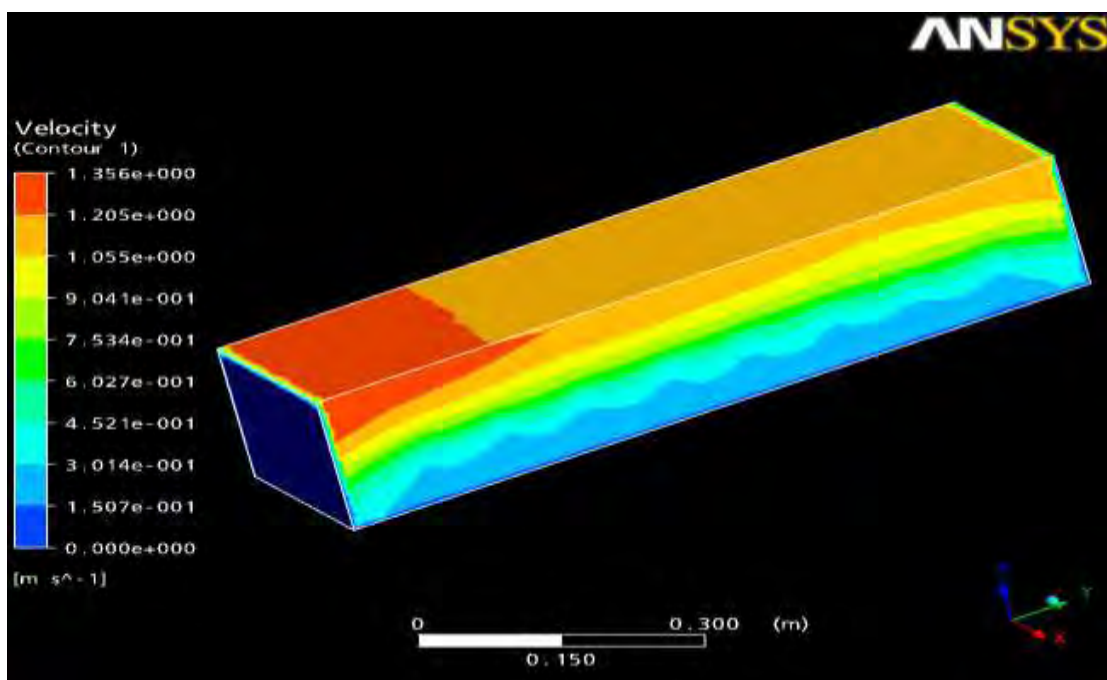


Σχήμα 5.7 Τιμές της ταχύτητας στα τοιχώματα του αγωγού αλλά και στην ελεύθερη επιφάνεια για το πλέγμα 2

Στο Σχήμα 5.7 παρουσιάζονται οι τιμές της ταχύτητας του φανταστικού ρευστού για το πλέγμα 2. Όπως γίνεται αντιληπτό και σε αυτή τη περίπτωση η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή παρουσιάζονται στην ελεύθερη επιφάνεια και στο πυθμένα αντίστοιχα. Επίσης και σε αυτή τη περίπτωση η ταχύτητα του ρευστού αυξάνεται από το πυθμένα προς την ελεύθερη επιφάνεια. Τέλος, αντίθετα με το πλέγμα 1 η ελεύθερη επιφάνεια εκτός των ακραίων περιοχών έχει την ίδια μέγιστη τιμή σε όλη την επιφάνεια, το οποίο γίνεται εύκολα αντιληπτό στο Σχήμα 5.6. Η διαφορά αυτή έγκειται στη πύκνωση του πλέγματος. Αρκετές φορές η χρήση αραιού πλέγματος οδηγεί σε ανακριβή αποτελέσματα όπως συνέβη στη προκειμένη περίπτωση.



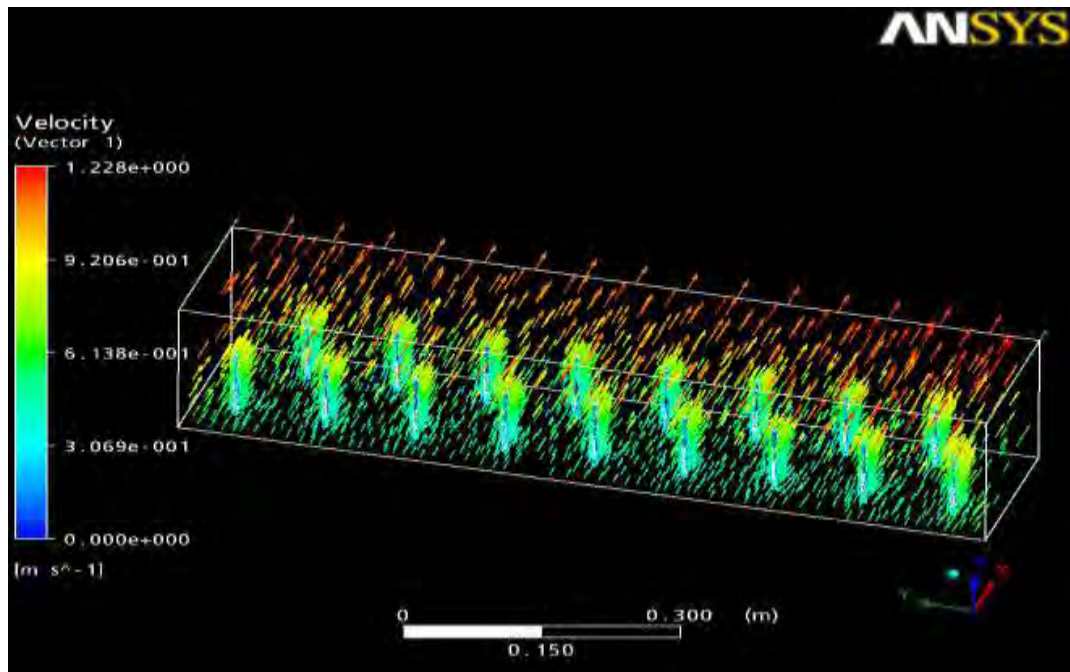
Σχήμα 5.8 Τιμές της ταχύτητας στα τοιχώματα του αγωγού αλλά και στην ελεύθερη επιφάνεια για το πλέγμα 3



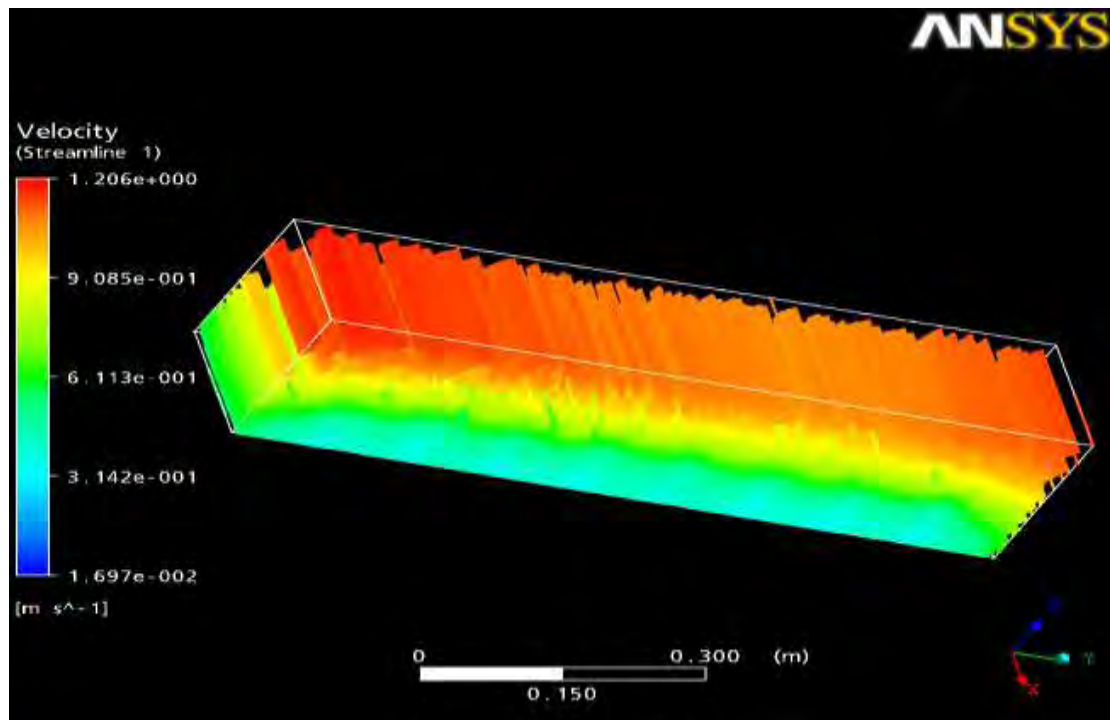
Σχήμα 5.9 Τιμές της ταχύτητας στα τοιχώματα του αγωγού αλλά και στην ελεύθερη επιφάνεια για το πλέγμα 4

- Και στα 4 πλέγματα η μέγιστη ταχύτητα εμφανίζεται στο μέγιστο υψόμετρο από το πυθμένα (ελεύθερη επιφάνεια) και η ελάχιστη στο πυθμένα και στα

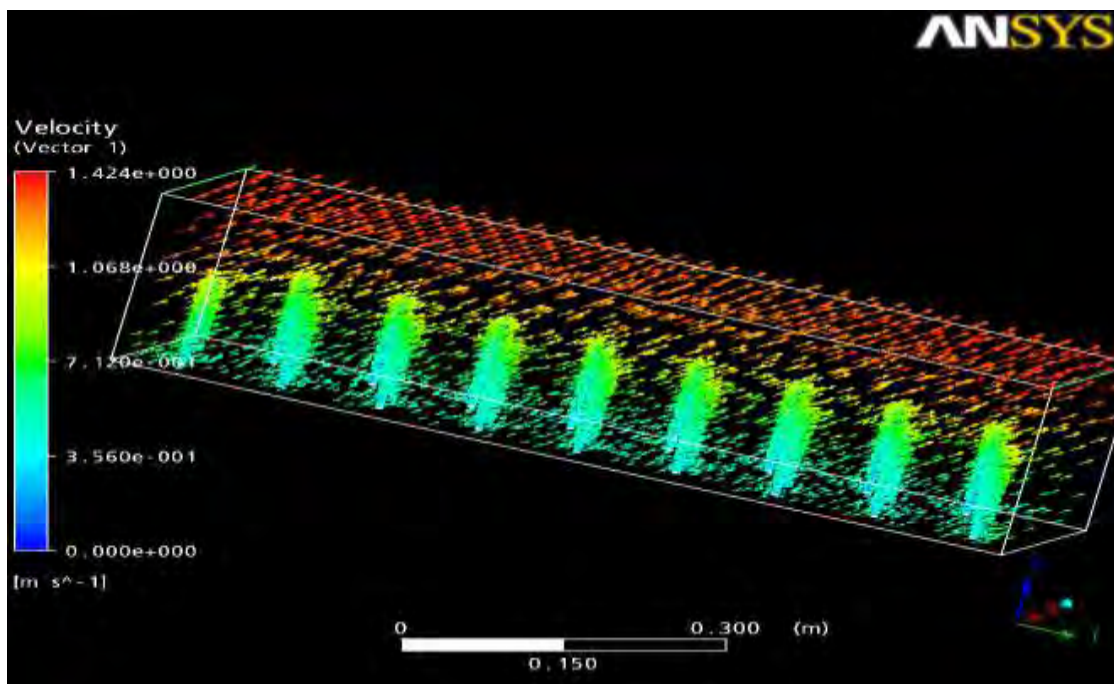
πλαϊνά τοιχώματα. Μέσα στο οριακό στρώμα η ταχύτητα του ρευστού παράλληλα προς το τοίχωμα μεταβάλλεται από την τιμή της έξω από το οριακό στρώμα στην τιμή μηδέν που επιβάλλει η φυσική οριακή συνθήκη πάνω στο τοίχωμα. Επίσης παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας από το πυθμένα προς την ελεύθερη επιφάνεια. Η μέγιστη ταχύτητα εντοπίζεται στο πλέγμα 2 παρόλο που δεν είναι το πιο πυκνό και αντίθετα η ελάχιστη στο πλέγμα 1 που είναι το πιο αραιό. Τέλος και για τα 4 πλέγματα κοντά στα τοιχώματα στην ελεύθερη επιφάνεια παρατηρούνται εναλλαγές στους χρωματισμούς, δηλαδή η τιμή της ταχύτητας μεταβάλλεται.



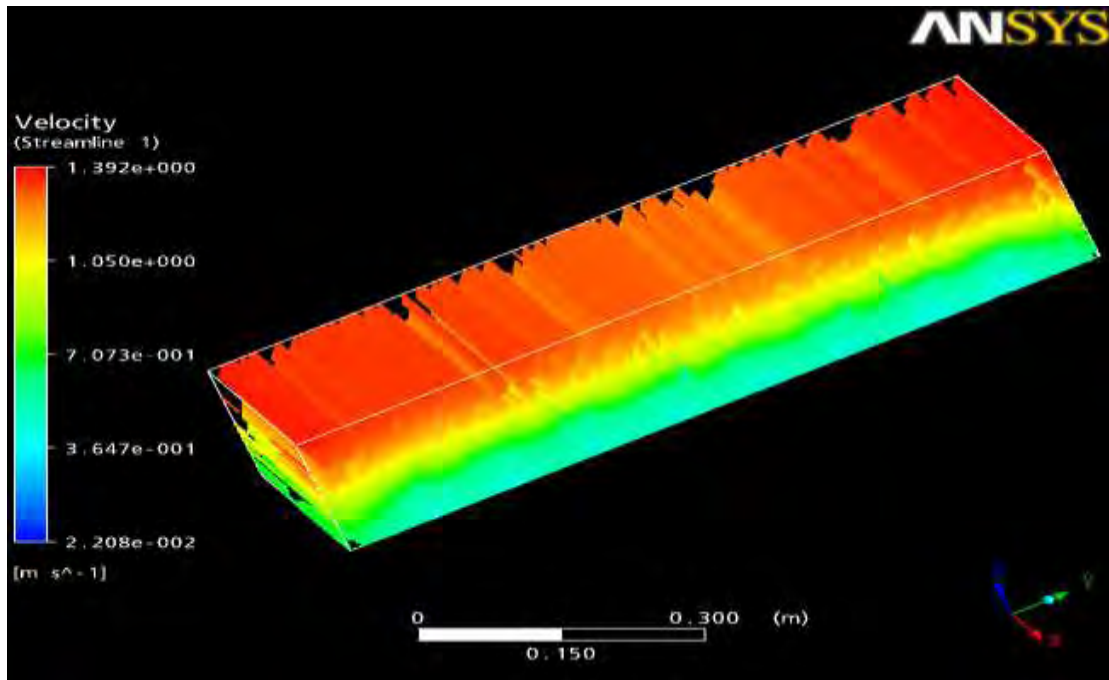
Σχήμα 5.10 Μεταβολή του διανύσματος της ταχύτητας κατά τη διεύθυνση της ροής για το πλέγμα 1



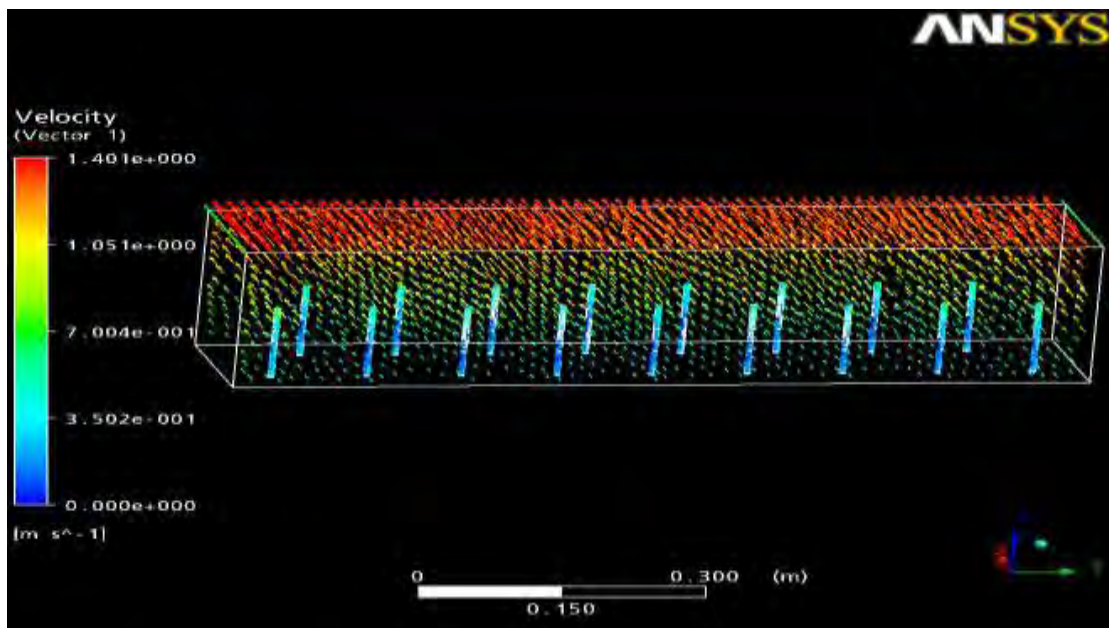
Σχήμα 5.11 Γραμμές ροής κατά τη διεύθυνση χ για το πλέγμα 1



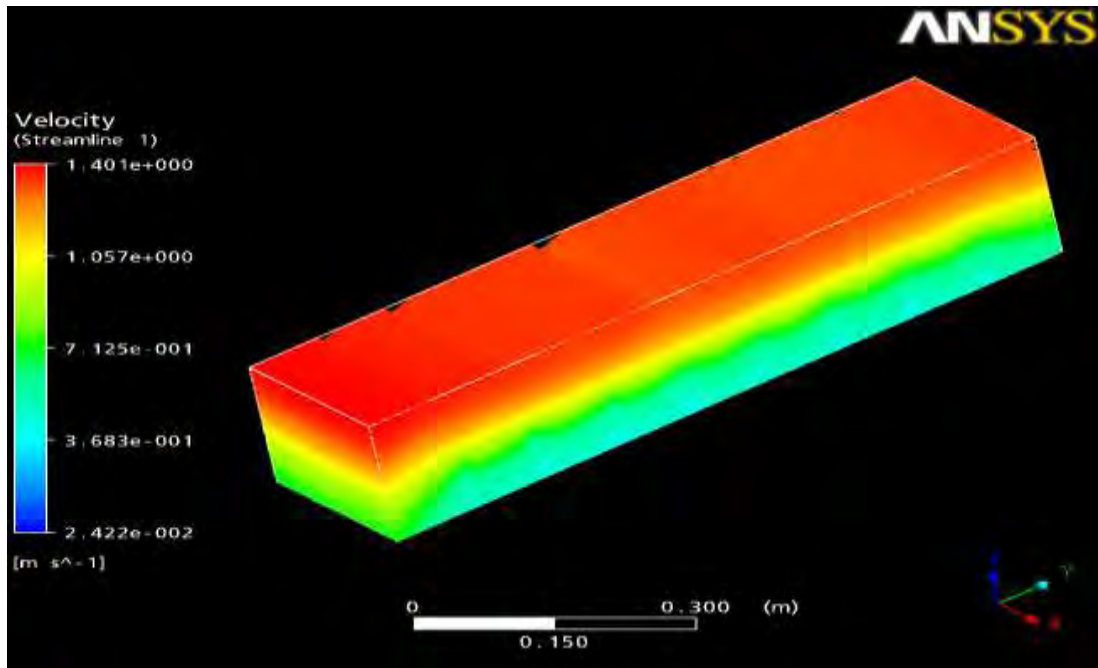
Σχήμα 5.12 Μεταβολή του διανύσματος της ταχύτητας κατά τη διεύθυνση της ροής για το πλέγμα 2



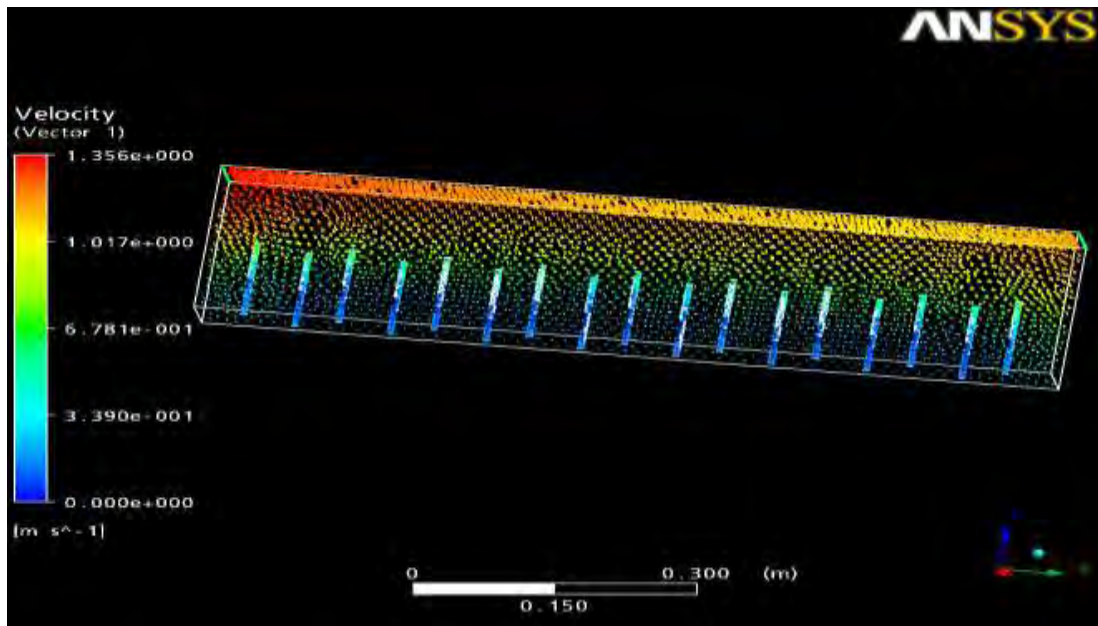
Σχήμα 5.13 Γραμμές ροής κατά τη διεύθυνση x για το πλέγμα 2



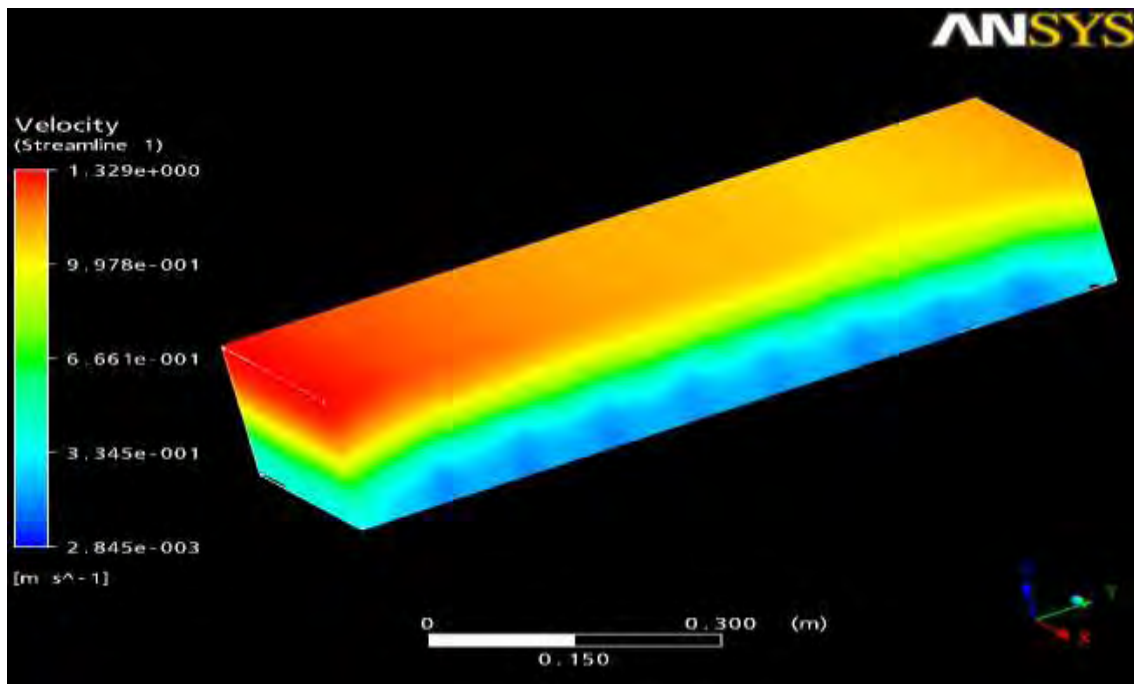
Σχήμα 5.14 Μεταβολή του διανύσματος της ταχύτητας κατά τη διεύθυνση της ροής για το πλέγμα 3



Σχήμα 5.15 Γραμμές ροής κατά τη διεύθυνση x για το πλέγμα 3

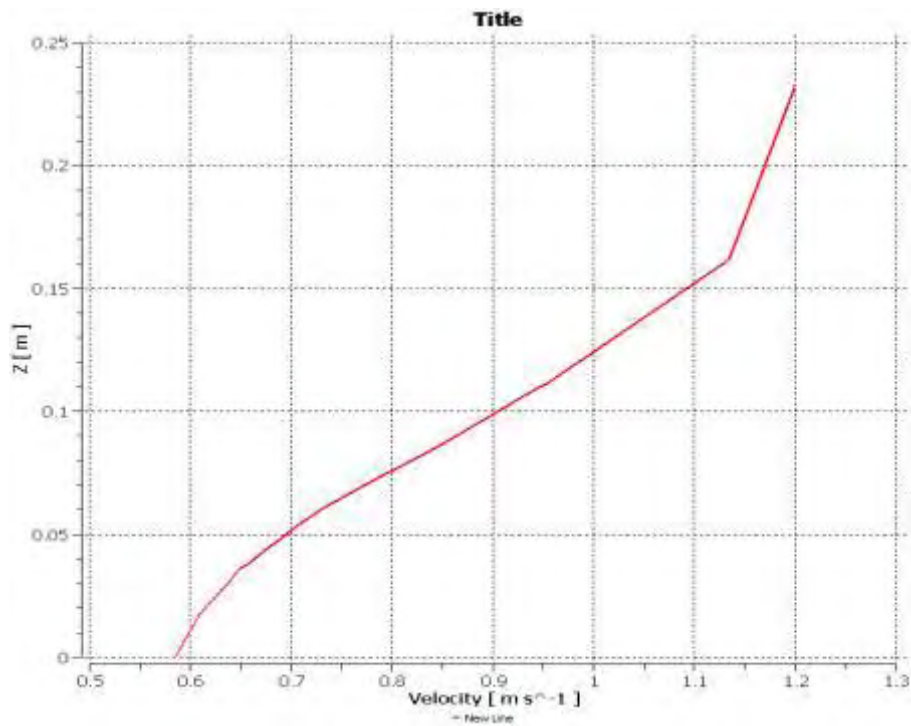


Σχήμα 5.16 Μεταβολή του διανύσματος της ταχύτητας κατά τη διεύθυνση της ροής για το πλέγμα 4

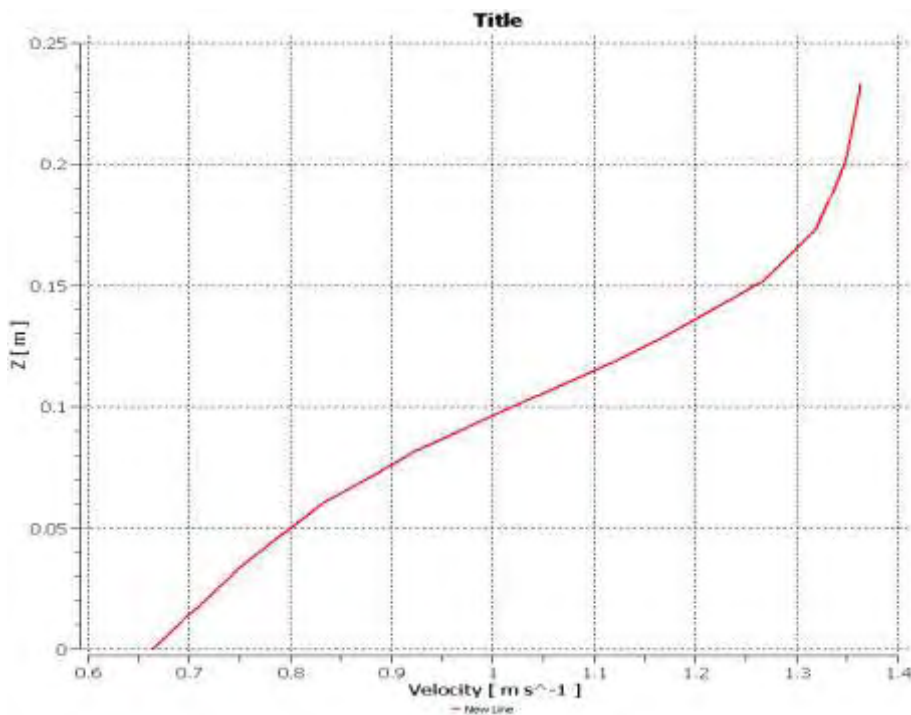


Σχήμα 5.17 Γραμμές ροής κατά τη διεύθυνση x για το πλέγμα 4

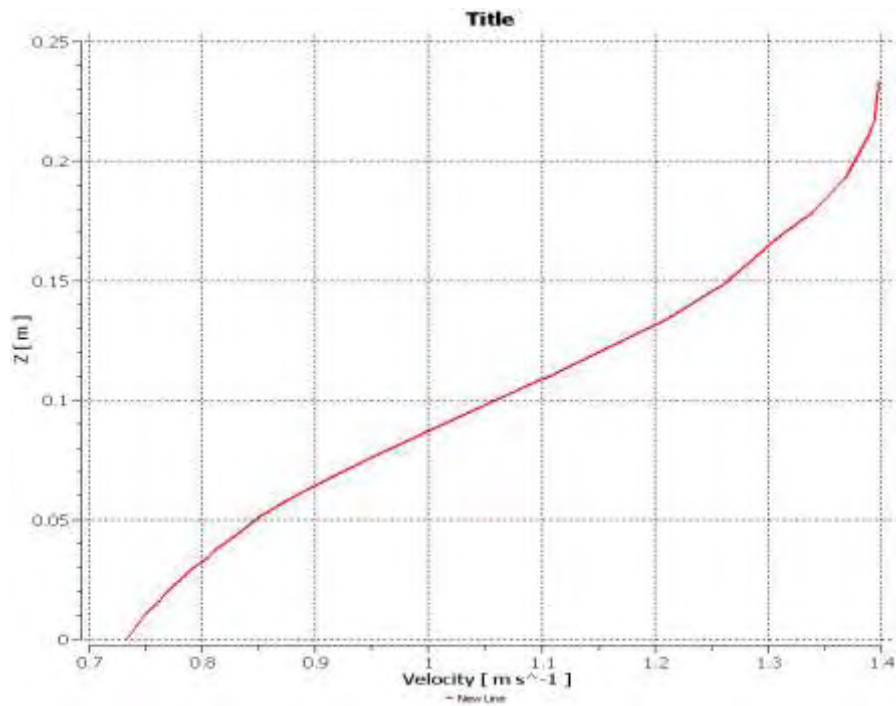
- Στα Σχήματα 5.10, 5.12, 5.14, 5.16 φαίνεται το διάνυσμα της ταχύτητας (vector-velocity) κατά τη διεύθυνση της ροής (άξονας x). Οι διαφορετικοί χρωματισμοί παρουσιάζουν την αλλαγή του μέτρου της ταχύτητας σε κάθε θέση. Επίσης αποτυπώνεται η μεταβολή της ταχύτητας συναρτήσει του βάθους ροής. Ειδικότερα, όπως επισημάνθηκε νωρίτερα το βάθος ροής και η ταχύτητα είναι ευθέως ανάλογα μεγέθη. Στα εναπομείναντα 4 σχήματα, δηλαδή 5.11, 5.13, 5.15, 5.17 παρουσιάζεται το streamline (γραμμές ροής) της ταχύτητας του ρευστού μέσα στον προσομοιωμένο αγωγό. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το πλέγμα 2 παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές και επομένως τους πιο έντονους χρωματισμούς. Επίσης παρατηρείται στα σχήματα αυτά ότι όσο πυκνώνει το πλέγμα τόσο πιο πυκνές είναι οι γραμμές ροής. Αυτό λαμβάνει χώρα αντίστοιχα και στα σχήματα που δείχνουν το διάνυσμα της ταχύτητας.



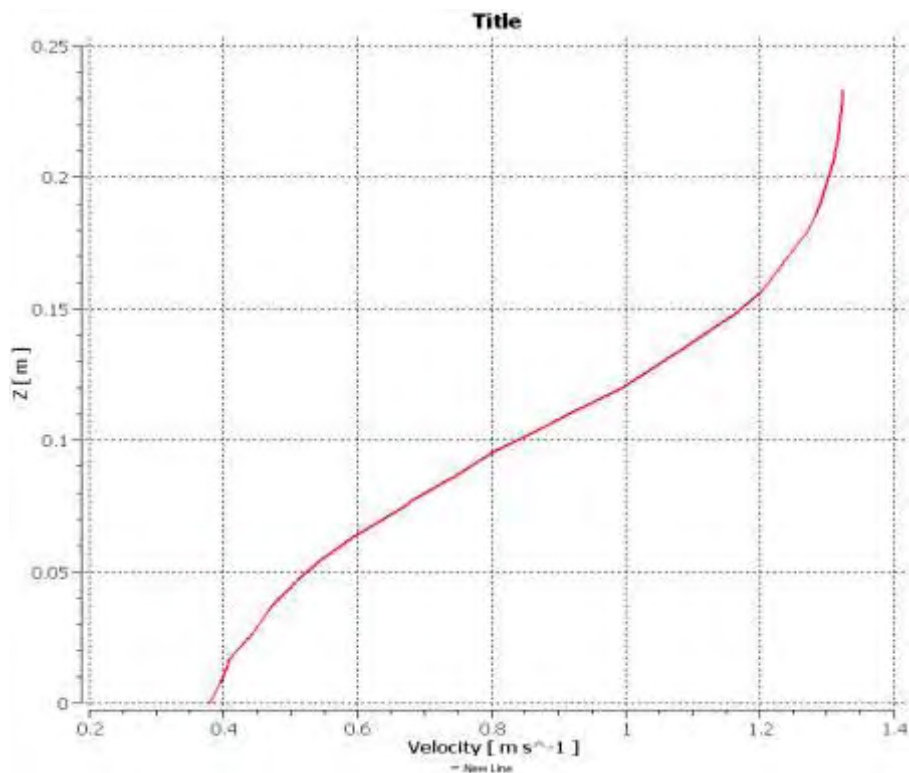
Σχήμα 5.18 Προφίλ ταχύτητας για το πλέγμα 1 μεταξύ των σημείων με συντεταγμένες ($x=0, y=-0.456m, z=0$ - $x=0, y=-0.456m, z=0.233m$)



Σχήμα 5.19 Προφίλ ταχύτητας για το πλέγμα 2 μεταξύ των σημείων με συντεταγμένες ($x=0, y=-0.456m, z=0$ - $x=0, y=-0.456m, z=0.233m$)



Σχήμα 5.20 Προφίλ ταχύτητας για το πλέγμα 3 μεταξύ των σημείων με συντεταγμένες ($x=0, y=-0.456m, z=0$ - $x=0, y=-0.456m, z=0.233m$)



Σχήμα 5.21 Προφίλ ταχύτητας για το πλέγμα 4 μεταξύ των σημείων με συντεταγμένες ($x=0.1016m, y=-0.456m, z=0$ - $x=0.1016m, y=-0.456m, z=0.233m$)

- Από τα 4 προφίλ παρατηρούμε ότι η μέγιστη ταχύτητα εμφανίζεται στην ελεύθερη επιφάνεια και η ελάχιστη στο πυθμένα του αγωγού, όπως φάνηκε και στα προηγούμενα σχήματα. Στα Σχήματα 5.18-5.21 φαίνεται ότι η συνάρτηση της ταχύτητας του ρευστού με το βάθος ροής είναι γνησίως αύξουσα, που αποτελεί τη μαθηματική εξήγηση για το γεγονός της εμφάνισης της μέγιστης ταχύτητας στην ελεύθερη επιφάνεια και της ελάχιστης στο πυθμένα. Επίσης, η μικρότερη από τη μέγιστη ταχύτητα παρουσιάζεται στο πιο αραιό πλέγμα, γεγονός που υποδεικνύει την ανακρίβεια των αποτελεσμάτων σε αραιά πλέγματα. Ακόμα, γίνεται αντιληπτό ότι η μέγιστη ταχύτητα συγκλίνει στη τιμή 1,4 m/s περίπου για τα πλέγματα 2,3,4. Τέλος, παρατηρείται ότι όσο πυκνώνει το πλέγμα ομαλοποιείται η κλίση του προφίλ ταχύτητας και ειδικότερα για το πλέγμα 4 που είναι η λιγότερο απότομη συγκριτικά με τα υπόλοιπα προφίλ, γεγονός που μας οδηγεί κοντά στο συμπέρασμα ότι η διαμόρφωση του πλέγματος δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα της προσομοίωσης.

Στους επομένους πίνακες παρατίθενται τα αποτελέσματα του πειράματος του Illinois για ποσοστό φυτοκάλυψης $\alpha=0.62m^{-1}$ για τα 4 διαφορετικά πλέγματα καθώς και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του 2012.

Πίνακας 5.2

**Αποτελέσματα ταχυτήτων
του πειράματος του Illinois (πλέγμα 1)**

Z(m)	<u>U(m/s)</u>
0.0075	0.5449
0.0181	0.5497
0.0382	0.5647
0.0484	0.5753
0.0608	0.6115
0.0704	0.6621
0.0802	0.7283
0.0956	0.7283
0.1058	0.7865
0.1203	0.8437

Πίνακας 5.3

**Αποτελέσματα ταχυτήτων
του πειράματος του Illinois (πλέγμα 2)**

Z(m)	<u>U(m/s)</u>
0.081	0.5536
0.0183	0.5493
0.0377	0.5750
0.0474	0.5790
0.0595	0.6274
0.0705	0.6446
0.0804	0.7029
0.0941	0.7710
0.1049	0.8114
0.1203	0.8735

Πίνακας 5.4

**Αποτελέσματα ταχυτήτων
του πειράματος του Illinois (πλέγμα 3)**

Z(m)	<u>U(m/s)</u>
0.0073	0.5714
0.0173	0.5511
0.0380	0.5742
0.0468	0.5879
0.0604	0.6113
0.0700	0.6259
0.0801	0.6456
0.0951	0.6842
0.1044	0.7205
0.1200	0.8119

Πίνακας 5.5

**Αποτελέσματα ταχυτήτων
του πειράματος του Illinois (πλέγμα 4)**

Z(m)	<u>U(m/s)</u>	Z(m)	<u>U(m/s)</u>
0.0073	0.5714	0.007	0.5837
0.0173	0.5511	0.0177	0.5760
0.0380	0.5742	0.0377	0.6196
0.0468	0.5879	0.0478	0.6416
0.0604	0.6113	0.0606	0.6794
0.0700	0.6259	0.0703	0.7278
0.0801	0.6456	0.0808	0.7458
0.0951	0.6842	0.0953	0.7942
0.1044	0.7205	0.1053	0.8063
0.1200	0.8119	0.1205	0.8872

Πίνακας 5.6

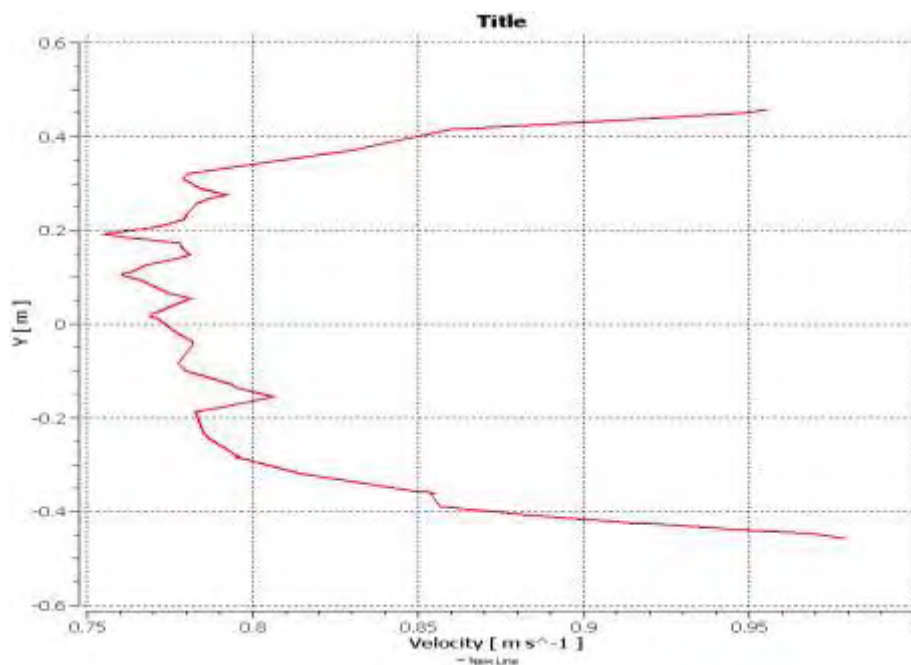
**Τιμές ταχυτήτων με βάση τη
προσομοίωση του 2012**

Z(m)	V(m/s)
0	0.29
0.118	0.62
0.233	1.39
0	0.3
0.118	0.76
0.233	1.52
0	0.38
0.118	1.11

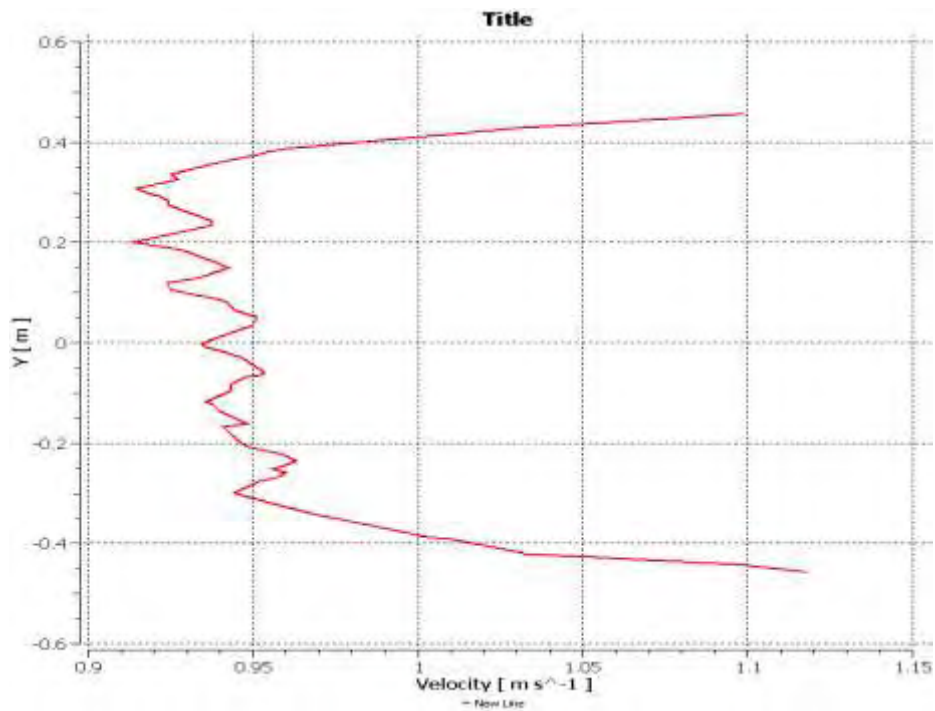
0.233	1.54
0	0.43
0.118	1.24
0.233	1.63

- Οι Πίνακες 5.2-5.5 δίνουν τις τιμές των ταχυτήτων για βάθος ροής μέχρι το ύψος των κυλίνδρων για τα 4 πλέγματα για τα οποία έγιναν τα πειράματα του πανεπιστημίου του Illinois για ποσοστό φυτοκάλυψης $\alpha=0.62m^{-1}$. Σε σχέση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε παρατηρούνται μικρότερες τιμές για βάθη ροής $<0.12m$. Οι αντίστοιχες τιμές που προήλθαν από τη προσομοίωση για τα 4 πλέγματα στο ύψος 0.12 (0.118 είναι το ύψος των κυλίνδρων) είναι $V=0.97m/s$, $V=1.12m/s$, $V=1.09m/s$, $V=0.98m/s$.

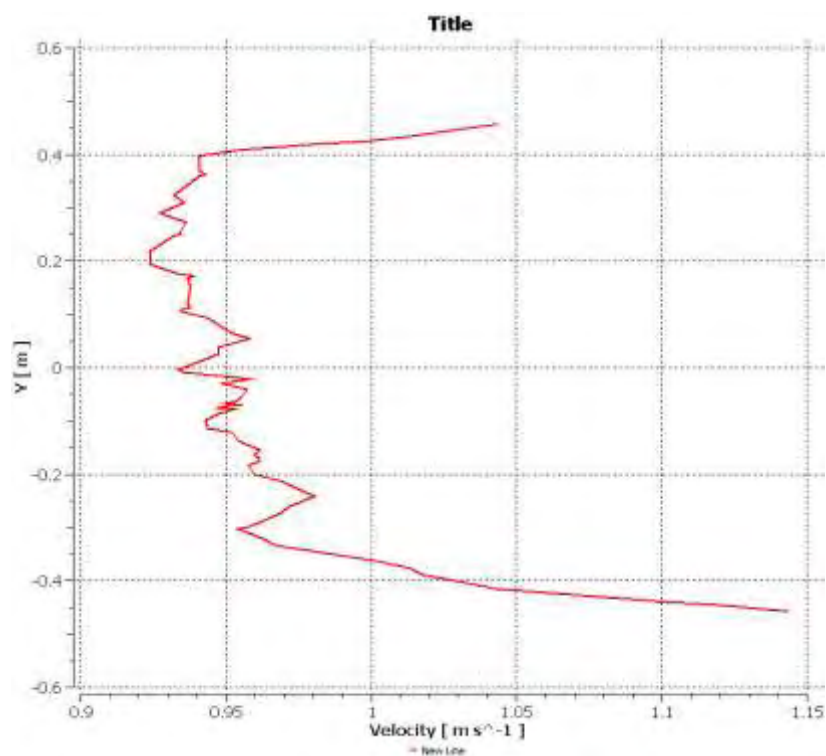
Η προσομοίωση του 2012 για τα 4 διαφορετικά πλέγματα παρουσιάζει διαφοροποιήσεις στις τιμές των ταχυτήτων και με τις πειραματικές αλλά και της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε. Πιο συγκεκριμένα, στο Πίνακα 5.6 φαίνονται οι τιμές του ρευστού στο πυθμένα, στη κορυφή των κυλίνδρων και στην ελεύθερη επιφάνεια για τα 4 διαφορετικά πλέγματα αντίστοιχα



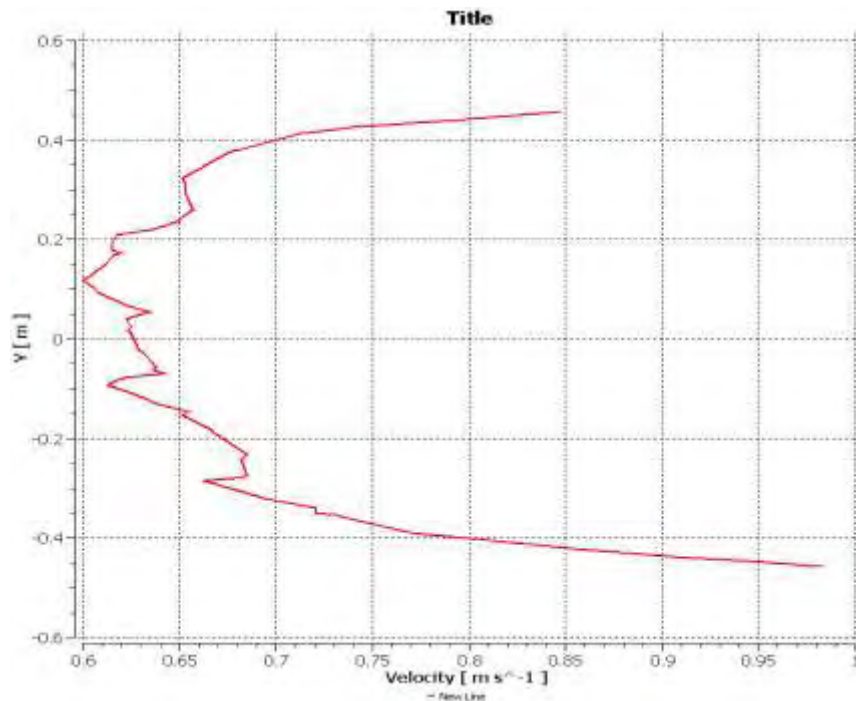
Σχήμα 5.22 Προφίλ ταχύτητας συνάρτηση πλάτους μεταξύ των θέσεων με συντεταγμένες $(x=0, y=-0.4572m, z=0.118m - x=0, y=0.4572m, z=0.118m)$ για το πλέγμα 1



Σχήμα 5.23 Προφίλ ταχύτητας συνάρτηση πλάτους μεταξύ των θέσεων με συντεταγμένες ($x=0, y=-0.4572m, z=0.118m$ - $x=0, y=0.4572m, z=0.118m$) για το πλέγμα 2

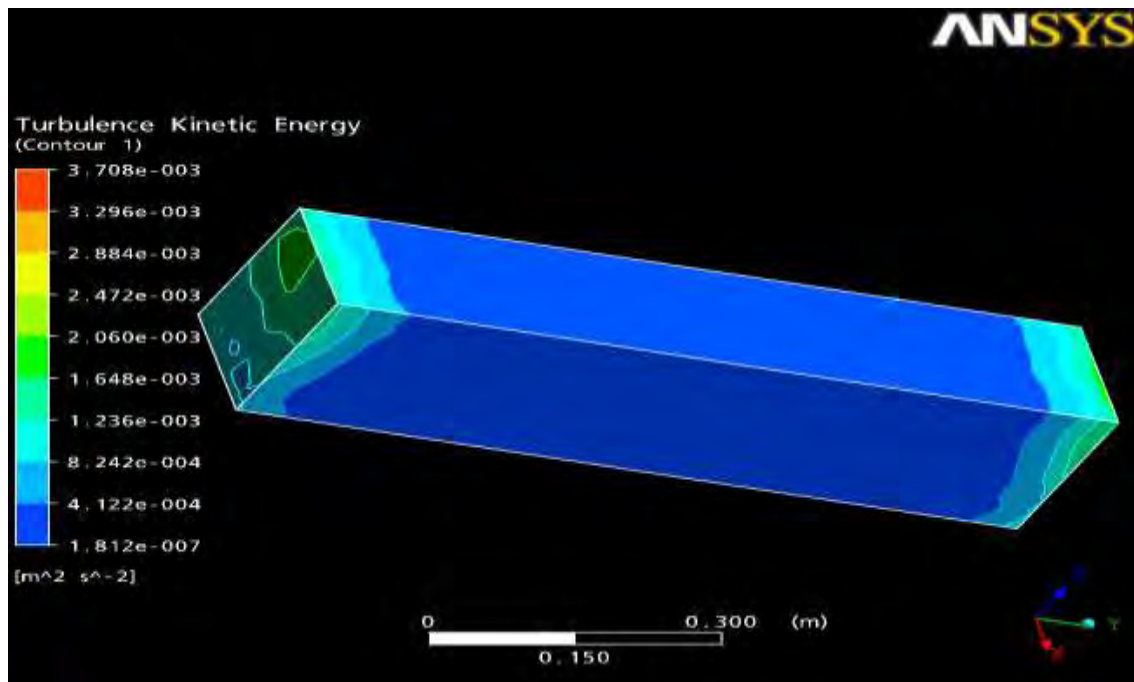


Σχήμα 5.24 Προφίλ ταχύτητας συνάρτηση πλάτους μεταξύ των θέσεων με συντεταγμένες ($x=0, y=-0.4572m, z=0.118m$ - $x=0, y=0.4572m, z=0.118m$) για το πλέγμα 3



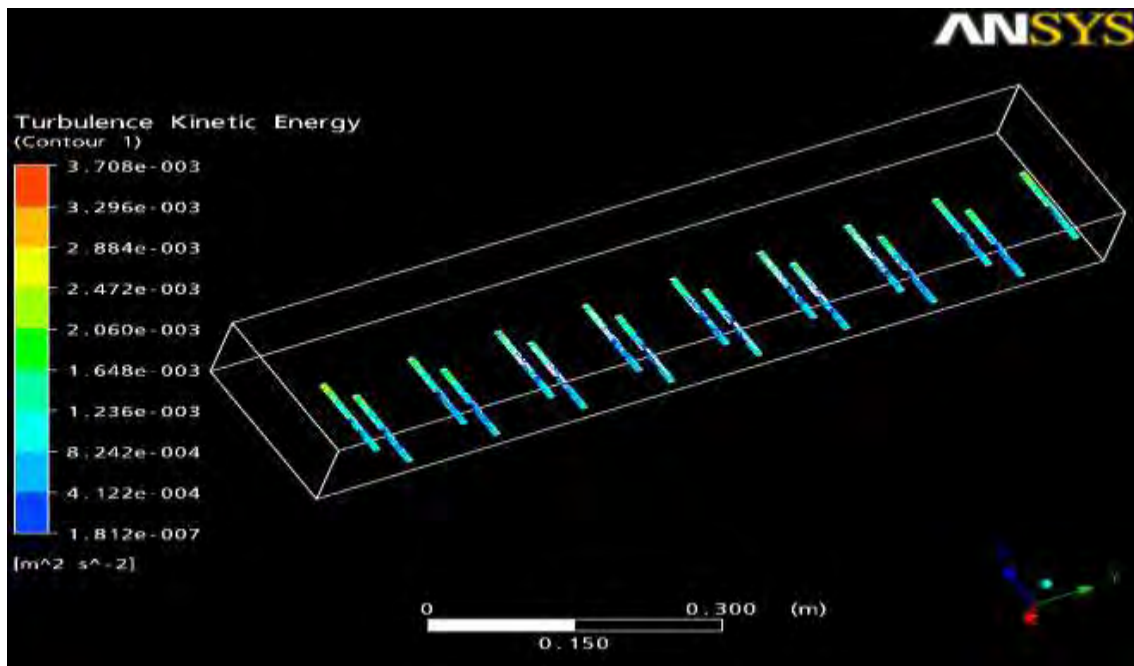
Σχήμα 5.25 Προφίλ ταχύτητας συνάρτηση πλάτους μεταξύ των θέσεων με συντεταγμένες ($x=0, y=-0.4572m, z=0.118m$ - $x=0, y=0.4572m, z=0.118m$) για το πλέγμα 4

- Στα διαγράμματα αυτά φαίνεται ότι οι μέγιστες ταχύτητες κατά πλάτος παρουσιάζονται στα άκρα. Ειδικότερα και για τα 4 πλέγματα η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στη δεξιά πλευρά του αγωγού. Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στο πλέγμα 3. Αντίθετα με τα προφίλ ταχύτητας συναρτήση του βάθους ροής τα προφίλ κατά πλάτος δεν παρουσιάζουν ομαλή κλίση.

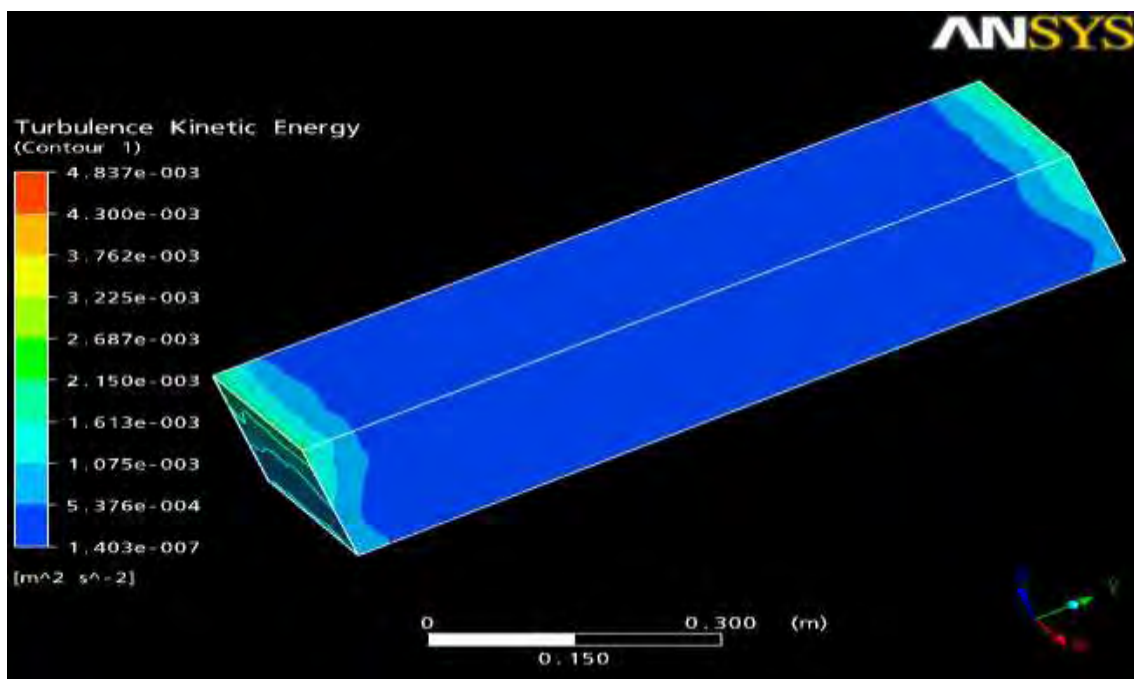


Σχήμα 5.26 Τιμές της τυρβώδους κινητικής ενέργειας στη περίμετρο του αγωγού για το πλέγμα 1

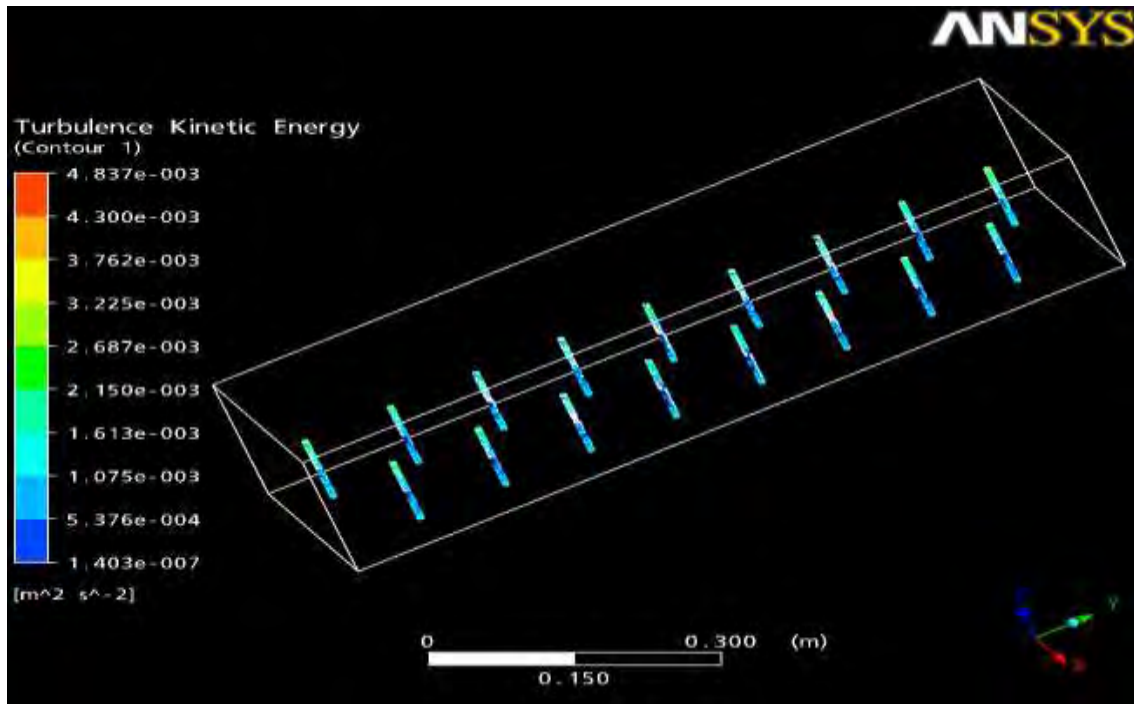
Στο Σχήμα 5.26 παρουσιάζονται οι τιμές της τυρβώδους κινητικής ενέργειας για το πλέγμα 1 στο πυθμένα, στην ελεύθερη επιφάνεια αλλά και στους τοίχους. Η ελάχιστη τιμή εμφανίζεται στα τοιχώματα (εκτός των ακραίων θέσεων) με τιμή $\min=1.81228 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}^2$. Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στα τοιχώματα που η τιμή της τύρβης παρουσιάζει διακυμάνσεις.



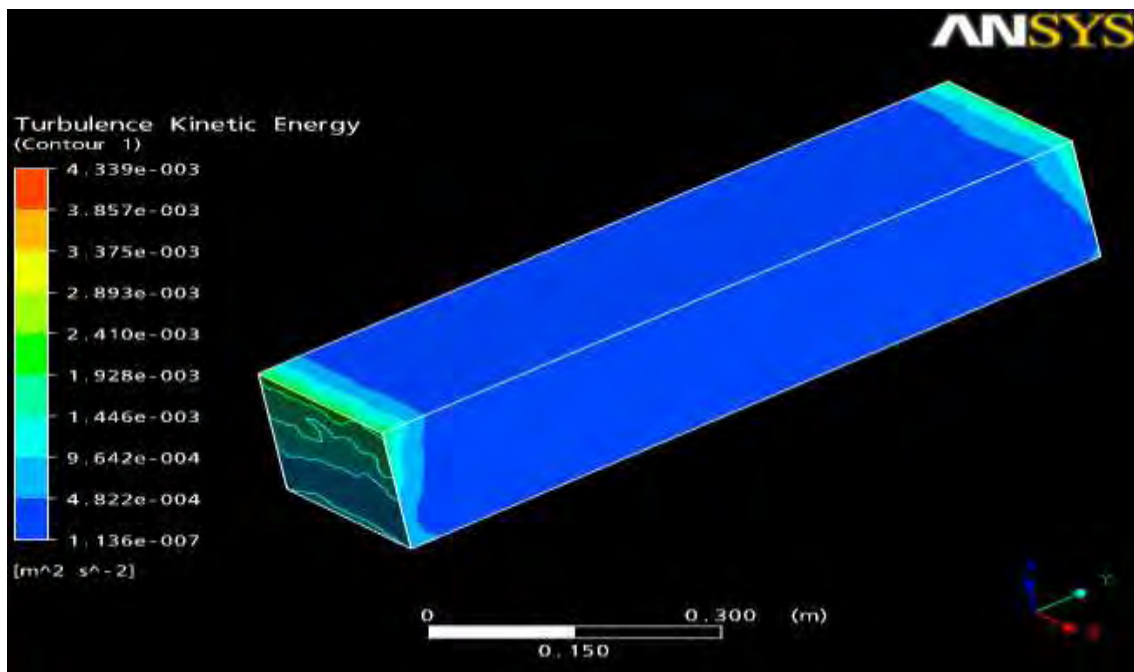
Σχήμα 5.27 Τυρβώδης κινητική ενέργεια γύρω από τους κυλίνδρους στη κορυφή των οποίων εντοπίζεται η μέγιστη τιμή $\max=0.00370829 \text{ m}^2/\text{s}^2$ για το πλέγμα 1



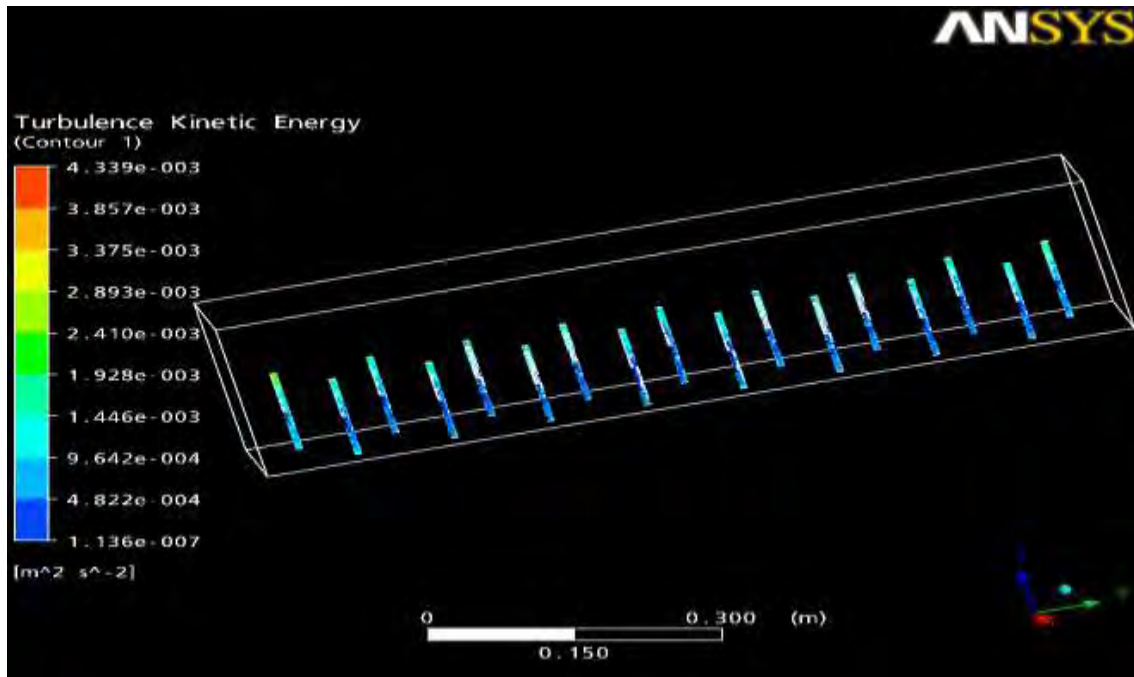
Σχήμα 5.28 Τιμές της τυρβώδους κινητικής ενέργειας στη περίμετρο του αγωγού για το πλέγμα 2 με $\min=1.40314 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}^2$



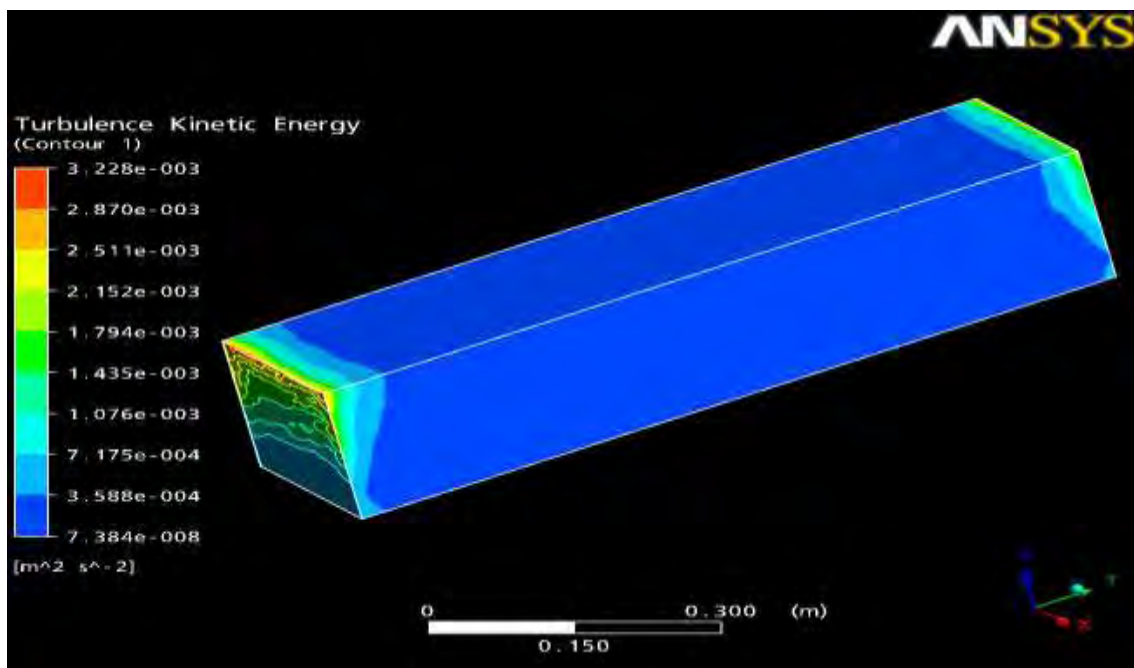
Σχήμα 5.29 Τυρβώδης κινητική ενέργεια γύρω από τους κυλίνδρους στη κορυφή των οποίων εντοπίζεται η μέγιστη τιμή $\max=0.00483725 \text{ m}^2/\text{s}^2$ για το πλέγμα 2



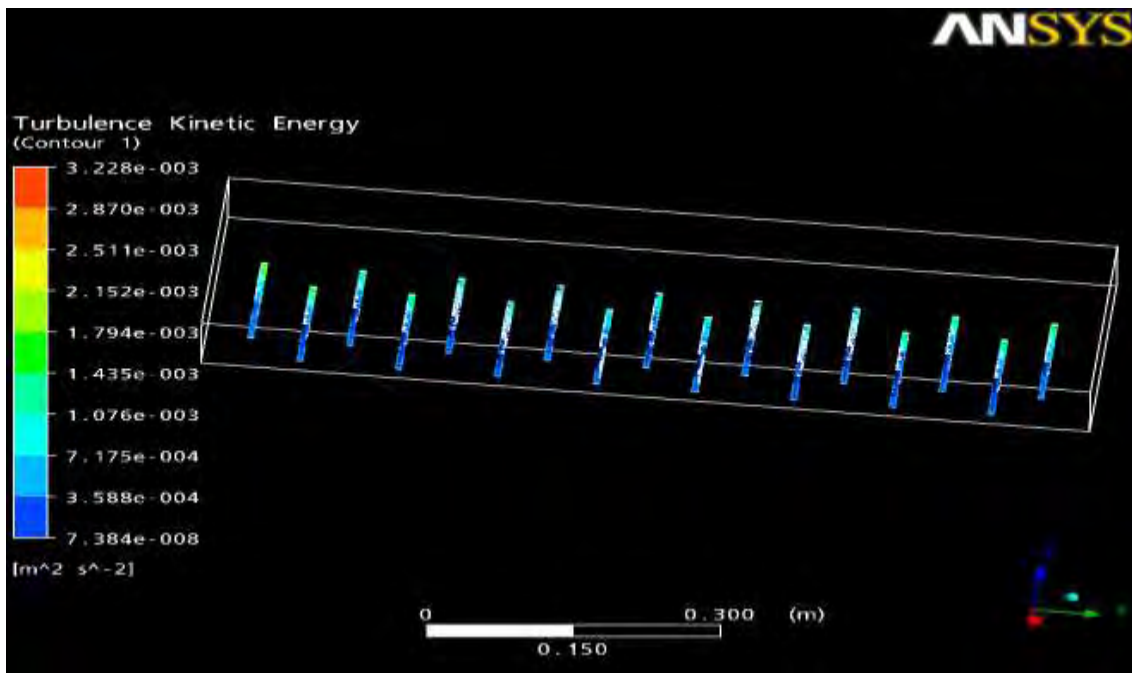
Σχήμα 5.30 Τιμές της τυρβώδους κινητικής ενέργειας στη περίμετρο του αγωγού για το πλέγμα 3 όπου, $\min=1.13556 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}^2$.



Σχήμα 5.31 Τυρβώδης κινητική ενέργεια γύρω από τους κυλίνδρους στη κορυφή των οποίων εντοπίζεται η μέγιστη τιμή $\max=0.00433873 \text{ m}^2/\text{s}^2$ για το πλέγμα 3



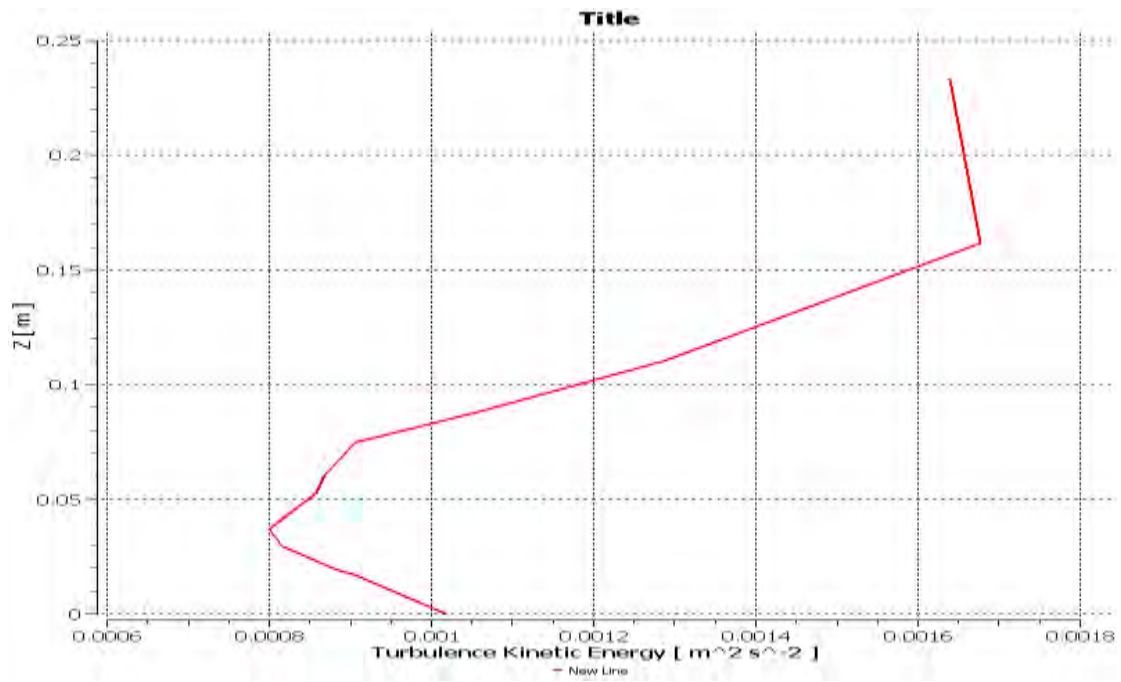
Σχήμα 5.32 Τιμές της τυρβώδους κινητικής ενέργειας στη περίμετρο του αγωγού για το πλέγμα 4 όπου, $\min=7.38417 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}^2$



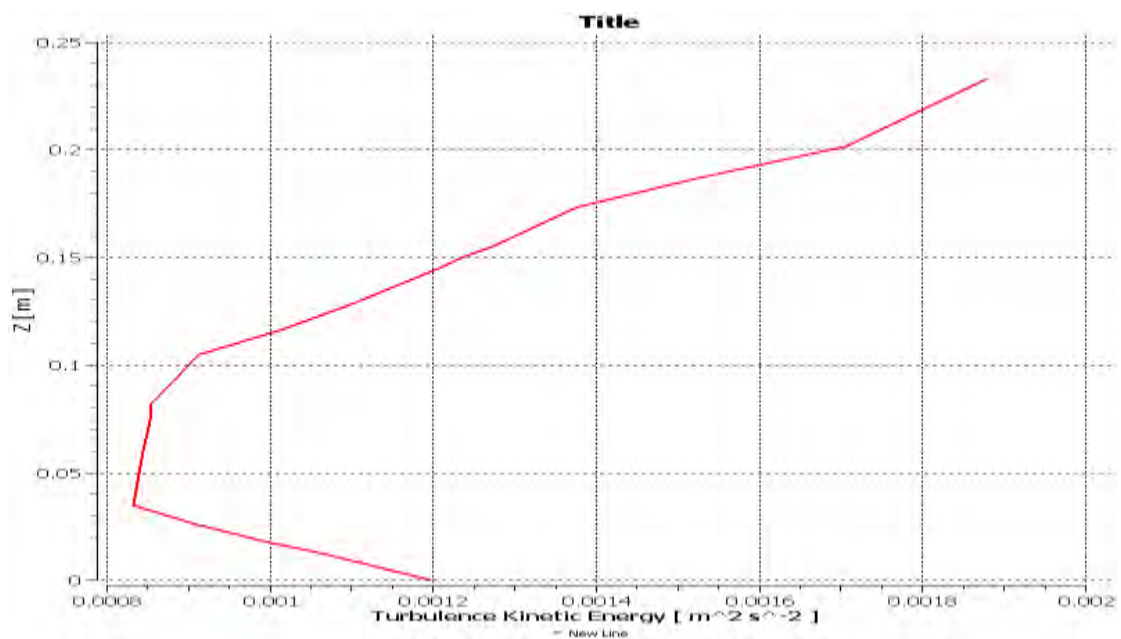
Σχήμα 5.33 Τυρβώδης κινητική ενέργεια γύρω από τους κυλίνδρους στη κορυφή των οποίων εντοπίζεται η μέγιστη τιμή $\max=0.00322834m^2/s^2$ για το πλέγμα 4

- Οι μέγιστες τιμές της τυρβώδους κινητικής ενέργειας παρουσιάζονται γύρω από τη κορυφή των κυλίνδρων. Αυτό είναι και λογικό διότι το ρευστό στη περιοχή εκεί συναντά το πιο ψηλό εμπόδιο κατά τη διάρκεια της ροής. Όπως και στη ταχύτητα έτσι και στη τυρβώδη κινητική ενέργεια η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στο πλέγμα 2 και η αμέσως μεγαλύτερη μέγιστη τιμή στο πλέγμα 3. Το ίδιο συμβαίνει και για τη μέγιστη ελάχιστη τιμή. Τέλος παρατηρείται ότι η ελάχιστη μέγιστη τιμή της τυρβώδους ενέργειας παρατηρείται στο πλέγμα 4, βέβαια οι διαφορές είναι πολύ μικρές.

Παραπάνω είχε γίνει αναφορά για τη συμπεριφορά της τυρβώδους κινητικής ενέργειας στα τοιχώματα. Αυτό θα φανεί και στα προφίλ της τυρβώδους κινητικής ενέργειας για τα 4 πλέγματα.



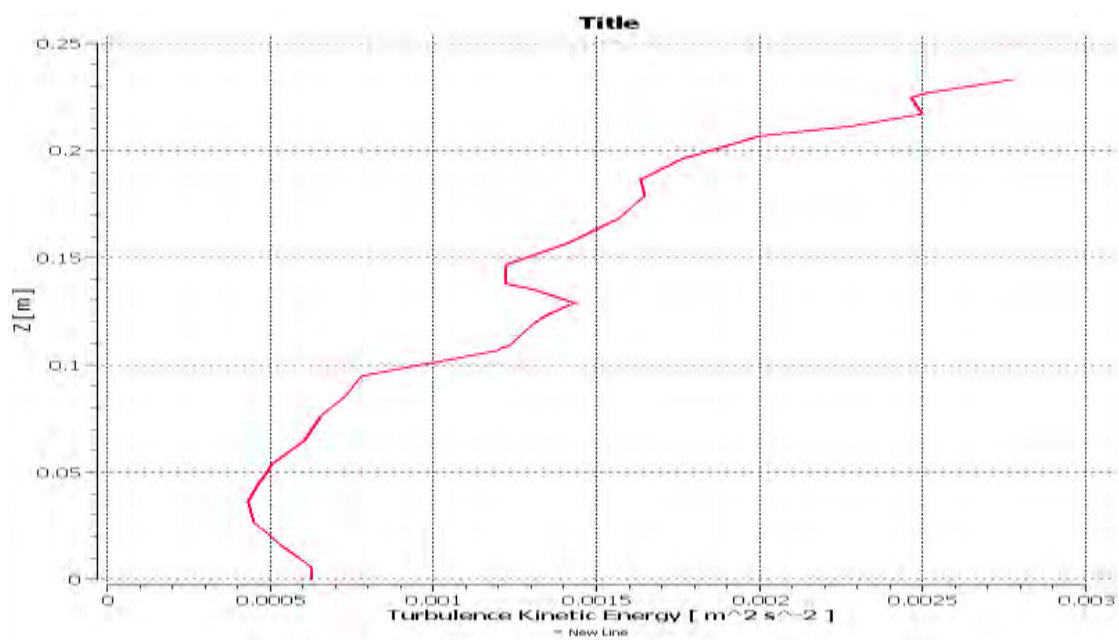
Σχήμα 5.34 Προφίλ τυρβώδους κινητικής ενέργειας για το πλέγμα 1 στο μέσο του δεξιού τοιχώματος



Σχήμα 5.35 Προφίλ τυρβώδους κινητικής ενέργειας για το πλέγμα 2 στο μέσο του δεξιού τοιχώματος

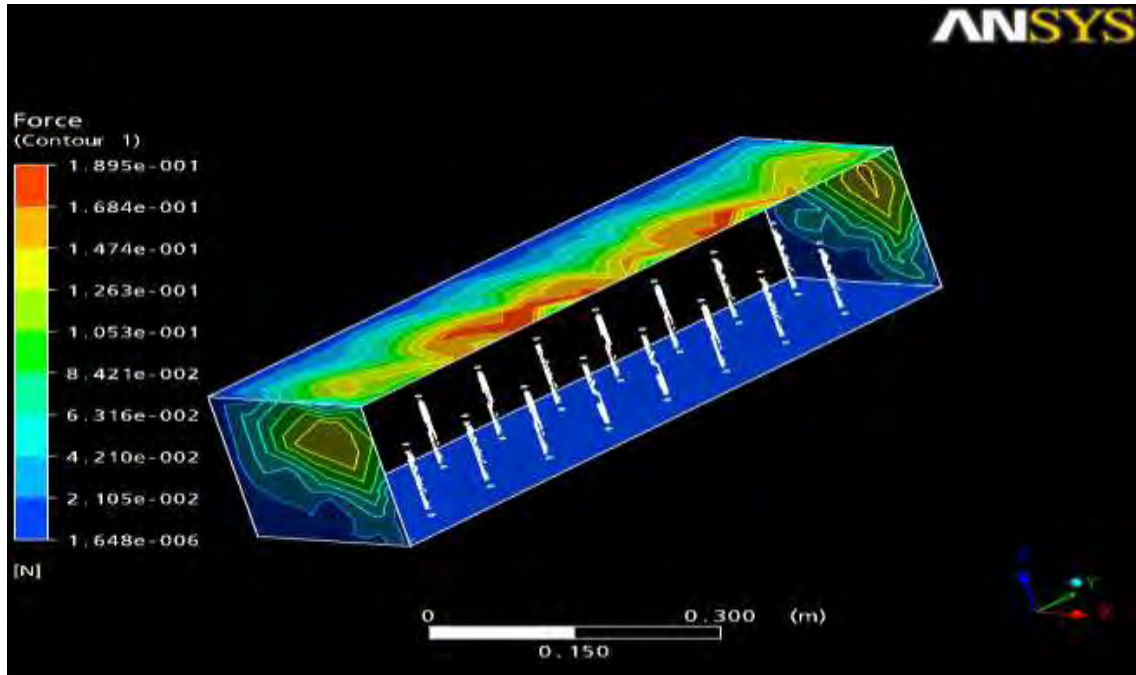


Σχήμα 5.36 Προφίλ τυρβώδους κινητικής ενέργειας για το πλέγμα 3 στο μέσο του δεξιού τοιχώματος

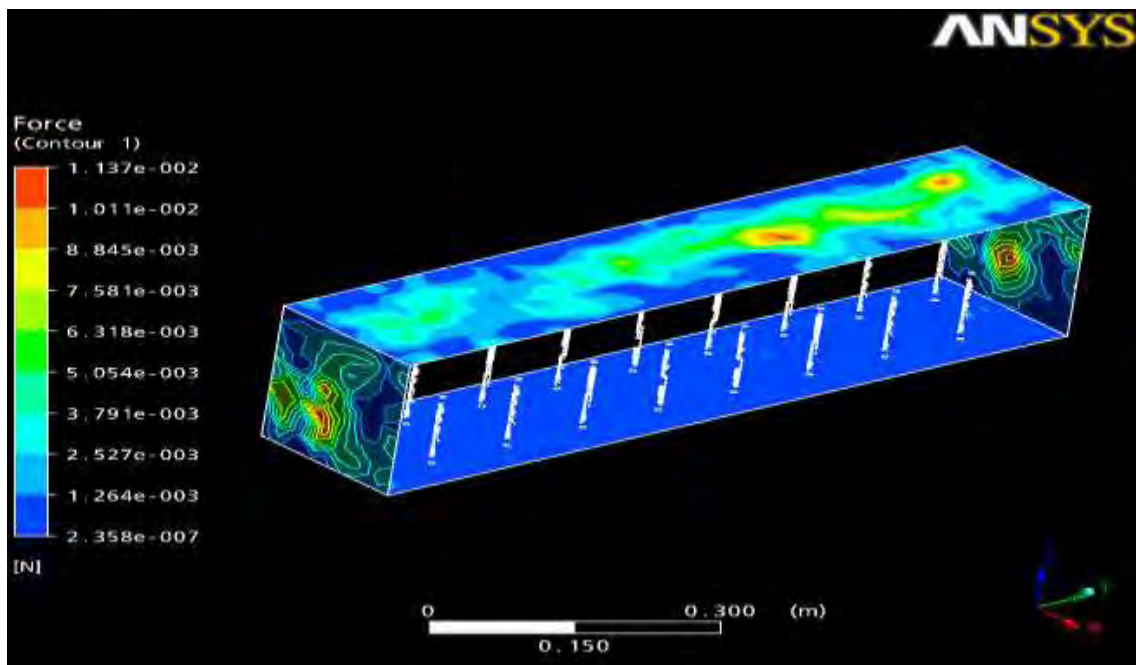


Σχήμα 5.37 Προφίλ τυρβώδους κινητικής ενέργειας για το πλέγμα 4 στο μέσο του δεξιού τοιχώματος

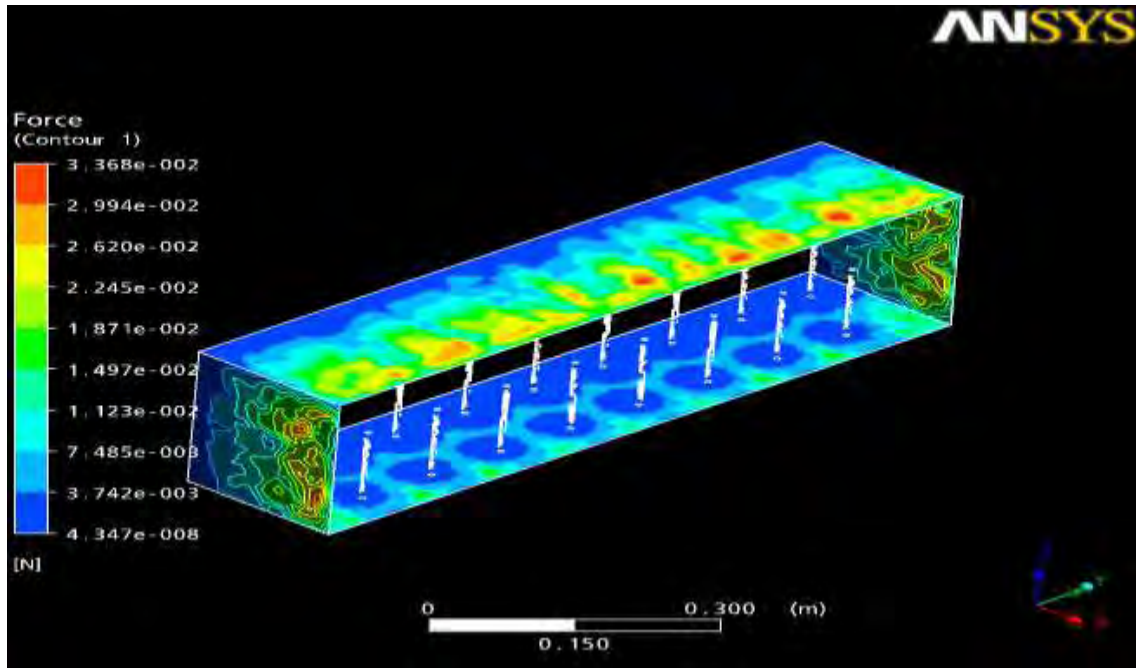
- Και στα 4 πλέγματα η συνάρτηση είναι αύξουσα, δηλαδή όσο ανεβαίνει το υψόμετρο τόσο η τυρβώδης κινητική ενέργεια αυξάνεται κάτι που δεν συνέβαινε στην υπόλοιπη ελεύθερη επιφάνεια, με εξαίρεση τις άκρες όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.26, 5.28, 5.30, 5.32



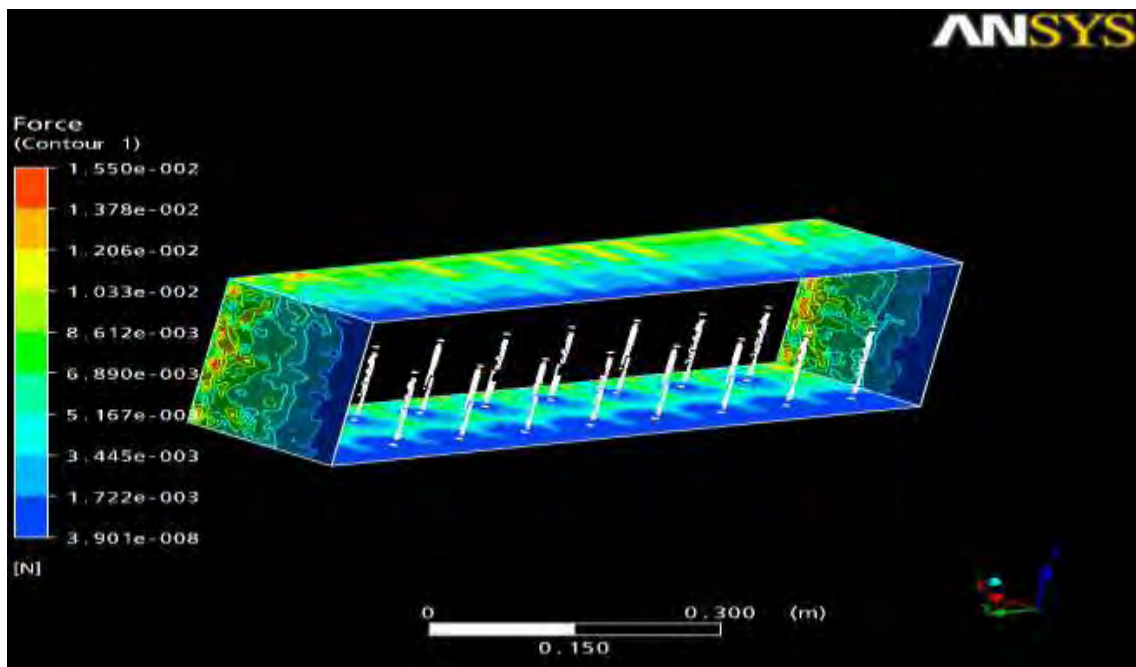
Σχήμα 5.38 Απεικόνιση των συνολικών δυνάμεων που ασκούνται στο ρευστό για το πλέγμα 1 στην ελεύθερη επιφάνεια και στα τοιχώματα. Η μέγιστη τιμή είναι $\max=0.189464$ N και η ελάχιστη $\min=1.64761 \times 10^{-6}$ N. Όπως φαίνεται η ελάχιστη εμφανίζεται στο πυθμένα και η μέγιστη στην ελεύθερη επιφάνεια



Σχήμα 5.39 Απεικόνιση των συνολικών δυνάμεων που ασκούνται στο ρευστό για το πλέγμα 2 στην ελεύθερη επιφάνεια και στα τοιχώματα. Στο Σχήμα 5.39 παρατηρείται ότι η ελάχιστη τιμή εμφανίζεται στο πυθμένα του αγωγού με τιμή $\min=2.35814 \times 10^{-7}$ N και η μέγιστη στην ελεύθερη επιφάνεια με τιμή $\max=0.0113718$ N



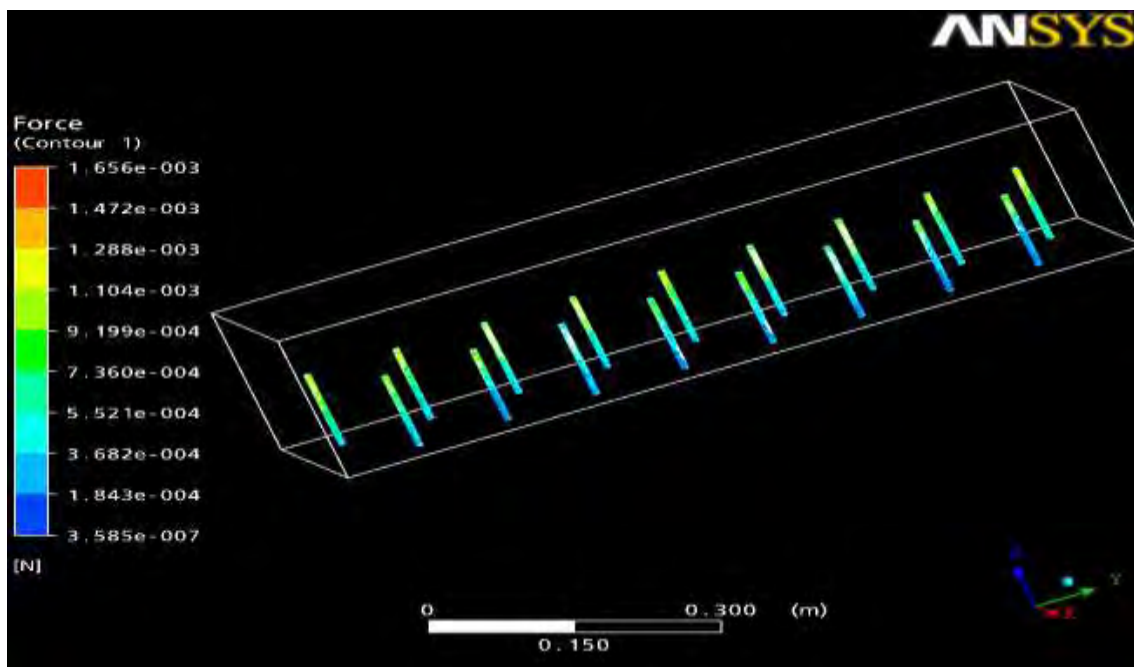
Σχήμα 5.40 Στο Σχήμα 5.40 φαίνονται οι συνολικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στο ρευστό για το πλέγμα 3 στην ελεύθερη επιφάνεια και στα τοιχώματα, με μέγιστη τιμή $\max=0.0336815$ N και ελάχιστη $\min=4.34661 \times 10^{-8}$ N



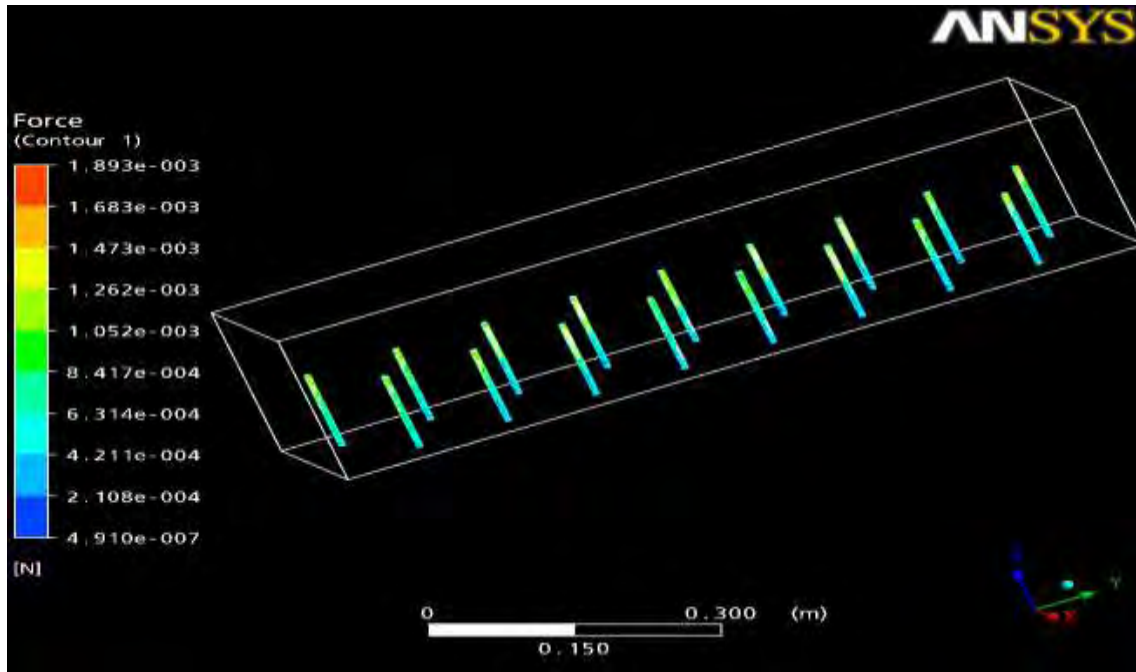
Σχήμα 5.41 Στο Σχήμα 5.40 παρατηρείται ότι η ελάχιστη δύναμη εμφανίζεται στο πυθμένα του αγωγού με τιμή $\min=3.90115 \times 10^{-8}$ N και η μέγιστη στην ελεύθερη επιφάνεια με τιμή $\max=0.0155015$ N για το πλέγμα 4.

- Αντίθετα με τη ταχύτητα και τη τυρβώδη κινητική ενέργεια οι μέγιστες δυνάμεις αναπτύσσονται στο πλέγμα 1. Επίσης παρατηρείται ότι στα πλέγματα 1,2 δυνάμεις που ασκούνται στο πυθμένα είναι σταθερές ενώ στα πλέγματα 3,4 υπάρχει μεταβολή της τιμής στην επιφάνεια του πυθμένα. Τέλος και στα 4 πλέγματα η μέγιστη δύναμη εμφανίζεται στην ελεύθερη επιφάνεια.

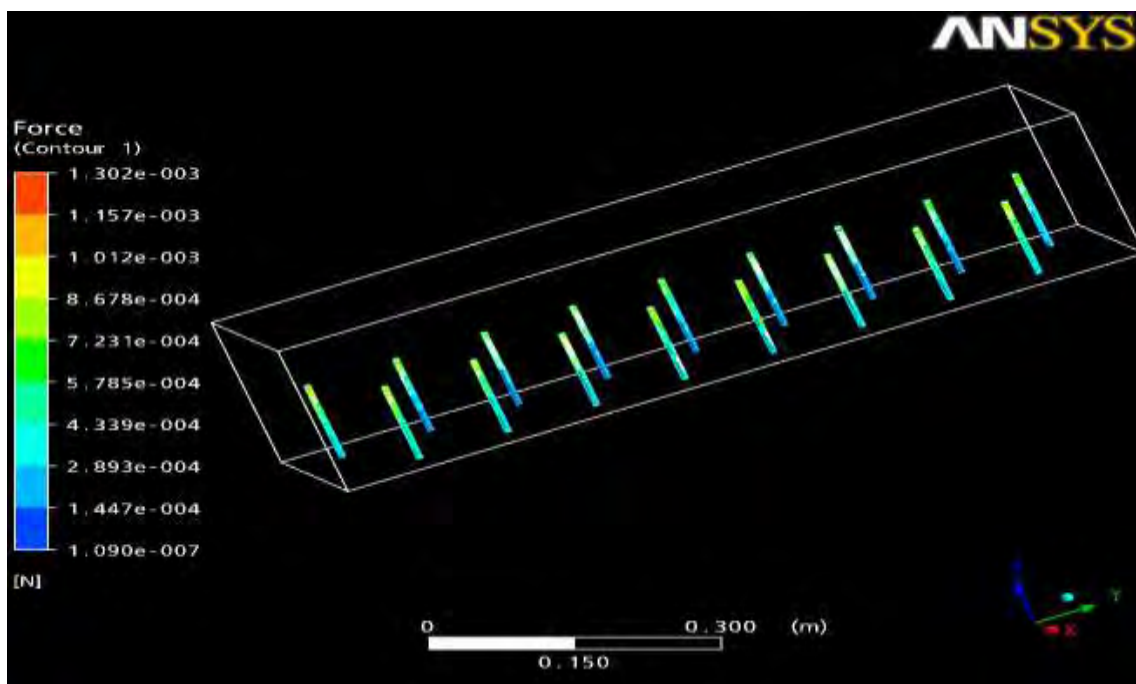
Στα Σχήματα που ακολουθούν 5.42,5.43,5.44,5.45 παρατίθενται η συνολική δύναμη που ασκείται στους κυλίνδρους στα 4 πλέγματα.



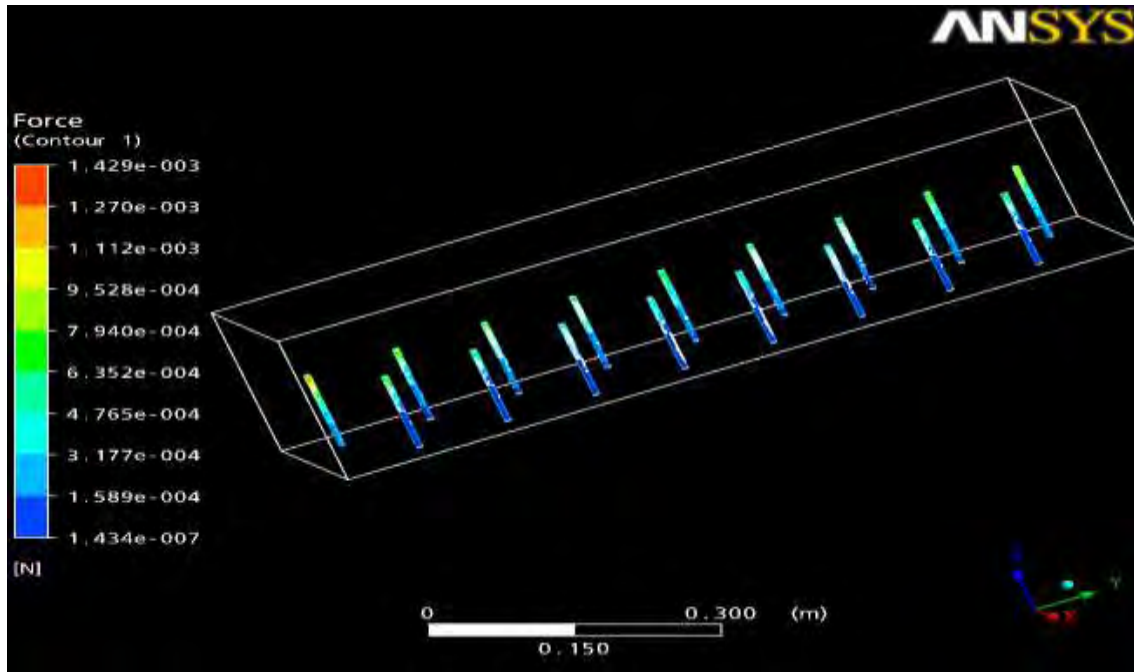
Σχήμα 5.42 Συνολική δύναμη που ασκείται στους κυλίνδρους για το πλέγμα 1, με μέγιστη τιμή $\max=0.0016555\text{N}$ και ελάχιστη $\min=3.5847 \times 10^{-7}\text{N}$



Σχήμα 5.43 Συνολική δύναμη που ασκείται στους κυλίνδρους για το πλέγμα 2, με μέγιστη τιμή $\max=0.00189318\text{N}$ και ελάχιστη $\min=4.91006 \times 10^{-7}\text{N}$



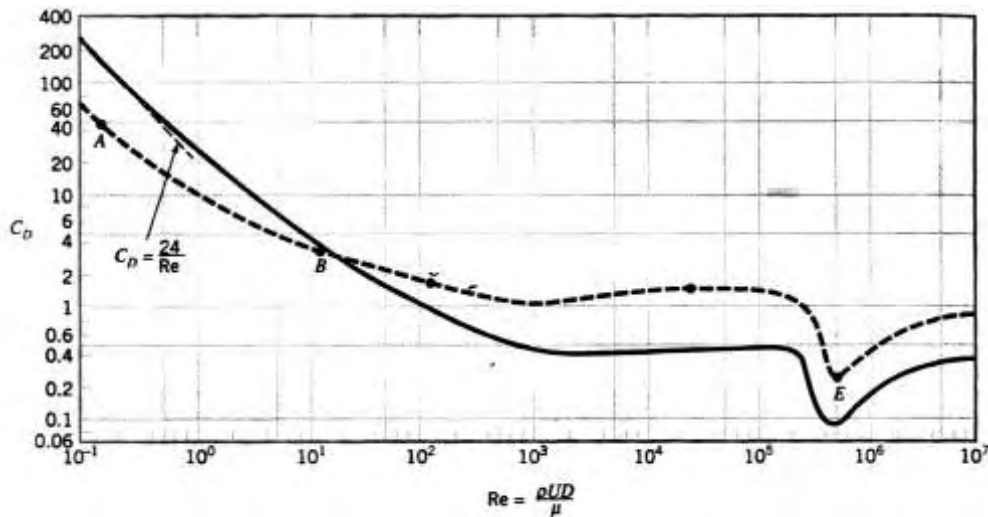
Σχήμα 5.44 Συνολική δύναμη που ασκείται στους κυλίνδρους για το πλέγμα 3, με μέγιστη τιμή $\max=0.00130158\text{N}$ και ελάχιστη $\min=1.09029 \times 10^{-7}\text{N}$



Σχήμα 5.45 Συνολική δύναμη που ασκείται στους κυλίνδρους για το πλέγμα 4, με μέγιστη τιμή $\max=0.00142908\text{N}$ και ελάχιστη $\min=1.43422 \times 10^{-7}\text{N}$

- Η ροή γύρω από το κύλινδρο του προκαλεί μια δύναμη που είναι η συνισταμένη των δυνάμεων λόγω τάσεων και πιέσεων στην επιφάνειά του. Η ολική δύναμη αναλύεται σε δύο συνιστώσες, μια παράλληλη προς την ροή που λέγεται αντίσταση του κυλίνδρου, και μία κάθετη προς την ροή που λέγεται δυναμική άνωση του κυλίνδρου. Ειδικότερα, η αντίσταση του κυλίνδρου οφείλεται στις τάσεις τριβής στην επιφάνεια και στις διαφορετικές πιέσεις κατά ύψος του κυλίνδρου. Το μέρος της αντίστασης που οφείλεται στις δυνάμεις τριβής λέγεται αντίσταση λόγω τριβής, ενώ το μέρος της αντίστασης που οφείλεται στις διαφορετικές πιέσεις κατά μήκος του κυλίνδρου λέγεται αντίσταση λόγω μορφής. Μη μηδενική μέση άνωση έχουν μόνο τα μη συμμετρικά αντικείμενα

Η ροή γύρω από κύλινδρο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού πολλές κατασκευές που λειτουργούν μέσα σε ρεύματα έχουν κυκλική διατομή (π.χ. καλώδια). Λόγω της απλότητας του σχήματος του κυλίνδρου, που χαρακτηρίζεται μόνο από μία διάσταση (τη διάμετρο), η ροή γύρω από τον κύλινδρο εξαρτάται μόνο από τον αριθμό του Reynolds βασισμένο πάνω στην ταχύτητα της εξωτερικής ροής U , και τη διάμετρο D του κυλίνδρου: $R=UD/\nu$. Στη προκειμένη περίπτωση η ταχύτητα κυμαίνεται από το πυθμένα έως το ύψος των κυλίνδρων περίπου από 0.5 έως 1 m/s, η διάμετρος $D=0.00635\text{mm}$ και η κινηματική συνεκτικότητα $\nu=10^{-9}\text{m}^2/\text{s}$. Στο Σχήμα 5.46 φαίνεται η μεταβολή του αριθμού Reynolds, σε κύλινδρο αλλά και σε σφαίρα, πώς επηρεάζει το συντελεστή αντίστασης.



Σχήμα 5.46 Μεταβολή του συντελεστή αντίστασης κυλίνδρου με λεία επιφάνεια (διακεκομμένη γραμμή), και σφαίρας (συνεχής γραμμή) σαν συναρτήση του αριθμού Reynolds.

5.5.2 Συμπεράσματα

- Η λύση πρέπει να είναι ανεξάρτητη του πλέγματος που θα χρησιμοποιηθεί. Η μείωση των στοιχείων οδηγεί σε πιο ανακριβή αποτελέσματα, ενώ αντίθετα η μεγάλη αύξηση μεγαλώνει πολύ το υπολογιστικό κόστος. Η τελική επιλογή των πεπερασμένων στοιχείων έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχουν ανακρίβειες στους υπολογισμούς και το υπολογιστικό κόστος να είναι σχετικά μικρό.

Παρατηρείται, ότι όσο πυκνώνει το πλέγμα οι κλίσεις στα προφίλ ταχυτήτων συναρτήση του βάθους ροής ομαλοποιούνται. Αυτό σημαίνει ότι η διαμόρφωση του αριθμητικού πλέγματος **τείνει να μην επηρεάζει το αποτέλεσμα της προσομοίωσης**. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, το πλέγμα 4 κρίνεται ως το πιο κατάλληλο για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Βέβαια για να επιτευχθεί ανεξαρτητοποίηση του πλέγματος απαιτείται χρήση υπολογιστή με μεγαλύτερες δυνατότητες από εκείνον που χρησιμοποιήθηκε στη προσομοίωση (μνήμη RAM μόλις 2GB)

- Η επίτευξη μεγάλου αριθμού Reynolds, λόγω της χαμηλής τιμής του δυναμικού ιξώδους $\mu = 10^{-6} \text{ kg/m s}$ (αντιστρόφως ανάλογα μεγέθη), είχε ως αποτέλεσμα η ροή παράλληλα προς το τοίχωμα να χαρακτηρίζεται από ένα λεπτό οριακό στρώμα πλάι στο τοίχωμα. Μέσα στο οριακό στρώμα η ταχύτητα του ρευστού παράλληλα προς το τοίχωμα μεταβάλλεται, από την τιμή της έξω από το οριακό στρώμα, στην τιμή μηδέν που επιβάλλει η φυσική οριακή συνθήκη πάνω στο

τοίχωμα (no slip). Το ρευστό που βρίσκεται μέσα στο οριακό στρώμα κινείται βραδύτερα από ότι το ρευστό εκτός οριακού στρώματος. Κατά συνέπεια το οριακό στρώμα χαρακτηρίζεται απο ελαττωμένη ροή μάζας και ελαττωμένη ροή ορμής.

- Στα Σχήματα 5.27, 5.29, 5.31, 5.33, που παρουσιάζουν τη τυρβώδη κινητική ενέργεια γύρω από τους κυλίνδρους, φαίνεται ότι στις κορυφές τους οι τιμές μεγιστοποιούνται. Αυτό σημαίνει πως η περιοχή αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι το φαινόμενο της τύρβης βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Στις περιοχές αυτές εκδηλώνονται έντονοι στροβιλισμοί με αποτέλεσμα τη ραγδαία ανταλλαγή της ποσότητας κίνησης μεταξύ των 2 στρώσεων, πάνω και κάτω από τα φυτά. Επίσης σχηματίζονται δίνες εναλλάξ στην πάνω και κάτω πλευρά του κυλίνδρου που προκαλούν αρμονική δύναμη στον κύλινδρο σε κατεύθυνση κάθετη προς την ροή και με συχνότητα ίση προς την συχνότητα σχηματισμού δινων. Έτσι αν ο κύλινδρος είναι μέρος εύκαμπτης κατασκευής (π.χ. καλώδιο), στη προσομοίωση λήφθηκε ως δύσκαμπτο αλλά στο πείραμα του πανεπιστημίου του Illinois μελετήθηκε και για τις 2 περιπτώσεις, υπάρχει δυνατότητα συντονισμού όταν η συχνότητα σχηματισμού δινών γίνει περίπου ίση με μία από τις ιδιοσυχνότητες της κατασκευής. Τότε η κατασκευή ταλαντώνεται με κίνδυνο αστοχίας λόγω κοπώσεως. Το φαινόμενο συντονισμού ανήκει στην κατηγορία των υδροελαστικών φαινομένων, και είναι υπεύθυνο για πολλές αστοχίες κατασκευών που λειτουργούν μέσα σε θαλάσσιο ρεύμα, αλλά και κατασκευών στην ξηρά που λειτουργούν σε περιοχές με συχνούς δυνατούς ανέμους.
- Για να μειωθεί η ταχύτητα στην ελεύθερη επιφάνεια του αγωγού (του ποταμού) και γενικότερα στη στρώση πάνω από τα φυτά δηλαδή για ύψοι > 0.118m, πρέπει να αυξηθεί η ταχύτητα στην υποκείμενη στρώση, από τα φυτά και κάτω (δηλαδή για ύψη < 0.118m). Αυτό λαμβάνει χώρα γιατί η παρουσία φυτοκάλυψης στη ροή με ελεύθερη επιφάνεια έχει ως βασική επίδραση στις κατανομές των ταχυτήτων τη μείωση των τιμών της ταχύτητας στη στρώση που περιλαμβάνει φυτοκάλυψη, τη προβολή αντίστασης στη ροή με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση των ταχυτήτων στη στρώση κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια και πάνω από τη βυθισμένη φυτοκάλυψη. Όσο πιο μεγάλη είναι η πυκνότητα της φυτοκάλυψης τόσο πιο μεγάλη αντίσταση προβάλλεται στη κάτω στρώση, δηλαδή τόσο μικρότερες είναι οι ταχύτητες στη περιοχή που υπάρχει βλάστηση και τόσο μεγαλύτερες στη πάνω στρώση. Στο Σχήμα 5.46 φαίνεται ο υπολογισμός της αντίστασης που προκαλούν οι κύλινδροι, δηλαδή τα φυτά, συναρτήση του αριθμού Reynolds.
Η επίτευξή του πραγματοποιείται με πιο αραιή φυτοκάλυψη κατά μήκος του αγωγού, δηλαδή με χρήση διαφορετικού κάνναβου, γιατί με αυτό τον τρόπο μειώνεται η αντίσταση του ρευστού. Πιο συγκεκριμένα στη προσομοίωση η κατά μήκος απόσταση των φυτών ήταν 10.16cm, η οποία δεν ήταν η μεγαλύτερη που λήφθηκε υπόψη στα πειράματα του πανεπιστημίου του

Illinois (15.24cm η μεγαλύτερη). Επομένως, σε περιόδους πλημμύρας όσο πιο αραιή είναι η φυτοκάλυψη τόσο πιο μικρή θα είναι η ταχύτητα στην ελεύθερη επιφάνεια ενός ποταμού.

- Η γνώση της μεταβολής της ταχύτητας του ρευστού συναρτήσει του βάθους ροής αλλά και του πλάτους και ο υπολογισμός μέγιστων ταχυτήτων μέσα σε χειμάρρους και ποταμούς δίνει τη δυνατότητα στο προσδιορισμό των θέσεων που εμφανίζονται οι μέγιστες ταχύτητες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα με τη δημιουργία κατάλληλων αντιπλημμυρικών έργων στις θέσεις αυτές την ελαχιστοποίηση των ζημιών σε περιόδους μεγάλων παροχών. Επίσης στις περιοχές αυτές θα μπορούσε να γίνει διαπλάτυνση της διατομής προκειμένου ακόμα και με την αύξηση της παροχής οι τιμές της ταχύτητας να συγκρατηθούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Γκανούλης Ι. Εισαγωγή στη Μηχανική των Ρευστών, Θεσσαλονίκη 2007
- Λιακόπουλος Α., Μηχανική Ρευστών, Θεσσαλονίκη 2011
- Λιακόπουλος Α., Υδραυλική, Θεσσαλονίκη, 2011
- Παπαμιχαήλ Δ., Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων, Θεσσαλονίκη, 2004
- Στάμου Α., Εφαρμοσμένη Υδραυλική, Αθήνα, 2008
- Τσακίρης Γ., Τεχνική Υδρολογία, Αθήνα, 1994
- Τσακίρης Γ., Υδραυλικά Έργα Σχεδιασμός και Διαχείριση Τόμος II Εγγειοβελτιωτικά Έργα, Αθήνα 2006
- Τσόγκας, Χ. Υδραυλικά Έργα, Αθήνα 1998

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- ANSYS-CFX, Release 11.0 – User Guide.
- ANSYS-CFX tutorials, ANSYS-CFX Release 11.0 (2006). Tutorial 7: Free Surface Flow Over a Bump, pp. 139-154.
- Defina, A., and Bixio, A. C. (2005). Mean flow and turbulence in vegetated open channel flow, Water Resources Research, Vol. 41, W07006, doi:10.1029/2004WR003475
- Dunn, C., Lopez, F., and Garcia, M. (1996). Mean flow and turbulence in a Laboratory Channel with Simulated Vegetation, Hydro systems Laboratory, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Garcia, M. H. (1994). Class notes for Environmental Hydrodynamics, University of Illinois at Urbana-Campaign
- Lopez, F., and Garcia, M. (1997). Open channel flow through simulated vegetation: turbulence modeling and sediment transport, Technical Report WRP-CP-10, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, Miss.
- Lopez, F., and Garcia, M. (2001). Mean flow and turbulence structure of open channel flow through non-emergent vegetation, ASCE Journal of Hydraulic Engineering
- Petryk, S., and Bosmajian, G. (1975). Analysis of flow through vegetation, ASCE Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 101 (7), pp. 871–884.

- Shimizu, Y., and Tsujimoto, T. (1994). Numerical analysis of turbulent open channel flow over a vegetation layer using a k-ε turbulence model, *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering*, Vol. 10 (2), pp. 13-26.