



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

(ΠΡΩΗΝ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.)

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεραντζή Ευαγγελία

Υδραυλικός υπολογισμός βαθών ροής υδατορεύματος με την εφαρμογή του
υπολογιστικού προγράμματος HEC-RAS ©

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Κεραμάρης Ευάγγελος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2023

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας κλείνει ο κύκλος της επιστημονικής μου εκπαίδευσης στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος. Ένας κύκλος που θα μνημονεύω για πάντα.

Η κεντρική ιδέα της εργασίας μου αφορά ένα θέμα με μεγάλο ερευνητικό και πρακτικό ενδιαφέρον, στο οποίο χαίρομαι που κατάφερα να συμβάλλω, έστω και σε μικρό βαθμό.

Πολλές ευχαριστίες θέλω να δώσω στον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου Κεραμάρη Ευάγγελο και στην οικογένεια μου για την στήριξη και την υπομονή που έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια της φοιτητικής μου ζωής.

Σε όσους με δίδαξαν ήθος και πολιτισμό

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η καταστροφή των ρεμάτων ως αποτέλεσμα φυσικών καταστροφών και εξίσου λανθασμένων ανθρώπινων επεμβάσεων, έχει σαν συνέπεια την έξαρση των πλημμυρικών φαινομένων, με ανυπολόγιστες καταστροφές στο φυσικό περιβάλλον, στο ανθρώπινο δυναμικό και στην οικονομία. Επομένως, ο κίνδυνος πλημμύρας σε μία περιοχή απειλεί αναμφίβολα την βιωσιμότητά της και για το λόγο αυτό προκύπτει η ανάγκη πρόγνωσης και αντιμετώπισης τυχών πλημμυρικών φαινομένων.

Στην παρούσα εργασία με το υπολογιστικό πρόγραμμα HEC-RAS θα πραγματοποιηθεί υδραυλική προσομοίωση τμήματος του ρέματος της λεκάνης απορροής της Δημοτικής Ενότητας Μίκρας του Δήμου Θέρμης, στην περιοχή μεταξύ των οικισμών Πλαγιαρίου και Τριλόφου. Η προσομοίωση θα γίνει με σκοπό την πρόβλεψη τυχών πλημμυρικών φαινομένων ειδικά στην περίπτωση του συγκεκριμένου ρέματος και γενικώς για να καταγραφούν χαρακτηριστικά ρεμάτων και χειμάρρων έτσι ώστε να μπορούν να αναγνωρισθούν προβληματικές περιοχές που χρήζουν παρέμβαση.

Η συλλογή στοιχείων της υπό μελέτης λεκάνης και παροχής θα στηριχτούν σε πρότερες μετρήσεις και οι υπολογισμοί θα γίνουν εκ νέου με την χρήση του προγράμματος .

Η διπλωματική εργασία μπορεί να αποτελέσει υλικό για περαιτέρω έρευνα, χρήση και πρόληψη, τόσο για εκπαιδευτικούς σκοπούς όσο και για σκοπούς πολιτικής προστασίας.

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή	1
1. Ρέματα και πλημμύρες	3
1.1 Η έννοια του ρέματος	3
1.2 Η σημασία των ρευμάτων στον σύγχρονο αστικό ιστό	4
1.3 Τα αποτελέσματα των ανθρώπινων επεμβάσεων στα ρέματα	4
1.4 Χαρακτηριστικά και τύποι πλημμυρών	5
1.5 Η κοινοτική οδηγία 2007/60/ΕΚ για τη διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου	6
2. Θεωρητικό υπόβαθρο	8
2.1 Στοιχεία υδρολογίας	8
2.1.1 Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής	8
2.1.2 Φυσικό πλαίσιο πλημμυρών	8
2.2 Ορθολογική μέθοδος	9
2.2.1 Παραδοχές Μεθόδου	9
2.2.2 Χρόνος Συγκέντωσης.....	10
2.2.3 Συντελεστής απορροής	11
2.3 Προσομοίωση υδραυλικών συστημάτων.....	14
2.3.1 Καθορισμός χαρακτηριστικών μεγεθών	14
2.3.2 Είδη ροής.....	14
2.4 Υδραυλική των ανοιχτών αγωγών	15
2.4.1 Μονοδιάστατη αντιμετώπιση της ροής	15
2.4.2 Διαφορικές εξισώσεις ροής σε ανοιχτούς αγωγούς.....	15
2.4.3 Ειδική ενέργεια, κρλισημο βάθος και αριθμός Froude	18
2.4.4 Διαφορικές εξισώσεις ροής σε ανοιχτούς αγωγούς	20
2.4.5 Υδραυλικό άλμα	22
2.4.6 Υδραυλική προσομοίωση	23
2.4.7 Συντελεστής Manning	25
3. Θεωρητικό υπόβαθρο του λογισμικού HEC-RAS	27
4. Περιοχή μελέτης – Υδραυλικοί υπολογισμοί	29
4.1 Περιοχή Μελέτης	29
4.2 Υδραυλικοί υπολογισμοί	31

4.2.1 Υπολογισμός μέγιστων υδατοπαροχών με την ορθολογική μέθοδο	31
4.3 Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα HEC-RAS	36
4.3.1 Εισαγωγή τοπογραφικών δεδομένων.....	36
4.3.2 Εισαγωγή δεδομένων μόνιμης ροής	43
4.3.3 Εξαγωγή δεδομένων μόνιμης ροής	45
5. Συμπεράσματα	72
6. Βιβλιογραφία	73

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, το πρόβλημα της αντιπλημμυρικής προστασίας στη χώρα μας έχει επιδεινωθεί τα τελευταία χρόνια λόγω των σφοδρών υδρολογικών φαινομένων. Αυτό μπορεί στις κλιματικές αλλαγές στη χώρα μας, δηλαδή το υφιστάμενο υδραυλικό δίκτυο δεν μπορεί να υποστηρίξει τις νέες παροχές, ή ακόμα μπορεί να οφείλεται σε ανθρώπινες επεμβάσεις στο περιβάλλον και την κακή συντήρηση των δικτύων.

Στα πλαίσια της Διπλωματικής μου εργασίας μελετήθηκε τμήμα ρέματος της περιοχής Πλαγιαρίου -Τριλόφου χρησιμοποιώντας το υδραυλικό υπολογιστικό πρόγραμμα HEC-RAS. Στόχος της παρούσας Διπλωματικής είναι αρχικά η μελέτη του προαναφερθέντος τμήματος για επάρκεια, και έπειτα για καταγραφή των γενικών χαρακτηριστικών ρεμάτων και χειμάρρων έτσι ώστε να μπορούν να αναγνωρισθούν προβληματικές περιοχές που χρήζουν βελτιστοποίηση.

Η εργασία περιλαμβάνει συνολικά 6 κεφάλαια, μαζί με αυτό, που αποτελεί την εισαγωγή.

Στο κεφάλαιο 2 αναγράφονται σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά που διαχωρίζουν τα ρέματα σε κατηγορίες, η γενική επίδραση των ρεμάτων στο αστικό περιβάλλον αλλά και τα αποτελέσματα των ανθρώπινων επεμβάσεων στο περιβάλλον. Έπειτα αναλύεται το φαινόμενο των πλημμυρών με την περιγραφή των κυριότερων χαρακτηριστικών τους. Τέλος αναφέρεται επιγραμματικά τα κυριότερα σημεία της Οδηγίας 2007/60/EK για την αντιμετώπιση του πλημμυρικού κινδύνου.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίστηκε η μελέτη του συγκεκριμένου ρέματος. Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την περιγραφή των γενικών στοιχείων υδρολογίας, τα χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής και το φυσικό πλαίσιο των πλημμυρών. Ακολουθεί η ανάλυση της ορθολογικής μεθόδου και η εφαρμογή της. Επίσης παρουσιάζονται η μέθοδος προσομοίωσης των υδραυλικών συστημάτων για την κατανόηση των χαρακτηριστικών μεγεθών και των ειδών ροής, η υδραυλική των ανοιχτών αγωγών και η διαδικασία αντιμετώπισης τους, που θα μας χρειαστεί στο επόμενο στάδιο της μελέτης.

Στο κεφάλαιο 4 αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο του λογισμικού HEC-RAS και αναγράφονται τα δεδομένα με τα οποία μπορεί μια μελέτη να είναι ανταποδοτική.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μια περιήγηση στην περιοχή μελέτης και καταγραφή των δεδομένων χαρακτηριστικών της. Έπειτα περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία υπολογισμών των, απαιτούμενων από το πρόγραμμα, μεταβλητών όπως η μέγιστη παροχή του ρέματος ανάλογα με τα δεδομένα που έχουμε από την EMMY. Ακολουθεί η περιγραφή της διαδικασίας εισαγωγής των δεδομένων στην περιοχή μελέτης στο πρόγραμμα HEC-RAS, η δημιουργία της προσομοίωσης του ρέματος καθώς και όλη η διαδικασία των υπολογισμών με το πρόγραμμα αυτό. Η υδρολογική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για 4 περιόδους επαναφοράς $T=10,25,50$ και 100 ετών. Ως αποτελέσματα εξάχθηκαν τα πλημμυρογράφηματα για κάθε περίοδο επαναφοράς αντίστοιχα με συνθήκες μόνιμης ροής και ο πίνακας των αναλυτικών αποτελεσμάτων ανά διατομή κατά το μήκος του ρέματος.

Στο τελευταίο κεφάλαιο κλείνουμε την μελέτη με τον ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του κεφαλαίου 5. Από τα αποτελέσματα μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι με ελάχιστα δεδομένα εισαγωγής το υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήσαμε μπορεί να επιστέψει επαρκή αποτελέσματα για τον εντοπισμό των προβληματικών περιοχών.

1. ΡΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

1.1 Η έννοια του ρέματος

Σύμφωνα με το Κτιριοδομικό Κανονισμό (Φ.Ε.Κ 59Δ/03-02-1989), ως ρέμα ορίζεται κάθε φυσική διαμόρφωση του εδάφους που λειτουργεί ως αποδέκτης και αγωγός της βροχής, της τήξης του χιονιού και των φυσικών πηγών και εξυπηρετεί την απορροή τους προς άλλους αποδέκτες μεγαλύτερης χωρητικότητας (λίμνες, θάλασσα κλπ.) που βρίσκονται σε χαμηλότερες στάθμες.

Ο διαχωρισμός σε κατηγορίες των υδατορευμάτων γίνεται με βάση τη διάρκεια ροής του νερού σε αυτό. Αυτά διαχωρίζονται σε συνεχούς ροής, που ρέουν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και σε διαλείπουσας ροής, τα οποία αντίστοιχα χωρίζονται σε αυτά, που η ροή λαμβάνει χώρα για κάποιες περιόδους του έτους και σε επεισοδιακής ροής, όπου ροή εμφανίζεται μόνο κατά τη διάρκεια επεισοδίων βροχής, καθώς και για μικρά διαστήματα μετά τα επεισόδια αυτά. Επομένως, τα φυσικά υδατορεύματα μπορούν να διακριθούν σε τρεις (3) κύριες κατηγορίες (ΤΕΕ-Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας), 1994) :

- Στα εφήμερα ρέματα, που ρέει νερό μόνο όταν βρέχει,
- Στους χειμαρρους, που η ροή τους είναι εποχική και ορμητική,
- Στους ποταμούς, που η ροή τους είναι συνεχής αλλά η ποσότητα τους διακυμαίνεται εποχικά γύρω από μία μέση τιμή.

Σε ένα υδατόρευμα το νερό κατά τη κίνησή του δημιουργεί μια συνεχή κοίτη, η οποία περιορίζει την ελευθερία του έως κάποια στάθμη. Στην κοίτη διακρίνεται ο πυθμένας, δηλαδή το εδαφικό τμήμα που διαβρέχεται από τη βασική ροή και τα πρηνή της κοίτης, που συνιστά την υπόλοιπη διατομή δεξιά και αριστερά του πυθμένα. Τα πρηνή θρωρούνται σταθερά και ορίζονται από τη στάθμη τη συνήθη ανύψωσης των νερών. Η θέση και το εύρος της κοίτης του ρέματος ορίζονται από τη χάραξη μιας οριογραμμής αριστερά και δεξιά, κατά τη ροή. Σε μία διατομή του ρέματος το σημείο της οριογραμμής λέγεται υδροκρίτης. Οι οριογραμμές αυτές καθορίζονται επακριβώς από τη Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των υδατορευμάτων είναι (Τσακίρης, 1995)

- το συνολικό μήκος τους
- η κλίση τους
- η διαμορφωμένη διατομή τους
- η γεωμετρία της πλημμυρικής τους κοίτης

Με βάση αυτά χαρακτηριστικά υπολογίζεται ο χρόνος απορροής του νερού και η πλημμυρική επικινδυνότητα του ρέματος.

Το δίκτυο των φυσικών υδατορευμάτων που εντοπίζονται σε μια λεκάνη απορροής αποτελεί το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης αυτής.

Λεκάνη απορροής θεωρείται η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής, μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς, λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα (Φ.Ε.Κ. 280^Α_2003).

Η πυκνότητα του υδατογραφικού δικτύου έχει πολύ σημαντικό ρόλο για τη λειτουργικότητα της λεκάνης απορροής και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την υδρολογική απόκριση αυτής. Όμως ένα πυκνό υδρογραφικό δίκτυο δημιουργεί υψηλές πλημμυρικές αιχμές και συγκέντρωση φερτών υλικών στα σημεία των εκβολών στη θάλασσα, οπότε πρέπει να λαμβάνονται σχετικά κατάλληλα μέτρα προστασίας (Τσακίρης, 1995, Τσακίρης, 2006).

1.2 Η σημασία των ρευμάτων στον σύγχρονο αστικό ιστό

Τα ρέματα είναι στοιχείο της φυσικής τοπογραφίας της κάθε περιοχής και δεν πρέπει να αλλοιώνονται, κυρίως για χάρη μίας κερδοσκοπικής οικοπεδοποίησης.

Ένα υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής αποτελείται κυρίως από χειμάρρους και ρέματα, τα οποία συλλέγουν τα νερά της βροχής και του χιονιού και τα εκβάλλουν στον παράκτιο χώρο, προστατεύοντας την ευρύτερη περιοχή από πλημμύρες. Επομένως ένας από τους κυριότερους ρόλους τους είναι η αποσυμφόρηση των κατοικημένων περιοχών από το πλεονάζον νερό, παρέχοντας αντιπλημμυρική προστασία, με την προϋπόθεση βέβαια να υπάρχει η κατάλληλη μέριμνα για την κανονική λειτουργία τους, δηλαδή ο καθαρισμός της κοίτης τους από φερτά υλικά ή αυθαίρετες κατασκευές.

Η παράβλεψη της παραπάνω αρχής τα τελευταία χρόνια είχε καταστροφικές συνέπειες με πολλές πλημμύρες, δεκάδες νεκρούς από πνιγμούς και ανυπολόγιστες υλικές καταστροφές.

1.3 Τα αποτελέσματα των ανθρώπινων επεμβάσεων στα ρέματα

Παρά το πόσο ωφέλιμα μπορεί να είναι τα ρέματα στο αστικό περιβάλλον, οι άνθρωποι σήμερα επεμβαίνουν αλόγιστα και αυθαίρετα σε αυτά, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των περιοχών των ρεμάτων έως και την καταστροφή τους.

Βασικοί παράγοντες που συντέλεσαν στην καταστροφή των ρεμάτων είναι, κυρίως, ο κακός χωροταξικός σχεδιασμός με τυχαία, αποσπασματική και αυθαίρετη δόμηση, κυρίως στις παραρεμάτιες περιοχές, όπου η αξία της γης ήταν πολύ χαμηλή, η εγκατάσταση βιομηχανικών χρήσεων στις όχθες των ρεμάτων, η συρρίκνωση των δασικών εκτάσεων από πυρκαγιές, εκχέρσωση, λατόμηση κ.α. και, τέλος, η έλλειψη σχεδιασμού στο οδικό δίκτυο. Επίσης, η παράνομη απόρριψη αποβλήτων, σκουπιδιών και μπαζών, η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, ενισχύει την υποβάθμιση των ρεμάτων καθώς και της ποιότητας ζωής των κατοίκων. (Καραλή κ.ά., 2000).

Με τις διευθετήσεις και τα μπαζώματα μειώνονται οι διατομές των κοιτών και επομένως η παροχετευτικότητάς των ρεμάτων. Αυτό, ενισχυόμενο με την αυθαίρετη δόμηση κοντά στις όχθες και την ρίψη οικοδομικών υλικών, σκουπιδιών και μπαζών, παρεμποδίζει την ομαλή ροή των υδάτων και ενισχύει τις πιθανότητες πλημμύρας

Επιπλέον, η αδιάκοπη δόμηση σε συνδυασμό με τις πυρκαγιές και τις παράνομες εκχερσώσεις που καταστρέφουν τον φυσικό φυτομανδύα, στερούν από τη λεκάνη απορροής τις μαλακές επιφάνειες που έχουν τη δυνατότητα να απορροφήσουν μεγάλο μέρος των όμβριων νερών και να το διοχετεύσουν είτε στους υπόγειους υδροφορείς, είτε, μέσω της εξάτμισης, πίσω στην ατμόσφαιρα. Ο συντελεστής απορροής της λεκάνης αυξάνεται δραματικά, με αποτέλεσμα σε μικρό χρονικό διάστημα να διοχετεύεται πολύ περισσότερο νερό στο ρέμα. Με τον τρόπο αυτό, υπερβαίνεται η μέγιστη παροχή νερού που μπορεί να διαχειριστεί το ρέμα, η στάθμη των υδάτων ξεπερνάει υψομετρικά τα πρηνή της κοίτης και παρατηρείται πλημμυρική κατάκλιση.

Ωστόσο, η τσιμεντοποίηση, η αποδάσωση, η ρίψη μπαζών και σκουπιδιών αποσυντονίζουν εκτός των άλλων και την φυσική ισορροπία των ρεμάτων, καθώς διακόπτουν την ανάπτυξη της τοπικής χλωρίδας και πανίδας και παράλληλα υποβαθμίζουν τη φύση και το τοπίο μέσα στο οποίο ο άνθρωπος καλείται να ζήσει. Τα προβλήματα αυτά παρουσιάζουν εντονότερες κοινωνικές και πολιτιστικές διαστάσεις.

Επομένως, είναι φανερό ότι οι έντονες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, κυρίως του αστικού χώρου, είναι η αιτία των περισσότερων προβλημάτων και καθιστούν ιδιαίτερα επιτακτική και επείγουσα την ανάγκη θεσμικής κατοχύρωσης και προστασίας του χώρου των ρεμάτων (Χατζημήτρος, 2007).

1.4 Χαρακτηριστικά και τύποι πλημμυρών

Πλημμύρα χαρακτηρίζεται το γεγονός κατά το οποίο, σε ένα επεισόδιο βροχής, η επιφανειακή απορροή είναι πολύ μεγάλη και υπερβαίνει την παροχετευτική ικανότητα ενός υδατορεύματος (Βουδούρης, 2009).

Οι πλημμύρες συνήθως οφείλονται στις κλιματολογικές συνθήκες και ενισχύονται από τη μορφολογία του εδάφους. Οι κυριότερες αιτίες που τις προκαλούν είναι οι εξής (Λέκκας Ε., 2009):

- Ραγδαίες και παρατεταμένες βροχές (φθινοπωρινές πλημμύρες)
- Ταχεία τήξη χιονιών και παγετώνων (πλημμύρες της άνοιξης)
- Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, λόγω παλιρροιακών φαινομένων
- Εφόρμηση της θάλασσας στην ξηρά, λόγω τσουνάμι
- Απότομη διάρρηξη φράγματος τεχνητής λίμνης

Ωστόσο, πολλές φορές τα αίτια που τις προκαλούν είναι ανθρωπογενή όπως η ορεινή υλοτομία, η παραποτάμια αστικοποίηση, οι λανθασμένες χρήσεις γης σε πλημμυρικές λεκάνες, η κακή ή μη συντήρηση των αντιπλημμυρικών έργων κ.ά..

Σύμφωνα με το Γενικό Σχέδιο Πολιτικής Προστασίας «Ξενοκράτης», το είδος της πλημμύρας μπορεί να είναι (Υ.Α 1299/2003) αστική, ποτάμια ή παράκτια. Οι ποτάμιες πλημμύρες δημιουργούνται λόγω της εκδήλωσης έντονων και παρατεταμένων βροχοπτώσεων, οι οποίες

μπορούν να προκαλέσουν υπερχειλίση ενός ποταμού και να οδηγήσουν σε κάλυψη τεράστιων εκτάσεων με νερό. Οι ποτάμιες πλημμύρες διαχωρίζονται σε πλημμύρες στα ανάντη και πλημμύρες στα κατόντη μιας περιοχής.

Οι πλημμύρες στα ανάντη (upstream floods) οφείλονται στις έντονες βροχοπτώσεις, με μικρή διάρκεια, που συμβαίνουν σε μια σχετικά μικρή περιοχή, ενώ οι πλημμύρες στα κατόντη (downstream flooding) καλύπτουν μία μεγάλη περιοχή και συνήθως είναι αποτέλεσμα καταιγίδων μακράς διάρκειας οι οποίες οδηγούν στον κορεσμό του εδάφους σε νερό και σε αυξημένη επιφανειακή απορροή (Λέκκας, 2000).

Ωστόσο, ο πιο συχνός τύπος πλημμυρών είναι οι πλημμύρες ταχείας απόκρισης (flash floods), οι οποίες μπορούν να συμβούν πρακτικά οπουδήποτε και δημιουργούνται κατά την εκδήλωση ισχυρών βροχοπτώσεων σε μικρό χρονικό διάστημα. Αυτές εμφανίζονται στα ανάντη και είναι συνηθισμένες σε περιοχές με απότομη τοπογραφία, φτωχή βλάστηση και σε εδάφη με συνεχόμενες ρωγμές, όπου υπάρχουν φράγματα και αναχώματα. Οι πλημμύρες αυτές, εξαιτίας του ότι έρχονται απροειδοποίητα είναι οι πιο επικίνδυνες. (Νικολαΐδου, 2009)

Οι παράκτιες πλημμύρες εκδηλώνονται σε παράκτιες περιοχές και δημιουργούνται μέσω της συνδυαστικής δράσης συστημάτων βαρομετρικού χαμηλού και ανέμων. Τέτοιοι συνδυασμοί παρατηρούνται κατά τη δράση τυφώνων και κυκλώνων.

Οι αστικές πλημμύρες, σχετίζονται κυρίως με το αποχετευτικό δίκτυο. Η ελλιπής παρουσία αποχετευτικού δικτύου και η μη συντήρηση του υπάρχοντος δυσχεραίνει την αποστράγγιση του νερού της βροχής, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πλημμυρών μετά από φαινόμενα βροχοπτώσεων.

Το μέγεθος ενός πλημμυρικού φαινομένου εξαρτάται από την ποσότητα αλλά και την ένταση της βροχόπτωσης. Οι πλημμύρες που προκαλούν καταστροφές είναι αποτέλεσμα μεγάλων και έντονων καταιγίδων ενώ οι μικρότερες πλημμύρες που εμφανίζονται πιο συχνά, οφείλονται σε πιο ήπιες καταιγίδες. Στην Ελλάδα παρατηρούνται συχνά και κυρίως ραγδαίες βροχοπτώσεις.

1.5 Η κοινοτική οδηγία 2007/60/ΕΚ για τη διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο δημοσίευσε στις 23 Οκτωβρίου του 2007, την Οδηγία 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας και τέθηκε σε ισχύ στις 26 Νοεμβρίου του 2007. Σκοπός της, 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).

Σύμφωνα με την οδηγία, ως πλημμύρα ορίζεται ο προσωρινός κατακλυσμός μιας επιφάνειας από νερό το οποίο υπό κανονικές συνθήκες, δεν θα την κάλυπτε. Η οδηγία καλύπτει κάθε τύπο πλημμύρας, ανεξαρτήτως εάν προήλθε από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους ή εφήμερα ρέματα, εάν εκδηλώθηκε σε αστικές ή παράκτιες περιοχές, καθώς και αν ήταν αποτέλεσμα καταιγίδας ή παλιρροϊκών κυμάτων. Ακόμα, ως 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 αυτή την πλημμύρα (άρθρο 2, 2007/60/ΕΚ).

Κύρια σημεία της οδηγίας αποτελεί η προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας, η χαρτογράφηση σε όλες τις περιοχές όπου υπάρχουν μεγάλες πιθανότητες πλημμύρας, ο συντονισμός των κοινών λεκανών απορροής και τέλος ο προγραμματισμός σχεδίων διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας.

Για τη ελάττωση και την αποφυγή των αρνητικών επιπτώσεων των πλημμυρών στην εκάστοτε περιοχή η οδηγία ορίζει τα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας. Επειδή οι αιτίες και οι συνέπειες των πλημμυρών ποικίλουν ανάλογα με τις χώρες και τις περιφέρειες της Κοινότητας, τα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας θέτει ότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα γεωγραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά κάθε λεκάνης απορροής, αλλά και να παρέχουν λύσεις συνεκτιμώντας τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε λεκάνης απορροής.

Η διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας περιλαμβάνει τα στάδια της πρόληψης, της προστασίας, της ετοιμότητας, της αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων, της αποκατάστασης και της επανεξέτασης. Τέλος, δίνει βάση στα στοιχεία των σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας και στοχεύει στις πτυχές της πρόληψης, της προστασίας και της ετοιμότητας.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Στοιχεία υδρολογίας

Οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις αποτελούν τον κυριότερο παράγοντα φόρτισης των υδατογραφικών δικτύων, επομένως η υδρολογική ανάλυση αποτελεί αναγκαίο βήμα στη μελέτη των υδάτινων υδραυλικών συστημάτων.

Κάθε υδρολογική μελέτη αποτελείται από τα διαθέσιμα υδρολογικά στοιχεία και τη ποιότητα τους. Από αυτά εξαρτάται, συνδυαστικά και με τον επιδιωκόμενο σκοπό, η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την αναγνώριση των χαρακτηριστικών υδρολογικών μεγεθών. Τα βασικά επίπεδα μιας υδρολογικής ανάλυσης είναι τρία (3) (Δερμίσης, 2000):

- Η ποιοτική εκτίμηση παραμέτρων της υπό μελέτη περιοχής- μετρήσεις πεδίου
- Η ποσοτική εκτίμηση μεγεθών, όπως η αιχμή απορροής και ο υδάτινος απορρέων
- Η μελέτη της εξέλιξης ποιοτικών, ποσοτικών και γεωμορφολογικών παραμέτρων της λεκάνης απορροής

2.1.1 Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

Στο φυσικό περιβάλλον, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που δεν κατεισδύουν και δεν εξατμίζονται καταλήγουν σε μια ενιαία περιοχή. Η περιοχή αυτή, βάσει της τοπογραφίας της συγκεντρώνει (αποστραγγίζει) επιφανειακά το νερό των κατακρημνισμάτων, που καταλήγουν στην κοίτη ενός ποτάμιου κλάδου, λέγεται **λεκάνη απορροής**. Επιπλέον, η νοητή γραμμή, που ορίζει αυτή τη λεκάνη απορροής και τη διαχωρίζει από μια γειτονική της, ονομάζεται **υδροκρίτης** (Dingman, 2002).

Η λεκάνη απορροής, ως σύστημα μετασχηματισμού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων σε απορροή, παρουσιάζει ορισμένα ειδικά φυσικά γνωρίσματα. Τα γνωρίσματα αυτά ονομάζονται φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και μπορούν να καταταγούν στις ακόλουθες τρεις (3) κατηγορίες (Μαμάσης, 2007):

- Μορφολογικά χαρακτηριστικά (μορφή, ανάγλυφο, υδρογραφικό δίκτυο)
- Εδαφολογικά χαρακτηριστικά (μηχανικές ιδιότητες, χημική σύσταση)
- Φυτοκάλυψη (είδη χλωρίδας και χωρική διάταξή της)

2.1.2 Φυσικό πλαίσιο πλημμυρών

Η χωροχρονική εξέλιξη μιας πλημμύρας εξαρτάται από τη χωροχρονική εξέλιξη του επεισοδίου βροχής, τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου. Αναλυτικότερα, το μέγεθος των πλημμυρικών φαινομένων συνδέεται με τα χαρακτηριστικά (Μαμάσης, 2009):

- της βροχόπτωσης, που αφορούν στο συνολικό ύψος, στην ένταση και στη διάρκειά της

- της λεκάνης απορροής, που αφορούν στην έκταση, στον συντελεστή απορροής και στον χρόνο συγκέντρωσης
- των υδατορευμάτων, που αφορούν στη διατομή, στην κλίση, στην τραχύτητα και στις κατάντη στάθμες τους

Τα κύρια μεγέθη που χαρακτηρίζουν μια πλημμύρα και των οποίων ο υπολογισμός κρίνεται απαραίτητος σε κάθε μελέτη πλημμυρικής επικινδυνότητας είναι, η παροχή αιχμής και η αντίστοιχη στάθμη στο υδατόρευμα, ο πλημμυρικός όγκος, η χρονική διάρκεια και η κατακλυόμενη έκταση.

2.2 Ορθολογική μέθοδος

Η ορθολογική μέθοδος (rational method) εφαρμόζεται συχνά στις υδρολογικές μελέτες για τον προσδιορισμό της πλημμυρικής αιχμής. Χρησιμοποιείται σε μικρές σχετικά υδρολογικές λεκάνες και βασίζεται στην παραδοχή ότι για βροχές που παρουσιάζουν ομοιόμορφη ένταση και κατανομή πάνω στη λεκάνη, η μέγιστη απορροή (αιχμή πλημμύρας) εμφανίζεται όταν, το νερό από όλες τις θέσεις της λεκάνης καταλήξει στην έξοδο της. Συνεπώς, για να συνεισφέρουν ταυτόχρονα στην απορροή όλα τα σημεία της λεκάνης πρέπει, ο χρόνος βροχόπτωσης να είναι ίσος με τον χρόνο συγκέντρωσης (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2003).

Η ορθολογική μέθοδος εκφράζεται από τη σχέση:

$$Q = 0.278 * C * i * A \quad (1)$$

Όπου,

Q: η αιχμή της απορροής σε m³/sec,

C: αδιάστατη παράμετρος γνωστή ως συντελεστής απορροής,

i: η ένταση της βροχόπτωσης για διάρκεια ίση με το χρόνο συγκέντρωσης και για επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς σε mm/hr,

A: η επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης που συνεισφέρει στην απορροή σε km

2.2.1 Παραδοχές της μεθόδου

Η χρήση της ορθολογικής μεθόδου θεωρείται κατάλληλη μόνο για τον υπολογισμό της μέγιστης παροχής που αναμένεται να πραγματοποιηθεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες βροχόπτωσης.

Αρχικά, υπάρχει η παραδοχή ότι η ένταση της βροχόπτωσης σε όλη τη διάρκεια του επεισοδίου είναι ομοιόμορφη και σταθερή, με ομοιόμορφη χωρική κατανομή πάνω στην υδρολογική λεκάνη. Η παραδοχή αυτή προσεγγίζει τη πραγματικότητα μόνο όταν οι λεκάνες απορροής είναι μικρές.

Ένα άλλο σημείο που πρέπει να χρήζει προσοχής είναι η διάρκεια της βροχόπτωσης με την ομοιόμορφη ένταση. Αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το χρόνο συγκέντρωσης, ο

οποίος είναι ο απαιτούμενος χρόνος ούτως ώστε το νερό να ταξιδεύσει από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης στο σημείο εξόδου της. Αυτό δηλώνει ότι, η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί για βροχοπτώσεις μικρότερες του χρόνου συγκεντρώσεως. Σημειώνεται ότι η πιο απομακρυσμένη θέση προσδιορίζεται από το χρόνο ροής και όχι απαραίτητα από την απόστασή του από το εξεταζόμενο σημείο.

Ακόμα, γίνεται η παραδοχή ότι, ο συντελεστής απορροής είναι ίδιος για όλες τις βροχοπτώσεις με διαφορετικές εντάσεις σε μια δεδομένη λεκάνη απορροής.

Στην πραγματικότητα η απορροή είναι πιο σύνθετη από ότι θεωρείται με την ορθολογική εξίσωση. Η ένταση της βροχόπτωσης πολύ σπάνια θα είναι η ίδια στην έκταση μιας μεγάλης επιφάνειας ή ακόμη και σ' όλη τη διάρκεια του φαινομένου. Ακόμα και αν πραγματοποιηθεί μια βροχόπτωσης ομοιόμορφης έντασης και διάρκειας ίσης με του χρόνου συγκέντρωσης σε όλα τα μέρη της λεκάνης απορροής, η τιμή της απορροής θα διαφέρει στα μέρη της λεκάνης, επειδή η επιφάνεια του εδάφους έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά .

2.2.2 Χρόνος συγκέντρωσης

Ως **χρόνος συγκέντρωσης ή συρροής** λέγεται ο χρόνος εκείνος που χρειάζεται το νερό για να διανύσει την απόσταση από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης απορροής, ακολουθώντας το υδρογραφικό δίκτυο, μέχρι το σημείο εξόδου (στόμιο) αυτής (Γιαννόπουλος, 2002). Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από παράγοντες όπως, το σχήμα και η έκταση της λεκάνης, το μήκος και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου, η κλίση του εδάφους, καθώς και από χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη τραχύτητα του εδάφους όπως είναι η φυτοκάλυψη.

Σχετικά με τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης έχουν ανα τον καιρό παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία διάφορες εμπειρικές σχέσεις. Δύο από τις σχέσεις αυτές που αναφέρονται στις ισχύουσες τεχνικές ελληνικές προδιαγραφές είναι η εξίσωση του Kirpich και αυτή του Giandotti. Η εξίσωση του Kirpich, η οποία θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία, αναπτύχθηκε το έτος 1940 από δεδομένα της Soil Conservation Service (S.C.S.). Τα δεδομένα στα οποία βασίζεται, αναφέρονται σε αγροτικές λεκάνες απορροής μικρού εμβαδού, με ισχυρές κλίσεις, φυτοκάλυψη δένδρων μέχρι 56% και με καλά σχηματισμένο υδρογραφικό δίκτυο (Γιαννόπουλος, 2002).

Η σχέση κατά Kirpich είναι:

$$t = 3.97 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (2)$$

Όπου :

t : ο χρόνος συρροής σε λεπτά (min)

L : το μήκος της διαδρομής της φυσικής κοίτης σε km

H : η υψομετρική διαφορά σε km

Σε περίπτωση λεκανών χωρίς διαμορφωμένη μισγάγγεια, ο χρόνος συρροής υπολογίζεται από τη σχέση Giandotti :

$$t = \frac{4\sqrt{F} + 1.5L}{0.8\sqrt{Z}} \quad (3)$$

Όπου :

t : ο χρόνος συρροής (h)

F : η επιφάνεια της λεκάνης απορροής (Km²)

L : το μήκος της γραμμής φυσικής απορροής (km)

Z : η υψομετρική διαφορά του μέσου υψομέτρου της λεκάνης απορροής και του σημείου ελέγχου (m)

2.2.3 Συντελεστής απορροής

Στην ορθολογική εξίσωση, ο συντελεστής απορροής C, αντιπροσωπεύει το ποσοστό της απορροής που θα διασχίσει την επιφάνεια της υπό μελέτη λεκάνης, κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης και θα καταλήξει στο σημείο συγκέντρωσης της ροής. Το υπολειπόμενο ποσοστό της βροχόπτωσης, που χάνεται και δε φτάνει στο σημείο συγκέντρωσης, συντίθεται από τις ποσότητες που διηθούνται στο έδαφος, απορροφούνται από τη βλάστηση, εξατμίζονται και κατακρατούνται στις επιφανειακές κοιλότητες. Συνεπώς, ο συντελεστής απορροής πρέπει να επιλέγεται με βάση:

- Το ανάγλυφο της επιφάνειας της λεκάνης απορροής
- Την έκταση και την πυκνότητα της φυτοκάλυψης
- Την κλίση των πρανών της λεκάνης απορροής
- Τη σύσταση του επιφανειακού εδάφους της λεκάνης απορροής
- Την περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία κατά την έναρξη της βροχής
- Την κλίση του κυρίου υδατορρέματος
- Την αποθήκευση του νερού στην επιφάνεια του εδάφους
- Την ένταση της βροχής

Τα προαναφερθέντα κριτήρια επιλογής του C σημαίνουν ότι ο συντελεστής απορροής δεν είναι σταθερός για μια υδρολογική λεκάνη, αφού είναι συνάρτηση της περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας και της έντασης της βροχής.

Επειδή οι παράγοντες που προαναφέρθηκαν είναι αδύνατο να υπολογιστούν στο σύνολό τους, ο συντελεστής επιλέγεται συνήθως από πίνακες, που λαμβάνουν υπόψη μόνο τους παράγοντες που μπορούν να εκτιμηθούν. Συγκεκριμένα, σε περιοχές εκτός ανάπτυξης, ο συντελεστής απορροής εκτιμάται από το άθροισμα των επιμέρους συντελεστών Cr, Ci, Cv, 22 Cs, οι οποίοι εξαρτώνται αντίστοιχα από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους που είναι (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002):

1. το ανάγλυφο της επιφάνειας της λεκάνης,
2. τη διηθητικότητα του εδάφους,

3. την έκταση και τη πυκνότητα της φυτικής κάλυψης,
4. την κλίση των πρανών και την αποθηκευτική ικανότητα στα χαμηλά σημεία της επιφάνειας της λεκάνης,

Οι τιμές των επιμέρους συντελεστών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1, ενώ για αναπτυγμένες περιοχές ο συντελεστής απορροής λαμβάνεται από τον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.1. Συντελεστής απορροής σε λεκάνες εκτός αναπτυγμένων περιοχών

Χαρακτηριστικά επιφάνεια εδάφους	Τιμές συντελεστή απορροής			
	ακραίες	υψηλές	συνήθειες	χαμηλές
Cr Ανάγλυφο εδάφους	0.28 - 0.35 επικλινές, ανώμαλες επιφάνειες με μέσες κλίσεις > 30%	0.20 - 0.28 λοφώδες, με μέσες κλίσεις 10-30%	0.14 - 0.20 κυματώδες με μέσες κλίσεις 5-10%	0.08 - 0.14 σχετικά επίπεδο, με μέσες κλίσεις 0-5%
Ci Διηθητικότητα εδάφους	0.12 - 0.16 μη επηρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδες είτε μανδύας λεπτόκοκκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	0.08 - 0.12 βραδείας διηθητικότητας, άργιλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας, ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	0.06 - 0.08 κανονικής διηθητικότητας καλά αποστραγγισμένο μικρής ή μεσαίας μακροϋφής εδάφη, αμμώδη παχιά εδάφη, ιλύες και ιλυώδη εδάφη	0.04 - 0.06 υψηλής διηθητικότητας βαθιά άμμος ή άλλο έδαφος που απορροφά το νερό, πολύ ελαφριά καλά αποστραγγισμένα εδάφη
Cv Φυτική κάλυψη εδάφους	0.12 - 0.16 βλάστηση που δεν επηρεάζει, γυμνό ή πολύ αραιά κάλυψη	0.08 - 0.12 πτωχή έως μέτρια, καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυσικής κάλυψης, λιγότερο από 20% της αποχετευόμενης επιφάνειας με καλή κάλυψη	0.06 - 0.08 μέτρια έως καλή, περίπου 50% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες, λιγότερο από 50% επιφάνειας είναι καλλιέργειες	0.04 - 0.06 καλή έως άριστη, περίπου 90% της αποχετευόμενης επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης
Cs Αποθηκευτικότητα επιφάνειας εδάφους	0.10 - 0.12 αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβαθείς, διάδρομοι αποστράγγισης επικλινείς και μικροί, καθόλου τέλματα	0.08 - 0.10 χαμηλή, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα	0.06 - 0.08 κανονική, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα	0.04 - 0.06 υψηλή αποθηκευτικότητα, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυρισμένων επιφανειών ή τελμάτων

Πίνακας 2.2. Συντελεστής απορροής σε λεκάνες αναπτυγμένων περιοχών

Είδος επιφάνειας εδάφους	Τιμές συντελεστή απορροής
Περιοχή επιχειρήσεων: α. κέντρο πόλης β. έκταση γειτονιάς	0.70 - 0.95 0.50 - 0.70
Περιοχή κατοικίας: α. μονοκατοικίες β. πολυκατοικίες πανταχόθεν ελεύθερες γ. πολυκατοικίες συνεχούς συστήματος	0.30 - 0.50 0.40 - 0.50 0.60 - 0.75
Περιοχή βιομηχανίας: α. ελαφριάς β. βαριάς	0.50 - 0.80 0.60 - 0.90
Πάρκα, Κοιμητήρια:	0.10 - 0.25
Αθλοπαιδιές:	0.20 - 0.40
Υπαίθριοι χώροι σιδηροδρομικών σταθμών:	0.20 - 0.40
Αδιαμόρφωτες επιφάνειες:	0.10 - 0.30
Επιφάνειες γκαζόν: α. αμμώδες έδαφος, επίπεδων κλίσεων <2% β. αμμώδες έδαφος, μέσων κλίσεων 2-7% γ. αμμώδες έδαφος, έντονων κλίσεων >7% δ. σύνηθες έδαφος, επίπεδων κλίσεων <2% ε. σύνηθες έδαφος, μέσων κλίσεων 2-7% στ. σύνηθες έδαφος, εντόνων κλίσεων >7%	0.05 - 0.10 0.10 - 0.15 0.15 - 0.10 0.13 - 0.17 0.18 - 0.25 0.25 - 0.35
Επιφάνειες οδοστρώματος οδών: α. Οδόστρωμα από ασφαλτικό υλικό β. Οδόστρωμα από σκυρόδεμα γ. Οδόστρωμα από πλακολίθους δ. Οδόστρωμα από αμμοχάλικο	0.70 - 0.95 0.80 - 0.95 0.70 - 0.85 0.75 - 0.85
Σκεπές κτισμάτων:	0.75 - 0.95

Σημειώνεται ότι οι συντελεστές των Πινάκων 3.1 και 3.2 έχουν εφαρμογή για περιόδους επαναφοράς 5-10 έτη. Για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, συνήθως απαιτείται διόρθωση των τιμών, επειδή η διηθητικότητα, καθώς και τα άλλα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της λεκάνης, τα οποία απομειώνουν την απορροή έχουν μια αναλογικά μικρότερη επίδραση στο συνολικό όγκο της απορροής. Πολλαπλασιάζοντας τον υπολογιζόμενο συντελεστή, C, της ορθολογικής μεθόδου, με το συντελεστή Cf (Πίνακας 3.3) , επιτυγχάνεται η διόρθωση της μεθόδου αυτής, διατηρώντας όμως σε κάθε περίπτωση ως μέγιστη τιμή του αποτελέσματος του πολλαπλασιασμού τη μονάδα (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002).

Πίνακας 2.3. Συντελεστής διόρθωσης αναλόγως με την περίοδο επαναφοράς.

Περίοδος επαναφοράς, T (έτη)	25	50	100
Συντελεστής διόρθωσης, Ci	1.10	1.20	1.25

Επιπλέον, για να εφαρμοστεί η ορθολογική μέθοδος σε λεκάνες απορροής που αποτελούνται από διάφορα χαρακτηριστικά εδάφους, ο συντελεστής απορροής υπολογίζεται ως ο μέσος σταθμισμένος συντελεστής των διαφορετικών τμημάτων της λεκάνης, (ΟΜΟΕ.12/2) σύμφωνα με τη σχέση:

$$C = \frac{\sum(c_i * A_i)}{\sum A_i} \quad (4)$$

Εντούτοις τα αποτελέσματα της ορθολογικής μεθόδου είναι ακριβέστερα όταν η χρήση γης είναι ενιαία σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης. Ουσιαστικές διαφορές στις χρήσεις γης μπορεί να οδηγήσουν σε ασυνεπείς εκτιμήσεις του χρόνου συγκέντρωσης και επομένως της έντασης, καθώς και σε λανθασμένο προσδιορισμό του πλέον κατάλληλου συντελεστή απορροής.

2.3 Προσομοίωση υδραυλικών συστημάτων

2.3.1 Καθορισμός χαρακτηριστικών μεγεθών

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τη διασαφήνιση των παραμέτρων που αφορούν τη γεωμετρική απεικόνιση, τις συνθήκες ροής και τις απαιτήσεις της προσομοίωσης. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά καθορίζονται από λεπτομερείς χωρικές καταγραφές. Φορείς αποτύπωσης είναι δυνατό να αποτελέσουν πολύμορφες πηγές δεδομένων, όπως τοπογραφικά διαγράμματα, χάρτες, ψηφιακά μοντέλα εδάφους και αεροφωτογραφίες. Όσο αναφορά τις συνθήκες ροής, αυτές περιλαμβάνουν τον υπολογισμό των μεγεθών της παροχής, της ταχύτητας του νερού, της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας, των διατμητικών τάσεων στα όρια του αγωγού, της απώλειας ενέργειας και του ρυθμού μεταφοράς των φερτών υλών (Δερμίσης, 2007). Τέλος, οι απαιτήσεις της διαδικασίας προσομοίωσης πραγματοποιούνται τον καθορισμό ζητημάτων όπως αυτά του επιθυμητού επιπέδου ακρίβειας, του χρόνου διάρκειας της διαδικασίας και των διαφόρων ζητούμενων παραμέτρων επίλυσης.

2.3.2 Είδη ροής

Με βάση το κριτήριο της χρονικής διατήρησης της τιμής του βάθους, ανά διατομή του αγωγού, η ροή διακρίνεται σε μόνιμη, για σταθερό βάθος και μη μόνιμη, για μεταβαλλόμενο βάθος διατομής.

Αντιθέτως, αν ληφθεί υπόψη η χωρική κατανομή του βάθους σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ο αποδιδόμενος χαρακτηρισμός είναι ομοιόμορφη, εφόσον το βάθος είναι ίδιο στο σύνολο των διατομών και ανομοιόμορφη για διαφορετικές τιμές βαθών (Δερμίσης, 2007).

Επιπλέον, οι ροές κατατάσσονται σε τυρβώδης και στρωτές, με κριτήριο τη τιμή του αριθμού Reynolds. Ο αριθμός αυτός αποτελεί τον αδιάστατο λόγο των ασκούμενων δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις ιξώδους, όπου V η μέση ταχύτητα στη διατομή και ν ο συντελεστής κινηματικού ιξώδους του ρευστού. Για τιμές $Re < 500$, η ροή χαρακτηρίζεται στρωτή, για $Re > 2500$, η τιμή είναι τυρβώδης, ενώ οι ενδιάμεσες τιμές αντιστοιχούν σε μεταβατικό στάδιο.

Τέλος, ο πυκνομετρικός αριθμός Froude, ο οποίος εκφράζει το λόγο των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις βαρύτητας, διαχωρίζει τη ροή σε υποκρίσιμη, κρίσιμη και υπερκρίσιμη.

Πρακτικά, στα φυσικά υδατορεύματα η ροή είναι μη μόνιμη, ανομοιόμορφη, τυρβώδης και υποκρίσιμη. Το γεγονός αυτό καθιστά ιδιαίτερα δυσχερές το έργο λεπτομερούς προσομοίωσής της, καθώς η υπεισερχόμενη πολυπλοκότητα των φαινομένων είναι σημαντική.

2.4 Υδραυλική των ανοικτών αγωγών

2.4.1 Μονοδιάστατη αντιμετώπιση της ροής

Στους ανοικτούς αγωγούς η ροή είναι γενικά τρισδιάστατη, καθώς τα φυσικά χαρακτηριστικά μεγέθη της, όπως η ταχύτητα, η παροχή και η πίεση, μεταβάλλονται κατά μήκος της ροής όσο και μέσα στη διατομή.

Επειδή ο προσδιορισμός της ροής ως τρισδιάστατη είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν οδηγεί σε πρακτικά και εύχρηστα αποτελέσματα, έτσι η πλειοψηφία των προβλημάτων ροής σε ανοικτούς αγωγούς αντιμετωπίζονται θεωρώντας την μονοδιάστατη. Επομένως χρησιμοποιούνται στην ανάλυση μόνο μέσες τιμές ή αντιπροσωπευτικά μεγέθη μιας διατομής και ερευνάται η μεταβολή κατά μήκος του ανοιχτού αγωγού.

Επομένως, αντί της ταχύτητας $u(x,y,z)$ χρησιμοποιούμε τη μέση ταχύτητα V που δίνεται από τον τύπο

$$V = V(x) = \int_A u dA \quad (5)$$

2.4.2 Διαφορικές εξισώσεις ροής σε ανοικτούς αγωγούς

Ασταθής ροή

Οι εξισώσεις που περιγράφουν τη γενική μονοδιάστατη ασταθή ροή του νερού σ' έναν ανοικτό αγωγό είναι γνωστές στην Υδραυλική επιστήμη σαν εξισώσεις του Saint-Venant ή εξισώσεις του αβαθούς νερού. Αποτελούν τις μαθηματικές εκφράσεις των νόμων διατήρησης της μάζας και της ποσότητας κίνησης.

Για έναν οποιονδήποτε ανοικτό αγωγό, οι εξισώσεις του Saint-Venant μορφοποιούνται ως εξής:

α) Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = I \quad (6)$$

β) Εξίσωση κίνησης:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{I \cdot (V-U)}{A} = g(S_o - S_f) \quad (7)$$

όπου:

- A : το εμβαδόν της υγρής διατομής,
 Q : η παροχή κατά μήκος της ροής του αγωγού,
 I : η πλάγια παροχή εισροής ή εκροής από τον αγωγό,
 t : ο χρόνος,
 x : η οριζόντια απόσταση,
 V : η μέση ταχύτητα,
 g : η επιτάχυνση της βαρύτητας,
 γ : το βάθος ροής,
 U : η συνιστώσα της ταχύτητας της πλάγιας εισροής κατά την x διεύθυνση,
 S₀ : η κλίση του πυθμένα και
 S_f : η κλίση τριβών ή αντιστάσεων.

Η κλίση των τριβών ή αντιστάσεων εκτιμάται με χρήση του εμπειρικού τύπου του Manning με τη παρακάτω γενικότερη σχέση

$$S_f = \frac{n^2 V |V|}{R^{\frac{2}{3}}} \quad (8)$$

όπου:

- R : η υδραυλική ακτίνα (= A/P),
 P : η περιβρεχόμενη περίμετρος και
 n : ο συντελεστής τριβών του Manning.

Στην παραπάνω εξίσωση χρησιμοποιείται το γινόμενο αντί για το τετράγωνο της ταχύτητας V², γιατί στην ασταθή ροή είναι ενδεχόμενο το διάνυσμα της ταχύτητας να έχει αντίθετη διεύθυνση με το χρόνο και την απόσταση.

Μαθηματικά οι εξισώσεις (1.2) και (1.3) είναι ένα σύστημα δύο μη γραμμικών μερικών διαφορικών εξισώσεων πρώτης τάξης του υπερβολικού τύπου και δεν έχουν αναλυτική λύση, αλλά έχουν επιλυθεί κατά τα τελευταία χρόνια, με αριθμητικές μεθόδους και με χρήση Η/Υ.

Σταθερή ανομοιόμορφη ροή

Για σταθερή ή μόνιμη ροή οι παράγωγοι των μεταβλητών ως προς το χρόνο μηδενίζονται και οι μερικές παράγωγοι μετατρέπονται σε ολικές λόγω της εξάρτησης των διαφόρων μεταβλητών μόνο από την ανεξάρτητη μεταβλητή x . Οπότε οι εξισώσεις του Saint-Venant παίρνουν τις παρακάτω μορφές.

i) Γενικά για ανοικτούς αγωγούς οποιουδήποτε γεωμετρικού σχήματος, με πλάγια παροχή:

α) Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{dQ}{dx} = l \quad (9)$$

β) Εξίσωση κίνησης:

$$V \frac{dV}{dx} + g \frac{dy}{dx} + \frac{l(V-U)}{A} = g(S_o - S_f) \quad (10)$$

Η εξίσωση του Manning δε μεταβάλλεται γιατί δεν περιλαμβάνουν παραγώγους ως προς την ανεξάρτητη μεταβλητή του χρόνου t .

Αν οι ανοικτοί αγωγοί είναι επενδυμένοι και δεν υπάρχει πλάγια εισροή ή εκροή, τότε $i=l=0$ και οι παραπάνω εξισώσεις απαλλάσσονται από τους όρους της πλάγιας παροχής και παίρνουν τις αντίστοιχες μορφές.

i) Για ανοικτούς αγωγούς οποιουδήποτε γεωμετρικού σχήματος:

α) Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \quad (11)$$

(Q =σταθερό)

β) Εξίσωση κίνησης:

$$V \frac{dV}{dx} + g \frac{dy}{dx} = g(S_o - S_f) \quad (12)$$

Σταθερή ομοιόμορφη ροή

Ομοιόμορφη ροή μπορεί να δημιουργηθεί μόνο σε επενδυμένους ανοικτούς αγωγούς και χωρίς την ύπαρξη πλάγιας εισροής ή εκροής. Οι αντίστοιχες εξισώσεις του Saint-Venant γίνονται:

i) Για ανοικτούς αγωγούς οποιουδήποτε γεωμετρικού σχήματος:

α) Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{dA}{dx} = 0 \quad (13)$$

(A=σταθερό)

β) Εξίσωση κίνησης:

$$S_o - S_f = 0 \quad (14)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις είναι εμφανές ότι στην περίπτωση της ομοιόμορφης ροής η κλίση των αντιστάσεων ταυτίζεται με την κλίση του πυθμένα, επομένως η γραμμή ενέργειας, η ελεύθερη επιφάνεια του νερού και ο πυθμένας είναι μεταξύ τους παράλληλοι.

2.4.3 Ειδική ενέργεια, κρίσιμο βάθος και αριθμός Froude

Ειδική ενέργεια και κρίσιμο βάθος

Εκτός από την κατά μήκος κλίση S_o και την κλίση τριβής S_f διακρίνεται και η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας S_w που δίνεται από την εξίσωση

$$S_w = S_o \frac{dy}{dx} \quad (15)$$

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα §3.3.2, για την περίπτωση της ομοιόμορφης ροής $S_o = S_f = S_w$.

Η ποσότητα που δίνεται από την σχέση

$$H = z + y + \frac{v^2}{2g} \quad (16)$$

παριστάνει την ολική ενέργεια της ροής ανά μονάδα βάρους του ρευστού, ενώ η ποσότητα που δίνεται από την παρακάτω σχέση ονομάζεται ειδική ενέργεια.

$$E = y + \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (17)$$

Η ειδική ενέργεια παρουσιάζει ένα ελάχιστο. Το ελάχιστο εμφανίζεται για ένα και μόνο βάθος, το κρίσιμο βάθος ροής το οποίο συμβολίζεται με y_c .

Τώρα έχοντας μία σταθερά, το κρίσιμο βάθος, μπορούμε να διαχωρίσουμε κάθε ροή, ανάλογα αν είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο το βάθος ροής της από το κρίσιμο στα παρακάτω είδη ροής:

Διαχωρισμός ροής ανάλογα με το βάθος ροής

- (α) $y > y_c$ υποκρίσιμη ροή,
- (β) $y < y_c$ υπερκρίσιμη ροή και
- (γ) $y = y_c$ κρίσιμη ροή.

Αδιάστατος αριθμός FROUDE

Ο αριθμός Froude Fr είναι ένας αδιάστατος αριθμός που ορίζεται σαν το πηλίκο της ταχύτητας ροής V προς την ταχύτητα μεταδόσεως των μικρών κυμάτων $(gy)^{1/2}$.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} \quad (19)$$

Αυτός ο αδιάστατος αριθμός θεωρείται από τις πιο σημαντικές παραμέτρους, καθώς χαρακτηρίζει την ελεύθερη ροή σε ανοικτούς αγωγούς. Η ροή είναι κρίσιμη όταν ο αριθμός του Froude είναι ίσος με την μονάδα ($Fr=1$), ποτάμια ή υποκρίσιμη όταν ο αριθμός του Froude είναι μικρότερος από την μονάδα ($Fr<1$) και χειμαρρώδης ή υπερκρίσιμη όταν ο αριθμός του Froude είναι μεγαλύτερος από την μονάδα ($Fr>1$).

Διαχωρισμός ροής ανάλογα με τον αριθμό Froude:

- (α) $Fr < 1$ υποκρίσιμη ροή,
- (β) $Fr > 1$ υπερκρίσιμη ροή και
- (γ) $Fr = 1$ κρίσιμη ροή.

2.4.4 Διαφορικές εξισώσεις ροής σε ανοικτούς αγωγούς

Διαφορική εξίσωση ενέργειας

Η εξίσωση ενέργειας της σταθερής ανομοιόμορφης ροής σε ανοικτούς πρισματικούς αγωγούς, οποιουδήποτε γεωμετρικού σχήματος, μπορεί να προκύψει από τις διαφορικές εξισώσεις .

Στην περίπτωση της μηδενικής πλάγιας παροχής η διαφορική εξίσωση ενέργειας παίρνει τη μορφή:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_f}{1 - Fr^2} \quad (20)$$

Προφίλ ροής

Σε πρισματικούς ανοικτούς αγωγούς, το νερό καθώς διατηρεί σταθερή κίνηση έχει την τάση να κινηθεί με ομοιόμορφο βάθος ροής, όμως αυτό δεν επιτυγχάνεται λόγω εμποδίων ή υδραυλικών τεχνικών έργων ή επίσης λόγω του μικρού μήκους του ανοικτού αγωγού. Κατά την υπολογιστική διαδικασία απαιτείται να είναι γνωστές επακριβώς οι κατά μήκος τομές ή να είναι γνωστό το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας του νερού.

Ο ακριβής υπολογισμός των κατά μήκος τομών ή προφίλ και γενικά των προβλημάτων της ανομοιόμορφης ροής επιτυγχάνεται με την ολοκλήρωση της γενικής διαφορικής εξίσωσης, καθώς και των ειδικών μορφών, που μπορούν να προκύψουν από την παραπάνω, εξαιτίας της διαφοροποίησης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του αγωγού.

Από τις διαφορικές εξισώσεις αυτές άλλες μπορεί να ολοκληρωθούν απ' ευθείας αποδίδοντας ρητές ή πεπλεγμένης μορφής συναρτήσεις και άλλες απαιτούν αριθμητική ολοκλήρωση. Στο Σχήμα 3.1 δίνεται η ομαδοποίηση των δεκαπέντε δυνατών καμπυλών της ελεύθερης επιφάνειας.

Κλίση	Καμπύλες στη ζώνη 1	Καμπύλες στη ζώνη 2	Καμπύλες στη ζώνη 3
ΑΠΟΤΟΜΗ	<p>$S_0 > S_c$</p>	<p>$S_0 > S_c$</p>	<p>$S_0 > S_c$</p>
ΚΡΙΣΙΜΗ	<p>$S_0 = S_c$</p>	<p>$S_0 = S_c$</p>	<p>$S_0 = S_c$</p>
ΗΠΙΑ	<p>$S_0 < S_c$</p>	<p>$S_0 < S_c$</p>	<p>$S_0 < S_c$</p>
ΜΗΔΕΝΙΚΗ	<p>$S_0 = 0$</p>	<p>$S_0 = 0$</p>	<p>$S_0 = 0$</p>
ΑΡΝΗΤΙΚΗ	<p>$S_0 < 0$</p>	<p>$S_0 < 0$</p>	<p>$S_0 < 0$</p>

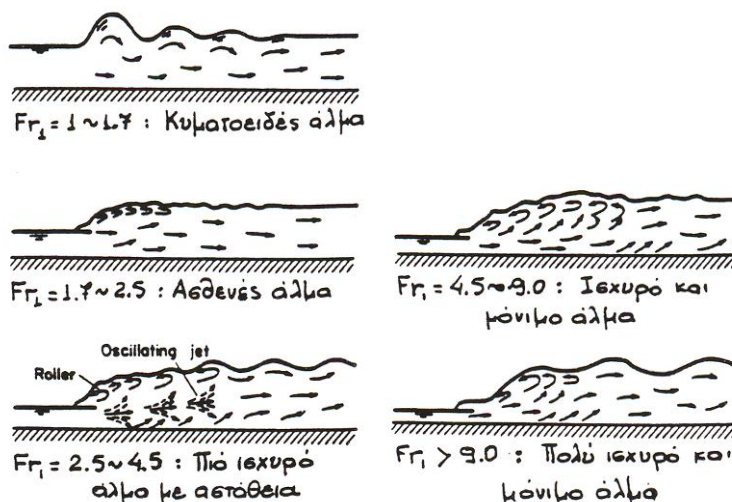
Σχήμα 2.1 Ταξινόμηση καμπυλών ελεύθερης επιφάνειας

2.4.5 Υδραυλικό άλμα

Υδραυλικό άλμα λέγεται η απότομη αύξηση της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού κατά τη μόνιμη κίνηση, που προκαλείται εξαιτίας της μεταβολής της ροής από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη. Συνοδεύεται από έντονους στροβιλισμούς και απώλεια ενέργειας με τη μορφή θερμότητας και περιγράφεται με την εξίσωση διατήρησης της γραμμικής ορμής.

Στις περιπτώσεις σχηματισμού αλμάτων σε κεκλιμένους αγωγούς η εξίσωση ποσότητας κίνησης μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε μια διεύθυνση παράλληλη προς τον πυθμένα του αγωγού, οπότε υπεισέρχεται και η οριζόντια συνιστώσα του βάθους του άλματος, είτε στην οριζόντια διεύθυνση, οπότε υπεισέρχονται και οι συνιστώσες των δυνάμεων πίεσης στον πυθμένα. Και στις δύο περιπτώσεις δεν δύναται να επιτευχθεί επακριβώς ο υπολογισμός των επιπλέον συνιστωσών δυνάμεων και επομένως απαιτούνται πειραματικά δεδομένα για την επαλήθευση των εξισώσεων που προκύπτουν από την θεωρητική αντιμετώπιση του προβλήματος, καθώς και των ορίων μέχρι τα οποία ισχύουν αυτές.

Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τα υδραυλικά άλματα σε κεκλιμένους ανοικτούς αγωγούς (Bazin 1865, Kindsvater 1944, Brandley-Peterka 1957, Pajaratman 1967 κ.α.), εντούτοις το πρόβλημα θεωρείται ότι δεν έχει επιλυθεί στην ολότητα του.



Σχήμα 2.2 Τύποι υδραυλικών αλμάτων ως συνάρτηση του αριθμού Froude.

Το υδραυλικό άλμα χαρακτηρίζεται γενικώς από τα βάθη ροής του στην αρχή και στο τέλος του, αλλά και από το μήκος του, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2.

Αυτό το χαρακτηριστικό μήκος προσδιορίζεται γενικώς με εμπειρικό τρόπο. Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει ένα πλήθος εμπειρικών σχέσεων που έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές.

2.4.6 Υδραυλική προσομοίωση

Για τον έλεγχο της υφιστάμενης παροχετευτικότητας πραγματοποιήθηκε υδραυλική προσομοίωση με τη μέθοδο της ολοκλήρωσης βήμα προς βήμα (step by step) για συνθήκες βαθμιαίας μεταβαλλόμενης ροής. Η εφαρμογή της μεθόδου έγινε στο πρόγραμμα HEC-RAS του U.S. Army Corps of Engineers.

Η κύρια υπολογιστική λογική του προγράμματος στηρίζεται στην επίλυση της εξίσωσης ενέργειας μονοδιάστατα και το προφίλ της ροής υπολογίζεται από την μία διατομή στην επόμενη με τη παρακάτω σχέση

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (21)$$

όπου:

Y_1, Y_2 : το βάθος ροής στις διατομές,

Z_1, Z_2 : υψόμετρα στον πυθμένα των διατομών,

V_1, V_2 : η μέση ταχύτητα ροής στις διατομές,

α_1, α_2 : οι συντελεστές ταχύτητας στις διατομές, υπολογίζονται κατά τη διαδικασία επίλυσης από το λογισμικό HEC-RAS,

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας,

h_e : η απώλεια φορτίου μεταξύ δύο διαδοχικών διατομών.

Για την περίπτωση κλειστού αγωγού η εξίσωση ενέργειας παίρνει τη μορφή:

$$Y_c + Z_c + \frac{\alpha_c V_c^2}{2g} = Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{ex} \quad (22)$$

όπου:

- Y_c : το βάθος ροής εντός του οχετού στο κατάντη άκρο του,
 Z_c : το υψόμετρο πυθμένα του οχετού στο κατάντη άκρο του,
 V_c : η μέση ταχύτητα ροής εντός του οχετού στο κατάντη άκρο του,
 Y_2 : το βάθος ροής στη διατομή κατάντη του οχετού,
 Z_2 : υψόμετρο πυθμένα της διατομής κατάντη του οχετού,
 V_2 : η μέση ταχύτητα ροής στη διατομή κατάντη του οχετού,
 α_1, α_2 : οι συντελεστές ταχύτητας στις διατομές, υπολογίζονται κατά τη διαδικασία επίλυσης από το λογισμικό HEC-RAS,
 g : η επιτάχυνση της βαρύτητας,
 hex : η απώλεια φορτίου.

Μεταξύ δύο διαδοχικών διατομών οι απώλειες ενέργειας προκύπτουν από τις απώλειες λόγω των τριβών και από τις απώλειες λόγω μεταβολής στη διατομή της κοίτης όπου υπολογίζονται με την σχέση

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) \quad (23)$$

όπου:

- L : η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών διατομών,
 \bar{S}_f : η μέση κλίση της γραμμής ενεργείας,
 C : ο συντελεστής απωλειών συστολής ή διαστολής των διατομών.

Από την εξίσωση του Manning υπολογίζονται οι απώλειες ενέργειας λόγω τριβών για ροή σε ανοικτούς αγωγούς και τα αποτελέσματα της οποίας έχουν τεκμηριωθεί από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Επίσης, με βάση πλήθος πειραματικών παρατηρήσεων έχουν καταγραφεί λεπτομερείς πίνακες τιμών του n , γεγονός που κάνει πιο εύχρηστη την εξίσωση του Manning. Η εξίσωση του

Manning χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στους σχετικούς υπολογισμούς ροής ανοικτών αγωγών και έχει την παρακάτω μορφή:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2} \quad (24)$$

όπου:

- Q : η παροχή σχεδιασμού,
n : ο συντελεστής τραχύτητας κατά Manning,
A : το εμβαδόν της υγρής διατομής,
R : η υδραυλική ακτίνα.

2.4.7 Συντελεστής Manning

Στο Σχήμα 2.3 και Πίνακα 2.1 που ακολουθεί δίνονται από τη διεθνή βιβλιογραφία, τυπικές τιμές του συντελεστή τραχύτητας Manning n για συνήθεις περιπτώσεις ρεμάτων.

HYDRAULIC COMPUTATIONS	
Value of n	Channel condition
0.016–0.017	Smoothest natural earth channels, free from growth, with straight alinement.
0.020	Smooth natural earth channels, free from growth, little curvature.
0.0225	Average, well-constructed, moderate-sized earth channels in good condition.
0.025	Small earth channels in good condition, or large earth channels with some growth on banks or scattered cobbles in bed.
0.030	Earth channels with considerable growth. Natural streams with good alinement, fairly constant section. Large floodway channels, well maintained.
0.035	Earth channels considerably covered with small growth. Cleared but not continuously maintained floodways.
0.040–0.050	Mountain streams in clean loose cobbles. Rivers with variable section and some vegetation growing in banks. Earth channels with thick aquatic growths.
0.060–0.075	Rivers with fairly straight alinement and cross section, badly obstructed by small trees, very little underbrush or aquatic growth.
0.100	Rivers with irregular alinement and cross section, moderately obstructed by small trees and underbrush. Rivers with fairly regular alinement and cross section, heavily obstructed by small trees and underbrush.
0.125	Rivers with irregular alinement and cross section, covered with growth of virgin timber and occasional dense patches of bushes and small trees, some logs and dead fallen trees.
0.150–0.200	Rivers with very irregular alinement and cross section, many roots, trees, bushes, large logs, and other drift on bottom, trees continually falling into channel due to bank caving.

Σχήμα 2.3: Τιμές του συντελεστή τραχύτητας Manning ανάλογα με την κατάσταση του ρέματος (DESIGN OF SMALL DAMS, United States Department Of The Interior – Bureau of Reclamation, 1987)

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<i>A. Natural Streams</i>			
1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.03	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.03	0.035	0.04
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.04	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.05
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.04	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.05	0.06
g. Sluggish reaches, weedy. deep pools	0.05	0.07	0.08
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.07	0.1	0.15
2. Flood Plains			
a. Pasture no brush			
1. Short grass	0.025	0.03	0.035
2. High grass	0.03	0.035	0.05
b. Cultivated areas			
1. No crop	0.02	0.03	0.04
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.03	0.04	0.05
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.05	0.07
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.05	0.06
3. Light brush and trees, in summer	0.04	0.06	0.08
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.07	0.11
5. Medium to dense brush, in summer	0.07	0.1	0.16
d. Trees			
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.03	0.04	0.05
2. Same as above, but heavy sprouts	0.05	0.06	0.08
3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.08	0.1	0.12
4. Same as above, but with flow into branches		0.12	0.16
5. Dense willows, summer, straight	0.1	0.15	0.2

Πίνακας 2.1: Τιμές του συντελεστή τραχύτητας Manning (Chow, 1995)

3 Θεωρητικό υπόβαθρο του λογισμικού HEC-RAS

Το HEC-RAS είναι ένα αναβαθμισμένο σύστημα λογισμικού υδραυλικής ανάλυσης, με το οποίο ο χρήστης αλληλεπιδρά μέσω γραφικού περιβάλλοντος, όπου και προσομοιώνεται το υπό μελέτη υδατόρεμα. Το πρόγραμμα μπορεί να εκτελέσει παράλληλα κατάλληλους υπολογισμούς, ούτως ώστε να προκύψει το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας του νερού υπό συνθήκες μόνιμης ή μη μόνιμης, μονοδιάστατης, βαθμιαία μεταβαλλόμενης ροής, για τις περιπτώσεις υποκρίσιμης, υπερκρίσιμης ή μικτής ροής.

Οι υπολογισμοί εκτελούνται θεωρώντας την ροή μονοδιάστατη (οι συνιστώσες της ταχύτητας σε διευθύνσεις διαφορετικές από αυτές της ροής δεν υπολογίζονται). Αυτή η παραδοχή γίνεται, διότι με την χρήση της εξίσωσης ολικής ενέργειας είναι δεδομένο ότι η τελική ενέργεια ταυτίζεται σε όλα τα σημεία της διατομής. Οι κλίσεις της κοίτης πρέπει να είναι μικρές (μικρότερες του 1:10). Στην περίπτωση που παρατηρείται απότομη αλλαγή της ροής (π.χ ύπαρξη τεχνικού έργου), η υπόθεση ότι η ροή μεταβάλλεται βαθμιαία δεν ισχύει.

Στο περιβάλλον του HEC-RAS, ένα έργο (project) είναι ένα σύνολο αρχείων δεδομένων που συνδέεται με ένα συγκεκριμένο ποτάμιο σύστημα. Τα αρχεία δεδομένων για ένα έργο (project) είναι τα εξής :

1. Στοιχεία του έργου
2. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
3. Δεδομένα μόνιμης ροής
4. Δεδομένα μη μόνιμης ροής
5. Χαρακτηριστικά στοιχεία υδραυλικών κατασκευών (γέφυρες, οχετοί, υπερχειλιστές κ.λπ.)

Η υπολογιστική διαδικασία βασίζεται στην επίλυση της εξίσωσης ενέργειας, με την διαδομένη προσεγγιστική μέθοδο του σταθερού βήματος (standard step method), συνδυαστικά με την εξίσωση Manning για την εκτίμηση της κλίσης της γραμμής ενέργειας (απώλειες λόγω τριβής). Η μέθοδος του σταθερού βήματος επιλύει την εξίσωση ενέργειας με τη χρήση πεπερασμένων διαφορών, όπως αυτές εμφανίζονται μεταξύ διαδοχικών φυσικών διατομών του αγωγού.

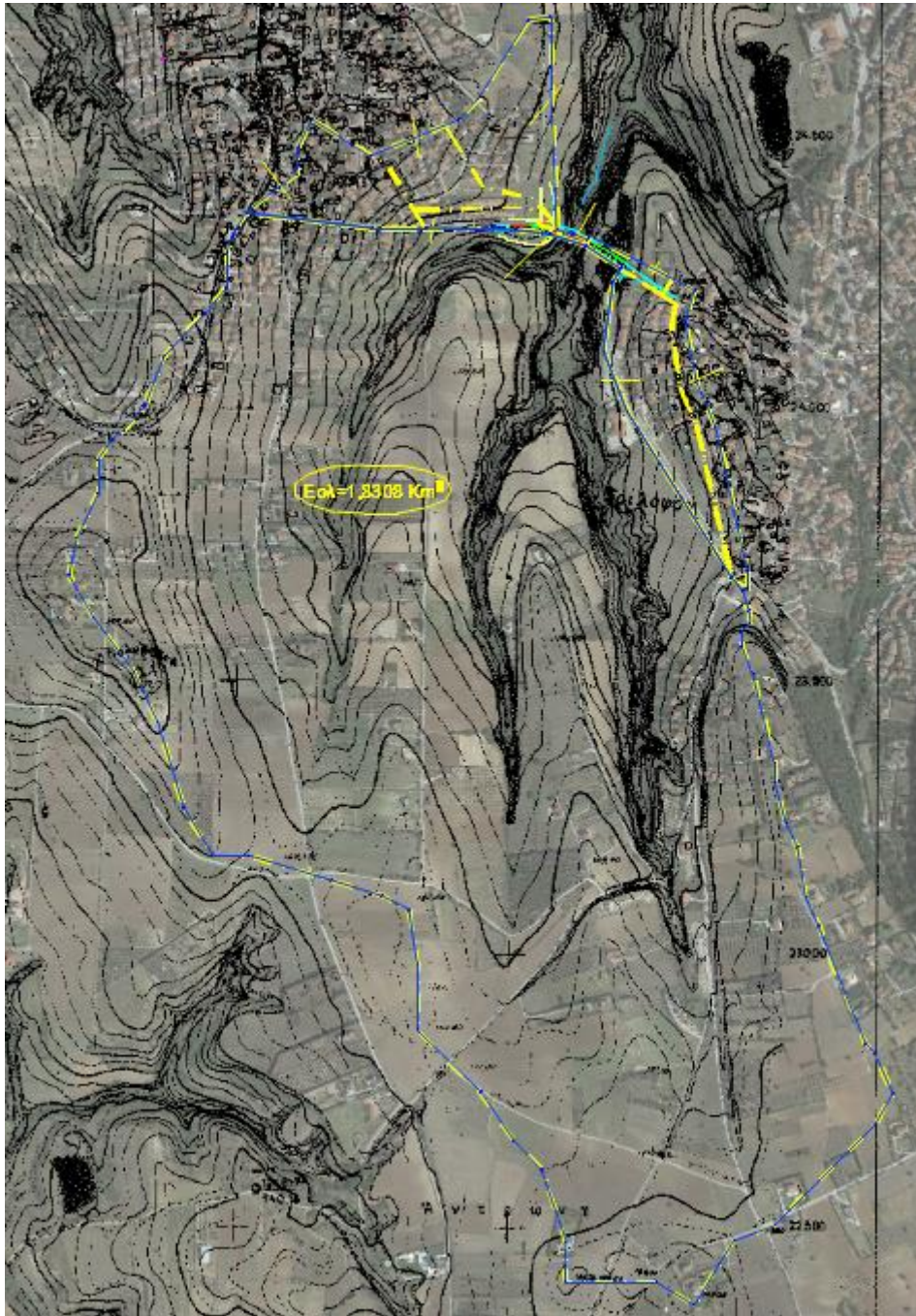
Διάφορα εμπόδια, όπως γέφυρες, οχετοί και γεωμετρικές διαφοροποιήσεις στη διατομή, όπως διευρύνσεις και στενώσεις, κατά το μήκος του υδατορέματος προκαλούν απώλειες στην ροή οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό. Το πρόγραμμα, όταν το φορτίο της κινητικής ενέργειας κατάντη είναι μεγαλύτερο του φορτίου άναντη θεωρεί ότι υπάρχει στένωση. Ενώ, θεωρείται ότι υπάρχει διεύρυνση, όταν το φορτίο της κινητικής ενέργειας είναι μεγαλύτερο στα ανάντη από το αντίστοιχο στα κατάντη.

Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο έχει τη δυνατότητα υπολογισμού της στάθμης του νερού για βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή σε δίκτυο τεχνητών αγωγών, σε σύστημα υδατορεμάτων με τεχνικά έργα ή φυσικές κοίτες σε συνθήκες υποκρίσιμης ή υπερκρίσιμης ροής. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να υπολογίσει υδραυλικά άλματα, υδραυλικές συνθήκες σε γέφυρες, οχετούς, υπερχειλιστές (με ή χωρίς θυροφράγματα), στενώσεις καθώς και τη διάβρωση της κοίτης στις γέφυρες.

Το υδραυλικό μοντέλο HEC-RAS είναι ένα από τα λογισμικά του Σώματος Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού (US Army Corps of Engineer), κατασκευάστηκε από το Hydrologic Engineering Center (HEC) για την προσομοίωση υδατορεμάτων (River Analysis System- RAS) (Εγχειρίδιο λογισμικού HEC-RAS). Τα υδατορέματα μπορεί να είναι φυσικά ή τεχνητά, μεμονωμένα ή συστήματα. Επιτρέπει στο χρήστη να πραγματοποιήσει μονοδιάστατη ανάλυση (1D) και προσομοίωση φυσικών υδατορεμάτων, μονοδιάστατους ή δισδιάστατους υπολογισμούς ροής (2D), μεταφορά ιζήματος και μοντελοποίηση ποιότητας των υδάτων. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση του HEC-RAS 5.0.4 για την 1D προσομοίωση και υπολογισμού ροής. Η ευκολία ενσωμάτωσης του με άλλα μοντέλα και τεχνολογίες είναι ένα άλλο αξιοσημείωτο πλεονέκτημα (Knebl et al., 2005, Rodriguez et al., 2008; Fan et al., 2009). Σύμφωνα με τον Ghanbarpour et al. (2013) η σύνδεση του HEC-RAS με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για σταθερή ροή, σταδιακά μεταβαλλόμενη ροή και η χαρτογράφηση τελικά των πλημμυρισμένων εκτάσεων, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των κατασκευών, που ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις ενός πλημμυρικού γεγονότος.

4. Περιοχή Μελέτης-Υδραυλικοί Υπολογισμοί

4.1 Περιοχή Μελέτης



Εικόνα 4.1 Λεκάνες περιοχής μελέτης

Το υπό μελέτη ρέμα διέρχεται μεταξύ των δύο κωμοπόλεων Πλαγιαρίου και Τριλόφου

Το Πλαγιάρι και ο Τρίλοφος είναι κωμοπόλεις του Δήμου Θέρμης στην Περιφερειακή Ενότητα Θεσσαλονίκης που βρίσκεται στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας όπως διαμορφώθηκε με το πρόγραμμα “Καλλικράτης”. Έδρα του δήμου είναι η Θέρμη και ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα Μακεδονίας. Έχουν υψόμετρο 135 και 141 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας αντίστοιχα.

Το ρέμα παροχετεύεται από τις λεκάνες απορροής που έχουν χαραχθεί στην Εικόνα 4.1 και έχουν συνολική επιφάνεια 1,83 Km².

4.2 Υδραυλικοί υπολογισμοί

4.2.1 Υπολογισμός μέγιστων παροχών με την ορθολογική μέθοδο

Από το σχέδιο της λεκάνης απορροής της υπό μελέτη περιοχής προκύπτουν τα παρακάτω στοιχεία:

Εμβαδόν λεκάνης	$F = 1,8308 \text{ km}^2$
Μέγιστο υψόμετρο λεκάνης	$H_{\max} = 186,00 \text{ m}$
Ελάχιστο υψόμετρο λεκάνης	$H_{\min} = 88,44 \text{ m}$
Μέγιστη υψομετρική διαφορά λεκάνης	$\Delta H = 97,56 \text{ m}$
Μήκος κεντρικής κοίτης	$L = 2,013 \text{ km}$
Μέσο υψόμετρο λεκάνης απορροής	$H_m = 137,22 \text{ m}$
Υψομετρική διαφορά μέσου υψομέτρου–σημείου ελέγχου (137,22-88,44): $\Delta H_m = 48,78 \text{ m}$.	
Μέση κλίση κοίτης	5,15%
Μήκος τμήματος υπό μελέτη	325,00 m

Ο συντελεστής απορροής πλημμύρας C υπολογίζεται από τη σχέση $C=1-C'$, όπου ο συντελεστής C' εξαρτάται από τις τοπογραφικές συνθήκες της περιοχής (μέση κλίση εδάφους 5,15%), τη φύση του εδάφους (δεσπόζουν τα ελαφρά πετρώματα τα οποία διευκολύνουν το σχηματισμό υδατοπερατών και με ικανότητα συγκράτησης της εδαφικής υγρασίας εδαφών) και τη φυτική κάλυψη (κυρίως καλλιεργήσιμες εκτάσεις). Δηλαδή $C'=0,10+0,20+0,10=0,40$ και επομένως

$$C_1 = 1-0,40 = 0,60$$

Ο συντελεστής αυτός εφαρμόζεται για την εκτός οικισμού συνολικής έκτασης $1,657 \text{ Km}^2$.

Για τις λεκάνες απορροής εντός οικισμού (συνολική επιφάνεια $0,174 \text{ Km}^2$) που αποχετεύονται μέσω του δικτύου ομβρίων και καταλήγουν στην κοίτη τη ρέματος επιλέχθηκε μέσος συντελεστής $C_2=0,80$.

Έτσι ο ενιαίος συντελεστής για όλη τη λεκάνη απορροής προκύπτει ίσος με

$$C = A_1 \times C_1 + A_2 \times C_2 / A_{\text{ολ}} = [1,657 \times 0,60 + 0,174 \times 0,80] / 1,831 = 0,62$$

Η εφαρμογή της ορθολογικής μεθόδου της οποίας η εξίσωση υπολογισμού δίνεται στη συνέχεια, απαιτεί την ύπαρξη συστηματικών αυτογραφικών παρατηρήσεων, οι οποίες είναι

απαραίτητες για την ανεύρεση των μέγιστων καταγραφών βροχής για διάφορες χρονικές διάρκειες βροχής (π.χ. 30', 60', 2h, 4h, 6h, 8h κλπ.).

Τύπος Ορθολογικής Μεθόδου: $Q = 0,278 * c * i * F$

Όπου:

$maxQ_t$ = η μέγιστη-παροχή με περίοδο επανάληψης $T = 50, 100$, κλπ έτη (m^3/sec)

C = ο μέγιστος στιγμιαίος συντελεστής απορροής της μέγιστης παροχής

I = η μέση μέγιστη ένταση της πλημμυρικής βροχής που σχημάτισε την $maxQ_t$ (mm/h) ($i = maxT$)

Για τον υπολογισμό της μέγιστης έντασης της βροχής απαιτείται ο υπολογισμός της αντίστοιχης μέγιστης βροχόπτωσης, ο οποίος με τη σειρά του απαιτεί τον υπολογισμό του αντίστοιχου χρόνου συγκέντρωσης της μελετώμενης λεκάνης. Ο χρόνος συγκέντρωσης t_c (ή χρόνος μέγιστης διαδρομής ή χρόνος συρροής) αναφέρεται στο χρόνο που απαιτείται από την έναρξη της βροχής μέχρι το σχηματισμό της μέγιστης πλημμυρικής αιχμής.

Οι πλέον δόκιμοι τύποι υπολογισμού του t_c είναι αυτοί του Giandotti και του Kirpich.

Ο τύπος του **Giandotti** δίνει τον συνολικό χρόνο συγκέντρωσης (συρροής) του νερού στην λεκάνη, μέχρι την θέση που εξετάζεται, δηλαδή το άθροισμα του χρόνου ροής του στην επιφάνεια των κλιτύων και του χρόνου διαδρομής του μέσα στην κοίτη του ρέματος και εφαρμόζεται σε απλές λεκάνες που έχουν μία κύρια κεντρική κοίτη χωρίς τυχόν ισότιμες διακλαδώσεις, έχει δε την μορφή:

$$t = \frac{4\sqrt{F} + 1.5 * L}{0.8\sqrt{Z}}$$

Όπου :

t : ο χρόνος συρροής (h)

F : η επιφάνεια της λεκάνης απορροής (Km^2)

L : το μήκος της γραμμής φυσικής απορροής (km)

Z : η υψομετρική διαφορά του μέσου υψομέτρου της λεκάνης απορροής και του σημείου ελέγχου (m)

Ο τύπος του **Kirpich** δίνει τον χρόνο μεταξύ έναρξης ανύψωσης του νερού στην υπό μελέτη διατομή και επίτευξης της μέγιστης στάθμης σ' αυτή, παρέχει συνεπώς την διάρκεια του

ανοδικού κλάδου του υδρογραφήματος. Εφαρμόζεται δε για τον υπολογισμό του χρόνου ροής μόνο στην κοίτη και έχει την μορφή:

$$t = \frac{0.01974 * L^{0.77}}{J^{0.385}}$$

Όπου :

t : ο χρόνος συρροής σε πρώτα λεπτά της ώρας (min)

L : το μήκος της διαδρομής της φυσικής κοίτης σε km

H : η υψομετρική διαφορά σε km

Κατά την χρήση της ορθολογικής μεθόδου - και δεδομένου του ότι η κεντρική κοίτη της μελετώμενης λεκάνης διακλαδίζεται σε αρκετούς σημαντικούς και σχεδόν ισότιμους συμβάλλοντες, ο χρόνος της βροχόπτωσης λήφθηκε ίσος με τον χρόνο συρροής που υπολογίζεται με τον τύπο του Kirpich χωρίς την προσαύξηση για το χρόνο συρροής στις επιφάνειες των κλιτύων, όπως θα έπρεπε, ως πρόσθετος συντελεστής ασφαλείας.

Επιλύοντας την παραπάνω σχέση λαμβάνουμε του **Kirpich**:

$$t = \frac{0.01974 * 2.013^{0.77}}{0.048^{0.385}} = 21.85min = 0.364hr$$

Για λόγους σύγκρισης σημειώνεται ότι ο χρόνος συγκέντρωσης σύμφωνα με τον τύπο του Giandotti είναι

$$t = \frac{4\sqrt{1.83} + 1.5 * 2.013}{0.8\sqrt{48.78}} = 90.54min = 1.51hr$$

Ο υπολογισμός της έντασης της βροχόπτωσης σχεδιασμού έγινε σύμφωνα με το τεύχος με τίτλο «Εφαρμογή Οδηγίας 2007/60/ΕΚ - Κατάρτιση Ομβρίων Καμυλών σε Επίπεδο Χώρας» του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας – Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Μάιος 2016. Σύμφωνα

με αυτό, οι όμβριες καμπύλες που καταρτίστηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της έντασης της βροχόπτωσης σχεδιασμού, για επιλεγμένη διάρκεια και περίοδο επαναφοράς, σε οποιαδήποτε θέση ή λεκάνη απορροής της χώρας.

Η γενική εξίσωση της όμβριας καμπύλης είναι:

$$i(d, t) = \frac{\lambda'(T^\kappa - \psi')}{\left(1 - \frac{d}{\theta}\right)^n}$$

όπου:

- i : η ένταση της κρίσιμης βροχόπτωσης σε mm/hr,
- T : η περίοδος επαναφοράς σε έτη,
- d : η διάρκεια της κρίσιμης βροχόπτωσης σε hr,
- κ : η παράμετρος σχήματος,
- λ' : η παράμετρος κλίμακας,
- ψ' : η παράμετρος θέσης της συνάρτησης κατανομής,
- και θ, η : οι παράμετροι της συνάρτησης διάρκειας.

Τα στοιχεία του βροχομετρικού σταθμού που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Στοιχεία βροχομετρικού σταθμού - (Εφαρμογή Οδηγίας 2007/60/ΕΚ - Κατάρτιση Ομβρίων Καμπυλών σε Επίπεδο Χώρας – Παράρτημα II).

Όνομα	κ	λ'	ψ'	θ	η
ΕΜΥ	0,07	460,28	0,82	0,076	0,686

Έτσι η ένταση βροχόπτωσης για περιόδους επαναφοράς 10,25,50 και 100 χρόνια θα είναι

$$i_{10} = 116.34 \text{ mm/hr}$$

$$i_{25} = 124.06 \text{ mm/hr}$$

$$i_{50} = 130.23 \text{ mm/hr}$$

$$i_{100} = 136.72 \text{ mm/hr}$$

Η ένταση της λεκάνης που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα απομειώνεται με τη χρήση συντελεστή ϕ επιφανειακής απομείωσης (areal reduction factor). Στο τεύχος με τίτλο «Εφαρμογή Οδηγίας 2007/60/ΕΚ - Κατάρτιση Ομβρίων Καμπυλών σε Επίπεδο Χώρας» (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας – Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Μάιος 2016) προτείνεται η εφαρμογή της σχέσης (Κουτσογιάννης, Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης, Αθήνα 2011).

$$\phi = \max\left(1 - \frac{0.048A^{0.36-0.01 \ln A}}{d^{0.35}}, 0.25\right)$$

όπου:

A : η έκταση της λεκάνης σε km²

d : η διάρκεια της κρίσιμης βροχόπτωσης σε hr

Για A=1,8308 km² και d=0.50hr προκύπτει $\phi=0,95$

Επομένως η τελική τιμή της έντασης θα είναι

$$i_{10} = 116.34 * 0,95 = 110,20 \text{ mm/hr}$$

$$i_{25} = 124.06 * 0,95 = 117,51 \text{ mm/hr}$$

$$i_{50} = 130.23 * 0,95 = 123,36 \text{ mm/hr}$$

$$i_{100} = 136.72 * 0,95 = 129,50 \text{ mm/hr}$$

Με βάση την τιμή i ο τύπος της ορθολογικής μεθόδου δίνει την ακόλουθη μέγιστη παροχή για περίοδο επαναφοράς T=10 , 25 , 50 και 100 έτη

$$\text{Max } Q_{10} = 34.77 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{Max } Q_{25} = 37.08 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{Max } Q_{50} = 38.93 \text{ m}^3/\text{sec}$$

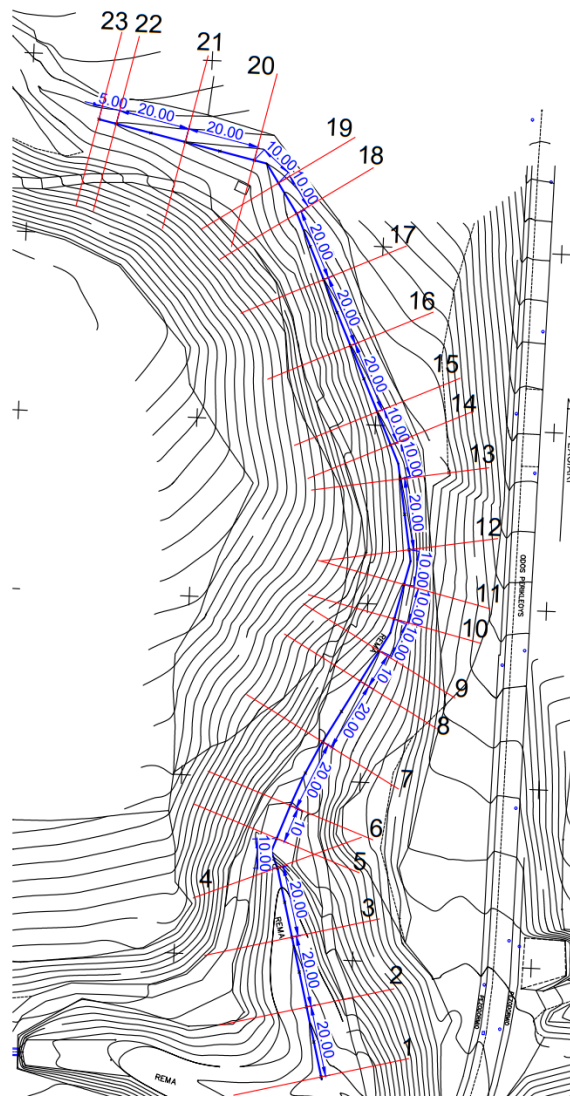
$$\text{Max } Q_{100} = 40.87 \text{ m}^3/\text{sec}$$

4.3 Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα HEC-RAS

4.3.1 Εισαγωγή τοπογραφικών δεδομένων

Η διαδικασία μελέτης ενός ποτάμιου συστήματος με το πρόγραμμα HEC-RAS ξεκινάει από την απεικόνιση του ρέματος, γνωρίζοντας την τοπογραφία της περιοχής. Για την μέγιστη δυνατή ευκρίνεια στην απεικόνιση θα πρέπει να υπάρχουν λεπτομερή σχέδια του υδατορεύματος με ακρίβεια σε συντεταγμένες και υψόμετρα.

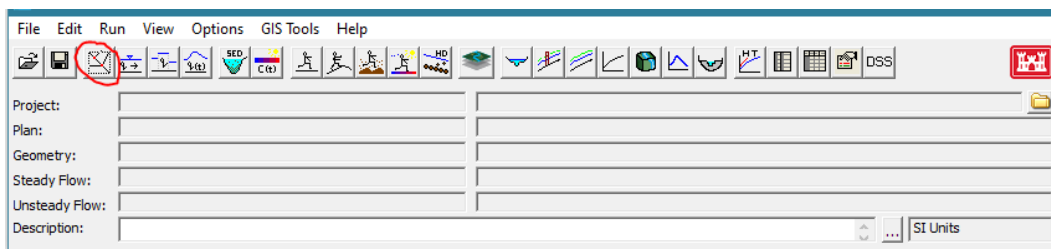
Από τη μελέτη των σχεδίων και των χαρτών προσδιορίζονται οι θέσεις των διατομών που θα χρησιμοποιηθούν για την μελέτη. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν εικοσιτρείς (23) τομές καθ' όλο το μήκος του τμήματος του υδατορεύματος. (Εικόνα 4.2)



Εικόνα 4.2 Οριζοντιογραφία του τμήματος ενδιαφέροντος με αριθμημένες τις τομές και των μεταξύ τους αποστάσεων.

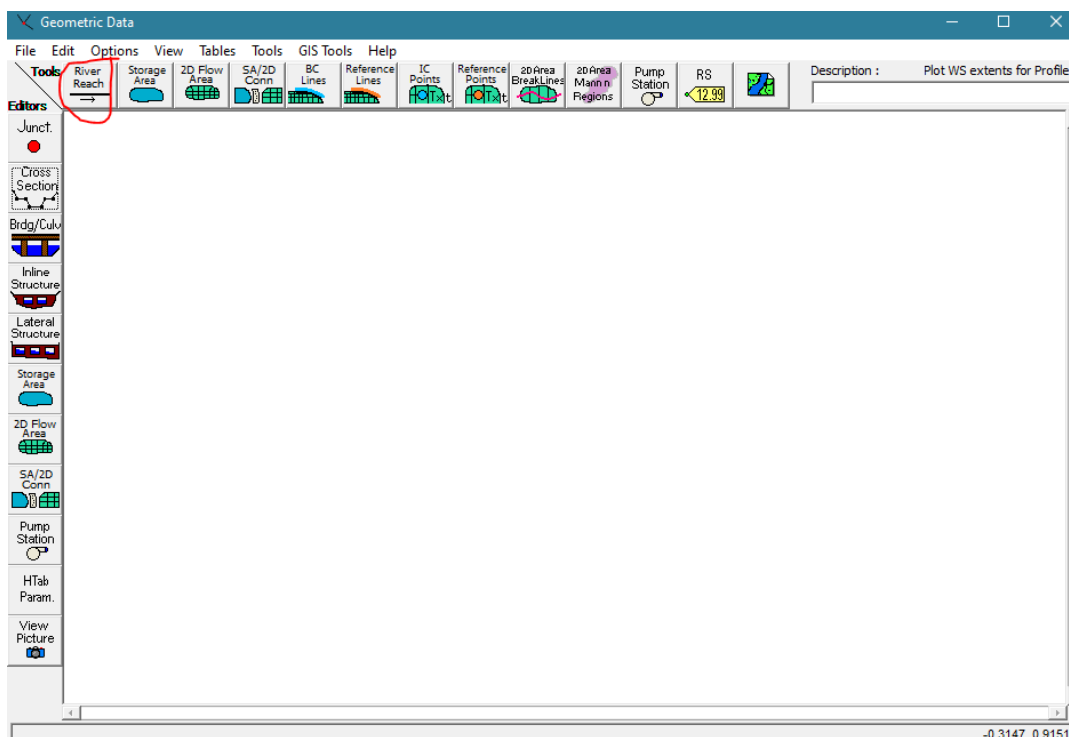
Από το τρισδιάστατο τοπογραφικό σχέδιο και με τη χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος AUTOCAD σχεδιάζονται οι διατομές τοποθετώντας τις συντεταγμένες Χ,Υ και Ζ των χαρακτηριστικών σημείων των διατομών.

Για τη μοντελοποίηση του υδατορεύματος χαράζεται η γεωμετρία του από το εικονίδιο View/Edit Geometric Data (Εικόνα 4.3)



Εικόνα 4.3 Κεντρικό παράθυρο του προγράμματος HEC-RAS

Εφόσον επιλεγεί αυτό το εικονίδιο ανοίγει το παράθυρο Geometric Data (Εικόνα 7.3)

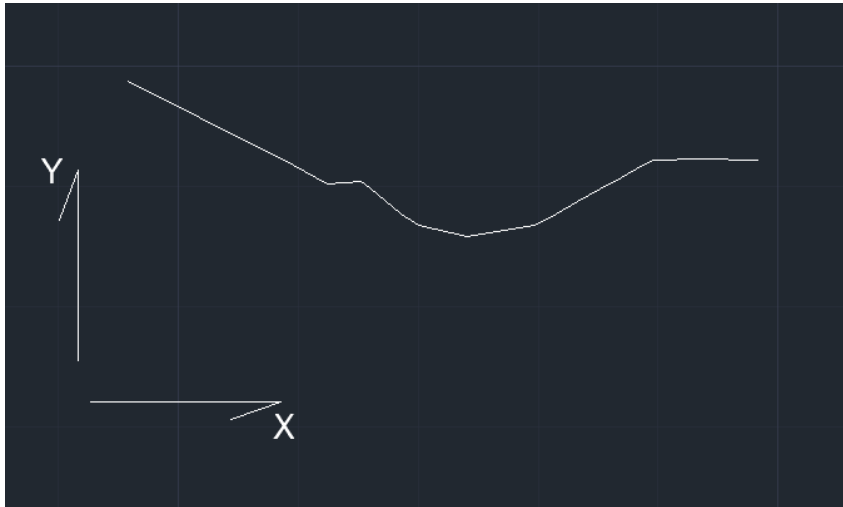


Εικόνα 4.4 Geometric Data

Επόμενο βήμα είναι η κατανόηση της γεωμετρίας της κοίτης σε κάτοψη για τον σχεδιασμό της στον κενό χώρο του παραθύρου επιλέγοντας το εικονίδιο River Reach (Εικόνα 4.4)

Στην συνέχεια εισάγονται οι διατομές στο πρόγραμμα HEC-RAS, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Το πρόγραμμα απεικονίζει τις διατομές σε δύο άξονες Χ και Υ, επομένως πρέπει να

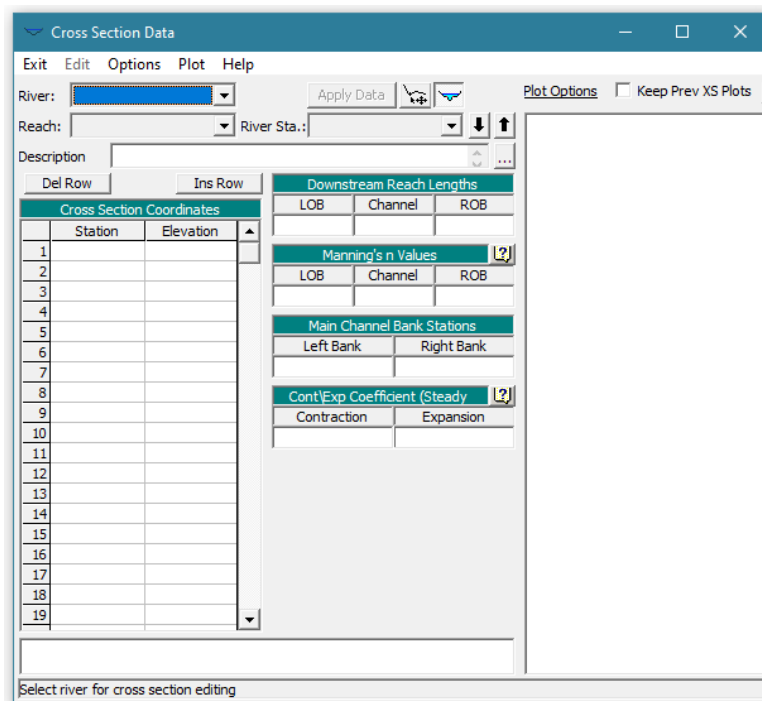
διαχωριστούν οι αποστάσεις μεταξύ των διατομών, οι αποστάσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών σημείων κάθε διατομής και η υψομετρική διαφορά τους.



Εικόνα 4.5 Μια τυχαία διατομή του υδατορεύματος

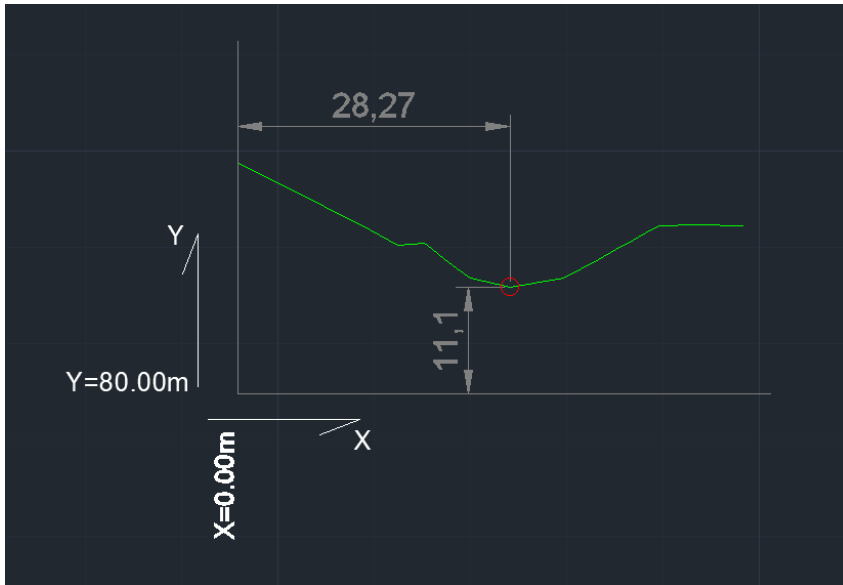
Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.5 κατά τον άξονα X τοποθετούνται οι οριζόντιες αποστάσεις και κατά τον άξονα Y οι υψομετρικές αποστάσεις των σημείων της διατομής.

Η εισαγωγή των δεδομένων X και Y στο πρόγραμμα γίνεται με ειδικά διαμορφωμένους πίνακες. (Εικόνα 4.6)



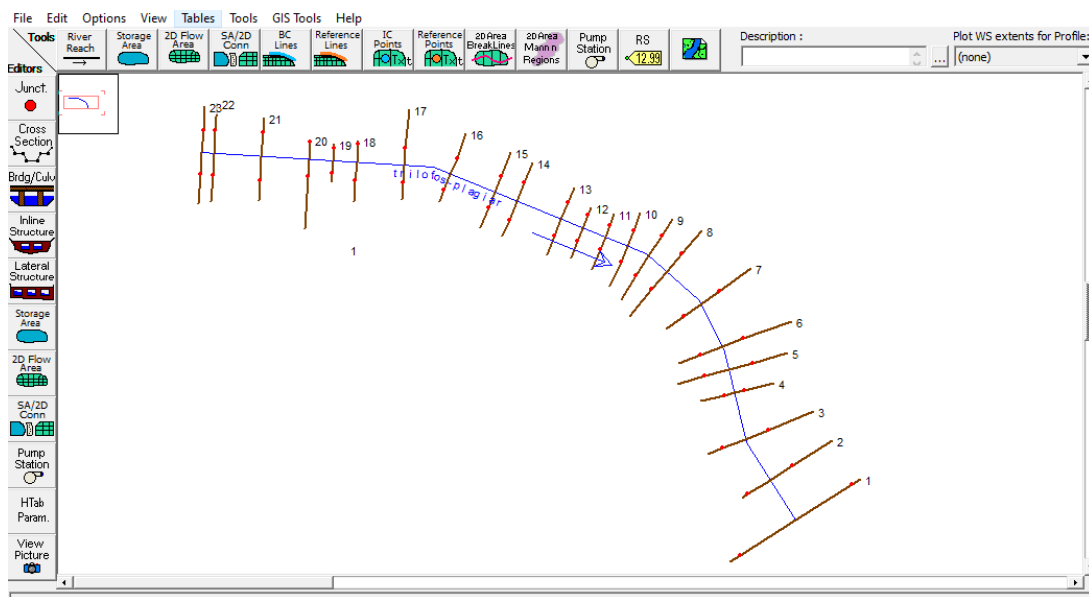
Εικόνα 4.6 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων

Αρχικά καθορίζονται το όνομα του ποταμού (River), το όνομα του υδατορεύματος (Reach) και ο αριθμός της διατομής (River Station). Τα σημεία που απαρτίζουν τη διατομή γράφονται ως εξής : στη πρώτη στήλη (Station) συμπληρώνονται τα σημεία/αποστάσεις από το πρώτο σημείο της διατομής 0,00m και στην δεύτερη στήλη (Elevation) συμπληρώνονται τα πραγματικά υψόμετρα των σημείων της διατομής.



Εικόνα 4.7 Σκαρίφημα διαστασιολόγησης μίας διατομής

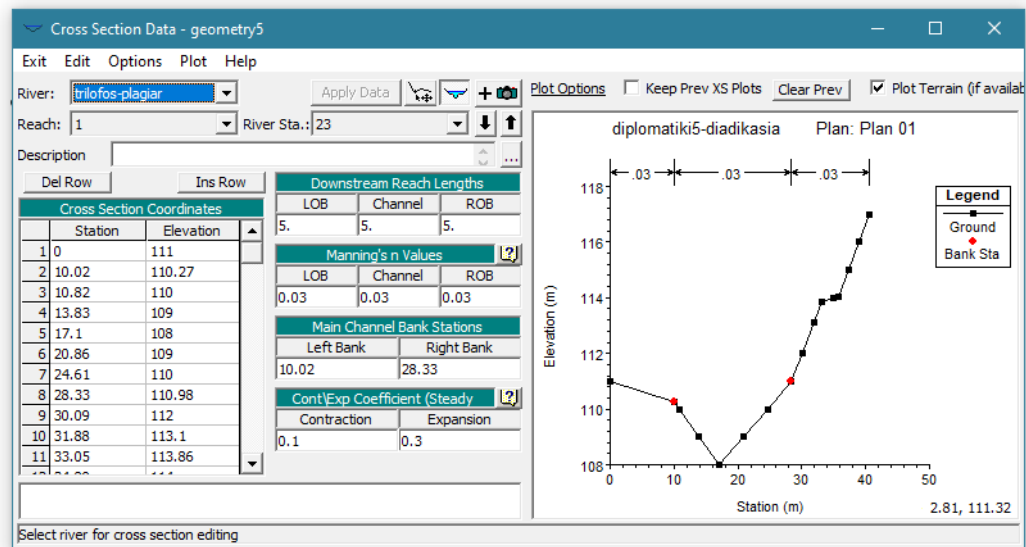
Στην εικόνα 4.7 στη διατομή που εμφανίζεται το σημείο στον κόκκινο κύκλο (κοίτη) θα έχει συντεταγμένες $X=28,27m$ και $Y=91,10m$. Με αυτόν τον τρόπο συμπληρώνονται οι δύο στήλες για κάθε χαρακτηριστικό σημείο της κάθε διατομής.



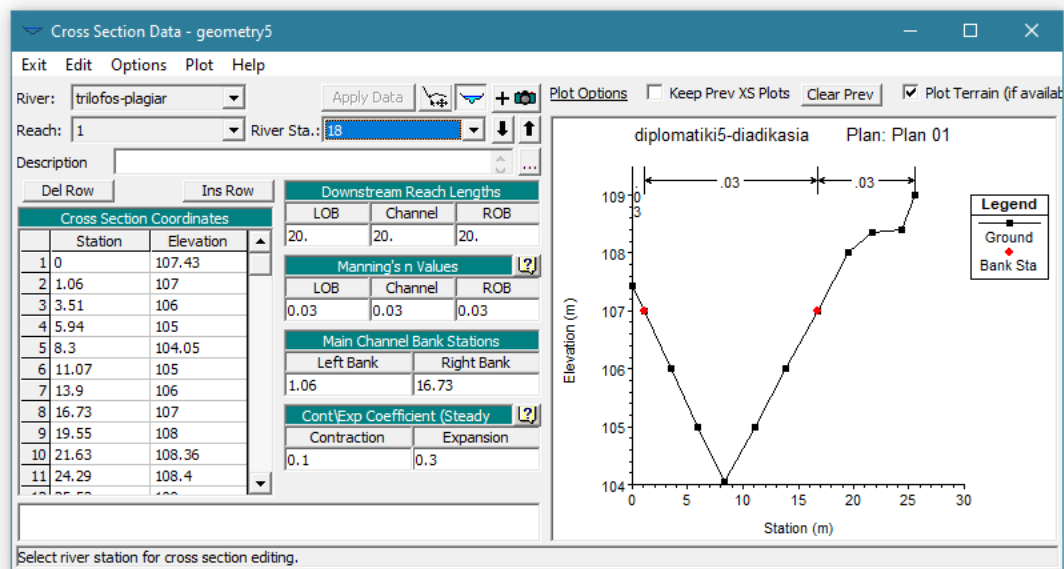
Εικόνα 4.8 Γεωμετρία κοίτης- HEC-RAS

Όπως φαίνεται στην παραπάνω Εικόνα 4.8, οι διατομές έχουν αριθμηθεί αντίθετα με τη ροή του υδατορεύματος, δηλαδή η είσοδος είναι στην διατομή 23 και η έξοδος στην διατομή 1.

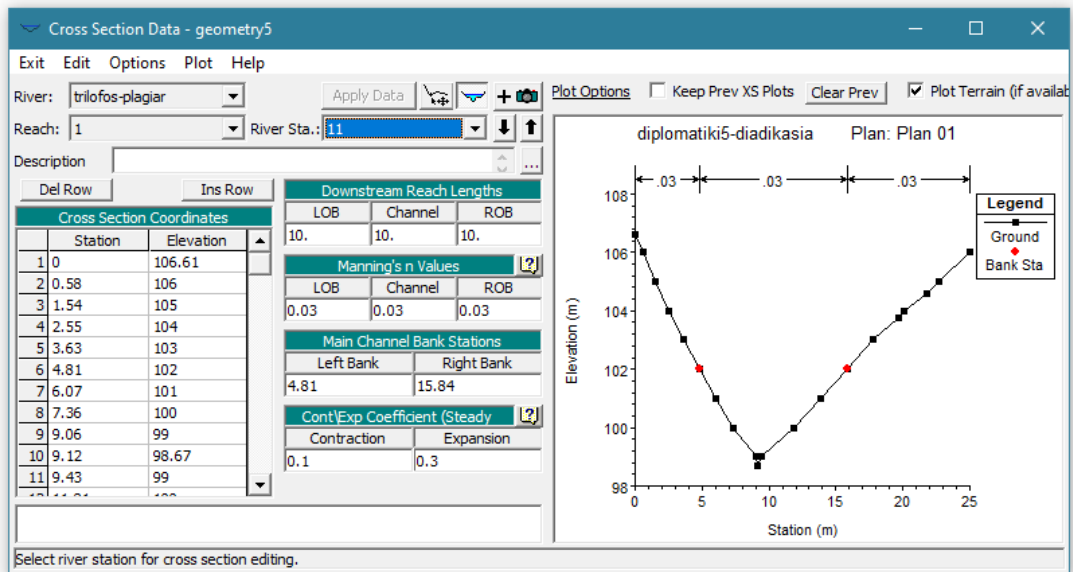
Δειγματοληπτικά ακολουθούν κάποιες από τις διατομές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη συνοδευόμενες με τα στοιχεία που χρειάζονται για το «τρέξιμο» του μοντέλου.



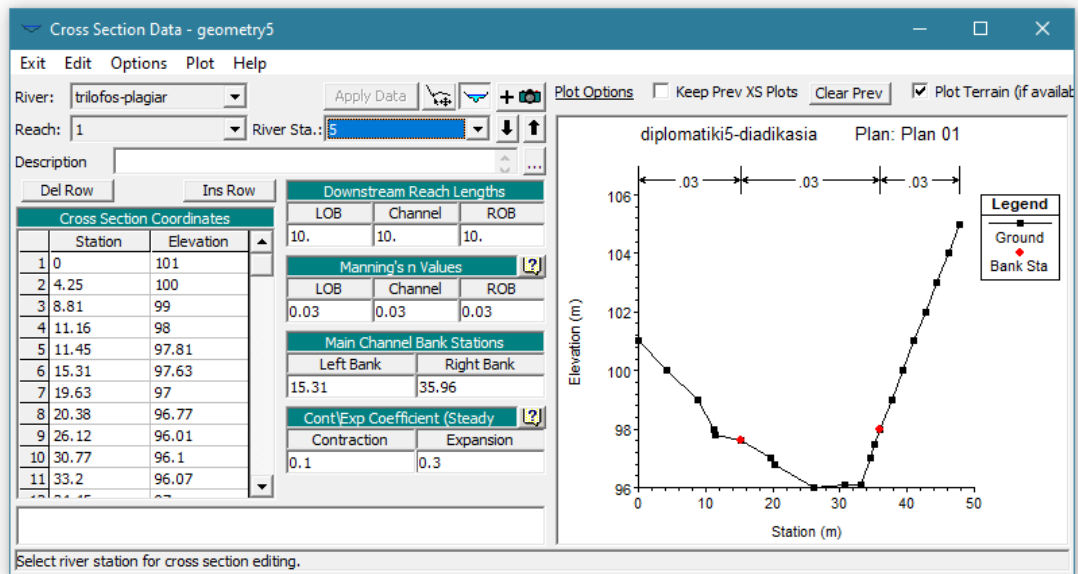
Εικόνα 4.9 Διατομή 23 (είσοδος)



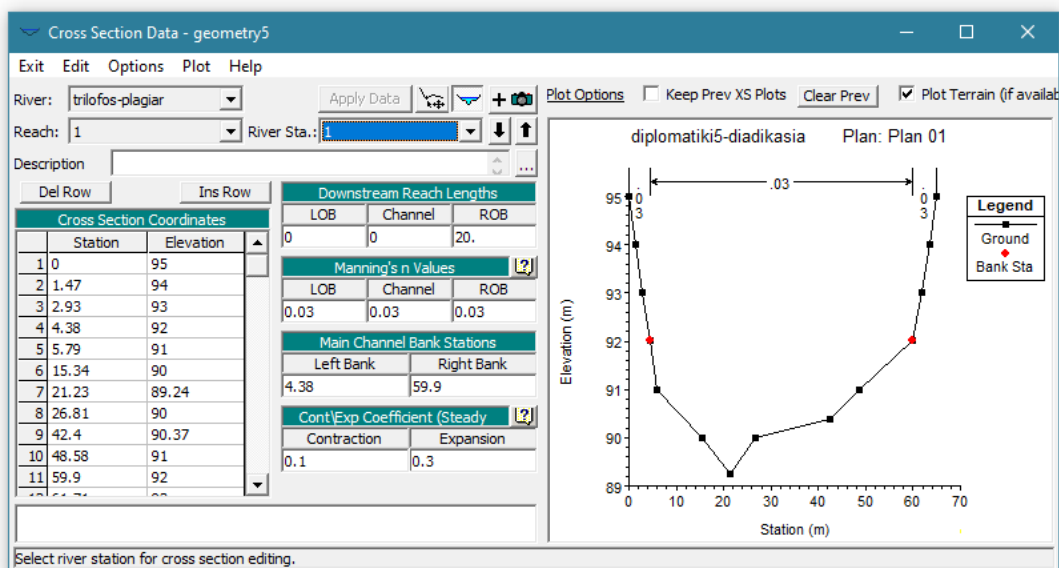
Εικόνα 4.10 Διατομή 18



Εικόνα 4.11 Διατομή 11



Εικόνα 4.12 Διατομή 5



Εικόνα 4.13 Διατομή 1 (έξοδος)

Είναι εμφανές ότι η γεωμετρία της κοίτης καθ' όλο το μήκος του εξεταζόμενου υδατορεύματος είναι μεταβαλλόμενη, και για αυτό το λόγο χαράχτηκαν τόσες διατομές.

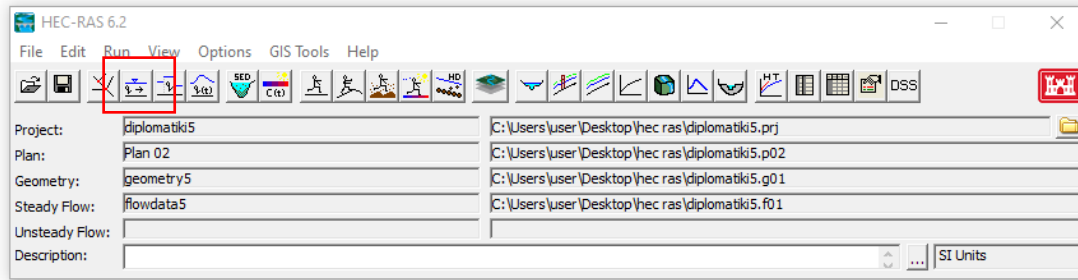
Επίσης δίπλα από τις στήλες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, χρειάζεται να καταχωρηθούν κάποιες ακόμα πληροφορίες για κάθε διατομή. Αναλυτικότερα, στα κελιά του πίνακα Downstream Reach Lengths καταχωρήθηκαν η απόσταση της συγκεκριμένης διατομής από την κατάντη διατομή, π.χ. η διατομή 23 απέχει 5m από την επόμενη (διατομή 22), η διατομή 11 απέχει 10m από την διατομή 10. Στα κελιά του Main Channel Bank Stations συμπληρώνονται οι συντεταγμένες στον άξονα X της κύριας κοίτης. Στον πίνακα Cont/Exp Coefficient (Steady Flow), που είναι η συστολή/διαστολή ροής επιλέχθηκε σύμφωνα με το Hydraulic Reference Manual του HEC-RAS σταθερή τιμή για όλες τις διατομές 0,1 και 0,3 αντίστοιχα. (Πίνακας 7.1)

	Συστολή	Διαστολή
Χωρίς απώλειες συναρμογής	0.0	0.0
Σταδιακή Συναρμογή	0.1	0.3
Τυπικές Διατομές Γεφυρών	0.3	0.5
Ασυνέχειες Συναρμογής	0.6	0.8

Πίνακας 4.1 Πίνακας συντελεστή συστολής/διαστολής

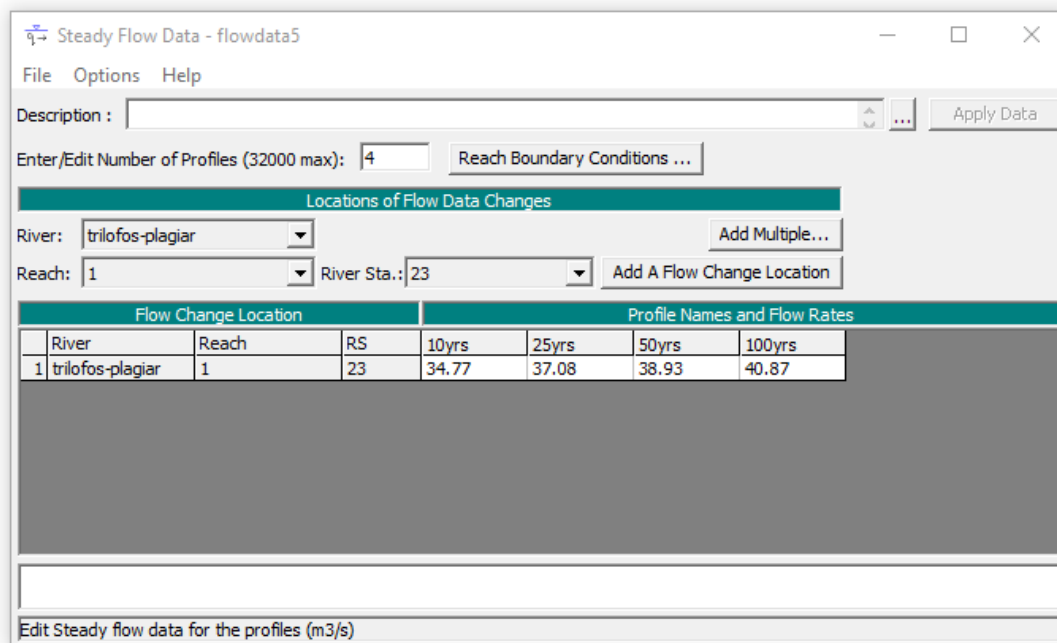
Τέλος, στα κελιά του Manning's n Values, επιλέχθηκε για όλο το μήκος της εξεταζόμενης κοίτης και των πρανών της 0,03, διότι τα πρανή και η κοίτη έχουν την ίδια ήπια και αραιή φυτοκάλυψη.

4.3.2 Εισαγωγή δεδομένων μόνιμης ροής



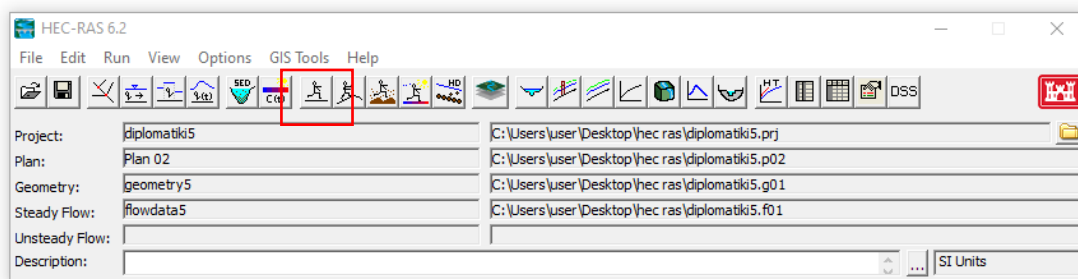
Εικόνα 4.14 Κεντρικό παράθυρο του προγράμματος HEC-RAS

Από το κεντρικό παράθυρο του HEC-RAS (Εικόνα 4.14), επιλέγοντας το εικονίδιο View/Edit steady flow data ανοίγει το παρακάτω παράθυρο (Εικόνα 4.15):



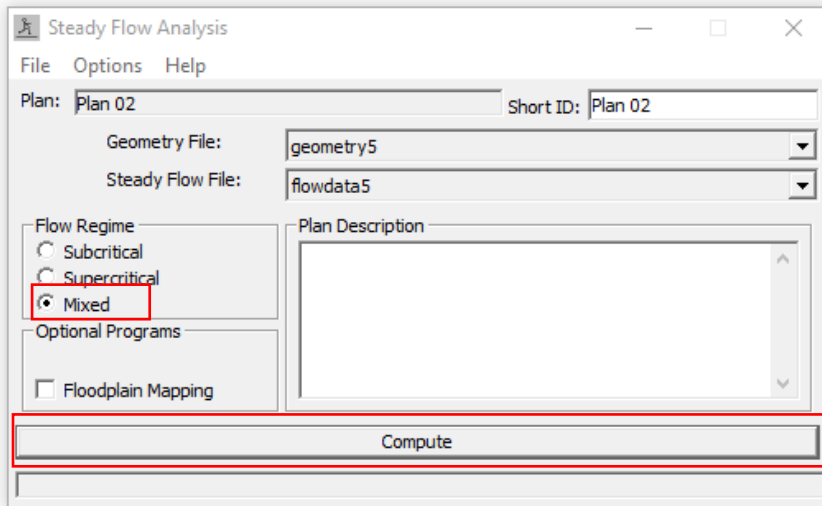
Εικόνα 4.15 Steady flow data-δεδομένα μόνιμης ροής-HEC-RAS

Στη συνέχεια καταχωρούνται τα προφίλ και τις παροχές που υπολογίστηκαν στη Παράγραφο 4.2 και Apply Data.



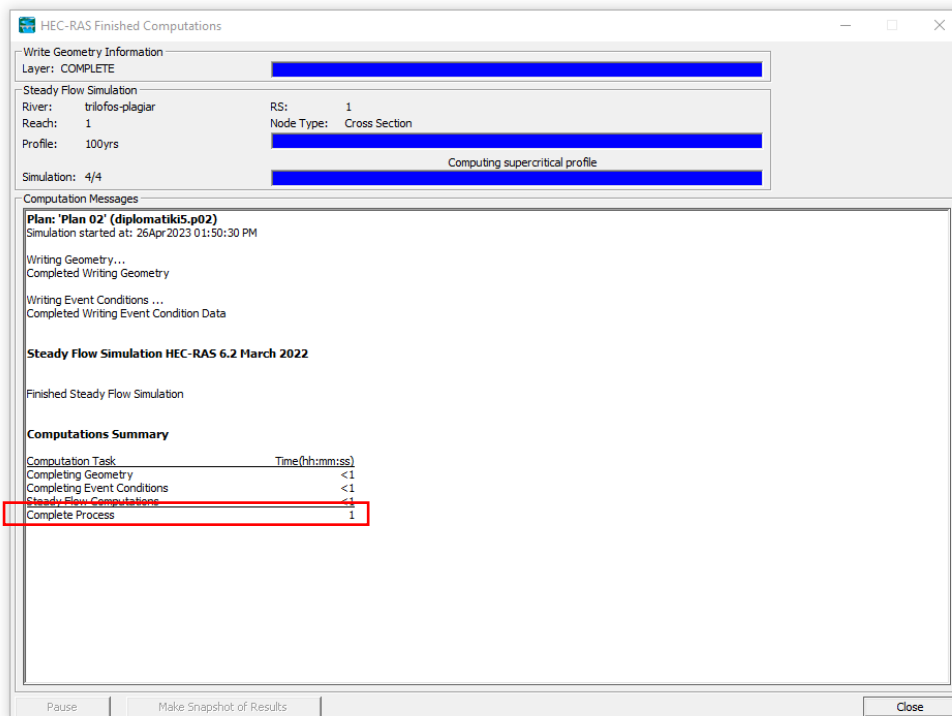
Εικόνα 4.16 Κεντρικό παράθυρο του προγράμματος HEC-RAS

Τώρα μπορεί πλέον να «τρέξει» το μοντέλο επιλέγοντας το εικονίδιο Perform a steady flow simulation. Υπάρχει η επιλογή της υπερκρίσιμης, υποκρίσιμης ή μεικτής ροής. Επειδή δεν είναι γνωστό το είδος της ροής επιλέγεται η επίλυση με μεικτή ροή και στη συνέχεια Compute. (Εικόνα 4.17).



Εικόνα 4.17 Steady flow analysis- ανάλυση δεδομένων μόνιμης ροής-HEC-RAS

Όταν η διαδικασία τελειώσει και στο τέλος του παραθύρου γράψει Complete Process η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί. (Εικόνα 4.18).



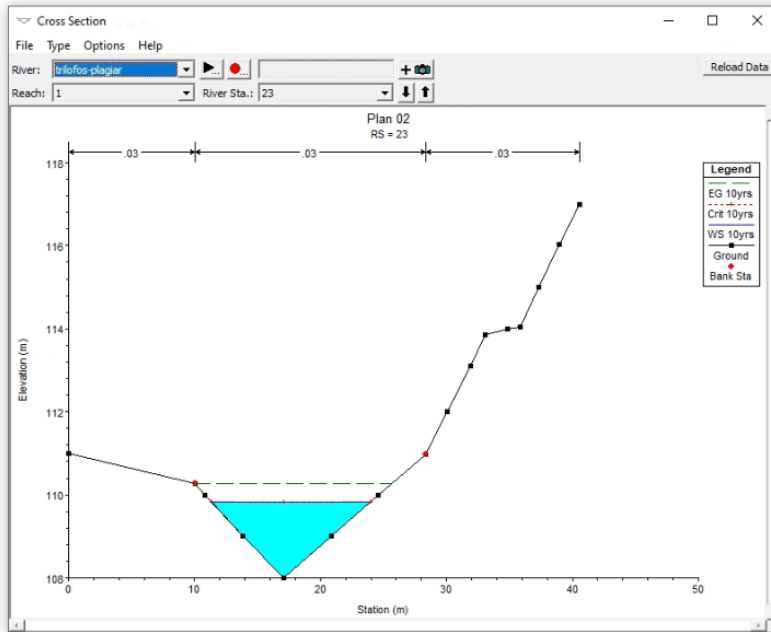
Εικόνα 4.18 Ολοκλήρωση ανάλυσης-HEC-RA

4.3.3 Εξαγωγή δεδομένων μόνιμης ροής

Ακολουθούν οι διατομές 23,18,11,5 και 1 και πίνακες τους με τα εξερχόμενα δεδομένα της ανάλυσης για τις περιόδους επαναφοράς 10,25,50 και 100 χρόνων.

Διατομή 23 (Είσοδος)

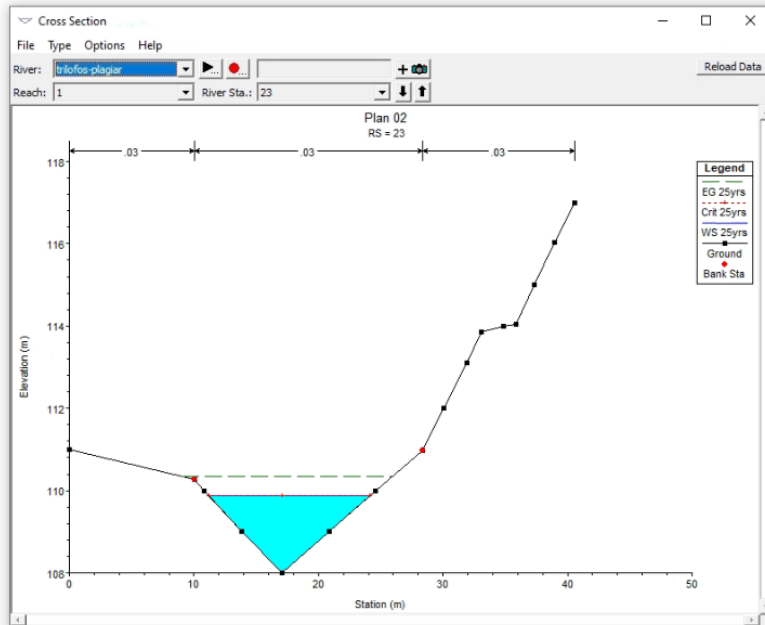
Περίοδος επαναφοράς 10 χρόνων



Cross Section Output					
File Type Options Help					
River: trilofo-plagiari		Profile: 10yrs		Reload Data	
Reach: 1		River Sta.: 23		Plan: Plan 02	
Plan: Plan 02 trilofo-plagiari 1 RS: 23 Profile: 10yrs					
E.G. Elev (m)	110.28	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.46	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	109.82	Reach Len. (m)	5.00	5.00	5.00
Crit W.S. (m)	109.82	Flow Area (m ²)		11.54	
E.G. Slope (m/m)	0.009658	Area (m ²)		11.54	
Q Total (m ³ /s)	34.77	Flow (m ³ /s)		34.77	
Top Width (m)	12.57	Top Width (m)		12.57	
Vel Total (m/s)	3.01	Avg. Vel. (m/s)		3.01	
Max Ch Dpth (m)	1.82	Hydr. Depth (m)		0.92	
Conv. Total (m ³ /s)	353.8	Conv. (m ³ /s)		353.8	
Length Wtd. (m)	5.00	Wetted Per. (m)		13.09	
Min Ch El (m)	108.00	Shear (N/m ²)		83.52	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		251.60	
Frctn Loss (m)	0.06	Cum Volume (1000 m ³)		2.41	
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m ²)		3.14	
Errors, Warnings and Notes					
Warning: The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program used critical depth for the water surface and continued on with the calculations.					
Warning: During the standard step iterations, when the assumed water surface was set equal to critical depth, the calculated water surface came back below critical depth. This indicates that there is not a valid subcritical answer. The program defaulted to critical depth.					
Flow in main channel.					

Διατομή 23 (Είσοδος)

Περίοδος επαναφοράς 25 χρόνων



Cross Section Output

File Type Options Help

River: trilofos-plagiari Profile: 25yrs

Reach: 1 RS: 23 Plan: Plan 02

Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 23 Profile: 25yrs

Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	110.34		
Vel Head (m)	0.47		
W.S. Elev (m)	109.87	5.00	5.00
Crit W.S. (m)	109.87		
E.G. Slope (m/m)	0.009576		
Q Total (m3/s)	37.08		
Top Width (m)	12.89		
Vel Total (m/s)	3.05		
Max Ch Dpth (m)	1.87		
Conv. Total (m3/s)	378.9		
Length Wtd. (m)	5.00		
Min Ch El (m)	108.00		
Alpha	1.00		
Frctn Loss (m)	0.06		
C & E Loss (m)	0.03		
Element			
Wt. n-Val.		0.030	
Reach Len. (m)	5.00	5.00	5.00
Flow Area (m2)			12.15
Area (m2)			12.15
Flow (m3/s)			37.08
Top Width (m)			12.89
Avg. Vel. (m/s)			3.05
Hydr. Depth (m)			0.94
Conv. (m3/s)			378.9
Wetted Per. (m)			13.43
Shear (N/m2)			84.98
Stream Power (N/m s)			259.36
Cum Volume (1000 m3)			2.52
Cum SA (1000 m2)			3.20

Errors, Warnings and Notes

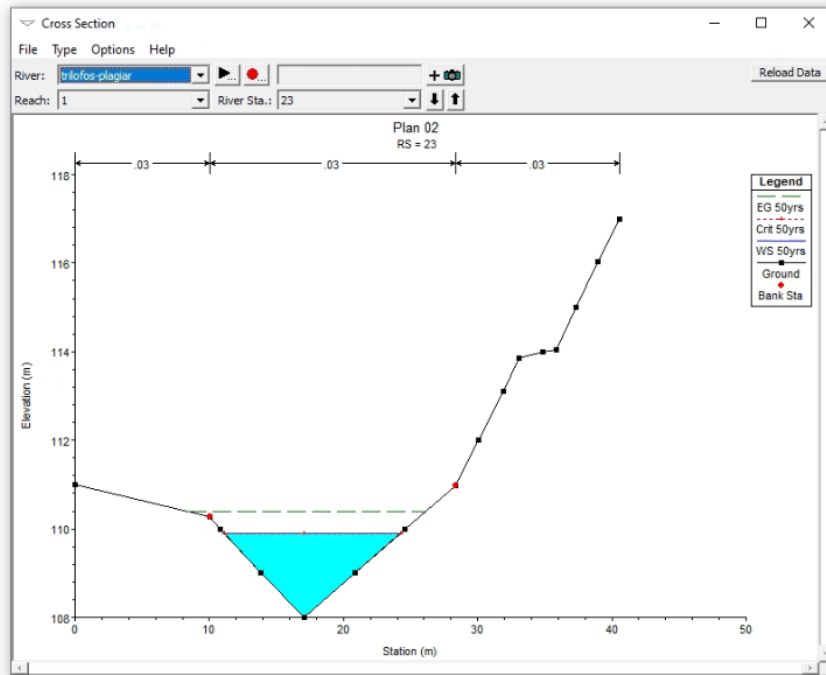
Warning: The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program used critical depth for the water surface and continued on with the calculations.

Warning: During the standard step iterations, when the assumed water surface was set equal to critical depth, the calculated water surface came back below critical depth. This indicates that there is not a valid subcritical answer. The program defaulted to critical depth.

Velocity head.

Διατομή 23 (Είσοδος)

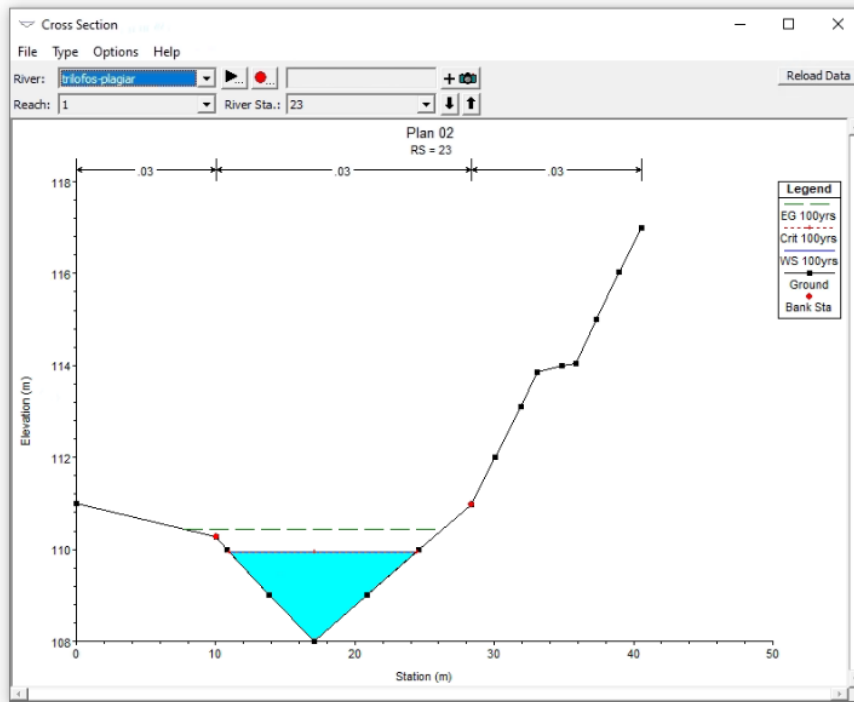
Περίοδος επαναφοράς 50 χρόνων



Cross Section Output					
File Type Options Help					
River: trilofos-plagiari		Profile: 50yrs		Reload Data	
Reach: 1		River Sta.: 23			
Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 23 Profile: 50yrs					
E.G. Elev (m)	110.39	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.48	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	109.90	Reach Len. (m)	5.00	5.00	5.00
Crit W.S. (m)	109.90	Flow Area (m2)		12.63	
E.G. Slope (m/m)	0.009516	Area (m2)		12.63	
Q Total (m3/s)	38.93	Flow (m3/s)		38.93	
Top Width (m)	13.14	Top Width (m)		13.14	
Vel Total (m/s)	3.08	Avg. Vel. (m/s)		3.08	
Max Chl Dpth (m)	1.90	Hydr. Depth (m)		0.96	
Conv. Total (m3/s)	399.1	Conv. (m3/s)		399.1	
Length Wtd. (m)	5.00	Wetted Per. (m)		13.69	
Min Ch El (m)	108.00	Shear (N/m2)		86.12	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		265.43	
Frctn Loss (m)	0.06	Cum Volume (1000 m3)		2.62	
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m2)		3.25	
Errors, Warnings and Notes					
Warning: The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program used critical depth for the water surface and continued on with the calculations.					
Warning: During the standard step iterations, when the assumed water surface was set equal to critical depth, the calculated water surface came back below critical depth. This indicates that there is not a valid subcritical answer. The program defaulted to critical depth.					
Velocity head.					

Διατομή 23 (Είσοδος)

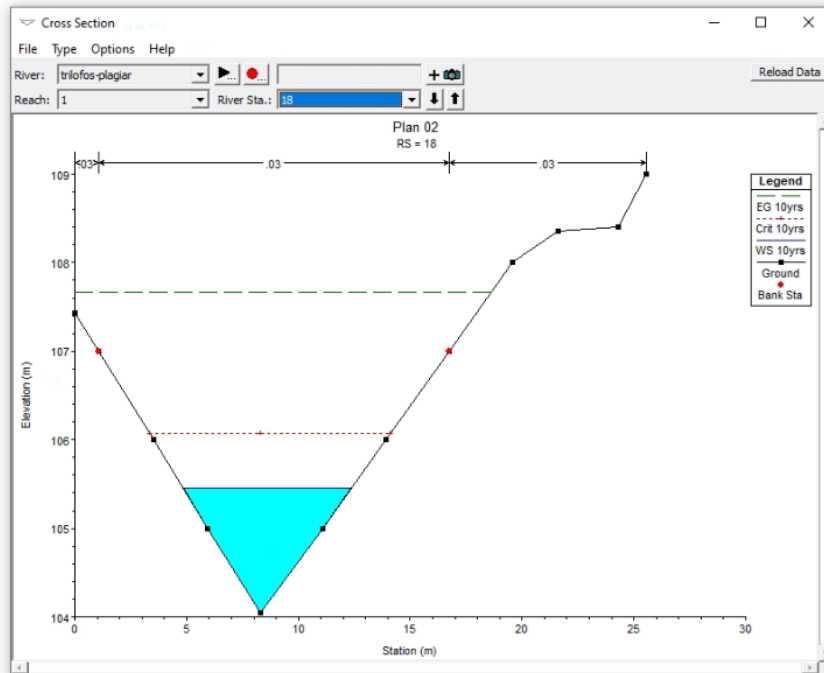
Περίοδος επαναφοράς 100 χρόνων



Cross Section Output				
File Type Options Help				
River:	trilofos-plagiari	Profile:	100yrs	
Reach:	1	RS:	23	Plan: Plan 02
Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 23 Profile: 100yrs				
E.G. Elev (m)	110.44	Element	Left OB	Channel Right OB
Vel Head (m)	0.49	Wt. n-Val.		0.030
W.S. Elev (m)	109.94	Reach Len. (m)	5.00	5.00 5.00
Crit W.S. (m)	109.94	Flow Area (m2)		13.13
E.G. Slope (m/m)	0.009455	Area (m2)		13.13
Q Total (m3/s)	40.87	Flow (m3/s)		40.87
Top Width (m)	13.40	Top Width (m)		13.40
Vel Total (m/s)	3.11	Avg. Vel. (m/s)		3.11
Max Chl Dpth (m)	1.94	Hydr. Depth (m)		0.98
Conv. Total (m3/s)	420.3	Conv. (m3/s)		420.3
Length Wtd. (m)	5.00	Wetted Per. (m)		13.95
Min Ch El (m)	108.00	Shear (N/m2)		87.26
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		271.61
Frctn Loss (m)	0.06	Cum Volume (1000 m3)		2.71
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m2)		3.30
Errors, Warnings and Notes				
Warning: The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program used critical depth for the water surface and continued on with the calculations.				
Warning: During the standard step iterations, when the assumed water surface was set equal to critical depth, the calculated water surface came back below critical depth. This indicates that there is not a valid subcritical answer. The program defaulted to critical depth.				
Velocity head.				

Διατομή 18

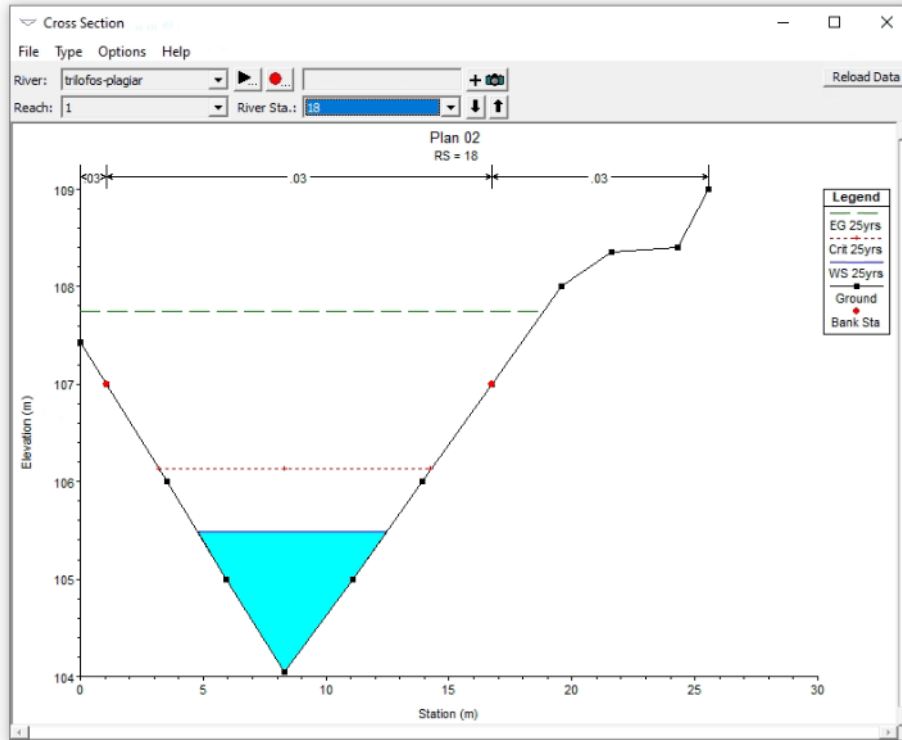
Περίοδος επαναφοράς 10 χρόνων



Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	trilos-plagiari	Profile:	10yrs		
Reach:	1	RS:	18	Plan: Plan 02	
Plan: Plan 02 trilos-plagiari 1 RS: 18 Profile: 10yrs					
E.G. Elev (m)	107.66	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	2.21	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	105.45	Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00
Crit W.S. (m)	106.07	Flow Area (m2)		5.28	
E.G. Slope (m/m)	0.068133	Area (m2)		5.28	
Q Total (m3/s)	34.77	Flow (m3/s)		34.77	
Top Width (m)	7.50	Top Width (m)		7.50	
Vel Total (m/s)	6.59	Avg. Vel. (m/s)		6.59	
Max Chl Dpth (m)	1.40	Hydr. Depth (m)		0.70	
Conv. Total (m3/s)	133.2	Conv. (m3/s)		133.2	
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)		8.00	
Min Ch El (m)	104.05	Shear (N/m2)		440.43	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		2902.46	
Frctn Loss (m)	1.12	Cum Volume (1000 m3)		1.94	
C & E Loss (m)	0.12	Cum SA (1000 m2)		2.49	
Errors, Warnings and Notes					
Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.					
Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.					
Velocity head.					

Διατομή 18

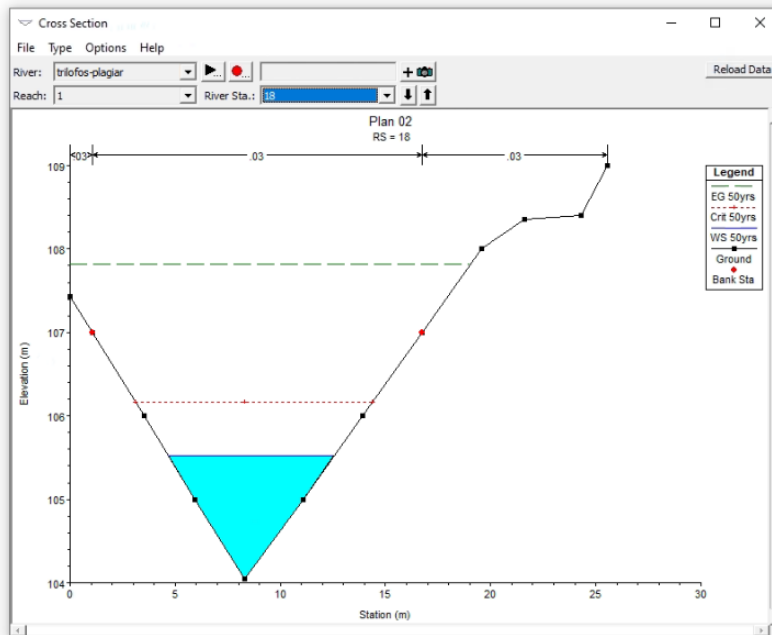
Περίοδος επαναφοράς 25 χρόνων



Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	trilofos-plagiari	Profile:	25yrs		
Reach:	1	RS:	18	Plan: Plan 02	
Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 18 Profile: 25yrs					
E.G. Elev (m)	107.75	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	2.26	Wt. n-Val.			0.030
W.S. Elev (m)	105.49	Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00
Crit W.S. (m)	106.13	Flow Area (m ²)		5.57	
E.G. Slope (m/m)	0.067046	Area (m ²)		5.57	
Q Total (m ³ /s)	37.08	Flow (m ³ /s)		37.08	
Top Width (m)	7.70	Top Width (m)		7.70	
Vel Total (m/s)	6.66	Avg. Vel. (m/s)		6.66	
Max Chl Dpth (m)	1.44	Hydr. Depth (m)		0.72	
Conv. Total (m ³ /s)	143.2	Conv. (m ³ /s)		143.2	
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)		8.22	
Min Ch El (m)	104.05	Shear (N/m ²)		445.41	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		2965.31	
Frctn Loss (m)	1.11	Cum Volume (1000 m ³)		2.03	
C & E Loss (m)	0.12	Cum SA (1000 m ²)		2.53	
Errors, Warnings and Notes					
Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.					
Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m). between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.					
Calculated water surface from energy equation.					

Διατομή 18

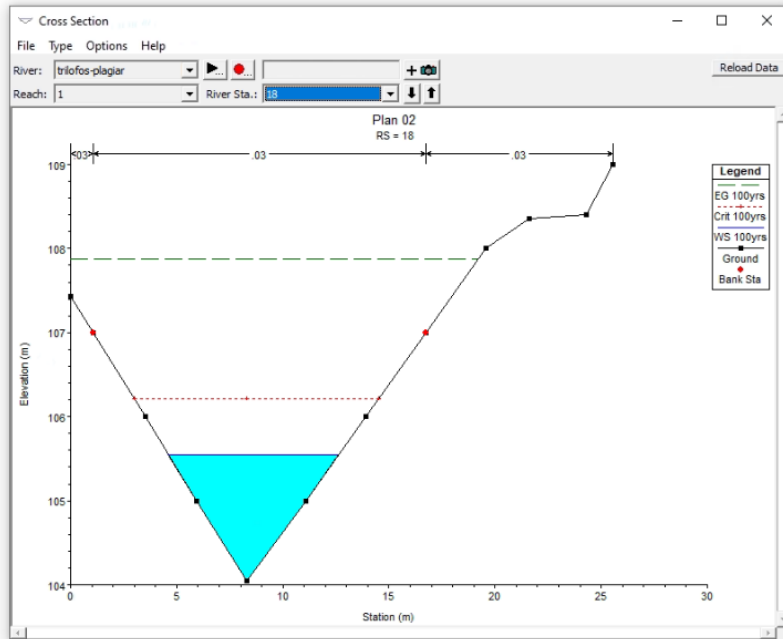
Περίοδος επαναφοράς 50 χρόνων



Cross Section Output			
File Type Options Help			
River:	trilofos-plagiari	Profile:	50yrs
Reach:	1	RS:	18
Plan: Plan 02		trilofos-plagiari 1 RS: 18 Profile: 50yrs	
E.G. Elev (m)	107.81	Element	Left OB
Vel Head (m)	2.29	Wt. n-Val.	Channel
W.S. Elev (m)	105.52	Reach Len. (m)	Right OB
Crit W.S. (m)	106.17	Flow Area (m ²)	20.00
E.G. Slope (m/m)	0.066223	Area (m ²)	20.00
Q Total (m ³ /s)	38.93	Flow (m ³ /s)	5.80
Top Width (m)	7.86	Top Width (m)	38.93
Vel Total (m/s)	6.71	Avg. Vel. (m/s)	7.86
Max Chl Dpth (m)	1.47	Hydr. Depth (m)	6.71
Conv. Total (m ³ /s)	151.3	Conv. (m ³ /s)	0.74
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)	151.3
Min Ch El (m)	104.05	Shear (N/m ²)	8.39
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	449.15
Frctn Loss (m)	1.11	Cum Volume (1000 m ³)	3013.16
C & E Loss (m)	0.12	Cum SA (1000 m ²)	2.10
			2.57
Errors, Warnings and Notes			
Warning:	The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.		
Warning:	The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.		
Calculated water surface from energy equation.			

Διατομή 18

Περίοδος επαναφοράς 100 χρόνων



Cross Section Output

File Type Options Help

River: **trilofos-plagiari** Profile: **100yrs**

Reach: **1** RS: **18** Plan: **Plan 02**

Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 18 Profile: 100yrs

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	107.88				
Vel Head (m)	2.33	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	105.55	Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00
Crit W.S. (m)	106.21	Flow Area (m ²)		6.05	
E.G. Slope (m/m)	0.065367	Area (m ²)		6.05	
Q Total (m ³ /s)	40.87	Flow (m ³ /s)		40.87	
Top Width (m)	8.02	Top Width (m)		8.02	
Vel Total (m/s)	6.76	Avg. Vel. (m/s)		6.76	
Max Chl Dpth (m)	1.50	Hydr. Depth (m)		0.75	
Conv. Total (m ³ /s)	159.9	Conv. (m ³ /s)		159.9	
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)		8.56	
Min Ch El (m)	104.05	Shear (N/m ²)		452.67	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		3059.20	
Frcn Loss (m)	1.10	Cum Volume (1000 m ³)		2.17	
C & E Loss (m)	0.12	Cum SA (1000 m ²)		2.60	

Errors, Warnings and Notes

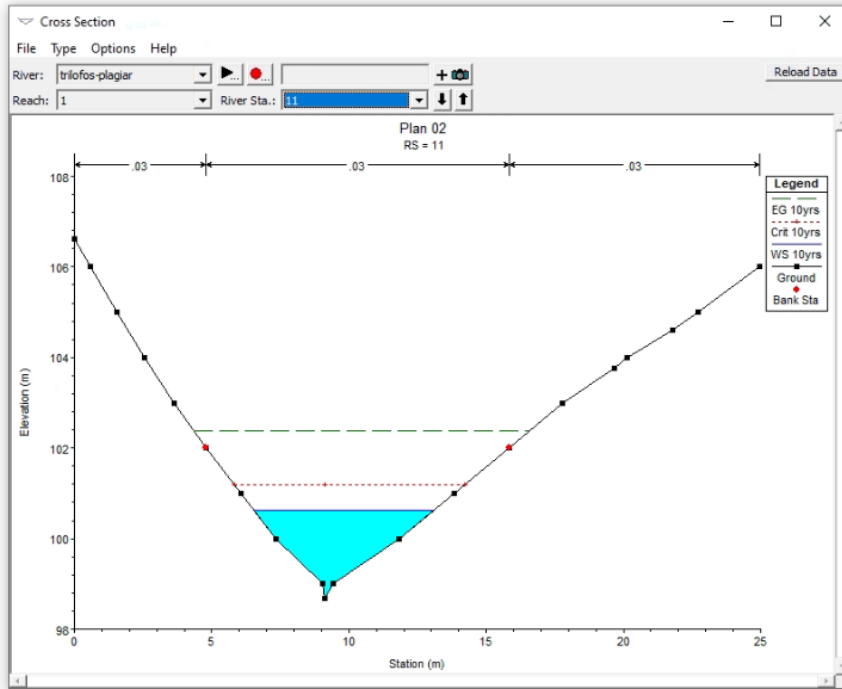
Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.

Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.

Velocity head.

Διατομή 11

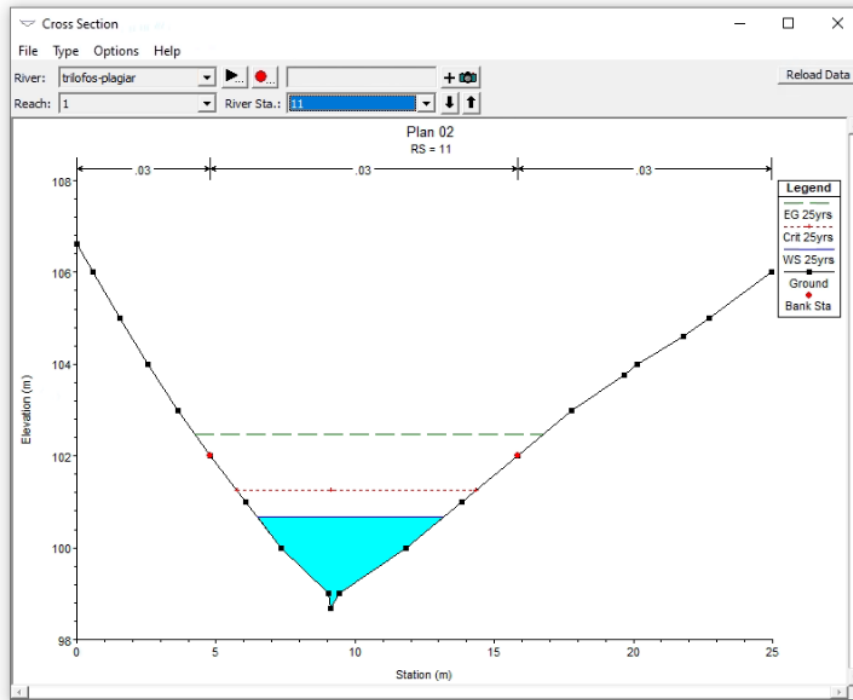
Περίοδος επαναφοράς 10 χρόνων



Cross Section Output						
File Type Options Help						
River:	trilofos-plagiari	Profile:	10yrs			
Reach:	1	RS:	11	Plan:	Plan 02	
Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 11 Profile: 10yrs						
E.G. Elev (m)	102.38	Element		Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.75	Wt. n-Val.			0.030	
W.S. Elev (m)	100.63	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	101.19	Flow Area (m2)			5.93	
E.G. Slope (m/m)	0.044512	Area (m2)			5.93	
Q Total (m3/s)	34.77	Flow (m3/s)			34.77	
Top Width (m)	6.53	Top Width (m)			6.53	
Vel Total (m/s)	5.86	Avg. Vel. (m/s)			5.86	
Max Chl Dpth (m)	1.96	Hydr. Depth (m)			0.91	
Conv. Total (m3/s)	164.8	Conv. (m3/s)			164.8	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)			7.79	
Min Ch El (m)	98.67	Shear (N/m2)			332.30	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)			1948.43	
Frctn Loss (m)	0.46	Cum Volume (1000 m3)			1.29	
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)			1.76	
Errors, Warnings and Notes						
Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.						
Calculated water surface from energy equation.						

Διατομή 11

Περίοδος επαναφοράς 25 χρόνων



Cross Section Output

File Type Options Help

River: **trilofos-plagiari** Profile: **25yrs**

Reach **1** RS: **11** Plan: **Plan 02**

Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 11 Profile: 25yrs

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	102.48	Wt. n-Val.		0.030	
Vel Head (m)	1.81	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
W.S. Elev (m)	100.67	Flow Area (m ²)		6.23	
Crit W.S. (m)	101.25	Area (m ²)		6.23	
E.G. Slope (m/m)	0.044310	Flow (m ³ /s)		37.08	
Q Total (m ³ /s)	37.08	Top Width (m)		6.68	
Top Width (m)	6.68	Avg. Vel. (m/s)		5.96	
Vel Total (m/s)	5.96	Hydr. Depth (m)		0.93	
Max Chl Dpth (m)	2.00	Conv. (m ³ /s)		176.2	
Conv. Total (m ³ /s)	176.2	Wetted Per. (m)		7.96	
Length Wtd. (m)	10.00	Shear (N/m ²)		339.74	
Min Ch El (m)	98.67	Stream Power (N/m s)		2023.15	
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m ³)		1.35	
Frctn Loss (m)	0.46	Cum SA (1000 m ²)		1.79	
C & E Loss (m)	0.02				

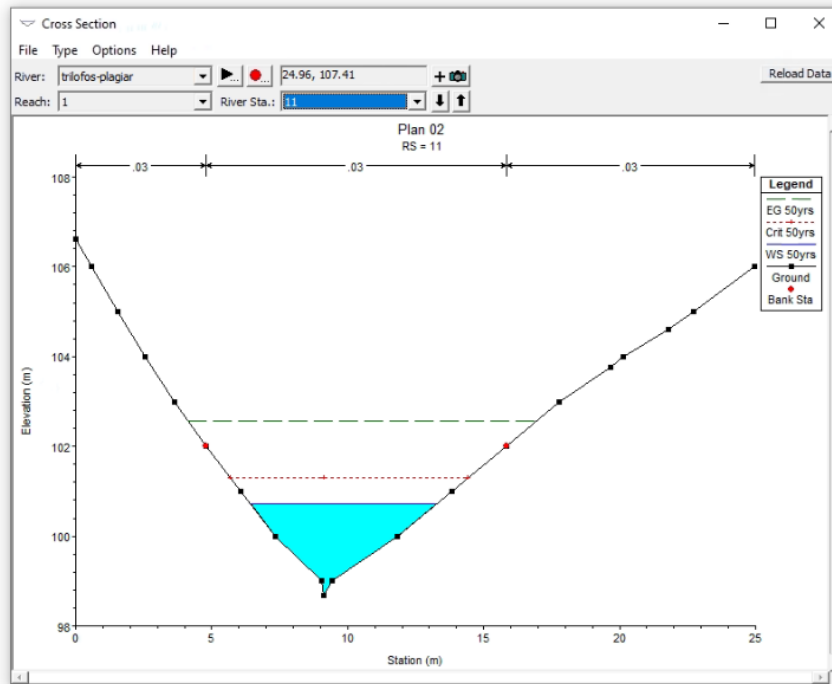
Errors, Warnings and Notes

Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m). between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.

Velocity head.

Διατομή 11

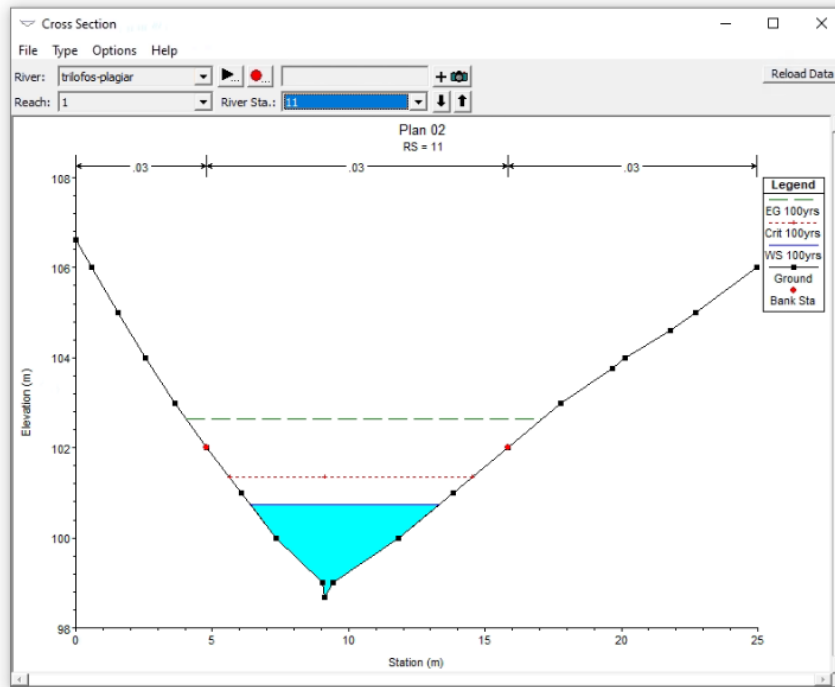
Περίοδος επαναφοράς 50 χρόνων



Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	trilofos-plagiari	Profile:	50yrs		
Reach:	1	RS:	11	Plan: Plan 02	
Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 11 Profile: 50yrs					
E.G. Elev (m)	102.56	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.85	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	100.71	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	101.30	Flow Area (m ²)		6.46	
E.G. Slope (m/m)	0.044217	Area (m ²)		6.46	
Q Total (m ³ /s)	38.93	Flow (m ³ /s)		38.93	
Top Width (m)	6.80	Top Width (m)		6.80	
Vel Total (m/s)	6.03	Avg. Vel. (m/s)		6.03	
Max Ch Dpth (m)	2.04	Hydr. Depth (m)		0.95	
Conv. Total (m ³ /s)	185.1	Conv. (m ³ /s)		185.1	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		8.10	
Min Ch El (m)	98.67	Shear (N/m ²)		345.83	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		2084.71	
Frctn Loss (m)	0.46	Cum Volume (1000 m ³)		1.40	
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m ²)		1.81	
Errors, Warnings and Notes					
Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.					
Calculated water surface from energy equation.					

Διατομή 11

Περίοδος επαναφοράς 100 χρόνων



Cross Section Output

River: trilofos-plagiari Profile: 100yrs
 Reach: 1 RS: 11 Plan: Plan 02

Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 11 Profile: 100yrs

E.G. Elev (m)	102.54	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.90	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	100.74	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	101.34	Flow Area (m ²)		6.70	
E.G. Slope (m/m)	0.044053	Area (m ²)		6.70	
Q Total (m ³ /s)	40.87	Flow (m ³ /s)		40.87	
Top Width (m)	6.91	Top Width (m)		6.91	
Vel Total (m/s)	6.10	Avg. Vel. (m/s)		6.10	
Max Chl Dpth (m)	2.07	Hydr. Depth (m)		0.97	
Conv. Total (m ³ /s)	194.7	Conv. (m ³ /s)		194.7	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		8.24	
Min Ch El (m)	98.67	Shear (N/m ²)		351.56	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		2143.88	
Frctn Loss (m)	0.46	Cum Volume (1000 m ³)		1.44	
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m ²)		1.83	

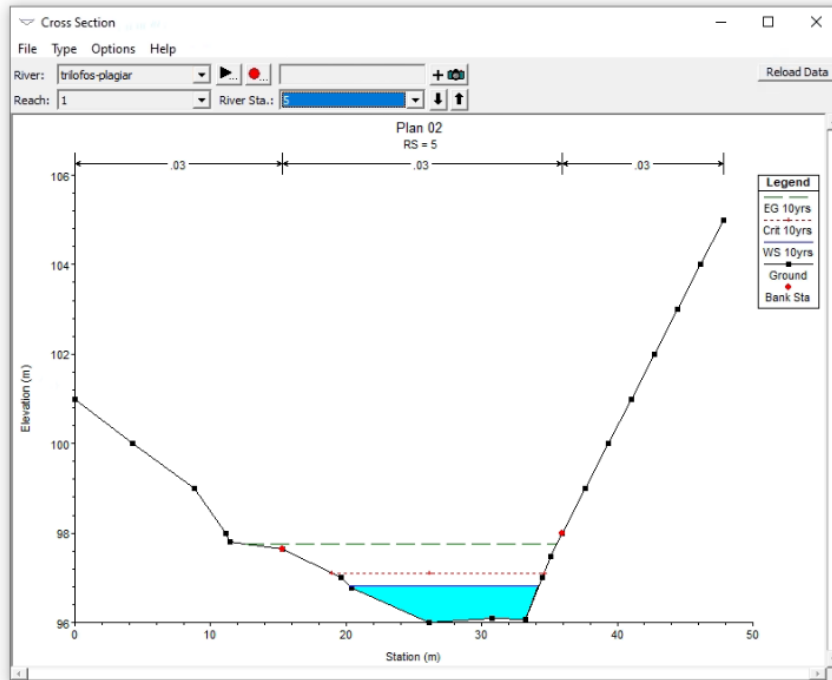
Errors, Warnings and Notes

Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m). between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.

Velocity head.

Διατομή 5

Περίοδος επαναφοράς 10 χρόνων



Cross Section Output

File Type Options Help

River: trilofos-plagiari Profile: 10yrs

Reach: 1 RS: 5 Plan: Plan 02

Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 5 Profile: 10yrs

Element	Value	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	97.76			
Vel Head (m)	0.95		0.030	
W.S. Elev (m)	96.81	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	97.11		8.07	
E.G. Slope (m/m)	0.035667		8.07	
Q Total (m3/s)	34.77		34.77	
Top Width (m)	13.95		13.95	
Vel Total (m/s)	4.31		4.31	
Max Chl Dpth (m)	0.80		0.58	
Conv. Total (m3/s)	184.1		184.1	
Length Wtd. (m)	10.00		14.25	
Min Ch El (m)	96.01		198.04	
Alpha	1.00		853.25	
Frctn Loss (m)	0.50		0.79	
C & E Loss (m)	0.19		1.01	

Errors, Warnings and Notes

Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.

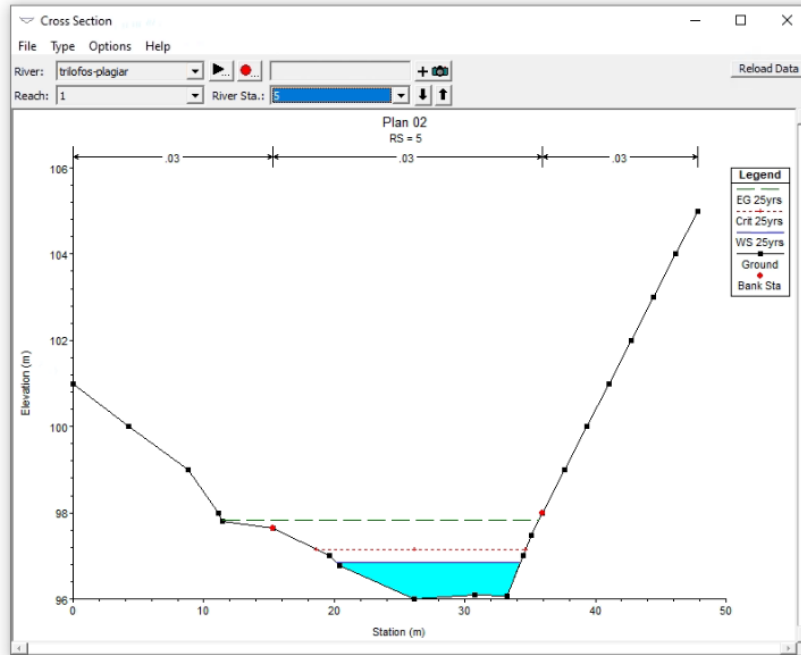
Warning: The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4. This may indicate the need for additional cross sections.

Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m). between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.

Velocity head.

Διατομή 5

Περίοδος επαναφοράς 25 χρόνων



Cross Section Output

River: trilofos-plagiari Profile: 25yrs

Reach: 1 RS: 5 Plan: Plan 02

Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 5 Profile: 25yrs

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	97.84	Wt. n-Val.		0.030	
Vel Head (m)	1.00	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
W.S. Elev (m)	96.83	Flow Area (m2)		8.36	
Crit W.S. (m)	97.15	Area (m2)		8.36	
E.G. Slope (m/m)	0.036450	Flow (m3/s)		37.08	
Q Total (m3/s)	37.08	Top Width (m)		14.04	
Top Width (m)	14.04	Avg. Vel. (m/s)		4.44	
Vel Total (m/s)	4.44	Hydr. Depth (m)		0.60	
Max Chl Dpth (m)	0.82	Conv. (m3/s)		194.2	
Conv. Total (m3/s)	194.2	Length Wtd. (m)		14.36	
Length Wtd. (m)	10.00	Min Ch El (m)		208.07	
Min Ch El (m)	96.01	Alpha		923.14	
Alpha	1.00	Frctn Loss (m)		0.83	
Frctn Loss (m)	0.50	C & E Loss (m)		1.02	
C & E Loss (m)	0.19	Cum Volume (1000 m3)			
		Cum SA (1000 m2)			

Errors, Warnings and Notes

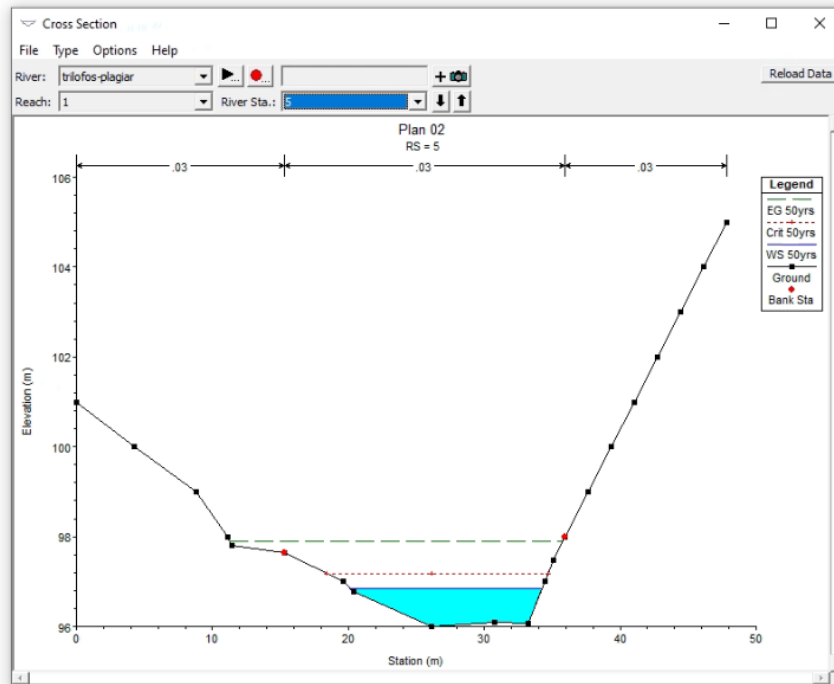
Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.

Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.

Calculated water surface from energy equation.

Διατομή 5

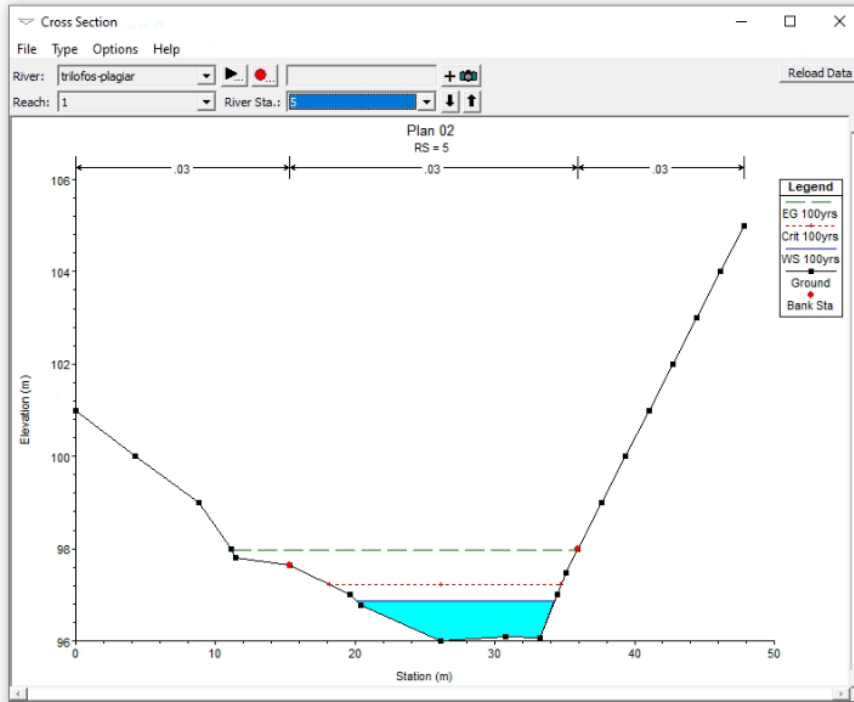
Περίοδος επαναφοράς 50 χρόνων



Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 5 Profile: 50yrs					
E.G. Elev (m)	97.90	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.05	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	96.85	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	97.18	Flow Area (m ²)		8.58	
E.G. Slope (m/m)	0.037025	Area (m ²)		8.58	
Q Total (m ³ /s)	38.93	Flow (m ³ /s)		38.93	
Top Width (m)	14.12	Top Width (m)		14.12	
Vel Total (m/s)	4.53	Avg. Vel. (m/s)		4.53	
Max Chl Dpth (m)	0.84	Hydr. Depth (m)		0.61	
Conv. Total (m ³ /s)	202.3	Conv. (m ³ /s)		202.3	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		14.44	
Min Ch El (m)	96.01	Shear (N/m ²)		215.86	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		978.88	
Frctn Loss (m)	0.49	Cum Volume (1000 m ³)		0.86	
C & E Loss (m)	0.18	Cum SA (1000 m ²)		1.03	
Errors, Warnings and Notes					
Warning:	The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.				
Warning:	The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m). between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.				
Energy gradeline for given WSEL.					

Διατομή 5

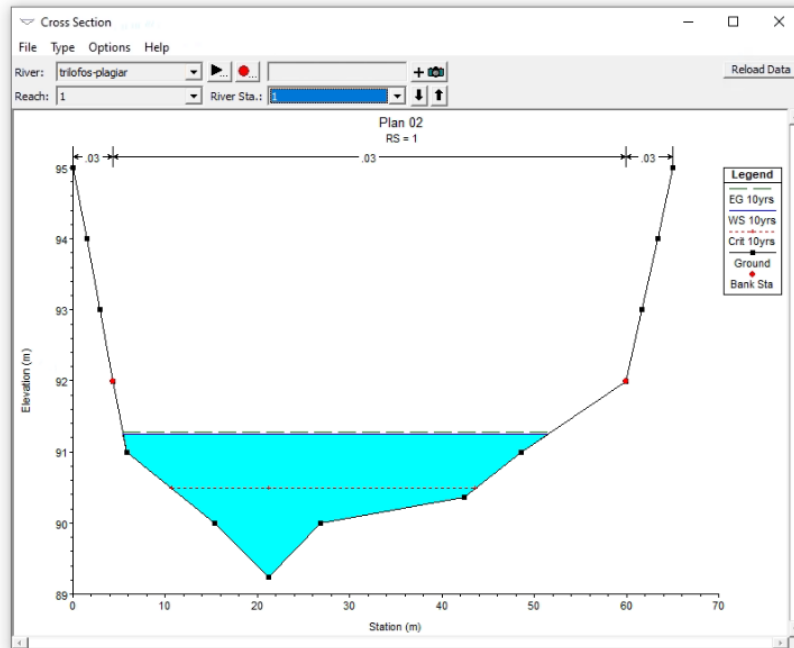
Περίοδος επαναφοράς 100 χρόνων



Cross Section Output					
File Type Options Help					
River: trilofos-plagiari		Profile: 100yrs		Reload Data	
Reach: 1		RS: 5		Plan: Plan 02	
Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 5 Profile: 100yrs					
E.G. Elev (m)	97.96	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.10	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	96.86	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	97.21	Flow Area (m2)		8.80	
E.G. Slope (m/m)	0.037785	Area (m2)		8.80	
Q Total (m3/s)	40.87	Flow (m3/s)		40.87	
Top Width (m)	14.19	Top Width (m)		14.19	
Vel Total (m/s)	4.64	Avg. Vel. (m/s)		4.64	
Max Ch Dpth (m)	0.85	Hydr. Depth (m)		0.62	
Conv. Total (m3/s)	210.3	Conv. (m3/s)		210.3	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		14.52	
Min Ch El (m)	96.01	Shear (N/m2)		224.70	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		1043.06	
Frctn Loss (m)	0.50	Cum Volume (1000 m3)		0.89	
C & E Loss (m)	0.18	Cum SA (1000 m2)		1.04	
Errors, Warnings and Notes					
Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.					
Warning: The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.					
Calculated water surface from energy equation.					

Διατομή 1

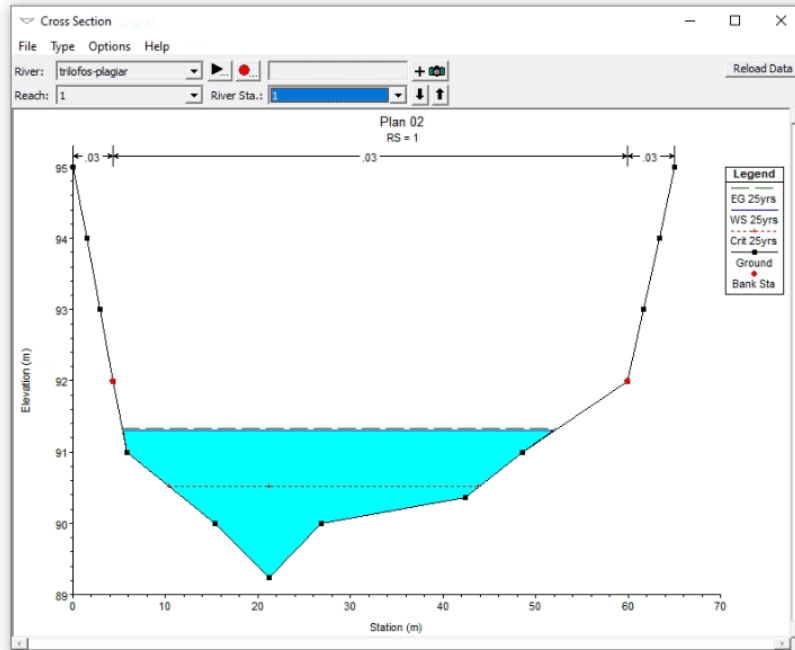
Περίοδος επαναφοράς 10 χρόνων



Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	trilofos-plagiari	Profile:	10yrs		
Reach:	1	RS:	1	Plan:	Plan 02
Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 1 Profile: 10yrs					
E.G. Elev (m)	91.28	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.03	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	91.25	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	90.49	Flow Area (m2)		46.49	
E.G. Slope (m/m)	0.000500	Area (m2)		46.49	
Q Total (m3/s)	34.77	Flow (m3/s)		34.77	
Top Width (m)	46.01	Top Width (m)		46.01	
Vel Total (m/s)	0.75	Avg. Vel. (m/s)		0.75	
Max Chl Dpth (m)	2.01	Hydr. Depth (m)		1.01	
Conv. Total (m3/s)	1554.3	Conv. (m3/s)		1554.3	
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		46.29	
Min Ch El (m)	89.24	Shear (N/m2)		4.93	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		3.69	
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			
Errors, Warnings and Notes					
Note:	Hydraulic jump has occurred between this cross section and the previous upstream section.				
Energy gradeline for given WSEL.					

Διατομή 1

Περίοδος επαναφοράς 25 χρόνων



Cross Section Output

File Type Options Help

River: trilofos-plagiari Profile: 25yrs

Reach: 1 RS: 1 Plan: Plan 02

Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 1 Profile: 25yrs				
E.G. Elev (m)	91.33	Element	Left OB	Channel Right OB
Vel Head (m)	0.03	Wt. n-Val.		0.030
W.S. Elev (m)	91.30	Reach Len. (m)		
Crit W.S. (m)	90.51	Flow Area (m2)		48.57
E.G. Slope (m/m)	0.000500	Area (m2)		48.57
Q Total (m3/s)	37.08	Flow (m3/s)		37.08
Top Width (m)	46.58	Top Width (m)		46.58
Vel Total (m/s)	0.76	Avg. Vel. (m/s)		0.76
Max Chl Dpth (m)	2.06	Hydr. Depth (m)		1.04
Conv. Total (m3/s)	1657.7	Conv. (m3/s)		1657.7
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		46.88
Min Ch El (m)	89.24	Shear (N/m2)		5.08
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		3.88
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)		
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)		

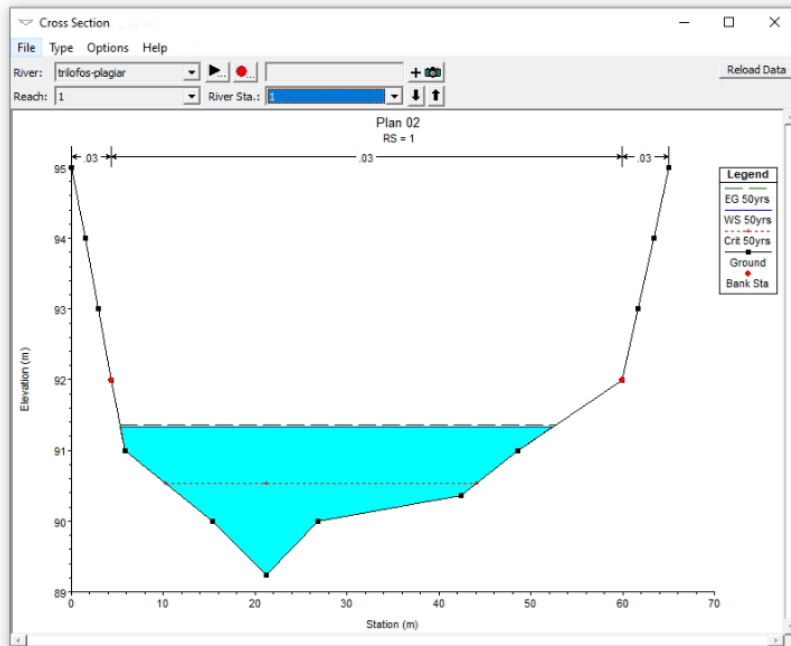
Errors, Warnings and Notes

Note: Hydraulic jump has occurred between this cross section and the previous upstream section.

Velocity head.

Διατομή 1

Περίοδος επαναφοράς 50 χρόνων



Cross Section Output

River: trilofos-plagiari Profile: 50yrs
 Reach: 1 RS: 1 Plan: Plan 02

Plan: Plan 02 trilofos-plagiari 1 RS: 1 Profile: 50yrs		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	91.36	Wt. n-Val.		0.030	
Vel Head (m)	0.03	Reach Len. (m)			
W.S. Elev (m)	91.33	Flow Area (m ²)		50.21	
Crit W.S. (m)	90.53	Area (m ²)		50.21	
E.G. Slope (m/m)	0.000500	Flow (m ³ /s)		38.93	
Q Total (m ³ /s)	38.93	Top Width (m)		47.03	
Top Width (m)	47.03	Avg. Vel. (m/s)		0.78	
Vel Total (m/s)	0.78	Hydr. Depth (m)		1.07	
Max Chl Dpth (m)	2.09	Conv. (m ³ /s)		1740.8	
Conv. Total (m ³ /s)	1740.8	Wetted Per. (m)		47.34	
Length Wtd. (m)		Shear (N/m ²)		5.20	
Min Ch El (m)	89.24	Stream Power (N/m s)		4.03	
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m ³)			
Frctn Loss (m)		Cum SA (1000 m ²)			
C & E Loss (m)					

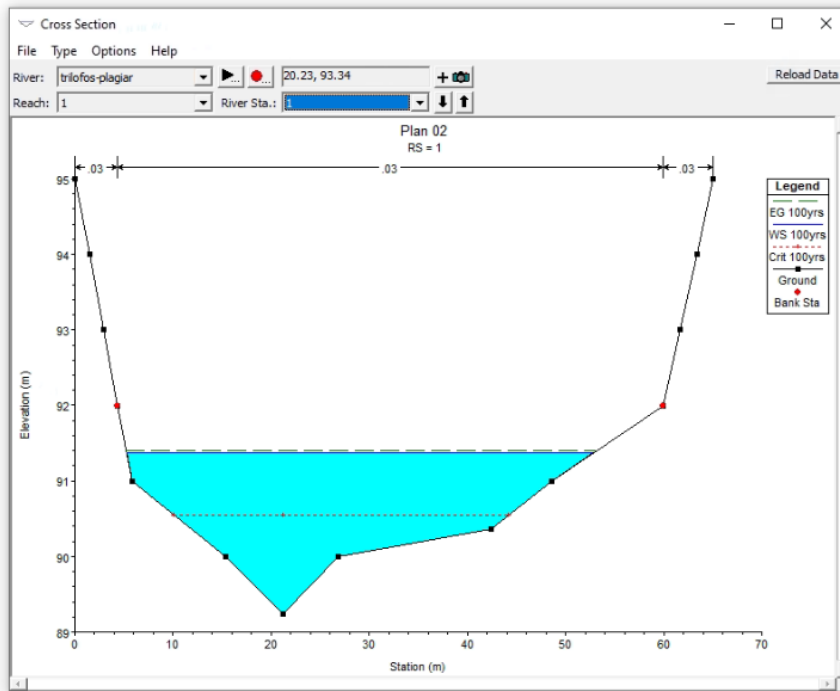
Errors, Warnings and Notes

Note: Hydraulic jump has occurred between this cross section and the previous upstream section.

Velocity head.

Διατομή 1

Περίοδος επαναφοράς 100 χρόνων



Cross Section Output

River: **trifofos-plagiari** Profile: **100yrs**
 Reach: **1** RS: **1** Plan: **Plan 02**

Plan: Plan 02 trifofos-plagiari 1 RS: 1 Profile: 100yrs

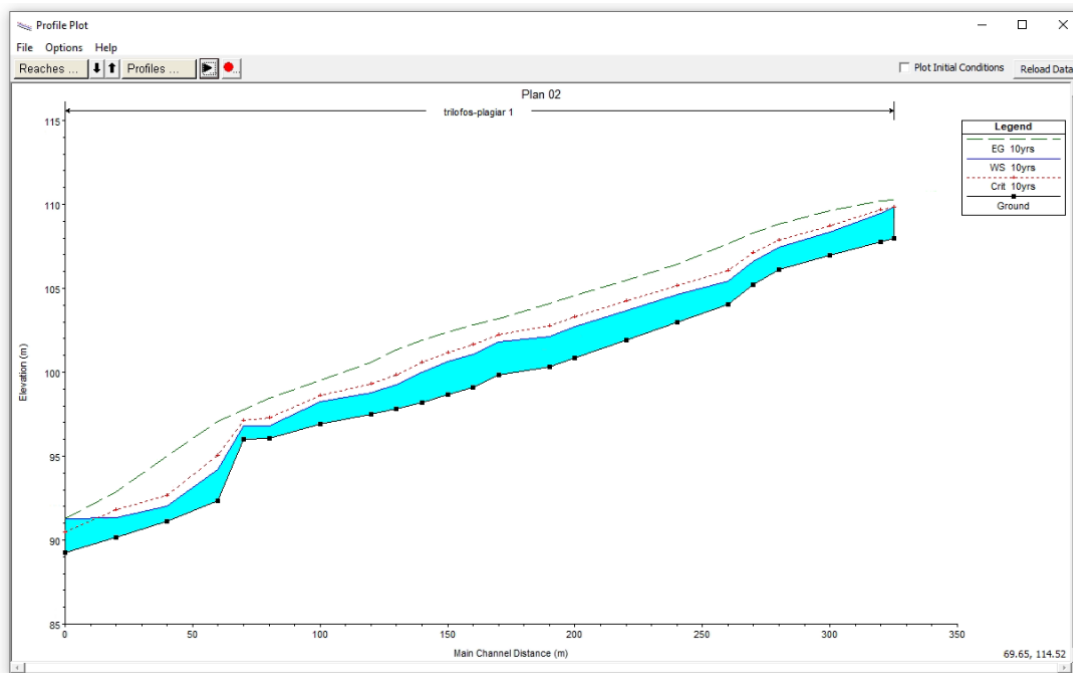
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	91.40	Wt. n-Val.		0.030	
Vel Head (m)	0.03	Reach Len. (m)			
W.S. Elev (m)	91.37	Flow Area (m ²)		51.90	
Crit W.S. (m)	90.55	Area (m ²)		51.90	
E.G. Slope (m/m)	0.000500	Flow (m ³ /s)		40.87	
Q Total (m ³ /s)	40.87	Top Width (m)		47.49	
Top Width (m)	47.49	Avg. Vel. (m/s)		0.79	
Vel Total (m/s)	0.79	Hydr. Depth (m)		1.09	
Max Chl Dpth (m)	2.13	Conv. (m ³ /s)		1827.6	
Conv. Total (m ³ /s)	1827.6	Wetted Per. (m)		47.81	
Length Wtd. (m)		Shear (N/m ²)		5.32	
Min Ch El (m)	89.24	Stream Power (N/m s)		4.19	
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m ³)			
Frctn Loss (m)		Cum SA (1000 m ²)			
C & E Loss (m)					

Errors, Warnings and Notes

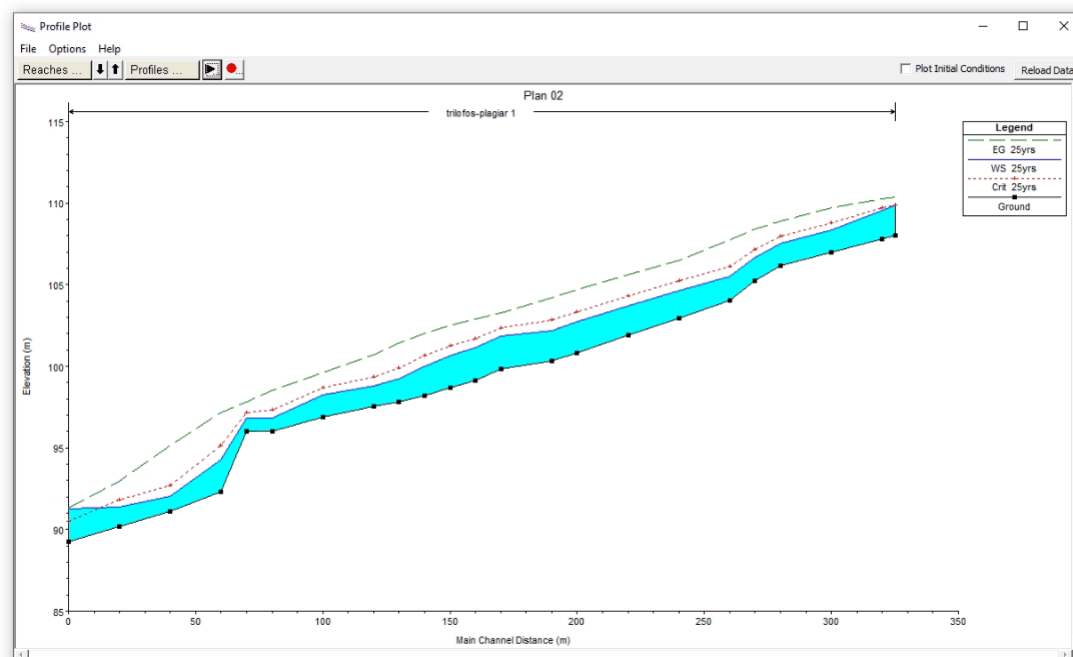
Note: Hydraulic jump has occurred between this cross section and the previous upstream section.

Energy gradeline for given WSEL.

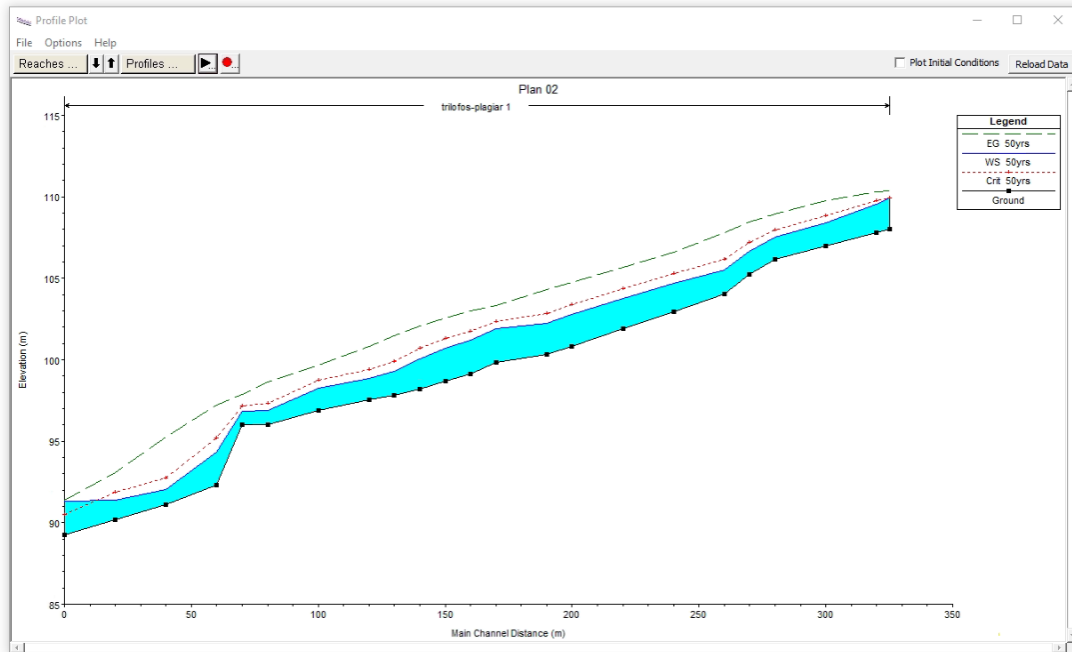
Προφίλ ροής με περίοδο επαναφοράς 10 χρόνων



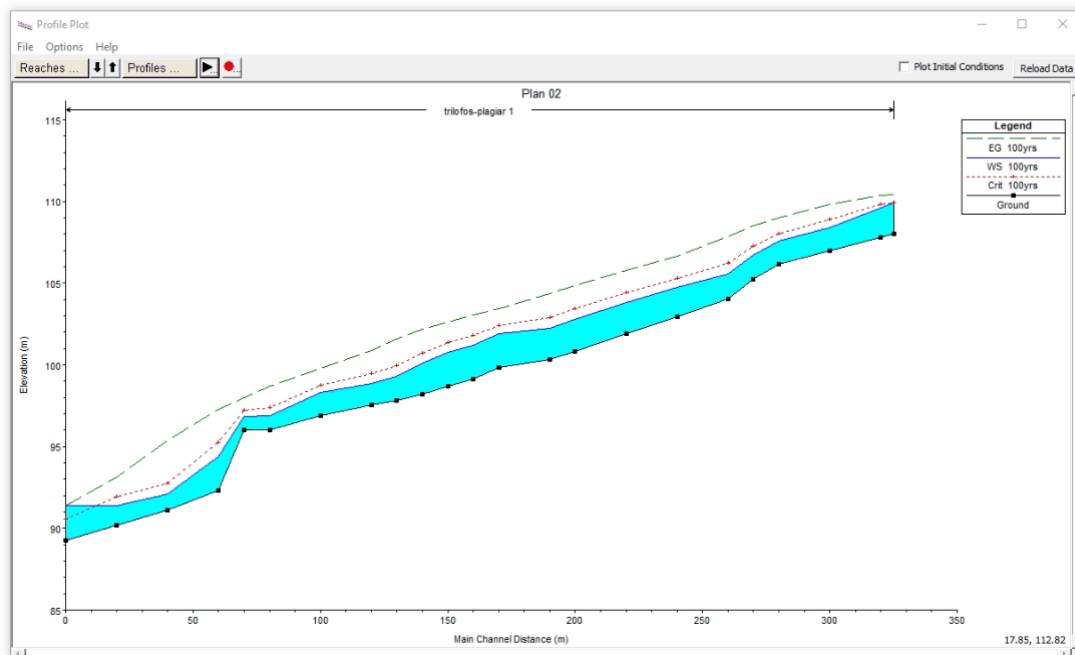
Προφίλ ροής με περίοδο επαναφοράς 25 χρόνων



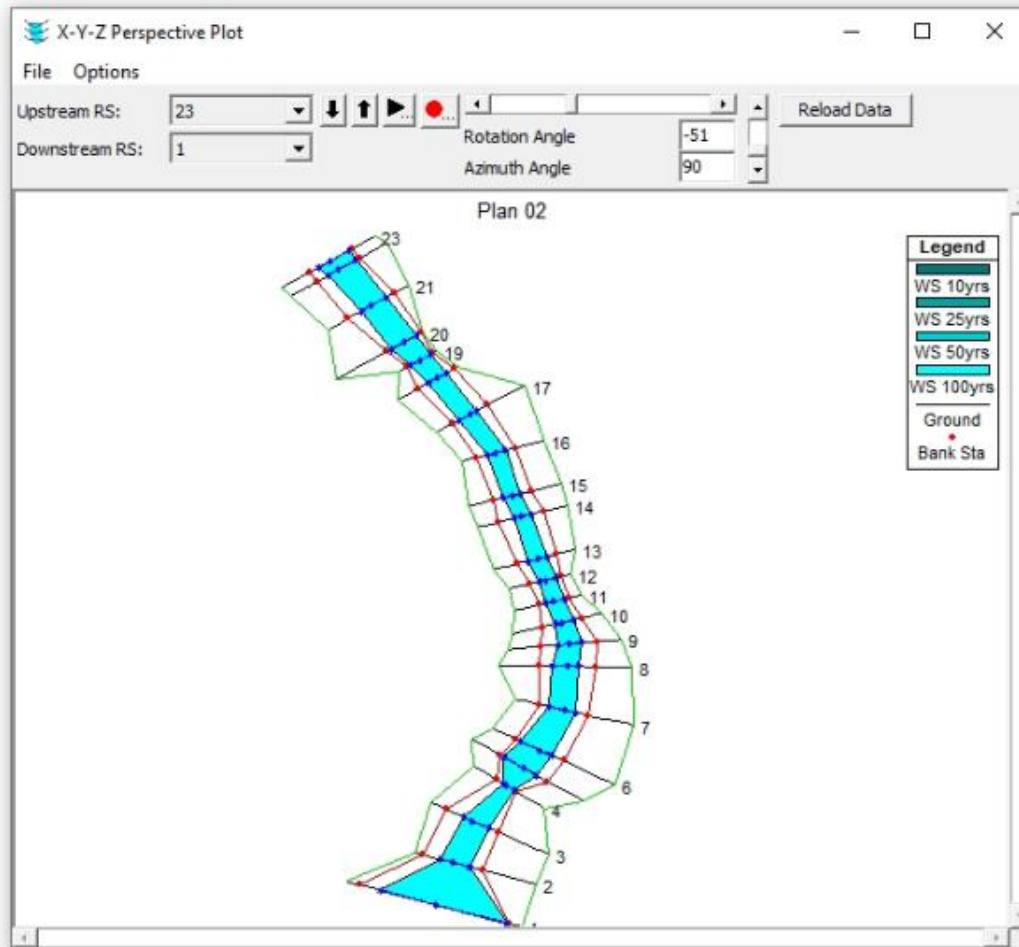
Προφίλ ροής με περίοδο επαναφοράς 50 χρόνων



Προφίλ ροής με περίοδο επαναφοράς 100 χρόνων



Κάτοψη κοίτης



Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων ανά διατομή

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	Περίοδος επαναφοράς	Παροχή	Υψόμετρο πυθμένα	Ανώτερη στάθμη ύδατος	Κρίσιμο βάθος ροής	Υψόμετρο γραμμής ενέργειας	Κλίση γραμμής ενέργειας	ταχύτητα ροής	Επιφάνεια Διατομής ροής	Ελευθερη επιφάνεια ροής	Αριθμός Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
23	10yrs	34.77	108	109.82	109.82	110.28	0.009658	3.01	11.54	12.57	1
23	25yrs	37.08	108	109.87	109.87	110.34	0.009576	3.05	12.15	12.89	1
23	50yrs	38.93	108	109.9	109.9	110.39	0.009516	3.08	12.63	13.14	1
23	100yrs	40.87	108	109.94	109.94	110.44	0.009455	3.11	13.13	13.4	1
22	10yrs	34.77	107.79	109.48	109.67	110.19	0.016952	3.74	9.3	11.13	1.31
22	25yrs	37.08	107.79	109.52	109.72	110.25	0.016815	3.79	9.79	11.42	1.31
22	50yrs	38.93	107.79	109.56	109.75	110.3	0.016712	3.82	10.18	11.65	1.31
22	100yrs	40.87	107.79	109.6	109.79	110.35	0.016418	3.84	10.63	11.92	1.3
21	10yrs	34.77	106.96	108.33	108.75	109.64	0.040281	5.06	6.87	10.07	1.96
21	25yrs	37.08	106.96	108.37	108.79	109.7	0.039753	5.12	7.25	10.35	1.95
21	50yrs	38.93	106.96	108.39	108.83	109.75	0.039354	5.16	7.54	10.56	1.95
21	100yrs	40.87	106.96	108.42	108.87	109.8	0.038957	5.2	7.85	10.78	1.95
20	10yrs	34.77	106.14	107.47	107.9	108.8	0.0427	5.12	6.8	10.28	2.01
20	25yrs	37.08	106.14	107.5	107.94	108.88	0.042517	5.19	7.15	10.54	2.01
20	50yrs	38.93	106.14	107.53	107.97	108.93	0.042363	5.25	7.42	10.75	2.02
20	100yrs	40.87	106.14	107.55	108	108.99	0.042206	5.3	7.71	10.96	2.02
19	10yrs	34.77	105.23	106.61	107.11	108.3	0.050762	5.76	6.03	8.54	2.19
19	25yrs	37.08	105.23	106.65	107.16	108.38	0.05007	5.83	6.36	8.77	2.18
19	50yrs	38.93	105.23	106.68	107.2	108.44	0.049546	5.88	6.62	8.94	2.18
19	100yrs	40.87	105.23	106.71	107.24	108.5	0.048962	5.92	6.9	9.12	2.17
18	10yrs	34.77	104.05	105.45	106.07	107.66	0.068133	6.59	5.28	7.5	2.51
18	25yrs	37.08	104.05	105.49	106.13	107.75	0.067046	6.66	5.57	7.7	2.5
18	50yrs	38.93	104.05	105.52	106.17	107.81	0.066223	6.71	5.8	7.86	2.49
18	100yrs	40.87	104.05	105.55	106.21	107.88	0.065367	6.76	6.05	8.02	2.49
17	10yrs	34.77	102.96	104.61	105.17	106.42	0.047162	5.95	5.85	7.04	2.08
17	25yrs	37.08	102.96	104.66	105.23	106.51	0.047048	6.04	6.14	7.22	2.09
17	50yrs	38.93	102.96	104.69	105.27	106.59	0.046944	6.11	6.37	7.35	2.09
17	100yrs	40.87	102.96	104.72	105.32	106.67	0.046818	6.18	6.62	7.49	2.1

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	Περίοδος επαναφοράς	Παροχή	Υψόμετρο πυθμένα	Ανώτερη στάθμη ύδατος	Κρίσιμο βάθος ροής	Υψόμετρο γραμμής ενέργειας	Κλίση γραμμής ενέργειας	ταχύτητα ροής	Επιφάνεια Διατομής ροής	Ελευθερη επιφάνεια ροής	Αριθμός Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
16	10yrs	34.77	101.9	103.69	104.26	105.5	0.044464	5.96	5.83	6.54	2.02
16	25yrs	37.08	101.9	103.73	104.33	105.6	0.044311	6.05	6.13	6.7	2.02
16	50yrs	38.93	101.9	103.77	104.37	105.68	0.044185	6.12	6.36	6.82	2.02
16	100yrs	40.87	101.9	103.8	104.42	105.76	0.044049	6.19	6.61	6.95	2.03
15	10yrs	34.77	100.83	102.69	103.29	104.59	0.045848	6.11	5.69	6.16	2.03
15	25yrs	37.08	100.83	102.73	103.35	104.69	0.045676	6.2	5.98	6.32	2.03
15	50yrs	38.93	100.83	102.77	103.4	104.77	0.045541	6.26	6.21	6.44	2.04
15	100yrs	40.87	100.83	102.81	103.45	104.85	0.045399	6.33	6.45	6.56	2.04
14	10yrs	34.77	100.32	102.14	102.75	104.11	0.048663	6.22	5.59	6.2	2.09
14	25yrs	37.08	100.32	102.18	102.81	104.21	0.048573	6.31	5.88	6.37	2.1
14	50yrs	38.93	100.32	102.22	102.86	104.29	0.048498	6.38	6.1	6.5	2.1
14	100yrs	40.87	100.32	102.25	102.91	104.38	0.048417	6.45	6.33	6.63	2.11
13	10yrs	34.77	99.84	101.82	102.26	103.17	0.029801	5.16	6.74	6.87	1.66
13	25yrs	37.08	99.84	101.86	102.32	103.27	0.030101	5.26	7.04	7.02	1.68
13	50yrs	38.93	99.84	101.89	102.37	103.35	0.030323	5.34	7.29	7.14	1.69
13	100yrs	40.87	99.84	101.93	102.42	103.43	0.030539	5.42	7.54	7.26	1.7
12	10yrs	34.77	99.12	101.09	101.64	102.8	0.038565	5.8	6	5.96	1.84
12	25yrs	37.08	99.12	101.14	101.71	102.9	0.038339	5.88	6.31	6.12	1.85
12	50yrs	38.93	99.12	101.18	101.76	102.98	0.038252	5.94	6.55	6.23	1.85
12	100yrs	40.87	99.12	101.22	101.81	103.06	0.038081	6	6.81	6.35	1.85
11	10yrs	34.77	98.67	100.63	101.19	102.38	0.044512	5.86	5.93	6.53	1.97
11	25yrs	37.08	98.67	100.67	101.25	102.48	0.04431	5.96	6.23	6.68	1.97
11	50yrs	38.93	98.67	100.71	101.3	102.56	0.044217	6.03	6.46	6.8	1.97
11	100yrs	40.87	98.67	100.74	101.34	102.64	0.044053	6.1	6.7	6.91	1.98
10	10yrs	34.77	98.2	99.97	100.58	101.9	0.048528	6.15	5.65	6.42	2.09
10	25yrs	37.08	98.2	100.02	100.64	102	0.048386	6.24	5.94	6.59	2.1
10	50yrs	38.93	98.2	100.05	100.69	102.08	0.048343	6.31	6.17	6.72	2.1
10	100yrs	40.87	98.2	100.09	100.73	102.16	0.048158	6.38	6.41	6.85	2.11

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	Περίοδος επαναφοράς	Παροχή	Υψόμετρο πυθμένα	Ανώτερη στάθμη ύδατος	Κρίσιμο βάθος ροής	Υψόμετρο γραμμής ενέργειας	Κλίση γραμμής ενέργειας	ταχύτητα ροής	Επιφάνεια Διατομής ροής	Ελευθερη επιφάνεια ροής	Αριθμός Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
9	10yrs	34.77	97.82	99.23	99.82	101.32	0.067812	6.4	5.43	8.04	2.49
9	25yrs	37.08	97.82	99.26	99.87	101.42	0.06746	6.51	5.7	8.2	2.49
9	50yrs	38.93	97.82	99.29	99.91	101.5	0.067214	6.59	5.91	8.31	2.5
9	100yrs	40.87	97.82	99.31	99.95	101.58	0.066849	6.67	6.13	8.44	2.5
8	10yrs	34.77	97.52	98.79	99.32	100.61	0.057583	5.98	5.82	8.63	2.32
8	25yrs	37.08	97.52	98.82	99.37	100.71	0.05802	6.09	6.09	8.82	2.34
8	50yrs	38.93	97.52	98.84	99.41	100.79	0.058351	6.18	6.3	8.96	2.36
8	100yrs	40.87	97.52	98.87	99.45	100.87	0.058602	6.27	6.52	9.11	2.37
7	10yrs	34.77	96.91	98.22	98.63	99.52	0.038266	5.05	6.88	9.67	1.91
7	25yrs	37.08	96.91	98.25	98.68	99.61	0.038654	5.17	7.17	9.81	1.93
7	50yrs	38.93	96.91	98.28	98.72	99.69	0.038947	5.26	7.4	9.91	1.94
7	100yrs	40.87	96.91	98.3	98.76	99.76	0.03922	5.35	7.64	10.02	1.96
6	10yrs	34.77	96.04	96.82	97.27	98.46	0.073229	5.66	6.14	12.14	2.54
6	25yrs	37.08	96.04	96.85	97.3	98.54	0.073157	5.77	6.43	12.35	2.55
6	50yrs	38.93	96.04	96.87	97.33	98.61	0.073114	5.85	6.65	12.51	2.56
6	100yrs	40.87	96.04	96.88	97.36	98.68	0.073187	5.94	6.88	12.66	2.57
5	10yrs	34.77	96.01	96.81	97.11	97.76	0.035667	4.31	8.07	13.95	1.81
5	25yrs	37.08	96.01	96.83	97.15	97.84	0.03645	4.44	8.36	14.04	1.84
5	50yrs	38.93	96.01	96.85	97.18	97.9	0.037025	4.53	8.58	14.12	1.86
5	100yrs	40.87	96.01	96.86	97.21	97.96	0.037785	4.64	8.8	14.19	1.88
4	10yrs	34.77	92.33	94.22	95.05	97.07	0.0736	7.48	4.65	4.7	2.4
4	25yrs	37.08	92.33	94.28	95.12	97.15	0.071184	7.51	4.94	4.84	2.37
4	50yrs	38.93	92.33	94.33	95.18	97.22	0.069386	7.53	5.17	4.95	2.35
4	100yrs	40.87	92.33	94.38	95.23	97.28	0.067811	7.55	5.41	5.06	2.33
3	10yrs	34.77	91.1	92.02	92.64	95.01	0.151223	7.67	4.53	9.79	3.6
3	25yrs	37.08	91.1	92.04	92.68	95.14	0.148652	7.8	4.75	9.86	3.59
3	50yrs	38.93	91.1	92.06	92.72	95.24	0.146738	7.9	4.93	9.91	3.58
3	100yrs	40.87	91.1	92.07	92.76	95.34	0.14458	8	5.11	9.97	3.57

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	Περίοδος επαναφοράς	Παροχή	Υψόμετρο πυθμένα	Ανώτερη στάθμη ύδατος	Κρίσιμο βάθος ροής	Υψόμετρο γραμμής ενέργειας	Κλίση γραμμής ενέργειας	ταχύτητα ροής	Επιφάνεια Διατομής ροής	Ελευθερη επιφάνεια ροής	Αριθμός Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
2	10yrs	34.77	90.17	91.34	91.79	92.86	0.055027	5.47	6.36	10.63	2.26
2	25yrs	37.08	90.17	91.36	91.84	92.96	0.056423	5.61	6.61	10.82	2.29
2	50yrs	38.93	90.17	91.38	91.87	93.05	0.057498	5.72	6.8	10.97	2.32
2	100yrs	40.87	90.17	91.4	91.91	93.13	0.058547	5.83	7.01	11.12	2.35
1	10yrs	34.77	89.24	91.25	90.49	91.28	0.0005	0.75	46.49	46.01	0.24
1	25yrs	37.08	89.24	91.3	90.51	91.33	0.0005	0.76	48.57	46.58	0.24
1	50yrs	38.93	89.24	91.33	90.53	91.36	0.0005	0.78	50.21	47.03	0.24
1	100yrs	40.87	89.24	91.37	90.55	91.4	0.0005	0.79	51.9	47.49	0.24

5. Συμπεράσματα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε η μεθοδολογία μοντελοποίησης, προσομοίωσης και ανάλυσης ενός υδατορεύματος στην περιοχή του Πλαγιαρίου και Τριλόφου με το υδραυλικό λογισμικό HEC-RAS 5.0.3.

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο 4^ο κεφάλαιο και για τις τέσσερις περιόδους επαναφοράς (10,25,50&100 χρόνια) προκύπτει ότι η ροή των νερών στην είσοδο του υπο μελέτη τμήματος είναι κρίσιμη, από τον αριθμό Froude που ισούται με 1 και αμέσως παρατηρείται αύξηση αυτού του αριθμού ($Fr > 1$), δηλαδή η ροή από κρίσιμη μεταβάλλεται σε υπερκρίσιμη. Τέλος στην έξοδο του ρέματος η τιμή του αριθμού Froude μειώνεται και φτάνει υπό του 1 ($Fr < 1$) το οποίο υποδηλώνει υδραυλικό άλμα, δηλαδή η ροή από υπερκρίσιμη γίνεται υποκρίσιμη. Το υδραυλικό άλμα σε αυτήν την περίπτωση οφείλεται στη απότομη διεύρυνση της διατομής και την αύξηση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού.

Μπορεί να ειπωθεί επομένως ότι στο παρόν μοντέλο, ενώ δεν καταχωρήθηκε πληθώρα δεδομένων εισόδου, μπορεί να γίνει πρόβλεψη γενικά για την στάθμη του νερού και να σημειωθούν οι περιοχές που κινδυνεύουν από πλημμύρες, για ακραία υδρολογικά φαινόμενα. Στη διερεύνηση των πλημμυρικών φαινομένων υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες καθώς και στην διαχείριση των κινδύνων που προκύπτουν από αυτήν σε λεκάνες αστικές ή ημιαστικές. Οι παρούσες διατομές που εξετάστηκαν, σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα εισόδου, φαίνεται να μην κινδυνεύουν άμεσα από πλημμυρικά φαινόμενα καθώς η στάθμη του νερού είναι αρκετά χαμηλότερα από τις παρειές του υδατορρέματος.

Αρχικά, για να γίνει μία επαρκής και ολοκληρωμένη έρευνα, πρέπει να ελεγχθούν τα βροχομετρικά δεδομένα σε ορθότητα. Έπειτα πρέπει να προσδιορισθούν οι παράμετροι που απαιτεί η υδραυλική προσομοίωση (συντελεστές τριβής και ακριβή γεωμετρικά δεδομένα), το οποίο είναι ιδιαίτερα δύσκολο. Η ρεαλιστικότητα της προσομοίωσης απαιτεί πολύ αναλυτικές τοπογραφικές αποτυπώσεις και ιδιαίτερη εμπειρία στην διαχείριση στοιχείων σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών.

Το κύριο συμπέρασμα αυτής της εργασίας είναι ότι με την ανάλυση ενός πλημμυρικού φαινομένου μπορεί να βελτιωθεί η μέθοδος διαχείρισης και αντιμετώπισής του. Η ολοκληρωμένη διαχείριση των πλημμυρικών κινδύνων αποτελείται από ένα σύνολο εφαρμοσμένων μέτρων, δράσεων και στρατηγικών όπως αντιπλημμυρικά έργα, διαχείριση λεκανών και πλημμυρικών πεδίων καθώς και μέτρα πρόληψης όπως προληπτικά τεχνικά έργα και ενημέρωση των κατοίκων για την προστασία τους. Όλα τα παραπάνω έχουν ενταχθεί πλέον στο Σχέδιο Διαχείρισης Πλημμυρών.

6. Βιβλιογραφία

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ARCEMENT, G.I, SCHNEIDER, V.I (1989), Guid for selecting Manning's Roughness coefficients for natural channels and flood plains. U.S Geological Survey
2. BRUNER, G. (2008), Hec-Ras, river analysis system user's manual. U.S Army Corps of engineers. Hydrologic Engineering Center
3. WARNER J., BRUNNER G., BRENT C. WOLFIE C., PIPER S., (2009). HEC-RAS, river analysis system application Guide.
4. ACKERMAN P.E, CAMERON T., (2011). Hec-GeoRas GIS tools for support of Hec-Ras using Arc GIS user's manual. U.S Army Corps of Engineers.Hydrologic Engineering Center
5. HEC-RAS, (2016).Hydraulic Reference Manual,Version 5.0, CPD-69, US Army Corps of Engineering
6. HEC-RAS, (2016). Reference Manual,Version 5.0,US Army Corps of Engineering
7. HEC-RAS, (2020).BSTEM Technical Reference & User's Manual, CPD-68B, US Army Corps of Engineering
8. HEC-RAS, (2020).RAS- Mapper User's Manual,Version 6.0, US Army Corps of Engineering
9. Chow V.T., (1973). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill . New York. pp. 680

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βαφειάδης Μ. (2000). Εισαγωγή στην επιφανειακή υδρολογία, Θεσσαλονίκη
2. Βεράνης Ν. και Χατζηκύρκου Αθ. (2010). Υδρογεωλογική Μελέτη Υδροφόρων συστημάτων Επανομής- Μουδανιών, Κασσάνδρας, Ορμύλιας και Σιθωνίας, Ι.Γ.Μ.Ε, Θεσσαλονίκη
3. Βεράνης Ν. (1994). Γεωλογική δομή και ορυκτές πρώτες ύλες στο νομό Χαλκιδικής, Ι.Γ.Μ.Ε., Θεσσαλονίκη
4. Βουδούρης Κ. (2009). Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον
5. Γιαννόπουλος Σ. (2002). Μαθήματα Τεχνικής Υδρολογίας, Έκδοση της Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη
6. Δερμίσσης Β. (2000). Εισαγωγή στη Μηχανική των ποταμών, Εκδόσεις Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη
7. Καραλή, Μ. (2000). Παρεμβάσεις στα Ρέματα – Εναλλακτικές Προτάσεις Σχεδιασμού, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

8. Μαμάσης Ν (2007). Γεωμορφολογία και Απορροή με τη χρήση ΣΓΠ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα
9. Μαμάσης Ν. (2009). Τυπικά Συστήματα Υδατικών Πόρων: εκτίμηση πλημμυρικών παροχών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα
10. Μιμίκου Μ. και Μπαλάτς Ε. (2006). Τεχνική Υδρολογία (δ' έκδοση), Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
11. Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (2007). Οδηγία για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας 81
12. Σκοταρά Χρ. (2009), Η σημασία των ρεμάτων στον Αστικό Χώρο. Η περίπτωση του ρέματος της Σαπφούς στην πολεοδομική ενότητα 7 του Δήμου Αμαρουσίου, ΔΠΜΣ Πολεοδομία και Χωροταξία ΕΜΠ, Αθήνα
13. Τ.Ε.Ε (2007). Αντιπλημμυρικός σχεδιασμός – διαχείριση κινδύνου πλημμυρών, Συμπεράσματα, Ημερίδα με ομώνυμο τίτλο, Αθήνα
14. ΤΕΕ-Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας (1994). Δημόσια ύδατα και νομοθετικό πλαίσιο ενεργειών της Διεύθυνσης Τεχνικών Υπηρεσιών Νομαρχίας Θεσσαλονίκης – Εισήγηση στην Ημερίδα με θέμα: Τα ρέματα του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης
15. Τσακίρης Γ. (1995). Υδατικοί πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 22. Τσακίρης Γ. (2009). Υδατικοί πόροι: ΙΙ. Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
16. Υ.Α 1299/2003. Έγκριση του από 7.4.2003 Γενικού Σχεδίου Πολιτικής Προστασίας με τη συνθηματική λέξη «ΞΕΝΟΚΡΑΤΗΣ» (ΦΕΚ 423/Β/10.4.2003)
17. Χατζημπίρος Κ. (2007). Οικολογία, Οικοσυστήματα και προστασία του Περιβάλλοντος, Γ' Έκδοση, αναθεωρημένη και επαυξημένη, εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
18. Μαμάσης Ν. 2007. Πλημμύρες κα αντιπλημμυρικά έργα
19. Παππαγιάννης Κ., 2016. Ανάλυση πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης απορροής με τη χρήση του υδρολογικού μοντέλου HEC-RAS
20. Κουτσοβίλη Ε., 2018. Διερεύνηση πλημμυρικού κινδύνου σε ρέμα διαλείπουσας ροής στο Πευκοχώρι Χαλκιδικής.
21. Χάτζα Εμίρ, 2019. Βιώσιμη διαχείριση και αποκατάσταση ποταμών και ρεμάτων στο αστικό περιβάλλον.
21. Τζεμής Γ. , 2017. Υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση της ρεματιάς Χαλανδρίου.
22. Νικολαΐδου Μελίνα, 2009. Χρήση της τηλεπισκόπησης και των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών στην καταγραφή των πλημμυρών της ορεινής περιοχής νοτίως της λίμνης Βόλβης. Μια περιβαλλοντική προσέγγιση.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

[https://mapsgoogle.gr/\(googlemaps\)](https://mapsgoogle.gr/(googlemaps))

<https://en.wikipedia.org/wiki/>

<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasum/latest/hec-ras-outputvariables/hydraulic-output-varia>

<https://dasarxeio.com/2015/09/19/23911/>