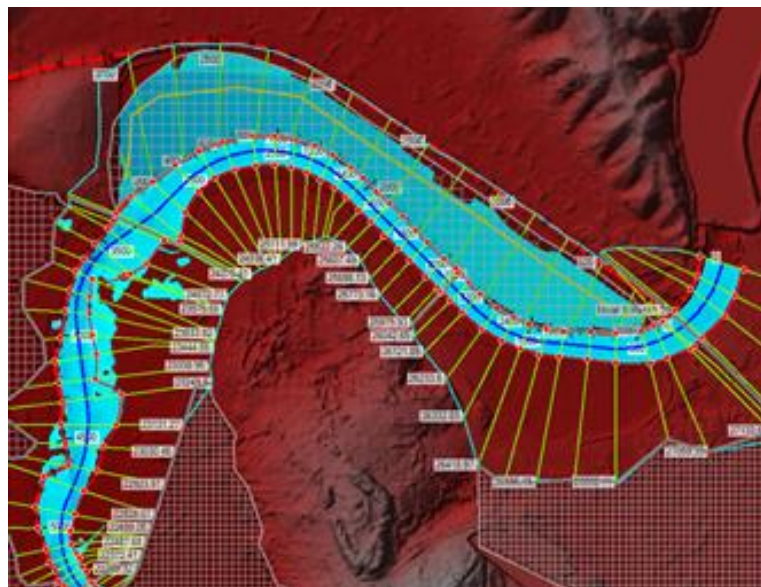




Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

DESIGN AND SIMULATION OF DETENTION PONDS



Γεώργιος Ροντήρης

Επιβλέπων: Α. Ι. Στάμου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2021

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
EXTENDED ABSTRACT	5
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	6
1.2 Διάρθρωση της εργασίας	6
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ – ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ	7
2.1 Η πλημμύρα ως ακραίο φυσικό φαινόμενο	7
2.2 Αντιπλημμυρικά έργα και περιορισμός κινδύνου πλημμύρας	8
2.3 Ανάσχεση πλημμύρας	10
2.4 Δεξαμενές Ανάσχεσης Πλημμύρας (ΔΑΠ)	11
2.5 Είδη Δεξαμενών Ανάσχεσης Πλημμύρας	11
2.6 Λειτουργία Δεξαμενών Ανάσχεσης Πλημμύρας – Παραμονής νερού	12
2.7 Λειτουργία Δεξαμενών Ανάσχεσης Πλημμύρας – Συγκράτησης νερού	13
2.8 Χωροθέτηση δεξαμενών ανάσχεσης	14
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	16
3.1 Γενικά	16
3.2 Βήμα 1: Καθορισμός περιόδου επαναφοράς και πλημμυρογραφήματος σχεδιασμού της ΔΑΠ	16
3.3 Βήμα 2: Χωροθέτηση της ΔΑΠ	16
3.4 Βήμα 3: Προσδιορισμός των περιμετρικών ορίων και των θέσεων αναχωμάτων της ΔΑΠ	17
3.5 Βήμα 4: Προσδιορισμός των εξισώσεων στάθμης-παροχής, όγκου-στάθμης και επιφάνειας-στάθμης της ΔΑΠ	19
3.6 Βήμα 5: Προσδιορισμός των θέσεων διατάξεων εισροής και εκροής της ΔΑΠ και διαστασιολόγησή τους	20
3.7 Βήμα 6: Διαστασιολόγηση της ΔΑΠ	23
4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	25
4.1 Η περίπτωση του ποταμού Άραχθου	25
4.2 Βήμα 1: Καθορισμός περιόδου επαναφοράς και πλημμυρογραφήματος σχεδιασμού της ΔΑΠ	26
4.3 Βήμα 2: Χωροθέτηση της ΔΑΠ	26
4.4 Βήμα 3: Προσδιορισμός των περιμετρικών ορίων και των θέσεων αναχωμάτων της ΔΑΠ	29
4.5 Βήμα 4: Προσδιορισμός των εξισώσεων στάθμης-παροχής, όγκου-στάθμης και επιφάνειας-στάθμης της ΔΑΠ	33
4.6 Βήμα 5: Προσδιορισμός των θέσεων διατάξεων εισροής και εκροής της ΔΑΠ και διαστασιολόγησή τους	34
4.7 Βήμα 6: Διαστασιολόγηση της ΔΑΠ	38
4.8 Βήμα 7: Αποτελέσματα προσομοίωσης	42
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	47
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	48
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	49

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ολοκληρώνεται η φοιτητική μου σταδιοδρομία στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το μεγάλο αυτό κεφάλαιο της ζωής μου δεν θα μπορούσε να κλείσει χωρίς τη συμβολή μερικών ανθρώπων που θα ήθελα πολύ να ευχαριστήσω.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή και επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Αναστάσιο Στάμου, για τη συνεχή καθοδήγηση και βοήθεια σε όλα τα στάδια της διπλωματικής εργασίας. Τον ευχαριστώ επίσης για όλη την υποστήριξη και την επικοινωνία καθ' όλη τη διάρκεια σε αυτούς τους δύσκολους καιρούς του κορωνοϊού που όλα έγιναν πιο δύσκολα.

Ταυτόχρονα, υπήρξε ο άνθρωπος που μου πρότεινε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα των δεξαμενών ανάσχεσης πλημμύρας στην περιοχή της Άρτας και τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που έδειξε προς το πρόσωπο μου, στην υλοποίηση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, έναν προς έναν, όλους τους καθηγητές του τομέα της Υδραυλικής κατεύθυνσης που με τις γνώσεις τους και τη διδασκαλία τους με έκαναν πρώτα από όλα να αγαπήσω το αντικείμενο αυτό.

Έπειτα, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον υποψήφιο Διδάκτορα Γεώργιο Μητσόπουλο για την απρόσκοπτη συνεργασία και επικοινωνία μας στο κομμάτι της προσομοίωσης του ποταμού Άραχθου, μέσω του προγράμματος HEC-RAS. Η βοήθειά του ήταν καθοριστική, χωρίς αυτόν η παρούσα εργασία δεν θα ήταν η ίδια.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω αρκετούς συμφοιτητές μου για τη συνεργασία μας τόσα χρόνια, αλλά ιδιαίτερος θέλω να ευχαριστήσω τους συναδέλφους και πολύ καλούς μου φίλους από τη σχολή για την κοινή πορεία μας και αλληλοβοήθεια σε όλη τη διάρκεια των σπουδών, τον Αναστάσιο Λεμονή, τον Εμμανουήλ Μαντζουράνη και τον Ιωάννη-Μιχαήλ Μπαϊρακτάρη.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου, τα αδέρφια μου Λευτέρη και Αθηνά και ιδιαίτερα τους γονείς μου Γιάννη και Αλεξία, για την αμέριστη υποστήριξη και την κατανόηση που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ροντήρης Γεώργιος
Μάρτιος 2021

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ακόλουθη διπλωματική εργασία αφορά στις δεξαμενές ανάσχεσης πλημμύρας (χάρην συντομογραφίας θα χαρακτηρίζονται στο κείμενο ως ΔΑΠ). Σήμερα, λόγω της αυξανόμενης έντασης των πλημμυρικών καταστροφών παγκοσμίως κρίνεται απαραίτητη η δράση για τον περιορισμό τους. Η χρήση των ΔΑΠ αποτελεί σήμερα ένα αποτελεσματικό μέτρο για ένα μοντέρνο μοντέλο διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου. Όσον αφορά στη λειτουργία τους, κάνουν ανάσχεση της πλημμύρας, διότι ο κύριος πλημμυρικός όγκος εκτονώνεται εκεί. Διακρίνονται σε δύο είδη δεξαμενών, οι οποίες έχουν σχεδιαστεί για να αποθηκεύουν απορροή και είναι παρόμοιες στο σχεδιασμό, αλλά διαφέρουν ως προς τον σκοπό. Αυτές είναι οι δεξαμενές παραμονής νερού (detention basin), στις οποίες το νερό κατά τη διάρκεια της πλημμύρας εισέρχεται στη ΔΑΠ (καθυστερώντας την πλημμύρα) συνήθως μέσω μιας διάταξης εισροής, διηθείται ένα ποσοστό του στο έδαφος και ότι απομένει, εξέρχεται από την ΔΑΠ μετά το πλημμυρικό γεγονός, συνήθως, από μία διάταξη εκροής. Η δεύτερη κατηγορία είναι οι δεξαμενές συγκράτησης νερού (retention basin), στις οποίες το νερό διατηρείται αποθηκευμένο στη ΔΑΠ και μετά το πλημμυρικό γεγονός, και εξυπηρετεί πολλαπλούς σκοπούς, όπως τον καθαρισμό του νερού μέσω φυσικών-βιολογικών διεργασιών και την περαιτέρω αξιοποίησή του από τις γύρω περιοχές. Αναλυτικότερα, για τη διαστασιολόγηση των ΔΑΠ είναι καθοριστικά δύο υδρολογικά μεγέθη, τα οποία είναι η παροχή αιχμής ή η μέγιστη στάθμη του νερού μέσα στη δεξαμενή και ο όγκος του πλημμυρικού κύματος πάνω από μια ορισμένη οριακή τιμή. Για τη χωροθέτηση των δεξαμενών αυτών απαιτούνται περιοχές με φυσικά πρανή, για να μην απαιτηθεί η κατασκευή αναχώματος γύρω από όλη την κατασκευή, ή επιπρόσθετα απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γης, οι οποίες θα έχουν και κατάλληλα εδάφη, για να αποστραγγίζεται κάποιο ποσοστό του νερού από τη δεξαμενή. Ο καθορισμός του όγκου ανάσχεσης μπορεί να γίνει βάσει της εξίσωσης συνέχειας. Επιπρόσθετα, απαιτείται η προσθήκη αναχωμάτων, για να δημιουργηθεί μια κλειστή ΔΑΠ, και ίσως χρειαστεί ανάλογα με την περιοχή επιλογής και περαιτέρω εκσκαφή σε περίπτωση που απαιτείται μεγαλύτερο βάθος για μεγαλύτερο όγκο ανάσχεσης της πλημμύρας. Όσον αφορά τη διάταξη εισροής της ΔΑΠ, αναλόγως με το διάγραμμα στάθμης-παροχής που πρέπει να δημιουργηθεί, επιλέγεται σε ποια στάθμη θα είναι ο υπερχειλιστής, δηλαδή ποια θα είναι η ελάχιστη παροχή ή στάθμη αντίστοιχα του νερού, από την οποία θα υπερπηδάει το νερό τον υπερχειλιστή για να εισέλθει στη ΔΑΠ. Για τη διάταξη εκροής, σε περίπτωση ρυθμιζόμενης εκροής, πρέπει να αποσαφηνιστεί ποια θα είναι αυτή, η οποία μπορεί να είναι ένα θυρόφραγμα, ένας αγωγός εκροής ή μια αντλία. Τέλος, γίνεται η τελική διαστασιολόγηση της ΔΑΠ.

Με τη μεθοδολογία αυτή προσομοιώθηκε βήμα-βήμα στην περίπτωση του ποταμού Άραχθου, στην Άρτα, η πιθανή κατασκευή μιας ΔΑΠ για τη μείωση του όγκου νερού της πλημμύρας στις κατάντη περιοχές.

EXTENDED ABSTRACT

Arachthos River is the largest river in Epirus and the 8th largest in Greece; it is 110 km long and its drainage area is 2209 km². After emanating from Pindus mountains (near Metsovo), it enters into the Pournari Reservoir in Arta, passes through Arta and discharges into the Ambracian Gulf near Kommeno. Arachthos River prevents flooding of the city of Arta and supplies water to most of Epirus.

The design of flood protection works in Arachthos River is currently in progress; it is performed by a consortium of Greek Consulting Firms for the Ministry of Infrastructure and Transportation. The purpose of this research is to examine the effect of Flood Detention Ponds on the inundation area and the subsequent flood risk for the city of Arta. The Flood Detention Ponds are constructed immediately downstream of the Pournari Reservoir and 5600 m upstream of the historic Bridge of Arta; their exact locations were identified after a preliminary study and field surveys. Firstly, we performed the design of the Flood Detention Ponds, based on international standards and specifications found in the international literature; Using the Flow Hydrograph of a rain that would lead into a flood downstream, we found the ideal location for the Flood Detention Pond, near mountain Marathovouni and the Ionia Odos Highway, where there were natural slopes and then we added embankments on the one side to build an enclosed Pond. To maximize the volume of the storage area an excavation of the bottom of the Flood Detention Pond was performed following the slope of the terrain. After choosing a cross section inlet and outlet, we created the rating curves to make the sizing of the overflow upstream and of the sluice gate downstream. Then, we performed hydrodynamic calculations using the Hydrologic Engineering Center's-River Analysis System (HEC-RAS) 1D/2D with and without the Flood Detention Ponds and for different lengths of the overflow. Thirdly, we compared the calculations and the corresponding inundation areas. The results of the study showed that the Flood Detention Pond reduced the flood peak and the inundation areas downstream according to the water entered the Flood Detention Pond. The volume of the Flood Detention Pond representing 4% of the volume of the flood, succeeded a 4% reduction of the flood peak if the water was let after the flood had passed. The conclusions of the study definitively answer the question regarding the effect of Flood Detention Ponds on the limitation of the inundation areas downstream in the city of Arta. Further studies are needed to build a combined system of more Flood Detention Ponds for more protection against the floods.

Keywords: Flood flow, retarding basin, overflow levee, observation of water surface profile, numerical computation, HECRAS 1D/2D

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξερεύνηση ενός νέου και μοντέρνου τρόπου αντιμετώπισης των πλημμυρών. Η αυξημένη ένταση και τα συχνότερα επικίνδυνα φαινόμενα που συμβαίνουν παγκοσμίως λόγω της κλιματικής αλλαγής απαιτούν την άμεση κινητοποίηση όλων και την εύρεση τρόπων για την προστασία των πληγέντων από τις φυσικές καταστροφές.

Συνεπώς, στη διπλωματική εργασία αναλύεται μια νέα μέθοδος αντιμετώπισης πλημμυρών, η κατασκευή δεξαμενών ανάσχεσης πλημμύρας.

1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 5 Κεφάλαια και το Παράρτημα.

Στο 1^ο κεφάλαιο θα γίνει μια συνοπτική περιγραφή της διπλωματικής εργασίας.

Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική διερεύνηση, όπου περιγράφεται η πλημμύρα ως φυσικό φαινόμενο και διάφοροι τρόποι περιορισμού αυτών. Η μέθοδος περιορισμού, η οποία αναλύεται είναι οι δεξαμενές ανάσχεσης πλημμύρας (ΔΑΠ), τα χαρακτηριστικά τους και τυπικά η χωροθέτησή τους.

Στο 3^ο κεφάλαιο δίνεται το μεθοδολογικό πλαίσιο, που ακολουθείται για το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση μιας ΔΑΠ.

Στο 4^ο κεφάλαιο με βάση το μεθοδολογικό πλαίσιο, πραγματοποιείται εφαρμογή και προσομοίωση αυτής μέσω του προγράμματος HEC-RAS στην περιοχή του ποταμού Άραχθου, στην Άρτα, καθώς επίσης δίνονται και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Στο 5^ο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση και προτείνονται τρόποι μελλοντικής χρήσης των ΔΑΠ.

Τέλος, η διπλωματική κλείνει με τη Βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε και με το Παράρτημα, στο οποίο παρατίθενται οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα, καθώς και κάποιες πληροφορίες για τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης (ΣΕΠ).

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ – ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

2.1 Η πλημμύρα ως ακραίο φυσικό φαινόμενο

Γενικότερα, η πλημμύρα εξαιτίας ακραίων υδρολογικών και μετεωρολογικών φαινομένων μπορεί να οδηγήσει στα ακόλουθα (WMO, 2013):

1. σε απώλειες ζωών,
2. απώλειες περιουσιών,
3. απώλειες υποδομών, και
4. στην καταστροφή του περιβάλλοντος.

Οι πλημμύρες αποτελούν το πιο επικίνδυνο φυσικό φαινόμενο παγκοσμίως, διότι επηρεάζουν τους περισσότερους ανθρώπους, 520 εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως.

Οι πλημμύρες γίνονται συχνότερες, εντονότερες και λιγότερο προβλεπόμενες, καθώς αυξάνονται προκαλώντας σοβαρές ζημιές, κυρίως σε φτωχούς και ευάλωτους ανθρώπους.

Το Assessment Report (2007) του Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) πρόβλεψε ότι οι πλημμύρες θα επηρεάσουν ακόμα περισσότερο πλημμυρικές περιοχές, ακτές, ποταμούς και βουνά. Βέβαια, στόχος είναι ο περιορισμός των καταστροφών με γνώμονα να παραμείνουν οι θετικές συνέπειες της πλημμύρας για το περιβάλλον.

Πλέον, πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη και να γνωρίζει ο κόσμος πως υπάρχει και αβεβαιότητα στην πρόβλεψη πλημμυρών. Ο απόλυτος έλεγχος των πλημμυρών είναι ένας μύθος και η απόλυτη προστασία από αυτές δεν είναι εφικτή.

Πολλά μπορούν να είναι γνωστά για τις πλημμύρες και τις επιπτώσεις τους, όπως ποιοι θα επηρεαστούν από αυτές και τι προβλήματα θα έχουν να αντιμετωπίσουν.

Ειδικότερα, οι πλημμύρες προκαλούνται από ακραία υδρολογικά και μετεωρολογικά φαινόμενα. Όμως, η συχνότητα των πλημμυρών προκύπτει ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, όπως είναι η ανοργάνωτη και ασύμμετρη ανάπτυξη σε πλημμυρικές περιοχές, τα φράγματα και τα επιχώματα.

Οι **κατηγορίες-είδη πλημμυρών**:

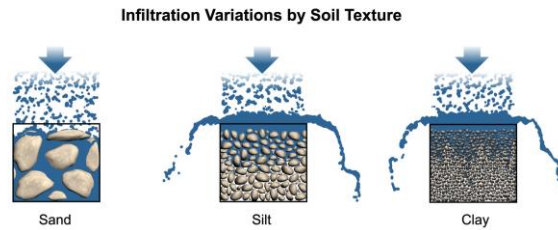
1. πλημμύρα υπόγειου υδροφορέα, και
2. πλημμύρες ποταμών

Παρά τις επιπτώσεις που έχουν οι πλημμύρες, προσφέρουν και κάποιες **θετικές συνέπειες** (Kundzewicz, 2013):

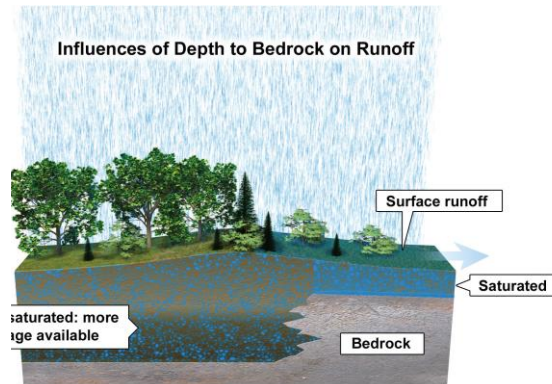
1. φόρτιση υπόγειων υδροφορέων,
2. εύφορη γη, και
3. ανάπτυξη οικονομίας, σχετικά με την προστασία και ανάκαμψη μετά από μια πλημμύρα.

Αιτίες ξαφνικών πλημμυρών (The University Corporation for Atmospheric Research, 2011):

1. το μέγεθος και το σχήμα της λεκάνης,
2. η κλίση του εδάφους,
3. η σκληρότητα του εδάφους,
4. η πυκνότητα της ροής,
5. η κάλυψη γης,
6. η αποψίλωση και οι φωτιές, και
7. η χωρητικότητα του εδάφους και ο ρυθμός διήθησης



Εικόνα 2.1-1: Διήθηση ανάλογα με το έδαφος (άμμος, ιλύς, άργιλος) (The University Corporation for Atmospheric Research, 2011)



Εικόνα 2.1-2: Χωρητικότητα εδάφους (The University Corporation for Atmospheric Research, 2011)

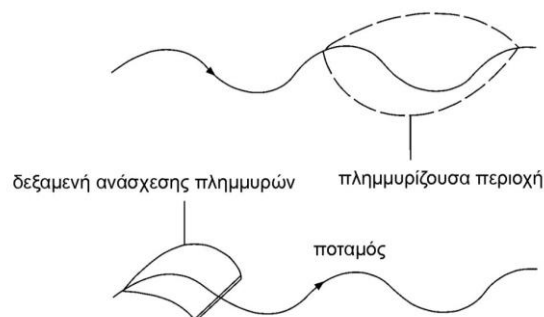
2.2 Αντιπλημμυρικά έργα και περιορισμός κινδύνου πλημμύρας

Τα αντιπλημμυρικά έργα αποβλέπουν στην προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντός του από την υπερχείλιση των οχθών των χειμάρρων και των ποταμών (Χρυσάνθου, 2015).

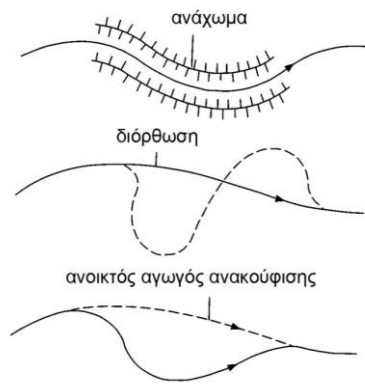
Ο κίνδυνος της πλημμύρας μπορεί να περιοριστεί με τους ακόλουθους τρόπους:

1. με **ανάσχεση** (συγκράτηση) της πλημμύρας,
2. με **περαιτέρω διοχέτευση** (διόδευση), και
3. με **μέτρα** στις περιοχές που πλημμυρίζουν,

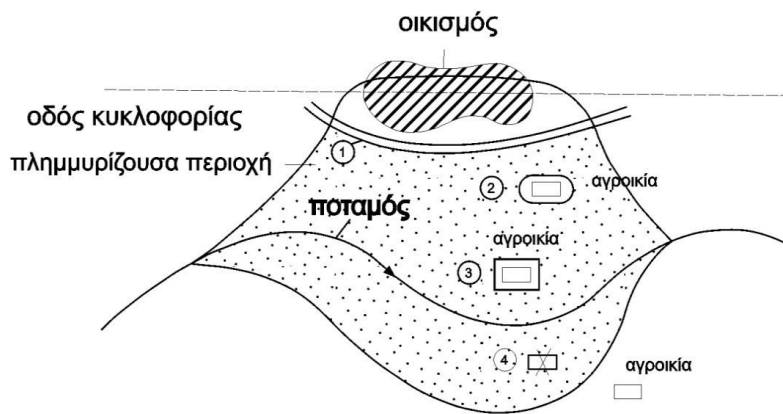
όπως φαίνεται στις Εικόνες 2.2-1, 2.2-2 και 2.2-3, αντίστοιχα.



Εικόνα 2.2-1: Ανάσχεση πλημμύρας (Vischer & Huber, 1985, Χρυσάνθου, 2015)



Εικόνα 2.2-2: Διοχέτευση πλημμύρας (Vischer & Huber, 1985, Χρυσάνθου, 2015)

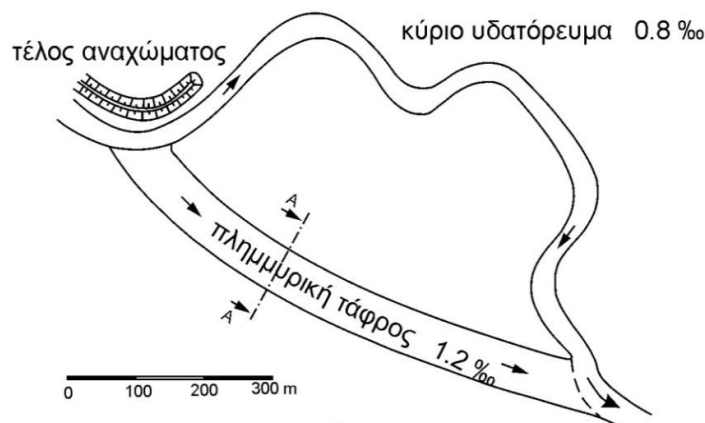


Εικόνα 2.2-3: Προστατευτικά μέτρα στην πλημμυρίζουσα περιοχή (Vischer & Huber, 1985, Χρυσάνθου, 2015)

Τα μέτρα που λαμβάνονται στις πλημμυρίζουσες περιοχές, έχουν ως βασικό στόχο να μειωθούν οι ζημιές και όχι να αποτραπούν εξολοκλήρου. Στην Εικόνα 2.2-3 φαίνονται ενδεικτικά μέτρα που είναι τα ακόλουθα (Χρυσάνθου, 2015):

1. εσωτερικό ανάχωμα για την προστασία του οικισμού και της οδού κυκλοφορίας,
2. τοποθέτηση μιας οικίας ενός αγροκτήματος υψηλότερα, πάνω σε σωρό γαιώδους υλικού,
3. διαμόρφωση μιας κατοικίας κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μην έχει υπόγειο και το ισόγειο να προστατεύεται από το νερό, και
4. μεταφορά της οικίας εκτός της επικίνδυνης ζώνης.

Μια εναλλακτική προσέγγιση συνιστούν οι πλημμυρικές τάφροι, όπως φαίνεται για παράδειγμα στην Εικόνα 2.2-4.



Εικόνα 2.2-4: Πλημμυρική τάφρος (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου, 2015)

Οι τάφροι δέχονται ένα μέρος της πλημμυρικής απορροής, όταν ξεκινήσει η πλημμύρα, δεν είναι όμως δυνατό να συγκρατήσουν όλο το πλημμυρικό κύμα, αλλά το περιορίζουν σημαντικά.

Γενικά, τα μέτρα σε μια περιοχή εκτεθειμένη στον κίνδυνο πλημμύρας μπορούν να ενταχθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

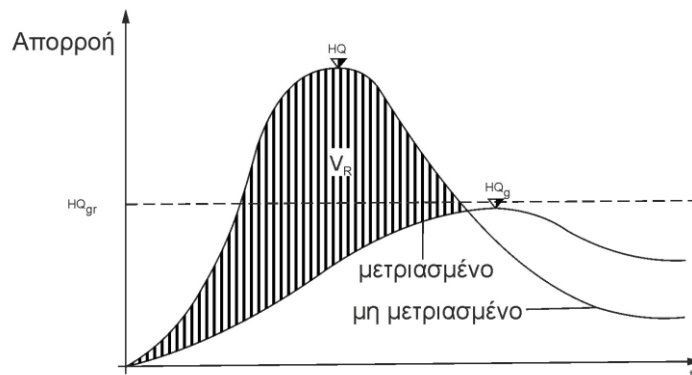
1. προληπτικά μέτρα σχεδιασμού, π.χ. απαγόρευση δόμησης σε ιδιαίτερα επικίνδυνες θέσεις,
2. κατασκευαστικά μέτρα προστασίας οικισμών, οδών κυκλοφορίας κ.λ.π.,
3. έγκαιρη προειδοποίηση σε περίπτωση κινδύνου πλημμύρας, ώστε να καταστεί δυνατή η εκκένωση των κατοικημένων περιοχών ή η ανόρθωση προσωρινών φραγμάτων από αμμόσακκους, και
4. υπηρεσίες διάσωσης ανθρώπων και ζώων τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά την πλημμύρα.

2.3 Ανάσχεση πλημμύρας

Ανάσχεση της πλημμύρας στη λεκάνη απορροής ενός ποταμού, εννοείται όταν το πλημμυρικό κύμα μετριάζεται και δεν υπερχειλίζουν οι όχθες του ποταμού στις περιοχές που κινδυνεύουν από πλημμύρες (Χρυσάνθου, 2015).

Με HQ_{gr} συμβολίζεται η οριακή πλημμυρική παροχή, με HQ_g η παροχή αιχμής του μετριάσμενου πλημμυρικού κύματος, η οποία θα πρέπει να ικανοποιεί τη συνθήκη $HQ_g < HQ_{gr}$, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3-1.

Ο αναγκαίος όγκος συγκράτησης του νερού της πλημμύρας είναι ο όγκος V_R , που είναι γραμμοσκιασμένος στο διάγραμμα.



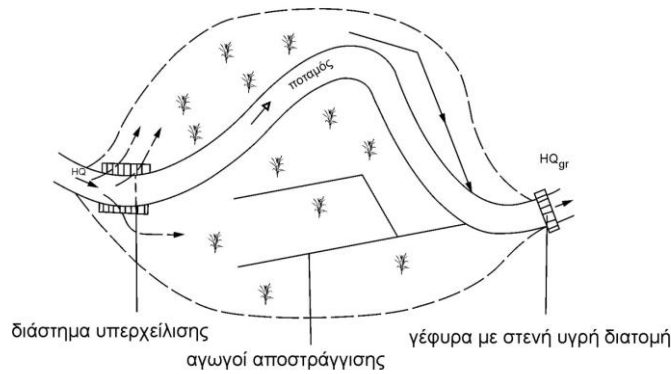
Εικόνα 2.3-1: Μετρίασμός πλημμυρικού κύματος (Vischer & Huber, 1985, Χρυσάνθου, 2015)

Ο μετρίασμός του πλημμυρικού κύματος επιτυγχάνεται μέσω φυσικών λιμνών, μέσω δεξαμενών (ή λεκανών ή ταμειυτήρων) ανάσχεσης και μέσω δημιουργίας πλημμυρικών επιφανειών.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας τρόπος συγκράτησης του πλημμυρικού κύματος είναι η αποθήκευσή του υδατορεύματος σε μια φυσική λίμνη. Ο υδάτινος όγκος που συγκρατείται στη λίμνη, αυξάνεται μέσω της κατάλληλης ρύθμισης της εκροής από τη λίμνη με την κατασκευή ενός φράγματος.

Για την προστασία μιας πλημμυρίζουσας περιοχής, μπορούν ανάντη αυτής, να δημιουργηθούν νέες πλημμυρικές επιφάνειες, σε μη σημαντικές τοποθεσίες. Η δημιουργία αυτών των επιφανειών δύναται να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρόπους:

1. κατασκευάζοντας μια γέφυρα, όπου στο κατάντη άκρο της πλημμυρικής επιφάνειας θα έχει στενή υγρή διατομή, για να επιβραδύνεται η εκροή του πλημμυρικού κύματος,
2. κατασκευάζοντας εσωτερικά κανάλια, π.χ. αποστραγγιστικοί αγωγοί, συνδεδεμένοι με το κύριο υδατόρευμα της θεωρούμενης επιφάνειας, και
3. με υπερχειλίση κάποιων τμημάτων της όχθης, όμως πάντα προστατεύοντάς τες από τη διάβρωση.



Εικόνα 2.3-2: Δημιουργία πλημμυρικών επιφανειών (Vischer & Huber, 1985, Χρυσάνθου, 2015)

2.4 Δεξαμενές Ανάσχεσης Πλημμύρας (ΔΑΠ)

Τα τελευταία χρόνια στη διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των πλημμυρικών καταστροφών με τη χρήση **δεξαμενών ανάσχεσης πλημμύρας**. Η λειτουργία τους είναι ότι κάνουν ανάσχεση της πλημμύρας, αφού ο κύριος πλημμυρικός όγκος εκτονώνεται εκεί (Setty, 2007).

Η χρήση αυτών είναι ένα αποτελεσματικό μέτρο για ένα μοντέρνο μοντέλο διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου.

Οι λεκάνες ανάσχεσης είναι από τις καλύτερες πρακτικές διαχείρισης της πλημμύρας για να περιοριστεί η απορροή που προκαλείται από καταιγίδες.

Πλεονεκτήματα μιας ΔΑΠ (Leber, 2015):

1. οι ΔΑΠ είναι απλές αν παρέχεται ο κατάλληλος χώρος,
2. συλλογή νερού και βελτίωση ποιότητας νερού,
3. φυσική επεξεργασία νερού χωρίς επιπρόσθετο εξοπλισμό,
4. συλλογή νερού κατά τη διάρκεια πλημμυρικού επεισοδίου και έλεγχος πλημμύρας,
5. φόρτιση υπογείων υδροφορέων,
6. δημιουργία νέων βιότοπων και οικοσυστημάτων, και
7. ψυχαγωγία.

Μειονεκτήματα μιας ΔΑΠ (Leber, 2015):

1. μπορεί να είναι επικίνδυνη για πνιγμό, και
2. χρειάζονται μεγάλες εκτάσεις γης.

2.5 Είδη Δεξαμενών Ανάσχεσης Πλημμύρας

Τα είδη ΔΑΠ είναι τα ακόλουθα (Dauphin County):

1. **δεξαμενές παραμονής** νερού πλημμύρας (detention basin), στις οποίες το νερό κατά τη διάρκεια της πλημμύρας εισέρχεται στη ΔΑΠ (καθυστερώντας την πλημμύρα), υπεισέρχεται στο έδαφος και ότι απομένει, εξέρχεται από την ΔΑΠ μετά το πλημμυρικό γεγονός μέσω αγωγού, θυροφράγματος ή υπερχειλιστή, και
2. **δεξαμενές συγκράτησης** νερού πλημμύρας (retention basin), στις οποίες το νερό διατηρείται αποθηκευμένο στη ΔΑΠ και μετά το πλημμυρικό γεγονός.

Και οι δύο δεξαμενές έχουν σχεδιαστεί για να αποθηκεύουν απορροή και φαίνεται να είναι παρόμοιες στο σχεδιασμό. Ωστόσο, διαφέρουν ως προς τον σκοπό.

Κάποιες **γενικές αρχές σχεδιασμού** μιας ΔΑΠ είναι οι ακόλουθες (Dauphin County):

1. να υπάρχουν εκτάσεις τουλάχιστον 5 στρεμμάτων για απορροές,
2. η εισροή και η εκκένωση πρέπει να υπολογίζεται για κάθε επιλεγμένη καταιγίδα σχεδιασμού,
3. η θέση της ΔΑΠ πρέπει να είναι χαμηλότερη σε προβληματικές ή ανεπτυγμένες περιοχές,
4. η κατασκευή κοντά σε απότομες πλαγιές, γιατί δεν συνιστάται η τροποποίηση της υπάρχουσας κλίσης,
5. πρέπει να αποφεύγεται η συμπύκνωση του πυθμένα της λεκάνης,
6. οι κατασκευές εξόδου πρέπει να είναι ανθεκτικές στη διάβρωση και απόφραξη από

7. συντρίμια, ιζήματα και φυτικά υλικά,
 η ΔΑΠ μπορεί να είναι σκαμμένη στο έδαφος ή μπορεί να χτιστεί ένα ανάχωμα, ώστε να δημιουργηθεί μια ΔΑΠ, και
 8. το ανάχωμα πρέπει να είναι ικανό να ανταπεξέρχεται στα πλημμυρικά φαινόμενα χωρίς να παραμορφώνεται ή να αστοχεί.

2.6 Λειτουργία Δεξαμενών Ανάσχεσης Πλημμύρας – Παραμονής νερού

Οι δεξαμενές παραμονής νερού πλημμύρας σχεδιάζονται, για να δέχονται και να συγκρατούν την πλημμύρα προσωρινά (Harris County).

Είσοδος νερού στη ΔΑΠ:

Όταν οι ΔΑΠ παραμονής χρησιμοποιούνται για τη μείωση των τοπικών καταστροφών από πλημμύρες, σχεδιάζονται με έναν υπερχειλιστή ως διάταξη εισροής. Από τον υπερχειλιστή μετά από κάποια ορισμένη στάθμη, εισέρχεται νερό στη ΔΑΠ. Δεν είναι απαραίτητη η χρήση υπερχειλιστή, άλλες ΔΑΠ είναι στο ίδιο επίπεδο με το κανάλι και το νερό γεμίζει τη δεξαμενή όσο ανεβαίνει στο κανάλι.

Σε περίπτωση που στόχος είναι η προστασία των γύρω περιοχών από πλημμύρες, δεν είναι αναγκαίο να είναι η ΔΑΠ δίπλα στο κανάλι. Η ΔΑΠ μπορεί να αρχίσει να γεμίζει από έναν αγωγό όμβριων υδάτων.

Η λογική είναι ότι η διάταξη εισροής είναι μεγαλύτερη από τη διάταξη εκροής, για να υπάρχει ρυθμός αποθήκευσης της απορροής.

Έξοδος νερού από τη ΔΑΠ:

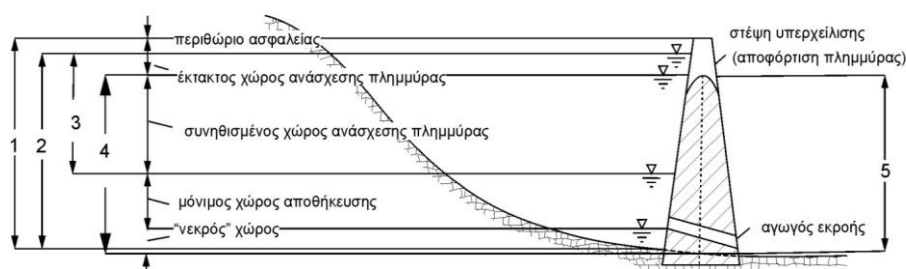
Συνήθως οι ΔΑΠ παραμονής σχεδιάζονται ώστε να μπορούν να αποστραγγίσουν ένα ποσό της απορροής ή χρησιμοποιούνται αντλίες ή μια διάταξη εκροής.

Η χρήση μιας διάταξης εκροής είναι η καταλληλότερη, σε περίπτωση που κριθεί αναγκαία μια εκκένωση ή ρύθμιση της εκροής.

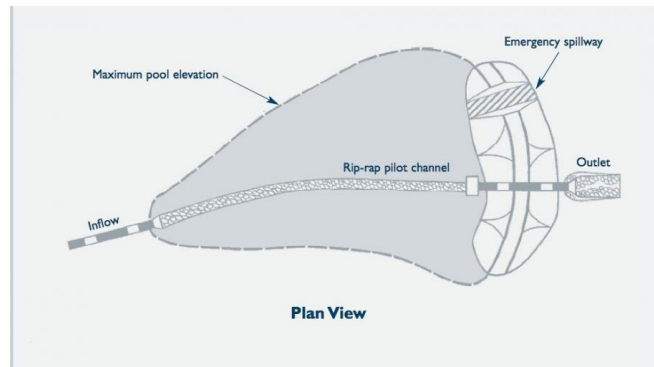
Λειτουργία μιας ΔΑΠ-παραμονής:

1. Σε κανονική ροή του καναλιού ή του ποταμού, η ΔΑΠ παραμονής παραμένει άδεια.
2. Αρχικές συνθήκες βροχής: Το νερό της βροχής αρχίζει σιγά-σιγά να εισέρχεται στη ΔΑΠ.
3. Σε κατάσταση βροχής: Όσο το νερό συνεχίζει να αυξάνει, προκαλείται «φούσκωμα» του καναλιού και εισέρχεται πλέον αρκετό νερό και από τον υπερχειλιστή και παραμένει εκεί.
4. Καθυστέρηση της ροής: Ένα ποσοστό νερού αποστραγγίζεται, ανάλογα με το έδαφος, το νερό παραμένει στη ΔΑΠ και ουσιαστικά καθυστερεί την πλημμύρα, διότι ο όγκος αυτός δεν πάει κατάντη προκαλώντας ζημιές.
5. Αποστράγγιση: Συμβαίνει καθ' όλη τη διάρκεια ανάλογα με το έδαφος και το κανάλι.
6. Έξοδος: ποσοστού νερού αφήνεται από θυρόφραγμα ή αγωγό εκροής για γρηγορότερη εκκένωση της ΔΑΠ.
7. Επιστροφή σε κανονική ροή του ποταμού με άδεια ΔΑΠ.

Ακολουθεί η Εικόνα 2.6-1 με τους χώρους που υπάρχουν σε κάθε ΔΑΠ και η Εικόνα 2.6-2 με την κάτοψη μιας ΔΑΠ-παραμονής.



Εικόνα 2.6-1: Χαρακτηριστικοί χώροι και αντίστοιχες στάθμες νερού σε μια ΔΑΠ. 1: χωρητικότητα δεξαμενής, 2: ολικός χώρος αποθήκευσης, 3: χώρος ανάσχεσης πλημμύρας, 4: χώρος αποθήκευσης S, 5: ύψος αποθήκευσης h (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου, 2015)



Εικόνα 2.6-2: Τυπική κάτοψη σε μια ΔΑΠ-παραμονής (UCONN, University of Connecticut)

2.7 Λειτουργία Δεξαμενών Ανάσχεσης Πλημμύρας – Συγκράτησης νερού

Η ΔΑΠ συγκράτησης νερού λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με τη ΔΑΠ παραμονής νερού.

Η retention basin είναι σχεδιασμένη να έχει μια **μόνιμη εσωτερική λεκάνη** (permanent pool) μέσα στην κατασκευή της. Το νερό μπαίνει στη ΔΑΠ και αποθηκεύεται πρώτα στην εσωτερική λεκάνη.

Η **λειτουργία** της γίνεται με τον εξής τρόπο (Setty, 2007):

1. Η είσοδος στη ΔΑΠ γίνεται με τον ίδιο τρόπο, μέσω ενός υπερχειλιστή ή ενός αγωγού.
2. Με τις κατάλληλες κλίσεις εδάφους το νερό μεταφέρεται αρχικά στην εσωτερική λεκάνη.
3. Σε κανονική ροή πρέπει η εσωτερική λεκάνη να είναι γεμάτη, ώστε να προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα που θα αναλυθούν παρακάτω.
4. Αρχικές συνθήκες βροχής: Το νερό της βροχής αρχίζει σιγά-σιγά να εισέρχεται στη ΔΑΠ
5. Σε κατάσταση βροχής: Όσο το νερό συνεχίζει να αυξάνει, προκαλείται «φούσκωμα» του καναλιού και εισέρχεται πλέον αρκετό νερό και από τον υπερχειλιστή ή κάποιον αγωγό και παραμένει εκεί.
6. Καθυστέρηση της ροής: Ένα ποσοστό νερού αποστραγγίζεται, ανάλογα με το έδαφος, το νερό παραμένει στη ΔΑΠ και ουσιαστικά καθυστερεί την πλημμύρα, διότι ο όγκος αυτός δεν πάει κατάντη προκαλώντας ζημιές.
7. Αποστράγγιση: Συμβαίνει, ομοίως, καθ' όλη τη διάρκεια ανάλογα με το έδαφος και το κανάλι. Η επεξεργασία της διήθησης μέσα από το έδαφος οδηγεί στην αφαίρεση των ρύπων.
8. Έξοδος: Υπάρχει κατάλληλη διάταξη εκροής, ένας αγωγός ή ένα θυρόφραγμα για να αφήνεται το νερό, όποτε είναι επιθυμητό.
9. Επιστροφή σε κανονική ροή του ποταμού με γεμάτη ΔΑΠ.
10. Όταν ξαναέρθει πλημμύρα με σωστή προετοιμασία και έγκαιρη πρόβλεψη, μπορεί το νερό να αφεθεί για να επιτευχθεί εκ νέου ανάσχεση και βιολογική επεξεργασία.

Η συγκεκριμένη ΔΑΠ έχει πολλαπλές χρήσεις, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Πρέπει να έχει πάντα μια σταθερή ποσότητα όγκου νερού, ώστε να ωφελεί με τις ιδιότητες της που είναι οι ακόλουθες:

1. **Αφαίρεση θρεπτικών ουσιών / ρύπων** - Μια λεκάνη συγκράτησης με μόνιμη δεξαμενή νερού απομακρύνει αποτελεσματικά τα θρεπτικά συστατικά εκτός από άλλους ρύπους. Η μόνιμη δεξαμενή εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα βροχοπτώσεων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους
2. Πρόβλεψη ιζήματος (μια ρηχή κατάθλιψη στην είσοδο της λεκάνης που συλλαμβάνει μεγάλα σωματίδια ιζημάτων) θα βοηθήσουν στην **προεπεξεργασία του νερού**. Τακτικός έλεγχος ποιότητας νερού πρέπει να γίνει για την αξιολόγηση καθορισμένων χρήσεων.
3. **Επαναφόρτιση υπογείων υδάτων** - Η λεκάνη δεν πρέπει να διαθέτει επένδυση.
4. **Αφαίρεση απορριμμάτων** - Θα πρέπει να τοποθετηθεί σχάρα σκουπιδιών στην είσοδο ή/ και στην έξοδο της λεκάνης.

Απαιτείται τακτική αφαίρεση απορριμμάτων.

Η ποιότητα του νερού δεν είναι καλή αν δεν χρησιμοποιούνται κατάλληλα οι ΔΑΠ.

Η εισροή και η εκκένωση πρέπει να υπολογίζεται για κάθε επιλεγμένη καταιγίδα σχεδιασμού, διότι

η κάθε πλημμύρα διαφέρει.

Όσον αφορά στον **χρόνο αποθήκευσης**, η απομάκρυνση των θρεπτικών, συνήθως, συμβαίνει σε διάστημα αποθήκευσης 2-3 εβδομάδες για δεξαμενές με 1-2 μέτρα (m) βάθος. Με άλλα λόγια, μία σταγόνα νερού θα πρέπει να μένει 2-3 εβδομάδες στη λεκάνη ανάσχεσης. Αν μείνει λιγότερο χρόνο, θα οδηγήσει σε φυσική απομάκρυνση θρεπτικών ανεπαρκώς, ενώ αν μείνει περισσότερο χρόνο θα στρωματοποιηθεί με βάση τη θερμοκρασία. Ο χρόνος ανάσχεσης μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση (Setty, 2007):

$$T = V_B / (n V_R) \quad (2.7-1)$$

όπου

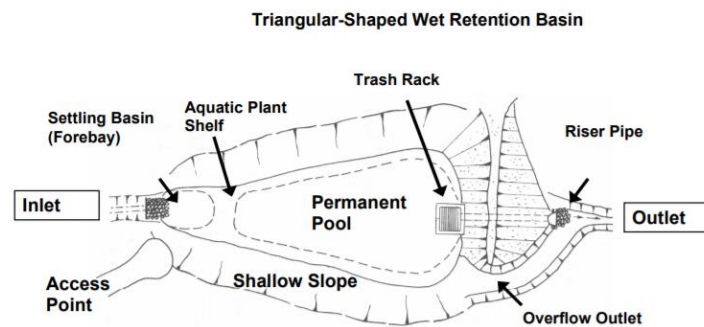
T: ο χρόνος αποθήκευσης-ανάσχεσης,

V_B : ο όγκος της ΔΑΠ (όγκος = έκταση x βάθος δεξαμενής),

n: ο αριθμός πλημμυρικών επεισοδίων σε δεδομένο χρονικό διάστημα (π.χ. σε ένα χρόνο), και

V_R : ο όγκος της απορροής σε ένα κατά μέσο όρο πλημμυρικό επεισόδιο για εκείνη την περίοδο.

Είναι σημαντικό, επίσης, να υπάρχει απόθεμα σε περιόδους ξηρασίας ή να αφήνεται νερό σε υγρές περιόδους.



Εικόνα 2.7-1: Τυπική ΔΑΠ-συγκράτησης (Setty, 2007)

2.8 Χωροθέτηση δεξαμενών ανάσχεσης

Η ιδανική τοποθεσία, για να είναι χρήσιμες οι ΔΑΠ, είναι, να βρίσκονται ανάντη της πόλης, διότι θα περιορίσουν το νερό που θα έμπαινε στην πόλη (Setty, 2007).

Όσο για τη θέση των δεξαμενών ως προς το υδατόρευμα, υπάρχουν δεξαμενές, τις οποίες διαπερνά το υδατόρευμα και δεξαμενές που βρίσκονται δίπλα στο υδατόρευμα, για τις οποίες, λοιπόν, απαιτούνται διατάξεις εισροής, για να εισέλθει το νερό από το υδατόρευμα στη ΔΑΠ (Χρυσάνθου, 2015).

Οι παρακάτω **περιορισμοί χωροθέτησης** πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη όταν θα αποφασίζεται η εγκατάσταση μιας ΔΑΠ (Pima County, 2014):

1. δεν μπορούν να κατασκευαστούν δεξαμενές σε περιοχές όπου δεν υπάρχει επαρκής κατακρήμνιση, αν είναι επιθυμητή η κατασκευή μιας ΔΑΠ-συγκράτησης νερού, γιατί πρέπει να μπορεί να διατηρεί συνεχώς μια σταθερή ποσότητα νερού,
2. δεν ενδείκνυνται περιοχές με πολύ διαπερατά εδάφη. Σε μερικές περιπτώσεις, όπου τα εδάφη είναι πολύ διαπερατά, επικαλύπτονται με στρώσεις αργίλου για να γίνουν λιγότερο διαπερατά,
3. το νερό στις δεξαμενές είναι συνήθως θερμό, συνεπώς η χρήση του μπορεί να περιοριστεί σε περιοχές που το θερμό νερό επηρεάζει αρνητικά την αλιεία σε κρύο νερό,
4. το τοπικό κλίμα, όπως π.χ. η θερμοκρασία, μπορεί να επηρεάσει τη βιολογική ανάπτυξη μέσα στη ΔΑΠ,
5. συνήθως, δεν τίθενται περιορισμοί για τα ιζήματα που απομακρύνονται από τις ΔΑΠ. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα ιζήματα από τις δεξαμενές μπορούν να ταφούν με ασφάλεια,
6. οι λεκάνες ανάσχεσης πρέπει να βρίσκονται στα όρια του έργου,
7. οι λεκάνες πρέπει να βρίσκονται σε σημεία που βεβαιώνουν ότι το βάθος, το πλάτος και η ταχύτητα της ροής μετά την κατασκευή θα είναι περίπου ίδια με τις συνθήκες ροής πριν την κατασκευή, όταν η ροή θα εξέρχεται από τα όρια του έργου,

8. οι ΔΑΠ πρέπει να βρίσκονται σε περιοχές που μπορούν να προσφέρουν αποστράγγιση, και
9. οι κατασκευές εισόδου ή εξόδου να μην έχουν άμεση κατεύθυνση προς πεζοδρόμια προς ράμπες ή χώρους στάθμευσης αναπήρων, ώστε να προστατεύονται από τυχόν υπερπήδηση.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

3.1 Γενικά

Για τη διαστασιολόγηση των ΔΑΠ είναι καθοριστικά τα ακόλουθα υδρολογικά μεγέθη (Χρυσάνθου, 2015):

1. η **παροχή αιχμής** ή η μέγιστη στάθμη του νερού μέσα στη ΔΑΠ, και
2. ο **όγκος του πλημμυρικού κύματος**.

Το πρώτο υδρολογικό μέγεθος είναι καθοριστικό ειδικότερα για τη διαστασιολόγηση της διάταξης αποφόρτισης της πλημμύρας (υπερχειλιστής).

Το δεύτερο υδρολογικό μέγεθος χρησιμεύει στον καθορισμό του όγκου της ΔΑΠ, ο οποίος προβλέπεται για την προσωρινή υποδοχή της πλημμύρας. Αυτός ο όγκος νερού αντιστοιχεί σε μια απορροή στο υδατόρευμα κατάντη της ΔΑΠ σε επόμενο χρονικό διάστημα, χωρίς πρόκληση ζημιών.

3.2 Βήμα 1: Καθορισμός περιόδου επαναφοράς και πλημμυρογραφήματος σχεδιασμού της ΔΑΠ

Στον Πίνακα 3.2-1 δίνονται οι περίοδοι επαναφοράς των πλημμυρών, βάσει των οποίων καθορίζεται ο όγκος της ΔΑΠ, ανάλογα προς το είδος εκμετάλλευσης της περιοχής κατάντη της ΔΑΠ (Χρυσάνθου, 2015).

Πίνακας 3.2-1: Περίοδοι επαναφοράς T πλημμυρών μελέτης για τη διαστασιολόγηση του χώρου ανάσχεσης πλημμυρών (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου, 2015)

Κατηγορία	Κατάντη περιοχή	T (έτη)
I	Βιομηχανική περιοχή	100
II	Δομημένη περιοχή, οδοί κυκλοφορίας	50 έως 100
III	Μεμονωμένα κτίσματα, οικισμοί μη κατοικούμενοι διαρκώς	25 έως 50
IV	Γεωργική περιοχή, εντατικά καλλιεργούμενη	10 έως 25
V	Αγροί	5 έως 10

Επίσης, πρέπει να είναι γνωστό το πλημμυρογράφημα εισόδου, το οποίο δίνει τις ακόλουθες πληροφορίες:

1. την **πλημμυρική αιχμή**, και
2. το **συνολικό όγκο βροχής**

Το πλημμυρικό κύμα εισροής σε μια λίμνη (φυσική ή τεχνητή), μετατρέπεται σ' ένα μετριασμένο κύμα εκροής Q_A . V_R είναι ο όγκος ανάσχεσης που χαρακτηρίζεται ως αποθήκευση. Η εξίσωση συνέχειας για τη λίμνη έχει την ακόλουθη μορφή:

$$Q_Z \Delta t = Q_A \Delta t + A \Delta h \quad (3.2-1)$$

όπου

Q_Z : η παροχή εισροής,

Q_A : η παροχή εκροής,

A : η επιφάνεια του ταμιευτήρα,

Δt : το χρονικό βήμα,

Δh : η μεταβολή της στάθμης νερού του ταμιευτήρα, και

$A \Delta h$: ο όγκος ανάσχεσης.

3.3 Βήμα 2: Χωροθέτηση της ΔΑΠ

Για τη χωροθέτηση μιας ΔΑΠ ιδανικές θεωρούνται οι περιοχές, οι οποίες έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Setty, 2007, Pima County, 2014):

1. Έχουν φυσικά πρανή, για να μην απαιτηθεί η κατασκευή αναχώματος γύρω από όλη την κατασκευή, και

2. έχουν μεγάλες εκτάσεις με κατάλληλα εδάφη για αποστράγγιση.

Οι ΔΑΠ δεν χωροθετούνται, συνήθως, σε μικρές εκτάσεις και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, γιατί απαιτούν σημαντική έκταση για αποστράγγιση και λοιπές διεργασίες, όπως π.χ. για συλλογή ιζήματος, για προστασία από διάβρωση και για τη συντήρησή τους.

3.4 Βήμα 3: Προσδιορισμός των περιμετρικών ορίων και των θέσεων αναχωμάτων της ΔΑΠ

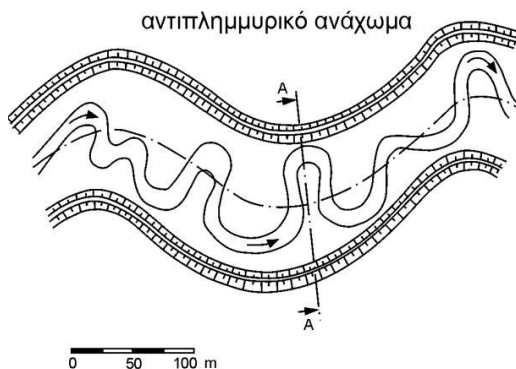
Το βήμα 3 αφορά τα ακόλουθα:

1. καθορισμός περιμετρικών ορίων για να οριοθετηθεί η ΔΑΠ,
2. προσθήκη αναχωμάτων, για να δημιουργηθεί μια κλειστή δεξαμενή, και
3. εκσκαφή, σε περίπτωση που απαιτείται μεγαλύτερο βάθος, για να μπορεί η ΔΑΠ να ανασχέσει περισσότερο όγκο νερού.

Η κατασκευή **γήινων-χωμάτινων** αναχωμάτων απαιτείται όταν (Χρυσάνθου, 2015):

1. η τοπογραφία ή οι υπάρχουσες υποδομές της περιοχής δεν επιτρέπουν την κατασκευή μιας ΔΑΠ, και
2. σε περίπτωση πλημμυρών, η στάθμη του νερού βρίσκεται υψηλότερα από τις υπό προστασία επιφάνειες. Αν δεν κατασκευαστούν αναχώματα, για να ελαττώσουν αυτή την υψομετρική διαφορά, θα πλημμυρίσουν οι γύρω και οι κατάντη περιοχές του ποταμού.

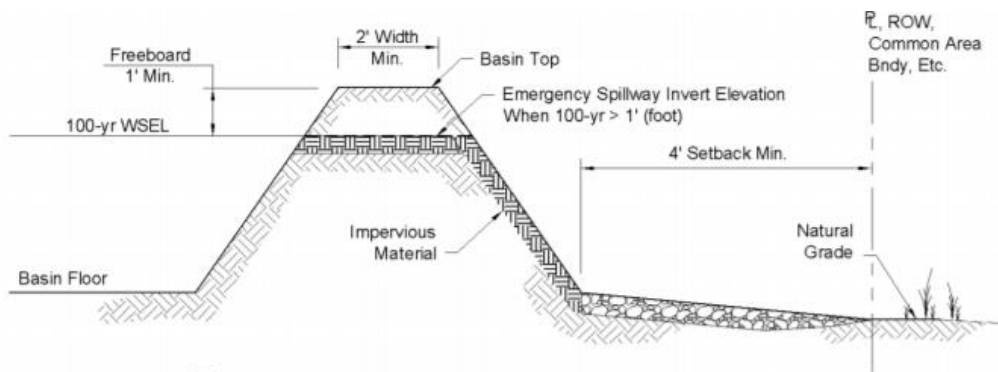
Η τοποθέτηση και η διάταξή τους γίνεται απευθείας στον ποταμό ή σε μια πλημμυρική κοίτη, για τη σωστή διόδευση της πλημμυρικού κύματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.4-1.



Εικόνα 3.4-1: Αντιπλημμυρικό ανάχωμα (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου 2015)

Για την κατασκευή τους, πρέπει να γίνουν τα ακόλουθα (Pima County, 2014):

1. ανάλυση του φυσικού περιβάλλοντος κατάντη των αναχωμάτων, δηλαδή οι φυσικές δίοδοι αποστράγγισης και οι υποδομές αποστράγγισης,
2. ανάλυση επιπτώσεων σε περίπτωση αστοχίας των αναχωμάτων, δηλαδή ποια θα είναι η επίδραση στην ασφάλεια του κοινού και στις περιουσίες τους,
3. εκσκαφή των πρώτων 15 cm για την εξυγίανση του εδάφους,
4. προσεκτική κατασκευή διάταξης εξόδου, ώστε να μην υπάρχει κάποια διαρροή νερού που θα οδηγήσει στην αστοχία των αναχωμάτων,

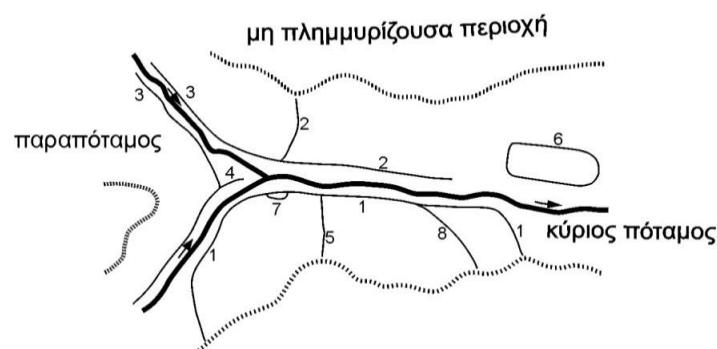


Εικόνα 3.4-2: Απαιτήσεις αναχώματος (Pima County, 2014)

5. κατασκευή υπερχειλιστή από αδιαπέρατο υλικό, και
6. προστασία από πλευρικές πιέσεις για αποφυγή διάβρωσης.

Στην Εικόνα 3.4-3 φαίνονται τα κύρια **είδη των αναχωμάτων** με την ακόλουθη αρίθμηση (Χρυσάνθου, 2015):

1. κλειστά αναχώματα: δημιουργούν μια κλειστή περιοχή,
2. ανοικτά αναχώματα: είναι ανοικτά στο κατάντη άκρο κύριος σκοπός τους είναι η προστασία από διάβρωση,
3. αναχώματα συγκράτησης: συνοδεύουν έναν παραπόταμο,
4. καθοδηγητικά αναχώματα: καθοδηγούν τη ροή και εμποδίζουν την απόθεση φορτίου κοίτης,
5. εσωτερικά αναχώματα: χωρίζουν την υπό προστασία περιοχή, ώστε σε περίπτωση θραύσης του κύριου αναχώματος να μειωθούν οι ζημιές,
6. αναχώματα με μορφή δακτυλίου: προστατεύουν μικρές περιοχές από πλημμύρες,
7. αναχώματα πηγών: περικλείουν εξόδους πηγών κοντά στο κύριο ανάχωμα, και
8. αναχώματα «ύπνου»: εξασφαλίζουν επιπρόσθετη προστασία.

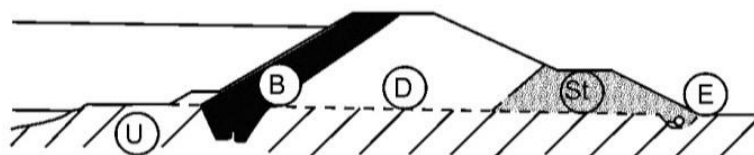


Εικόνα 3.4-3: Είδη αναχωμάτων και η αρίθμησή τους (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου 2015)

Οι **συνέπειες** που προκύπτουν από την κατασκευή αναχωμάτων είναι οι ακόλουθες (Χρυσάνθου, 2015):

1. Περιορίζεται η φυσική διαδικασία συγκράτησης της πλημμύρας, κατάντη των αναχωμάτων υπάρχει μεγαλύτερη και γρηγορότερη πλημμυρική απορροή, εφόσον στενεύει η πλημμυρική κοίτη από τα αναχώματα σε σύγκριση με τη φυσική κοίτη πριν την τοποθέτησή τους.
2. Εξαιτίας της μεγάλης απορροής, η κοίτη και τα πρανή καταπονούνται περισσότερο.
3. Δεν καταφθάνει τόσο νερό στον υπόγειο υδροφόρα κατά τις πλημμύρες, ενώ κανονικά οι πλημμύρες συμβάλλουν στη φόρτιση και ανανέωση των υπόγειων νερών.
4. Σε ό,τι αφορά στη γεωργία, τα λιπάσματα, στις περιοχές που πλημμυρίζουν, απομακρύνονται μέσω των μεταφερόμενων φερτών υλών.

Στην Εικόνα 3.4-4, παρουσιάζεται η ιδεατή διατομή ενός αναχώματος, το οποίο προστατεύεται έναντι αστοχίας (Χρυσάνθου, 2015).



Εικόνα 3.4-4: Ιδεατή σύνθεση της διατομής αναχώματος (B: στεγανοποίηση, D: διαπερατό κύριο σώμα, U: έδαφος θεμελίωσης, St: φίλτρο, E: αποστράγγιση) (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου 2015)

3.5 Βήμα 4: Προσδιορισμός των εξισώσεων στάθμης-παροχής, όγκου-στάθμης και επιφάνειας-στάθμης της ΔΑΠ

Η εξίσωση στάθμης-παροχής, γνωστή και ως **σχέση (ή καμπύλη) στάθμης - παροχής** (stage-discharge curve, rating curve) προσδιορίζεται από τα ζεύγη της παροχής και της στάθμης που αναγράφονται σε κάθε σταθμό. Η καμπύλη αυτή είναι συνήθως παραβολικής μορφής (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012).

Η γενική μορφή της εξίσωσης είναι (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012):

$$Q = k(h - a)^b \quad (3.5-1)$$

όπου

Q: η παροχή,

h: η στάθμη

a: η στάθμη h για την οποία η παροχή Q είναι μηδέν, και

k, b σταθερές.

Σε απλές από γεωμετρική άποψη διατομές της κοίτης ισχύει η εξίσωση με τιμές του εκθέτη k από 1.5 έως 3.

Σε πιο σύνθετες διατομές, όπου η γεωμετρία της κοίτης μεταβάλλεται με τη στάθμη, η καμπύλη μπορεί να αποτελείται από τμήματα, καθένα από τα οποία προσεγγίζεται από την Εξίσωση 3.5-1.

Για την **εξίσωση επιφάνειας-στάθμης** και για την **εξίσωση στάθμης-όγκου** πρέπει να είναι γνωστή η φυσική διαμόρφωση της περιοχής, διότι όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.5-1, τα πρηνή αλλάζουν την επιφάνεια σε κάθε στάθμη (Χρυσάνθου, 2015).

$$S = \Delta h \left(\frac{A_1}{3} + \frac{A_1 + A_2}{2} + \dots + \frac{A_{n-1} + A_n}{2} \right) \quad (3.5-2)$$

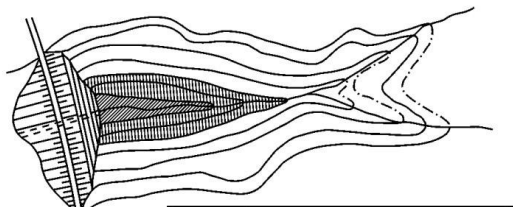
όπου

S: η χωρητικότητα του ταμιευτήρα

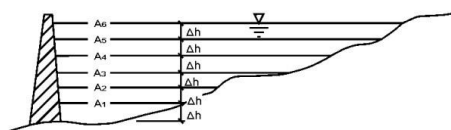
A: η επιφάνεια του ταμιευτήρα, και

Δh : διαφορά υψών

Η διατομή δεν είναι σταθερή σε κάθε ύψος και εξαρτάται από την τοπογραφία. Συνήθως, όσο αυξάνεται η στάθμη λόγω των κλίσεων πλευρικά, παρατηρείται διαπλάτυνση της επιφάνειας όπως φαίνεται στην Εικόνες 3.5-1 και 3.5-2:

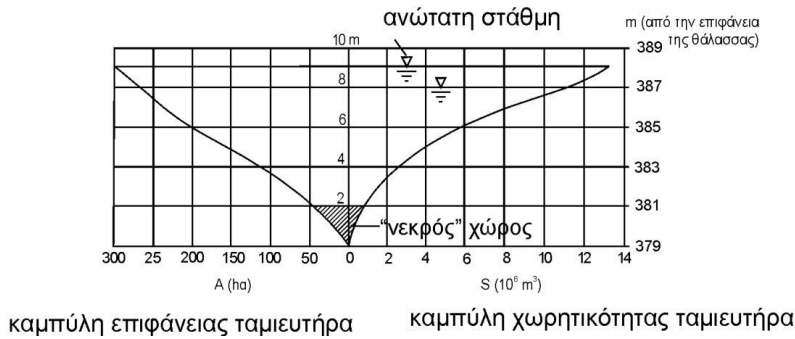


Εικόνα 3.5-1: Εύρεση της χωρητικότητας ενός ταμιευτήρα (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου, 2015)



Εικόνα 3.5-2: Εύρεση της χωρητικότητας ενός ταμιευτήρα (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου, 2015)

Τα αποτελέσματα των ανωτέρω υπολογισμών μπορούν να παρασταθούν γραφικά σε δύο διαγράμματα, σ' ένα διάγραμμα **επιφάνεια-στάθμης** και σ' ένα δεύτερο διάγραμμα **χωρητικότητας-στάθμης**, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.5-3.



Εικόνα 3.5-3: Διάγραμμα επιφάνειας-στάθμης, χωρητικότητας-στάθμης ενός ταμιευτήρα (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου, 2015)

3.6 Βήμα 5: Προσδιορισμός των θέσεων διατάξεων εισροής και εκροής της ΔΑΠ και διαστασιολόγησή τους

Οι υπερχειλιστές είναι τεχνητές διατομές που λειτουργούν ως (Νουτσόπουλος, Χριστοδούλου, Παπαθανασιάδης, 2007):

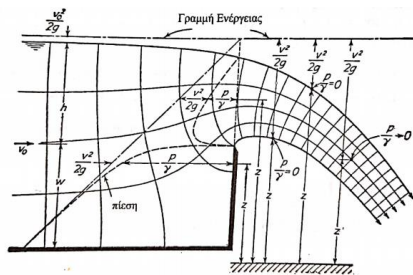
1. έργα ασφαλείας, και
2. κατασκευές ελεγχόμενης διοχέτευσης των πλημμυρικών παροχών

Από την εξίσωση στάθμης-παροχής στο προηγούμενο βήμα επιλέγεται σε ποια στάθμη θα τοποθετηθεί ο υπερχειλιστής, δηλαδή από ποια παροχή-στάθμη και άνω θα υπερπηδήσει το νερό μέσα στη ΔΑΠ. Χρησιμοποιείται ως **διάταξη εισροής**.

Ο υπερχειλιστής μπορεί να είναι:

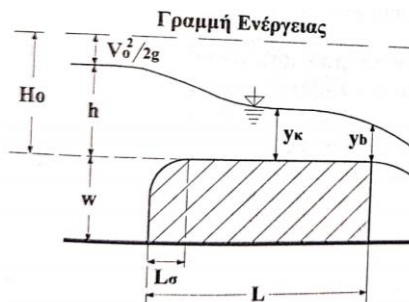
1. λεπτής στέψης, ή
2. ευρείας στέψης.

Η πιο απλή μορφή υπερχειλιστή είναι με λεπτή στέψη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.6-1, όπου ο καθολικός μετωπικός υπερχειλιστής, φράζει τη διώρυγα ορθογωνικής διατομής.



Εικόνα 3.6-1: Υπερχειλιστής λεπτής στέψης (Νουτσόπουλος, Χριστοδούλου, Παπαθανασιάδης, 2007)

Οι υπερχειλιστές ευρείας στέψης, χρησιμοποιούνται όπως και εκείνοι της λεπτής στέψεως. Είναι εύκολοι στην κατασκευή και ασφαλείς έναντι καταπονήσεων από τη ροή. Η τυπική μορφή ενός υπερχειλιστή ευρείας στέψης φαίνεται στην Εικόνα 3.6-2.



Εικόνα 3.6-2: Υπερχειλιστής ευρείας στέψης (Νουτσόπουλος, Χριστοδούλου, Παπαθανασιάδης, 2007)

Η παροχή εισόδου πάνω από τον υπερχειλιστή λεπτής στέψης δίνεται από τον τύπο (Νουτσόπουλος, Χριστοδούλου, Παπαθανασιάδης, 2007):

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} h^{3/2} \mu L \quad (3.6-1)$$

όπου

Q: η παροχή που περνάει από τον υπερχειλιστή,

g: η επιτάχυνση βαρύτητας,

h: το ύψος πάνω από τον υπερχειλιστή,

μ ο συντελεστής παροχής, και

L: το πλάτος του υπερχειλιστή

Ο συντελεστής παροχής μ δίνεται από τον τύπο (Νουτσόπουλος, Χριστοδούλου, Παπαθανασιάδης, 2007):

$$\mu = 0.605 + 0.08 \frac{h}{w} + \frac{0.001}{h} \quad (3.6-2)$$

όπου

h: το ύψος πάνω από τον υπερχειλιστή, και

w: το ύψος του υπερχειλιστή, όπως φαίνονται στην Εικόνα 3.6-1.

Η παροχή εισόδου πάνω από έναν υπερχειλιστή **ευρείας στέψης** δίνεται από τον τύπο (Νουτσόπουλος, Χριστοδούλου, Παπαθανασιάδης, 2007):

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} H_o^{3/2} L \quad (3.6-3)$$

όπου

Q: η παροχή που περνάει από τον υπερχειλιστή,

g: η επιτάχυνση βαρύτητας,

H_o: το ύψος ενέργειας πριν τον υπερχειλιστή,

L: το πλάτος του υπερχειλιστή, όπως φαίνονται και στην Εικόνα 3.6-2.

Ο όγκος ανάσχεσης της πλημμύρας εξαρτάται, επίσης, από το αν η εκροή του νερού μέσω του φράγματος είναι ρυθμιζόμενη ή μη ρυθμιζόμενη.

Σε περίπτωση ρυθμιζόμενης εκροής, πρέπει να αποσαφηνιστεί ποια θα είναι η **διάταξη εκροής**.

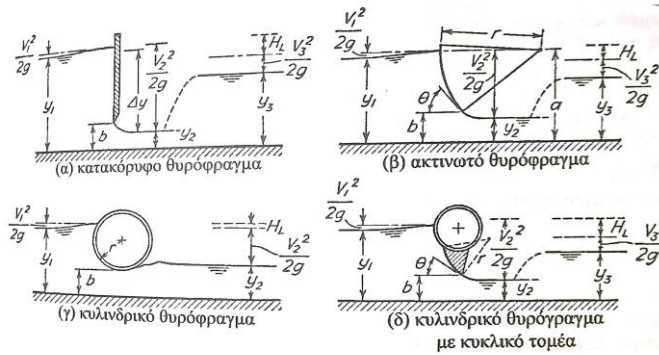
Αυτή μπορεί να είναι:

1. θυρόφραγμα,
2. αγωγός εκροής, ή
3. αντλία.

Πρέπει να υπάρχει προσαρμογή της εκροής στην πλημμυρική παροχή και στη διοχετευτικότητα του υδατορεύματος κατάντη της ΔΑΠ, ώστε να υπάρχει μια ομαλή σύνδεση μεταξύ της ΔΑΠ και του υδατορεύματος.

Το **θυρόφραγμα** οδηγεί στη ρύθμιση της παροχής, πρέπει να είναι κινητό, εξασφαλίζοντας το απαιτούμενο άνοιγμα για την παροχέτευση της παροχής που επιθυμείται να υπάρχει κατάντη της ΔΑΠ (Νουτσόπουλος, Χριστοδούλου, Παπαθανασιάδης, 2007).

Στην Εικόνα 3.6-3, φαίνονται οι τυπικές μορφές κινητών θυροφραγμάτων:



Εικόνα 3.6-3: Τυπικές μορφές κινητών θυροφραγμάτων (Νουτσόπουλος, Χριστοδούλου, Παπαθανασιάδης, 2007)

Η παροχή του κάθε θυροφράγματος καθορίζεται από τον ακόλουθο τύπο (Τζιμόπουλος, 1994, Μπαλιώτη, 2018):

$$Q = \frac{2}{3} (2g)^{0.5} C L (H1^{1.5} - H2^{1.5}) \tag{3.6-4}$$

όπου

Q: η παροχή του θυροφράγματος,

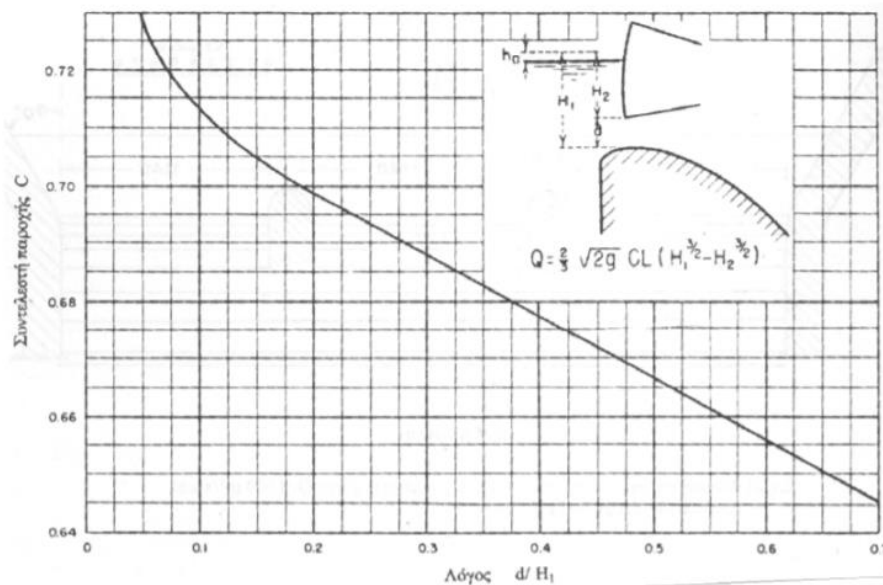
g: η επιτάχυνση της βαρύτητας,

C: ο συντελεστής παροχής που προκύπτει από το διάγραμμα στην Εικόνα 3.6-4,

L: το πλάτος του θυροφράγματος,

H1, H2: τα ύψη που φαίνονται στην Εικόνα 3.6-4,

d: η υψομετρική διαφορά των H1, H2



Εικόνα 3.6-4: Υπολογισμός παροχής θυροφράγματος (Τζιμόπουλος, 1994, Μπαλιώτη, 2018)

Ανάμεσα στη στάθμη του όγκου ανάσχεσης και στην ανώτατη στέψη του φράγματος πρέπει να προβλέπεται ένα περιθώριο ασφαλείας. Το ελεύθερο περιθώριο εξαρτάται από τον σχηματισμό των κυμάτων στην επιφάνεια του ταμιευτήρα λόγω ανέμου. Συνιστάται ελεύθερο περιθώριο ίσο με 1.00 έως 1.50 m.

Στην Εικόνα 3.6-5, φαίνονται, για παράδειγμα, τα ακτινωτά κινητά θυροφράγματα στο ΥΗΕ (υδροηλεκτρικό έργο) των Κρεμαστών, τα οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ανοικτά και επιτρέπουν στο νερό να περάσει.



Εικόνα 3.6-5: Τοξωτά θυροφράγματα (Μουτάφης)

ο **κλειστός αγωγός εκροής** του νερού μέσα στο σώμα του φράγματος διαστασιολογείται με τη βοήθεια του τύπου (Χρυσάνθου, 2015):

$$Q = \alpha A (2g h_D)^{1/2} \quad (3.6-5)$$

όπου

Q: η παροχή,

α: ο συντελεστής, μέσω του οποίου λαμβάνεται υπόψη η συστολή της δέσμης νερού,

A: η επιφάνεια της υγρής διατομής,

g: η επιτάχυνση βαρύτητας, και

h_D : το ύψος πίεσης (διαφορά μεταξύ στάθμης ελεύθερης επιφάνειας ταμιευτήρα και άξονα του αγωγού στην περίπτωση ελεύθερης εκροής, διαφορά μεταξύ στάθμης ελεύθερης επιφάνειας ταμιευτήρα και στάθμης νερού κατόπιν του φράγματος στην περίπτωση βυθισμένης εκροής)

Η τιμή του συντελεστή α δίδεται από τη σχέση:

$$\alpha = (1 + \sum \zeta_i)^{-1/2} \quad (3.6-6)$$

όπου

ζ_i : οι συντελεστές τοπικών απωλειών ενέργειας, και

$\sum \zeta_i$: το άθροισμα αυτών

3.7 Βήμα 6: Διαστασιολόγηση της ΔΑΠ

Ο όγκος της ΔΑΠ δύναται να εκτιμηθεί, από τη σχέση (Χρυσάνθου, 2015):

$$S = (ah)^b \quad (3.6-7)$$

όπου

S: όγκος

h: ύψος ΔΑΠ

a,b: οι συντελεστές που επιλέγονται από τον Πίνακα 3.7-1.

Ανάλογα με το αν η ΔΑΠ είναι αβαθής, αν θα έχει μόνιμο όγκο νερού (retention pond) ή αν δε θα έχει μόνιμο όγκο νερού (detention pond), επιλέγονται τα a,b.

Πίνακας 3.7-1: Εμπειρική σχέση για τον όγκο μιας ΔΑΠ (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου, 2015)

Αβαθής ΔΑΠ	$S = 10^5 h \text{ (m}^3\text{)}$
ΔΑΠ με μόνιμο όγκο νερού	$S = 10^5 (0.5h)^{1.7} \text{ (m}^3\text{)}$
ΔΑΠ χωρίς μόνιμο όγκο νερού	$S = 10^5 (0.4h)^{2.2} \text{ (m}^3\text{)}$

Για τον όγκο του κάθε πλημμυρικού κύματος που εισέρχεται, συγκρατείται ένα ποσοστό του στη ΔΑΠ, το οποίο μπορεί να είναι μεγαλύτερο, ίσο ή μικρότερο του (Χρυσάνθου, 2015).

Στον Πίνακα 3.7-2 δίνεται ένα εύρος τιμών για το βαθμό προστασίας της ΔΑΠ ανάλογα με τον όγκο της και την έκταση της λεκάνης απορροής.

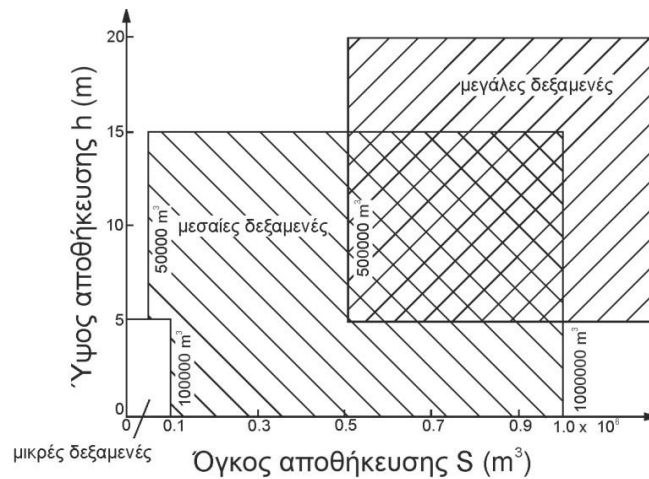
Πίνακας 3.7-2: Βαθμός προστασίας της ΔΑΠ (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου, 2015)

Έκταση λεκάνης απορροής	Βαθμός προστασίας	Όγκος ΔΑΠ
> 50 km ²	μικρός	10000 έως 25000 m ³ /km ²
10 έως 50 km ²	μέσος	25000 έως 50000 m ³ /km ²
< 10 km ²	μεγάλος	50000 έως 100000 m ³ /km ²

Το **μέγεθος της ΔΑΠ** διακρίνεται με βάση το ύψος αποθήκευσης και τον όγκο αποθήκευσης σε (Χρυσάνθου, 2015):

1. μικρή,
2. μεσαία, και
3. μεγάλη

όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.7-1.



Εικόνα 3.7-1: Ταξινόμηση ΔΑΠ σύμφωνα με το μέγεθος (Lange & Lecher, 1993, Χρυσάνθου, 2015)

4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

4.1 Η περίπτωση του ποταμού Άραχθου

Ο Άραχθος ή Άραττος είναι «Ο Ποταμός, που συντρίβει τη γη». Ο Άραχθος ποτέ δεν ήταν ένας ήρεμος ποταμός. Πρόκειται για έναν από τους πιο ορμητικούς ποταμούς της Ελλάδας. Το μαρτυρά άλλωστε και το όνομά του. Ονομάστηκε Άραττος, ή Άρατθος ή Άραχθος από το ρήμα αράττω, το οποίο σημαίνει χτυπώ, κρούω ισχυρά, συντρίβω (Φράγμα Πουρναρίου, <https://www.artavoice.gr/themata/fragmenta-pournarion/>).

Είναι ένας από τους μεγαλύτερους ποταμούς της Ελλάδας, ο 8^{ος} στην Ελλάδα. Έχει μήκος 110 χιλιόμετρα και διαρρέει φαράγγια, βουνά και χαράδρες. Πηγάζει από την Πίνδο, την περιοχή του Μετσόβου και καταλήγει στον Αμβρακικό Κόλπο. Ο Άραχθος ποταμός είναι γνωστός και ως ο ποταμός της Άρτας, επειδή διέρχεται κάτω από το ξακουστό γεφύρι της πόλης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1-1 (Άραχθος ποταμός, www.mixanitouxronou.gr).

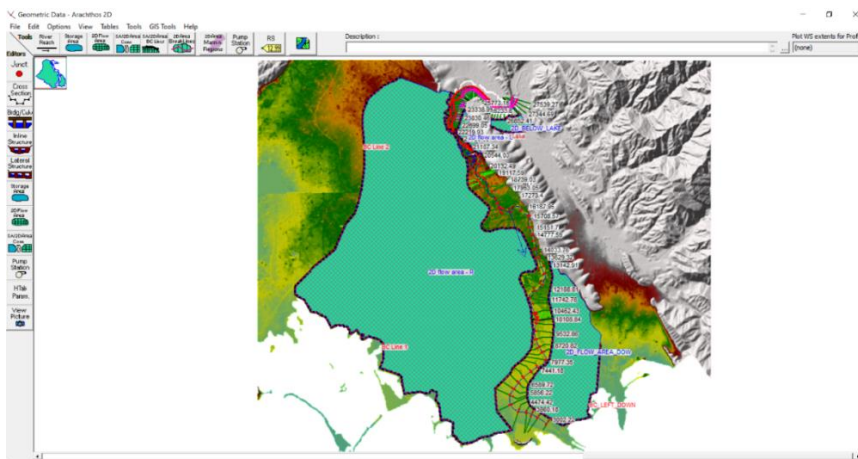


Εικόνα 4.1-1: Το γεφύρι της Άρτας (Wikipedia)

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία εξετάστηκε η κατασκευή μιας **ΔΑΠ-συγκράτησης**, δηλαδή ενός **detention pond** στην περιοχή του ποταμού Άραχθου, στην γύρω περιοχή της Άρτας, η οποία κατοικείται από 43166 κατοίκους (με βάση την απογραφή του 2011), με στόχο τη μείωση της πλημμυρικής αιχμής.

Μέσω του προγράμματος **HEC-RAS** έγινε προσομοίωση για τη λειτουργία της ΔΑΠ σε κατάσταση πλημμύρας.

Στην Εικόνα 4.1-2 δίνεται ο χάρτης σε περιβάλλον HEC-RAS, όπου φαίνονται όλες οι διατομές που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του μοντέλου, καθώς και το έδαφος και κάποιες φυσικές περιοχές αποθήκευσης νερού.

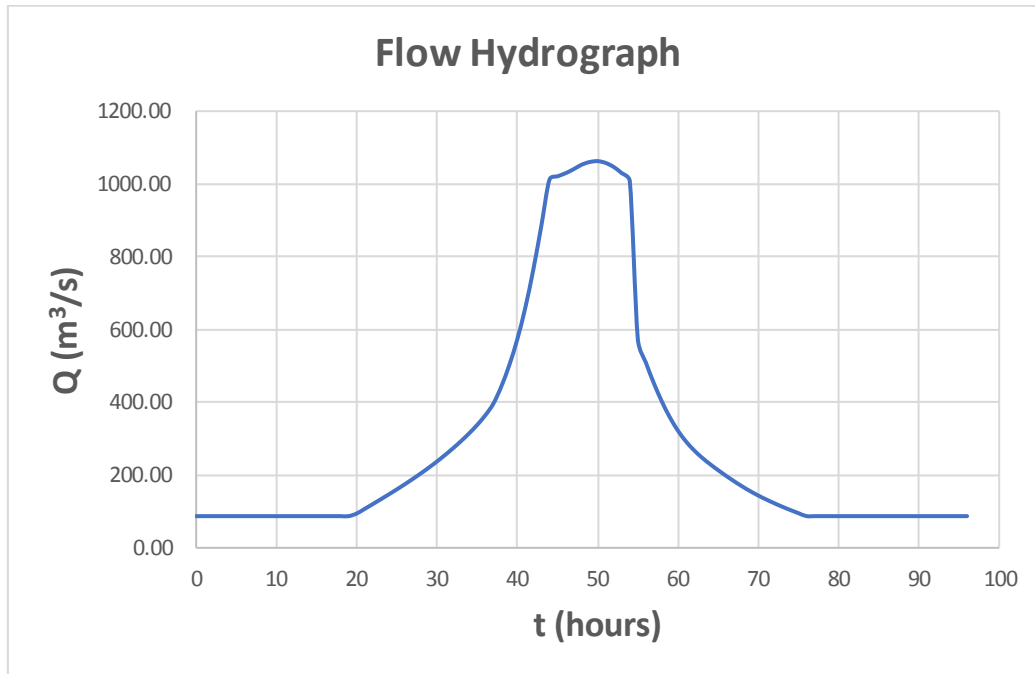


Εικόνα 4.1-2: Χάρτης ενδιαφέροντος σε περιβάλλον HEC-RAS

4.2 Βήμα 1: Καθορισμός περιόδου επαναφοράς και πλημμυρογράφηματος σχεδιασμού της ΔΑΠ

Το πλημμυρογράφημα εισόδου, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 4.2-1 έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. η πλημμύρα διαρκεί 96 ώρες, δηλαδή 4 ημέρες, από την 1η Ιουνίου 00:00 μέχρι την 5η Ιουνίου 00:00,
2. η πλημμυρική αιχμή είναι ίση με $1062.33 \text{ m}^3/\text{s}$, εμφανίζεται τη χρονική στιγμή 50 h, δηλαδή στις 3 Ιουνίου 02:00,
3. το ποτάμι έχει μια σταθερή παροχή $87 \text{ m}^3/\text{s}$, που είναι και η ελάχιστη, και
4. ο συνολικός όγκος νερού ισούται με το εμβαδό του διαγράμματος, το οποίο είναι 101.27 εκατομμύρια m^3 (περίπου 100000000 m^3)



Εικόνα 4.2-1: Πλημμυρογράφημα εισόδου

4.3 Βήμα 2: Χωροθέτηση της ΔΑΠ

Σε αυτό το βήμα θα βρεθεί μια περιοχή με φυσικά πρανή ή με μεγάλη επιφάνεια.

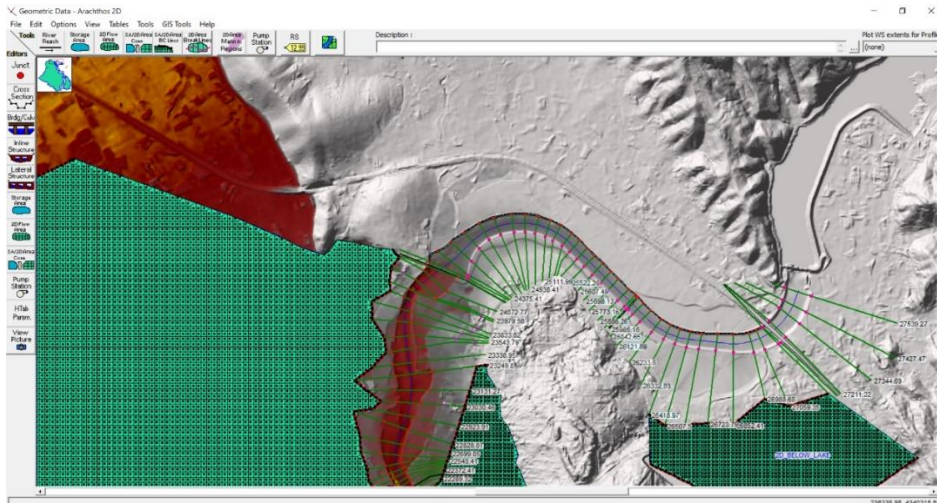
Στην περίπτωση του Άραχθου, θα επιλεγθεί ως σημείο χωροθέτησης αυτό στην Εικόνα 4.3-1, διότι:

1. υπάρχει φυσικό απότομο πρανές, από πάνω βρίσκεται η Ιόνια Οδός,
2. στα αριστερά είναι το Μαραθοβούνι, που έχει επίσης φυσικό πρανές

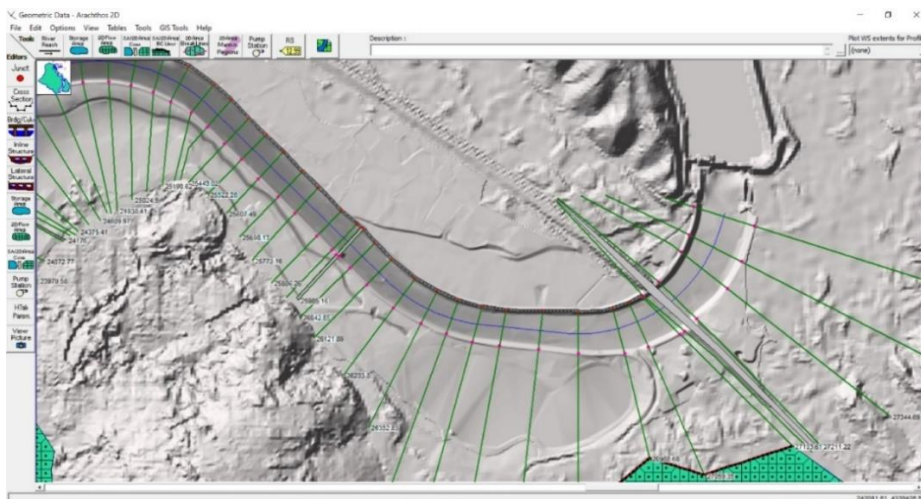
Η Εικόνα 4.3-1 δίνει τις πληροφορίες ότι:

1. κάτω η μπλε γραμμή είναι ο ποταμός Άραχθος,
2. κάθετα στον Άραχθο είναι οι διατομές,
3. δεξιά, στα ανάντη, είναι η πρώτη μεγάλη γέφυρα, και μια μικρότερη γέφυρα υπάρχει κατάντη της πρώτης, και
4. αριστερά, στα κατάντη είναι ο χείμαρρος και ο υπερχειλιστής, όπου λεπτομέρειες αυτών φαίνονται στις ακόλουθες Εικόνες 4.3-2 και 4.3-3.

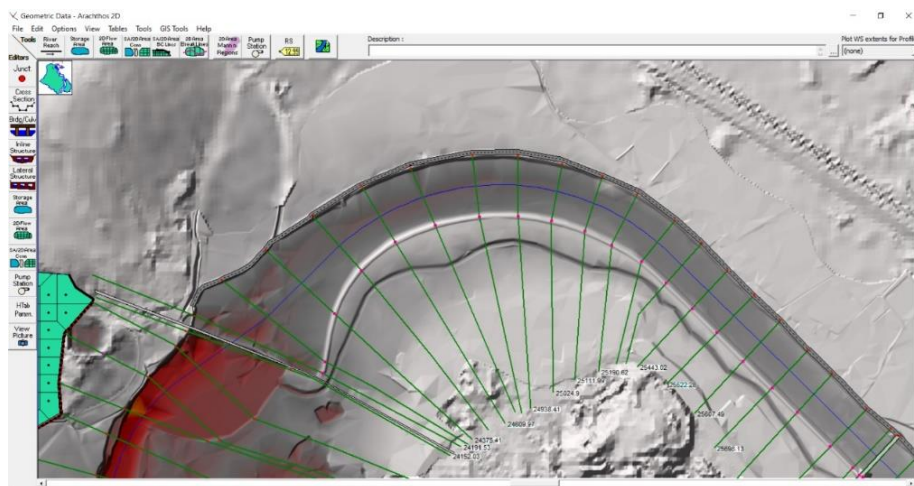
Στο γκρι κομμάτι πάνω από τον ποταμό είναι η περιοχή, όπου θα τοποθετηθεί η ΔΑΠ.



Εικόνα 4.3-1: Περιοχή κατασκευής της ΔΑΠ



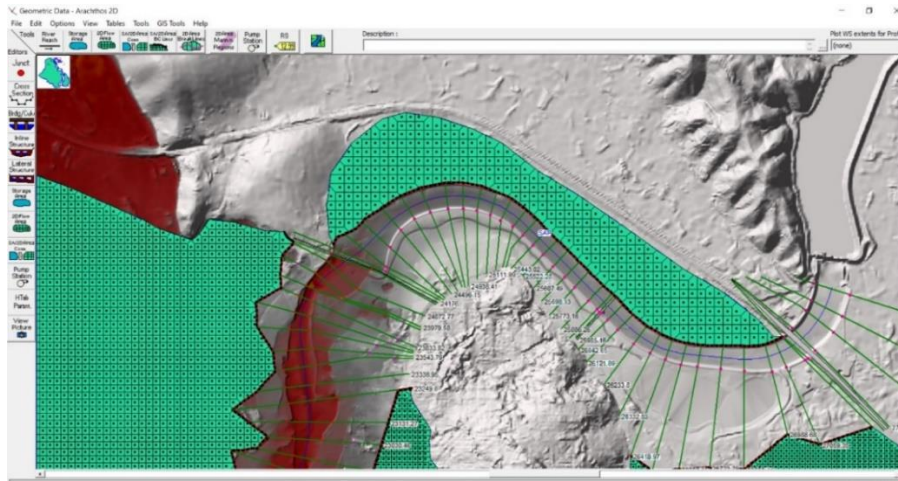
Εικόνα 4.3-2: Οι 2 γέφυρες στα ανάντη της ΔΑΠ



Εικόνα 4.3-3: Υπερχειλιστής και είσοδος χειμάρρου στα κατόντη

Στο μοντέλο HEC-RAS πραγματοποιούνται τα ακόλουθα:

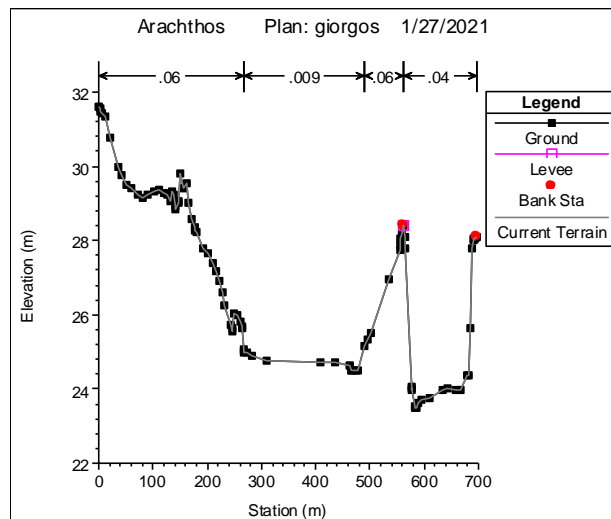
1. ο σχηματισμός της περιοχής αποθήκευσης με τη χρήση πολυγώνου, και
2. η δημιουργία μιας 2D (δισδιάστατης) περιοχής, η οποία φαίνεται στην Εικόνα 4.3-4.



Εικόνα 4.3-4: Αποθηκευτικός χώρος, 2D περιοχή (storage area)

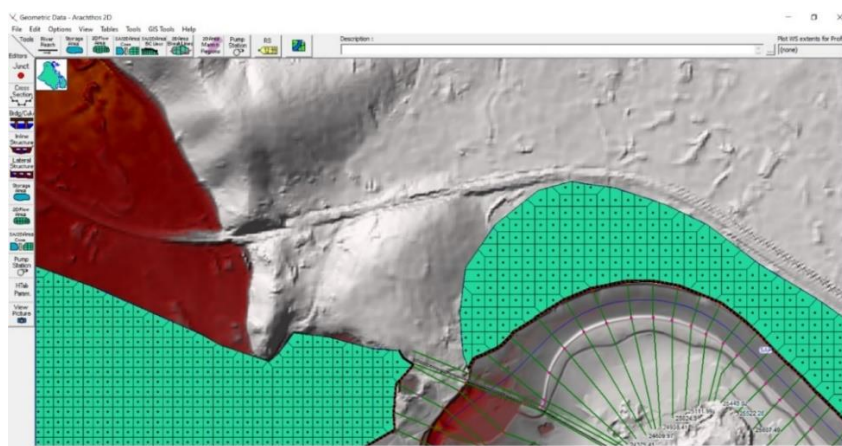
Η διδιάστατη περιοχή που δημιουργήθηκε, θα χρησιμοποιείται στο HEC-RAS ως περιοχή αποθήκευσης νερού (storage area).

Στην Εικόνα 4.3-5 φαίνεται μια τυπική διατομή μετά την προσθήκη της 2D περιοχής. Στη δεξιά πλευρά της κοίτης θα κατασκευαστεί η ΔΑΠ.



Εικόνα 4.3-5: Τυπική διατομή του ποταμού Άραχθου

Η περιοχή αποθήκευσης σταματάει, όταν συναντήσει το Μαραθοβούνι, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.3-6.



Εικόνα 4.3-6: Τέλος της περιοχής της ΔΑΠ

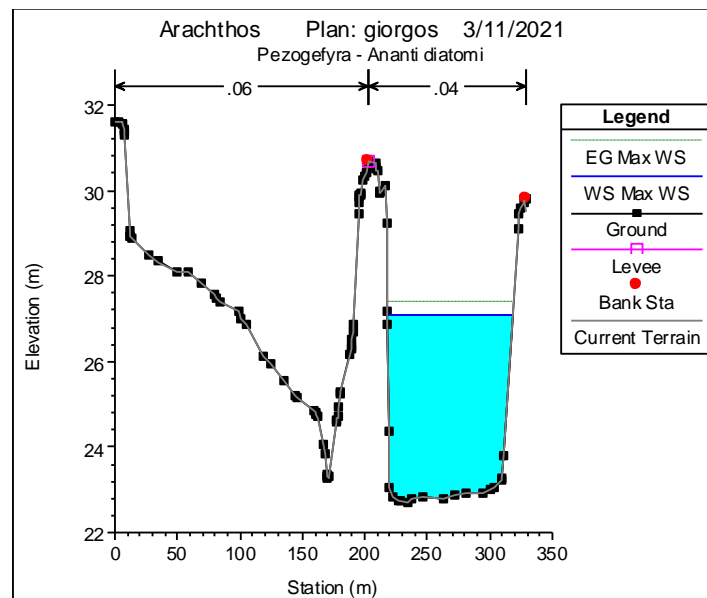
4.4 Βήμα 3: Προσδιορισμός των περιμετρικών ορίων και των θέσεων αναχωμάτων της ΔΑΠ

Μετά τον καθορισμό της περιοχής που θα τοποθετηθεί η ΔΑΠ ακολουθεί:

1. **ο προσδιορισμός των περιμετρικών ορίων** της, στα δεξιά η μεγάλη γέφυρα, από πάνω το πρανές της Ιόνιας Οδού και από αριστερά το πρανές του Μαραθοβουνίου,
2. **η προσθήκη αναχωμάτων**, για να δημιουργηθεί μια κλειστή δεξαμενή, διότι από κάτω δεν υπάρχει φυσικό όριο.

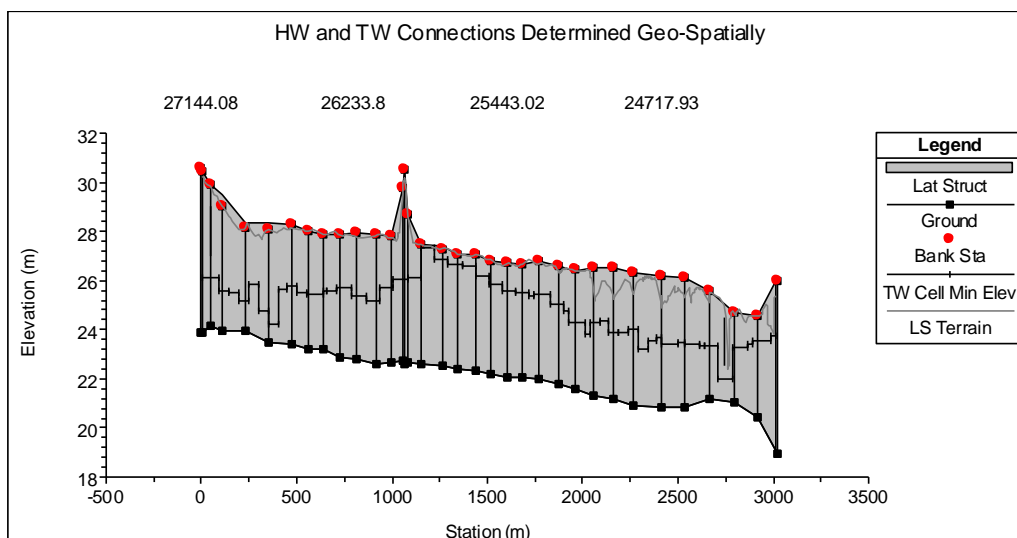
Στην αριστερή πλευρά της κοίτης του ποταμού προστίθενται κλειστά αναχώματα (levees) λίγο πιο ψηλά από τα δεξιά, για να μην περνάει νερό από τα αριστερά της κοίτης, παρά μονάχα από τα αναχώματα (bank stations) στη δεξιά πλευρά της κοίτης, διότι στα δεξιά της κοίτης θα κατασκευαστεί η ΔΑΠ.

Ακολουθεί μια τυπική διατομή της κοίτης, στην Εικόνα 4.4-1, στην οποία φαίνονται οι προσθήκες των αναχωμάτων στα δεξιά και αριστερά της κοίτης του ποταμού.



Εικόνα 4.4-1: Τυπική διατομή με αναχώματα στα δεξιά και αριστερά της κοίτης

Τα αναχώματα που προστέθηκαν στα δεξιά της κοίτης είχαν τις στάθμες που φαίνονται στην Εικόνα 4.4-2, με τις κόκκινες κουκίδες.



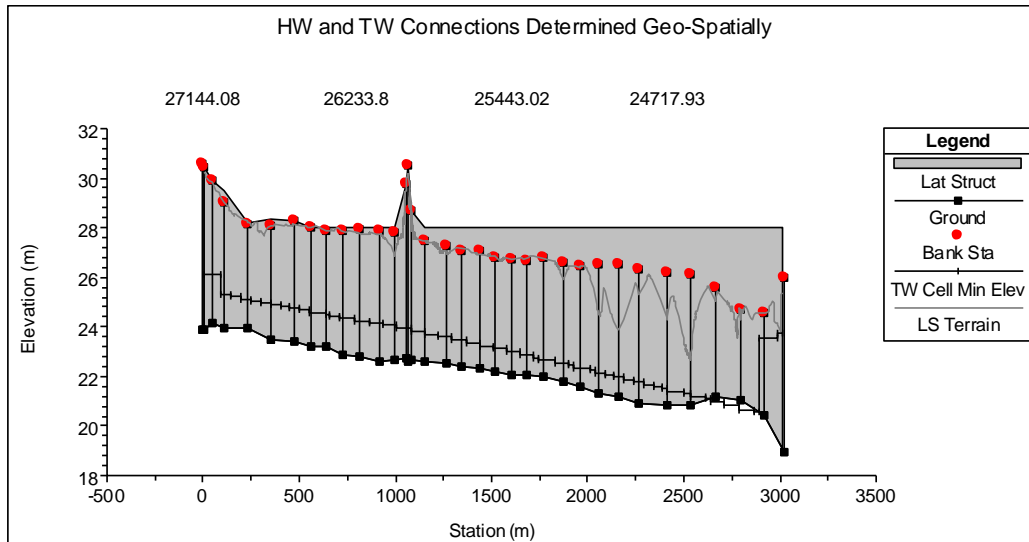
Εικόνα 4.4-2: Μηκοτομή ΔΑΠ, στα δεξιά της κοίτης

Το ανάχωμα που δημιουργήθηκε έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. έχει μήκος 3014.26 m,
2. στα ανάντη της ΔΑΠ έχει υψόμετρο 28.87 m,
3. σε 1000 m έχει υψόμετρο 27.50 m,
4. στα 2000 m έχει υψόμετρο 25 m, και
5. κατόντη στα 3000 m έχει υψόμετρο 24.50 m.

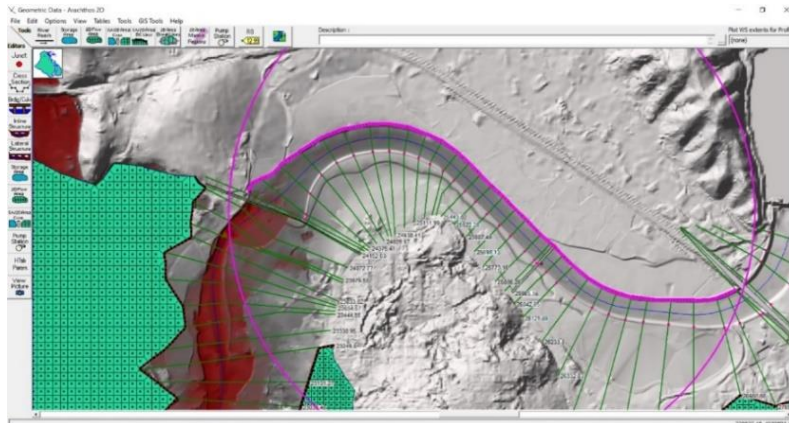
Για να μείνει το νερό μέσα στη ΔΑΠ, δηλαδή για να δημιουργηθεί κλειστή δεξαμενή, πρέπει να τοποθετηθεί το ανάχωμα σε σταθερό ύψος, για να μπορεί να διατηρήσει το νερό.

Το ανάχωμα τοποθετείται σε στάθμη 28 m, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 4.4-3.



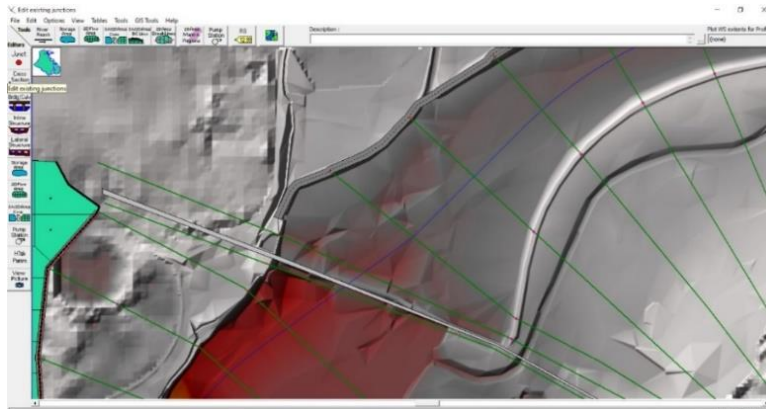
Εικόνα 4.4-3: Τελικό ανάχωμα

Στην Εικόνα 4.4-4, φαίνεται με μωβ χρώμα το μήκος των αναχωμάτων στα δεξιά της ροής κατά μήκος της ΔΑΠ.



Εικόνα 4.4-4: Μήκος αναχώματος ΔΑΠ

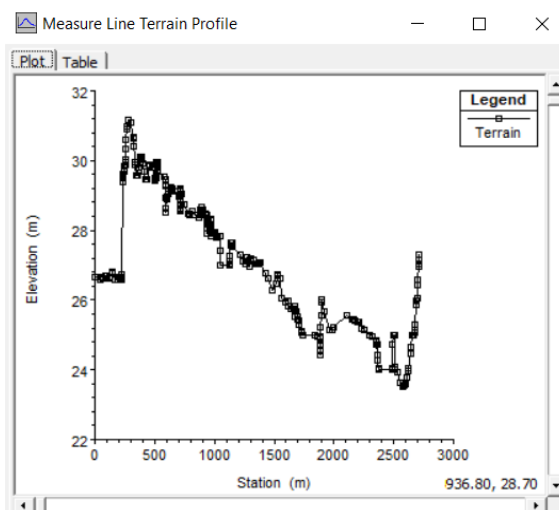
Στην Εικόνα 4.4-5 φαίνεται το σημείο που τελειώνει η πλευρική κατασκευή των αναχωμάτων στα δεξιά κατά μήκος της ροής.



Εικόνα 4.4-5: Τέλος αναχώματος, είσοδος χειμάρρου

3. **Η εκσκαφή**, διότι απαιτείται μεγαλύτερο βάθος, για να μπορεί η ΔΑΠ να ανασχέσει περισσότερο νερό.

Στην Εικόνα 4.4-6 φαίνεται η κλίση του εδάφους κατά μήκος της ΔΑΠ.



Εικόνα 4.4-6: Κλίση εδάφους κατά μήκος της ΔΑΠ

Από την Εικόνα 4.4-6 προκύπτει ότι:

1. στα ανάντη το υψόμετρο είναι περίπου 29 m. Κανονικά ενώ αρχίζει από πιο χαμηλά υψόμετρα, δεν λαμβάνονται υπόψη οι ακραίες τιμές για καλύτερη ακρίβεια,
2. στα κατάντη το έδαφος είναι στο υψόμετρο των 25m. Το υψόμετρο πέφτει προχωρώντας από τα ανάντη στα κατάντη περίπου 4m σε περίπου 2500m απόσταση.

Συνεπώς, προκύπτει μια κλίση εδάφους J της τάξεως του 0,16% (δηλαδή $4/2500 = 0,16\%$).

Για τη δημιουργία της ΔΑΠ, δημιουργήθηκαν 16 τυπικές διατομές:

1. οι οποίες τοποθετήθηκαν με 200 m απόσταση η κάθε μια, αλλά
2. στην πρώτη και την τελευταία λήφθηκε μικρότερη απόσταση, για να μην πέσουν πάνω στη γέφυρα στα ανάντη και στο Μαραθοβούνι στα κατάντη.

Το **βάθος** μέσα στη ΔΑΠ μεταβάλλεται με βάση την κλίση του εδάφους ανά 200 m σε κάθε διατομή, δηλαδή 0.33m και αφαιρούνται ακόμα 3 m εκσκαφής, ακολουθώντας την κλίση του εδάφους σε κάθε διατομή.

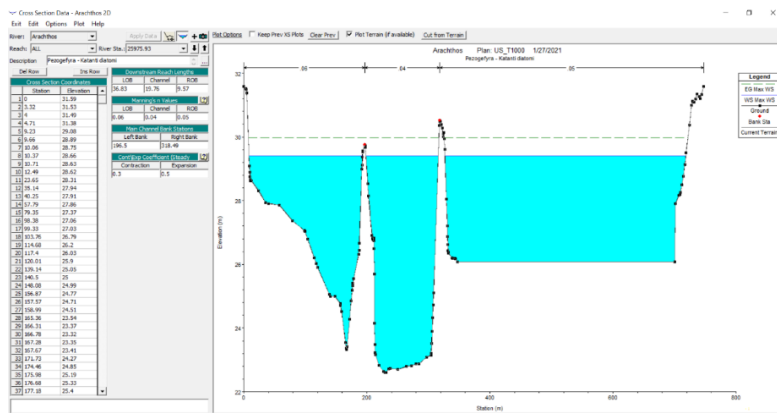
Στην 1^η διατομή η απόσταση είναι 105.49 m από την αρχή, άρα το έδαφος είναι στα 25.38 m. Στη 16^η διατομή η απόσταση είναι 163.00 m από την αμέσως προηγούμενη της, άρα το υψόμετρο πρέπει να είναι στα 20.58 m.

Στον Πίνακα 4.4-1 φαίνονται τα υψόμετρα στις 16 τυπικές διατομές.

Πίνακας 4.4-1: Υψόμετρο πυθμένα ΔΑΠ σε κάθε διατομή

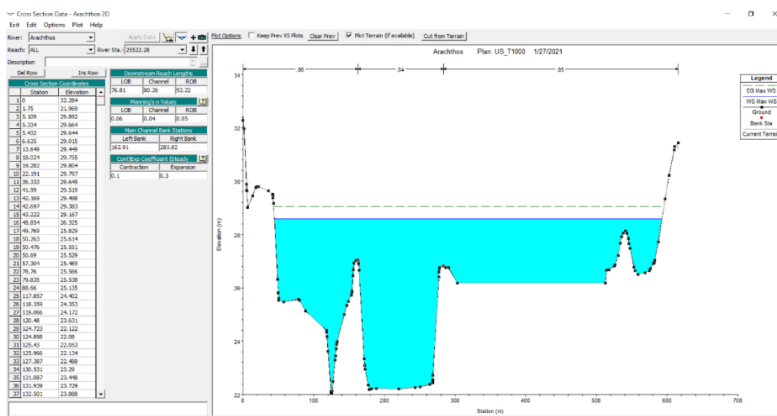
ΔΙΑΤΟΜΕΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ
1	25.38
2	25.20
3	24.87
4	24.53
5	24.20
6	23.86
7	23.53
8	23.19
9	22.86
10	22.52
11	22.19
12	21.86
13	21.52
14	21.19
15	20.85
16	20.58

Στην Εικόνα 4.4-7 φαίνεται στα δεξιά της κοίτης, σε αντίθεση με τις προηγούμενες διατομές το скаμμένο έδαφος με βάση τα προβλεπόμενα υψόμετρα που υπολογίστηκαν.



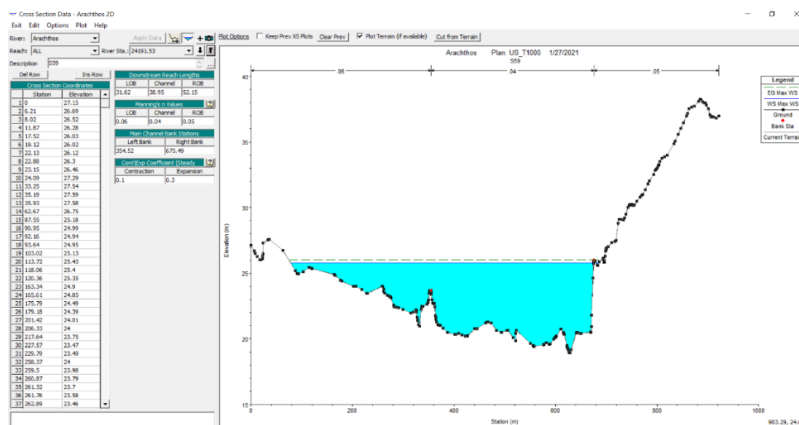
Εικόνα 4.4-7: Διατομή όπου φαίνονται η κοίτη και ο χώρος αποθήκευσης στα δεξιά της

Στην Εικόνα 4.4-8, φαίνεται ακόμη μια διατομή, στην οποία, επίσης, ακολουθήθηκε η μεθοδολογία για την εκσκαφή του εδάφους.



Εικόνα 4.4-8: Τυπική διατομή με χώρο αποθήκευσης

Στην Εικόνα 4.4-9 φαίνεται η τελευταία διατομή στην οποία δεν υπάρχει η ΔΑΠ στα δεξιά, διότι συναντάται το πρανές του Μαραθobουνίου.



Εικόνα 4.4-9: Τελευταία διατομή της ΔΑΠ, πρηνές Μαραθοβουνίου

4.5 Βήμα 4: Προσδιορισμός των εξισώσεων στάθμης-παροχής, όγκου-στάθμης και επιφάνειας-στάθμης της ΔΑΠ

Στο βήμα αυτό πριν δοθεί η εξίσωση στάθμης-παροχής, ορίζονται σε ποιες διατομές θα είναι η διάταξη εισροής και εκροής.

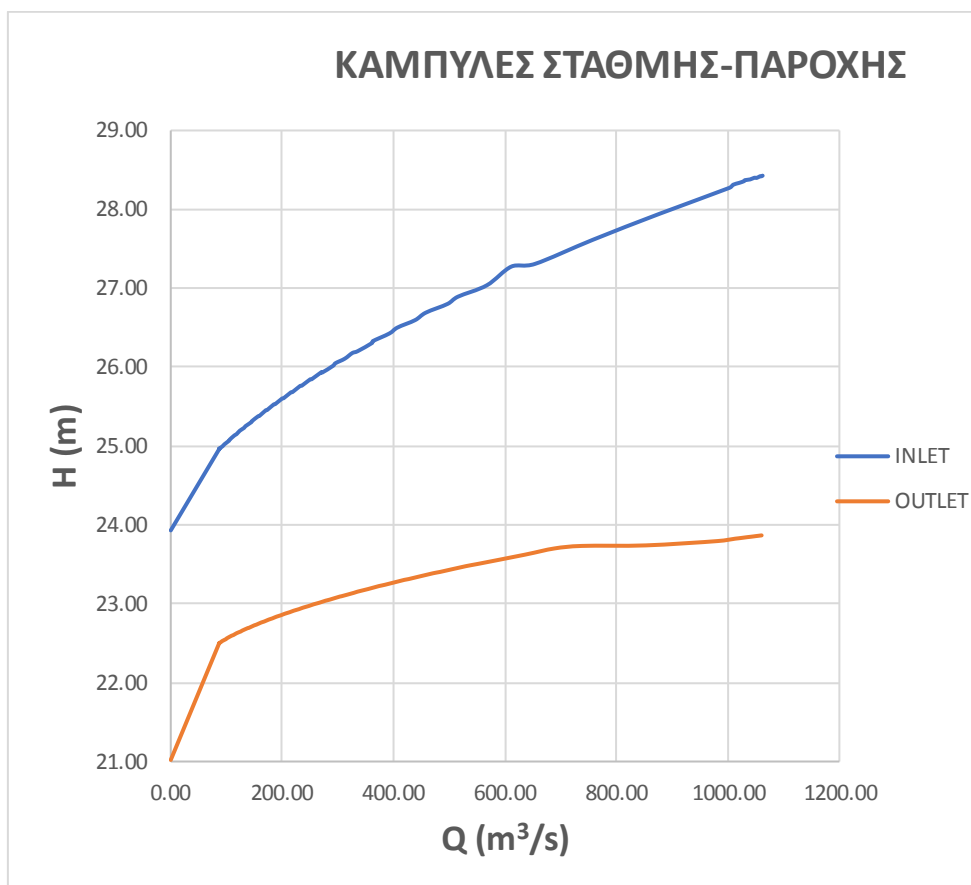
Ως διατομή εισόδου έχει οριστεί η διατομή 26852 και ως διατομή εξόδου η διατομή 24375.

Στον Πίνακα 4.5-1 που ακολουθεί φαίνονται κάποιες τιμές στάθμης και παροχής που δίνει το HEC-RAS για τις διατομές που ορίστηκαν ως είσοδος και έξοδος.

Πίνακας 4.5-1: Ενδεικτικός Πίνακας στάθμης-παροχής για διατομή εισόδου και διατομή εξόδου

ΔΙΑΤΟΜΗ	26852	ΔΙΑΤΟΜΗ	24375
Q (m³/s)	H (m)	Q (m³/s)	H (m)
87.00	24.96	87.11	22.50
88.47	24.97	89.73	22.51
93.17	25.00	92.33	22.53
96.60	25.02	99.25	22.55
105.10	25.07	100.56	22.56
105.27	25.08	109.28	22.60
114.34	25.13	112.38	22.60
118.23	25.15	118.40	22.63
123.98	25.19	125.98	22.65
131.55	25.23	128.13	22.66
134.28	25.25	138.61	22.69
145.03	25.30	139.67	22.69
145.38	25.31	149.91	22.73
157.45	25.38	153.59	22.73

Με βάση τον Πίνακα 4.5-1 δημιουργούνται οι καμπύλες στάθμης-παροχής που φαίνονται στην Εικόνα 4.5-1.



Εικόνα 4.5-1: Καμπύλες στάθμης-παροχής

Με την Εικόνα 4.5-1 επιλέγεται σε ποια στάθμη θα τοποθετηθεί η διάταξη εισροής και από ποια παροχή και μετά θα εισέρχεται νερό μέσα στη ΔΑΠ, τα οποία θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

4.6 Βήμα 5: Προσδιορισμός των θέσεων διατάξεων εισροής και εκροής της ΔΑΠ και διαστασιολόγησή τους

Με βάση τη μεθοδολογία, επιλέγεται στο παρόν βήμα η τοποθέτηση ενός υπερχειλιστή στα ανάντη ως διάταξη εισροής και η τοποθέτηση ενός θυροφράγματος στα κατόντη ως διάταξη εκροής σύμφωνα με:

1. τις στάθμες του αναχώματος,
2. τις στάθμες του πυθμένα της ΔΑΠ, και
3. τις στάθμες του πυθμένα του ποταμού κατά μήκος της ΔΑΠ.

Επιλέγεται σε ποιο υψόμετρο θα τοποθετηθεί ο υπερχειλιστής, το πλάτος του και η παροχή που θα περνάει από αυτόν.

Ομοίως, στα κατόντη επιλέγεται σε ποια στάθμη θα τοποθετηθεί το θυροφράγμα, το πλάτος του και η παροχή που θα περνάει από αυτό.

Η **στάθμη του αναχώματος** είναι 28 m σε όλο το μήκος εκτός από μερικά σημεία που είναι λίγο παραπάνω λόγω της φυσικής θέσης του πρηνούς.

Για τη ΔΑΠ ελέγχθηκαν οι εξής στάθμες των πρηνών και του πυθμένα:

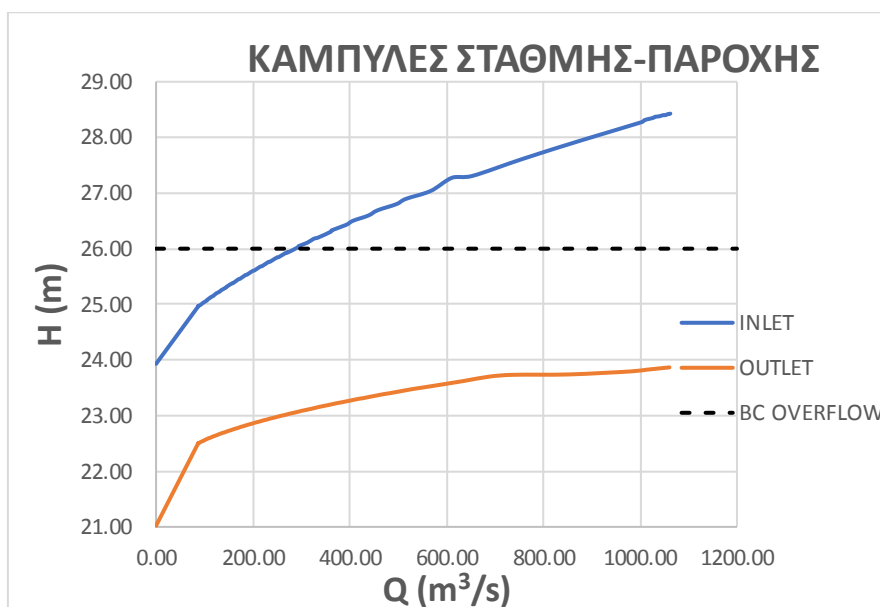
1. οι στάθμες στα ανάντη
2. οι στάθμες στη διατομή εισόδου
3. σε ενδιάμεσο σημείο στα ανάντη
4. σε ενδιάμεσο σημείο στα κατόντη
5. οι στάθμες στη διατομή εξόδου
6. οι στάθμες στα κατόντη

Όλα αυτά φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 4.6-1 που ακολουθεί:

Πίνακας 4.6-1: Σημαντικά σημεία ελέγχου στάθμων

Σημείο	Στάθμη πρηνούς (m)	Στάθμη πυθμένα ΔΑΠ (m)	Στάθμη πυθμένα ποταμού (m)
Ανάτη	28.90	25.38	-
Διατομή εισόδου	28.10	-	24.03
Ενδιάμεσο σημείο ανάτη	28	23.86	-
Ενδιάμεσο σημείο κατάντη	28	22.19	-
Διατομή εξόδου	28	-	21.03
Κατάντη	28	20.90	-

Στην Εικόνα 4.6-1, όπως φαίνεται με τη μαύρη διακεκομμένη γραμμή, επιλέχθηκε να τοποθετηθεί ο υπερχειλιστής στα ανάτη στη στάθμη των 26 m. Από τις καμπύλες στάθμης-παροχής προκύπτει ότι το νερό θα περνάει τον υπερχειλιστή, όταν ξεπερνάει τη στάθμη των 26 m και ταυτόχρονα την παροχή των 300 m³/s.



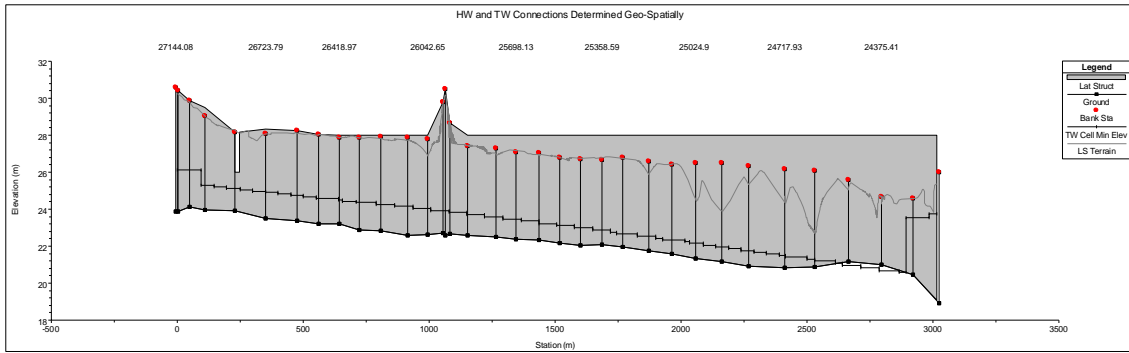
Εικόνα 4.6-1: Καμπύλες στάθμης-παροχής με τοποθέτηση υπερχειλιστή

Στο **Παράρτημα** ακολουθούν περισσότεροι υπολογισμοί για τοποθέτηση του υπερχειλιστή σε διαφορετικές στάθμες και με διαφορετικά πλάτη.

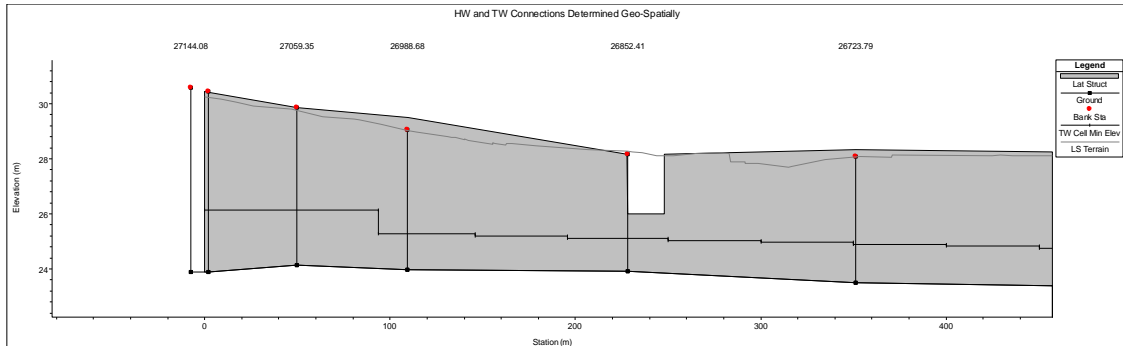
Για την προσομοίωση στον ποταμό Άραχθο τοποθετήθηκε υπερχειλιστής ευρείας στέψης με :

1. πλάτος 20 m
2. με ύψος 2.10 m, από τα 26 m μέχρι τα 28.10 m, και
3. συντελεστή Cd ίσο με 1.73,

όπως φαίνεται στις Εικόνες 4.6-2, 4.6-3.



Εικόνα 4.6-2: Ανάχωμα με τοποθέτηση υπερχειλιστή



Εικόνα 4.6-3: Λεπτομέρεια διάταξης εισροής-υπερχειλιστή

Ο υπερχειλιστής ευρείας στέψης δίνει την εξής παροχή από την εξίσωση:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g H_o^{3/2} L \quad (4.6-1)$$

Πίνακας 4.6-2: Υπολογισμός παροχής υπερχειλιστή

g (m/s²)	9.81
H_o (m)	2.10
L (m)	20.00
Q (m³/s)	103.77

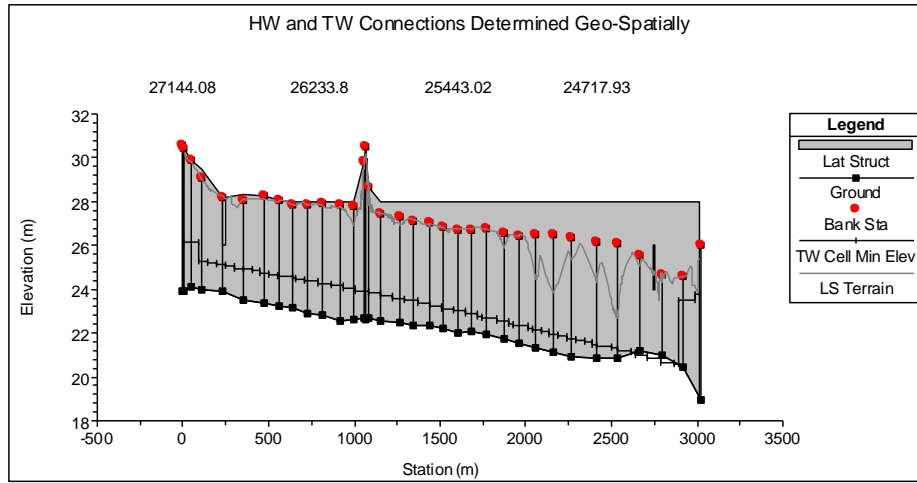
Συνεπώς ο υπερχειλιστής δίνει 103.77 m³/s νερό στη ΔΑΠ.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στα κατάντη θα τοποθετηθεί ένα θυρόφραγμα (gate).

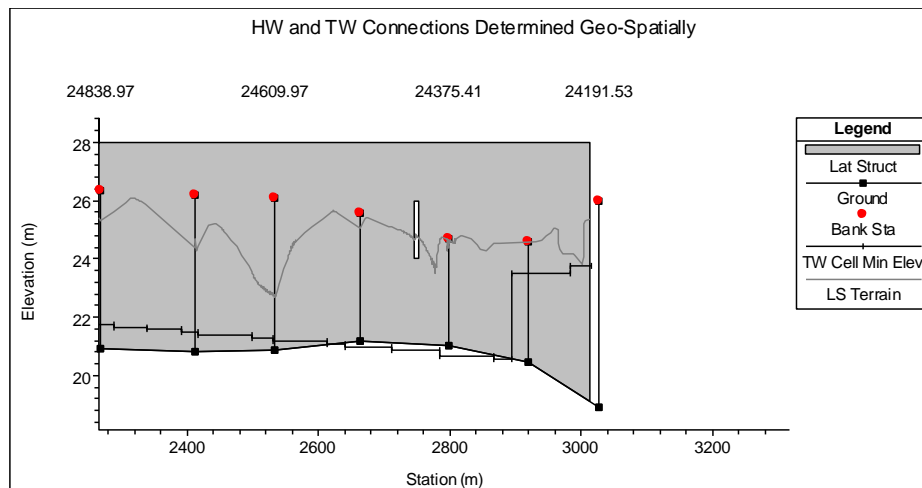
Ο ρόλος του είναι ότι κατά τη διάρκεια της πλημμύρας που θα γεμίζει η ΔΑΠ θα μπορεί να ανοίξει το κινητό θυρόφραγμα στα κατάντη για εκκένωση της ΔΑΠ ή για καλύτερη ρύθμιση εκροής.

Το θυρόφραγμα συνδέει τη ΔΑΠ με τον Άραχθο ποταμό στα κατάντη.

Στις Εικόνες 4.6-4 και 4.6-5 που ακολουθούν, φαίνεται η τελική μορφή όλης της πλευρικής κατασκευής του αναχώματος, με τον υπερχειλιστή στα ανάντη και το θυρόφραγμα στα κατάντη και με περισσότερη λεπτομέρεια το θυρόφραγμα.



Εικόνα 4.6-4: Τελική μορφή αναχώματος και διατάξεων εισροής και εκροής



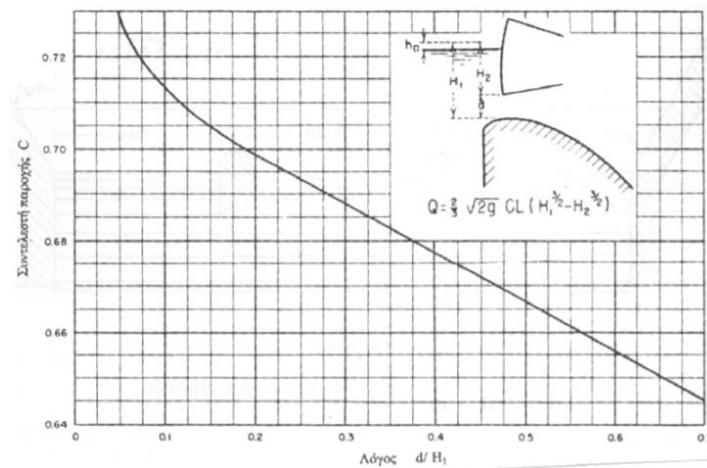
Εικόνα 4.6-5: Λεπτομέρεια διάταξης εξόδου-θυροφράγματος

Τα χαρακτηριστικά του θυροφράγματος είναι ότι:

1. είναι κατακόρυφο θυρόφραγμα (sluice gate),
2. έχει ύψος 2 m, από τα 24 m έως τα 26 m,
3. έχει πλάτος 7 m, και
4. το ανάχωμα ευρείας στέψης στην έξοδο έχει συντελεστή 1.67, ο συντελεστής παροχής θυροφράγματος (sluice discharge coefficient) είναι ίσος με 0.6 και ο συντελεστής οπής θυροφράγματος (orifice coefficient) είναι ίσος με 0.8.

Η παροχή που θα έχει το θυρόφραγμα πρέπει να καθοριστεί από τον παρακάτω τύπο και το διάγραμμα στην Εικόνα 4.6-6:

$$Q = \frac{2}{3} (2g)^{0.5} C L (H1^{1.5} - H2^{1.5}) \quad (4.6-2)$$



Εικόνα 4.6-6: Υπολογισμός παροχής θυροφράγματος (Τζιμόπουλος, 1994, Μπαλιώτη, 2018)

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 4.6-3 που ακολουθεί:

Πίνακας 4.6-3: Υπολογισμός παροχής θυροφράγματος

H1 (m)	4.00
H2 (m)	2.00
d (m)	2.00
d/H1	0.50
C	0.64
L (m)	7.00
Q (m³/s)	69.08

4.7 Βήμα 6: Διαστασιολόγηση της ΔΑΠ

Στο συγκεκριμένο βήμα, εφόσον έχει γίνει ήδη ο καθορισμός της ΔΑΠ, πρέπει να υπολογιστεί ο όγκος της.

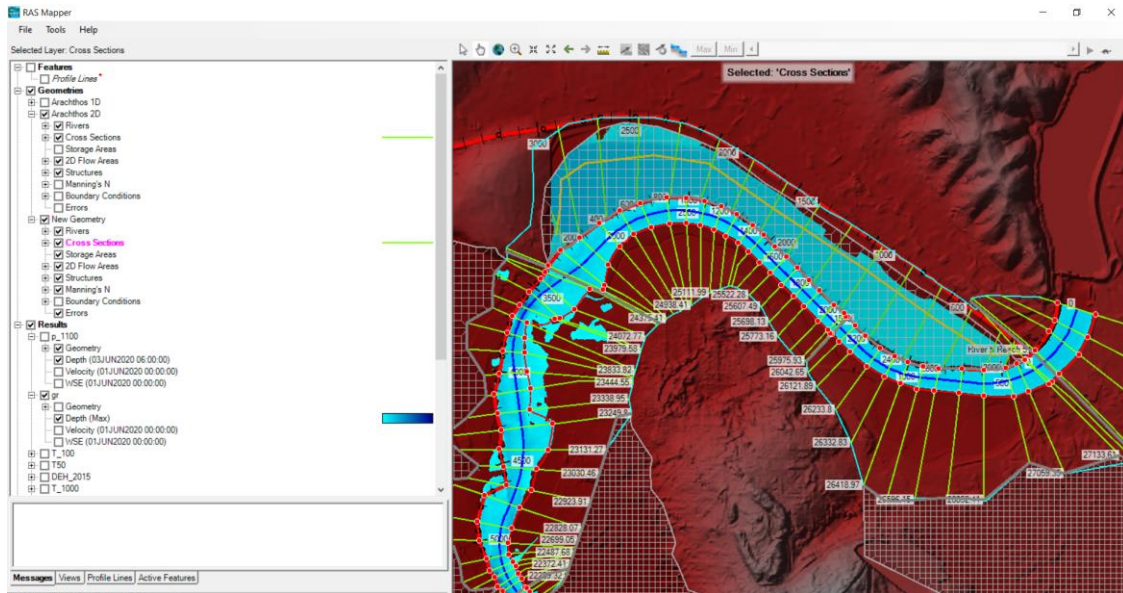
Οι δύο τρόποι για τον υπολογισμό του όγκου της ΔΑΠ είναι οι εξής:

1. ο πρώτος τρόπος διαστασιολόγησης είναι ένας συνδυασμός του **HEC-RAS** και του **AutoCAD**, και
2. ο δεύτερος τρόπος διαστασιολόγησης γίνεται μέσω του **QGIS**.

Α΄ ΤΡΟΠΟΣ: ΧΩΜΑΤΙΣΜΟΙ

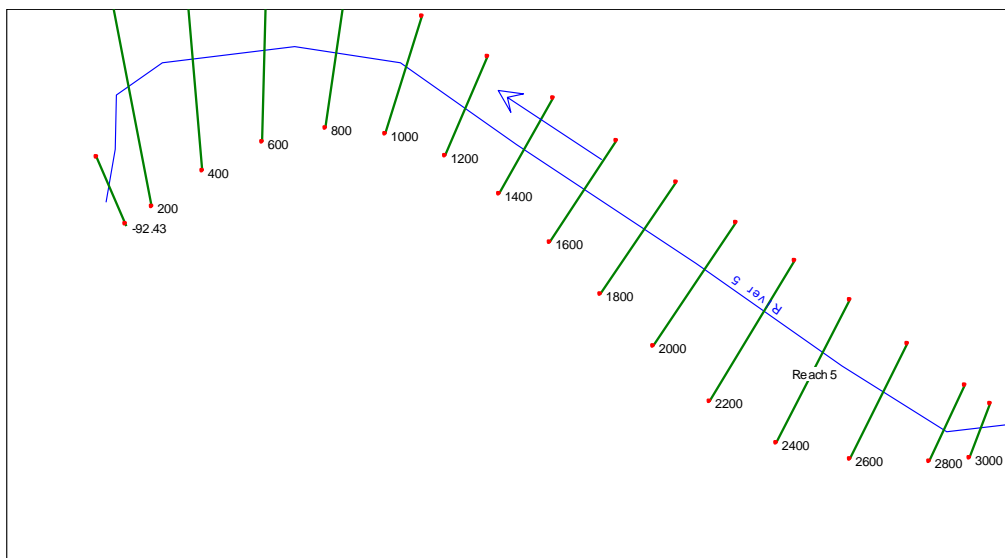
Μέσω του HEC-RAS, δημιουργήθηκαν από το RAS-Mapper, αρχεία (shapefiles, .shp) για τις διατομές της ΔΑΠ, ώστε να υπολογιστεί με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια ο όγκος της ΔΑΠ.

Στην Εικόνα 4.7-1 φαίνονται στο RAS-Mapper όλες οι διατομές ελέγχου τόσο στην κοίτη, όσο και στη ΔΑΠ.



Εικόνα 4.7-1: Διατομές κοίτης και διατομές ΔΑΠ

Από τις 16 διατομές της ΔΑΠ από τα ανάντη στα κατόντη, από τα δεξιά προς τα αριστερά, που ακολουθούν στην Εικόνα 4.7-2 εξάχθηκαν αρχεία .shp, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαράστασή τους στο AutoCAD.

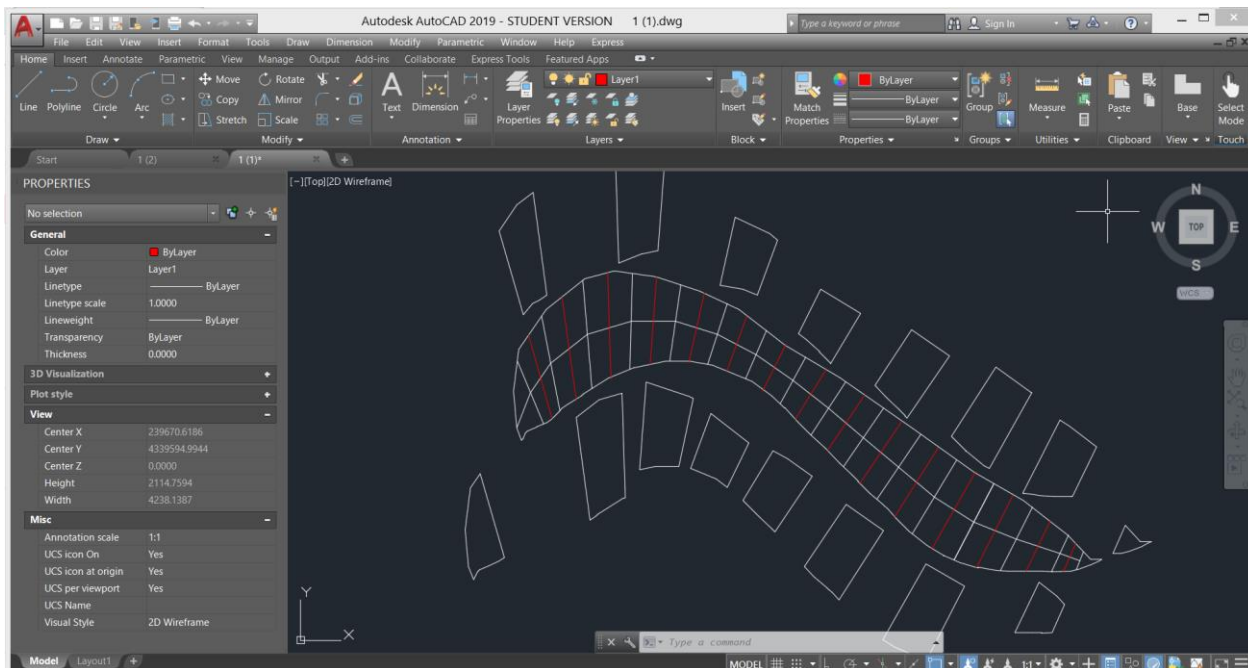


Εικόνα 4.7-2: Οι 16 Διατομές της ΔΑΠ

Έχοντας περάσει τα αρχεία στο AutoCAD, απαιτείται ο υπολογισμός των χωματισμών, χωρίζοντας την κάθε διατομή σε ζώνες.

Από το κέντρο στο κέντρο κάθε διατομής, χωρίζονται οι ζώνες και υπολογίζεται το εμβαδόν. Μετά, υπολογίζεται από τα βάθη κάθε ζώνης ο όγκος κάθε ζώνης. Αθροίζοντας όλους τους όγκους προκύπτει ο τελικός όγκος της ΔΑΠ.

Στην Εικόνα 4.7-3 φαίνονται ο διαχωρισμός ζωνών από τη μέση κάθε διατομής στη μέση της επόμενης, όπου με κόκκινο είναι το κέντρο κάθε ζώνης υπολογισμού.



Εικόνα 4.7-3: Η ΔΑΠ σε AutoCAD

Στον Πίνακα 4.7-1 φαίνονται τα αποτελέσματα της ογκομέτρησης κάθε ζώνης με τη μεθοδολογία των χωματισμών από τα ανάντη προς τα κατόντη.

Πίνακας 4.7-1: Υπολογισμός όγκου ΔΑΠ από AutoCAD

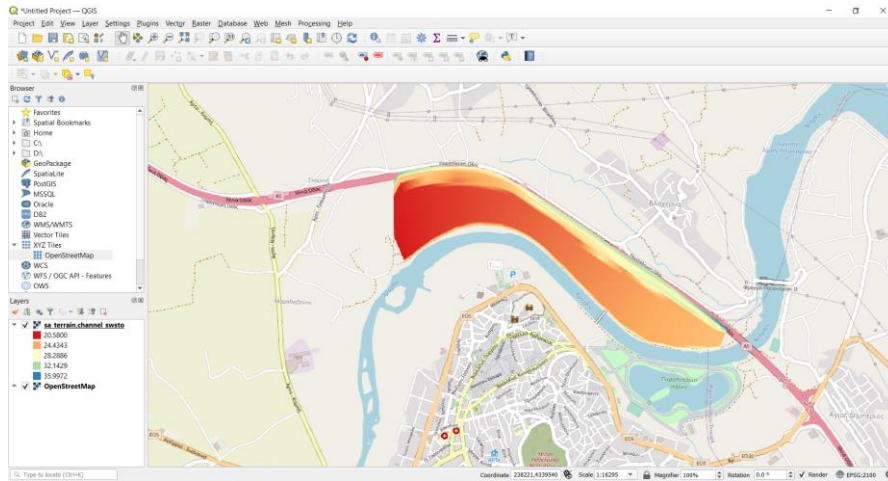
ΔΙΑΤΟΜΕΣ	ΕΜΒΑΔΟ (m²)	ΒΑΘΟΣ (m)	ΟΓΟΣ ΔΑΠ (m³)	ΔV	ΣΦΑΛΜΑ
1	8474.58	3.53	29915.28	415217.22	8.64 %
2	28206.95	2.80	78979.45		
3	61479.72	3.25	199809.10		
4	76199.96	3.47	264413.87		
5	76989.82	3.80	292561.33		
6	69928.38	4.14	289503.48		
7	62262.21	4.47	278312.06		
8	54897.91	4.81	264058.94		
9	46870.17	5.14	240912.67		
10	44878.67	5.48	245935.12		
11	53553.69	5.81	311146.97		
12	66077.13	6.14	405713.58		
13	82151.76	6.48	532343.42		
14	86231.04	6.81	587233.39		
15	63255.27	7.15	452275.15		
16	44582.40	7.42	330801.41		
ΣΥΝΟΛΟ	926039.67		4803915.22		

Ο τρόπος αυτός δίνει όγκο ίσο με 4.8 εκατομμύρια m³ με υπολογιστικό σφάλμα ίσο με 8.64% από τον όγκο της ΔΑΠ που θα δοθεί στον επόμενο τρόπο από το QGIS.

Β' ΤΡΟΠΟΣ: OGIS

Ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού του όγκου, για να επαληθευτεί το αποτέλεσμα, έγινε μέσω του προγράμματος QGIS.

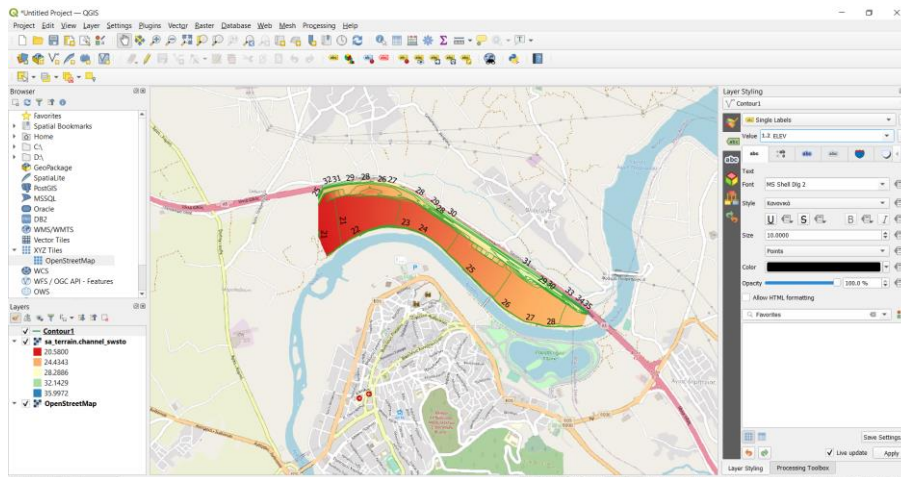
Δημιουργώντας ένα shapefile από το HEC-RAS και τοποθετώντας το στο ελληνικό σύστημα συντεταγμένων GRID 2100, φαίνεται στην Εικόνα 4.7-4, πού τοποθετείται η ΔΑΠ στο χάρτη της Ελλάδος, στην περιοχή της Άρτας με βάση τις συντεταγμένες.



Εικόνα 4.7-4: Η ΔΑΠ στο QGIS

Στη συνέχεια προστέθηκαν οι ισοϋψείς ανά 1 m, ώστε να είναι φανερά τα υψόμετρα μέσα στη ΔΑΠ, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.7-5 που ακολουθεί.

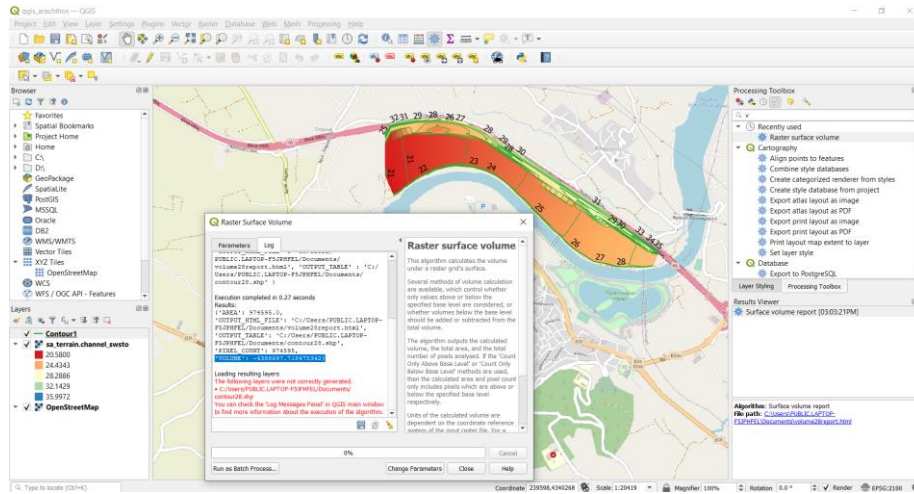
Οι ισοϋψείς διακρίνονται με πράσινες γραμμές. Έχω υψόμετρα από 21 έως 30 m στα όρια με την Ιόνια Οδό, όπου εκεί γίνεται πολύ απότομη η κλίση, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο βήμα.



Εικόνα 4.7-5: Η ΔΑΠ στο QGIS με εμφανείς τις ισοϋψείς σε όλο το μήκος και πλάτος της

Αναζητείται ο όγκος που είναι κάτω από κάποιο σημείο μέσω του προγράμματος QGIS, για αυτό επιλέχθηκε να υπολογιστεί ο όγκος που βρίσκεται κάτω από τα 28 m, διότι ως εκεί υπάρχει ανάχωμα, για να είναι η ΔΑΠ μια κλειστή δεξαμενή.

Ο όγκος προκύπτει ίσος με 4.38 εκατομμύρια m^3 , όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.7-6 που ακολουθεί και θεωρείται η πιο ακριβής ογκομέτρηση από τους δύο τρόπους.



Εικόνα 4.7-6: Όγκος ΔΑΠ με χρήση QGIS

4.8 Βήμα 7: Αποτελέσματα προσομοίωσης

Εξετάστηκαν δύο μέθοδοι επίλυσης του προβλήματος:

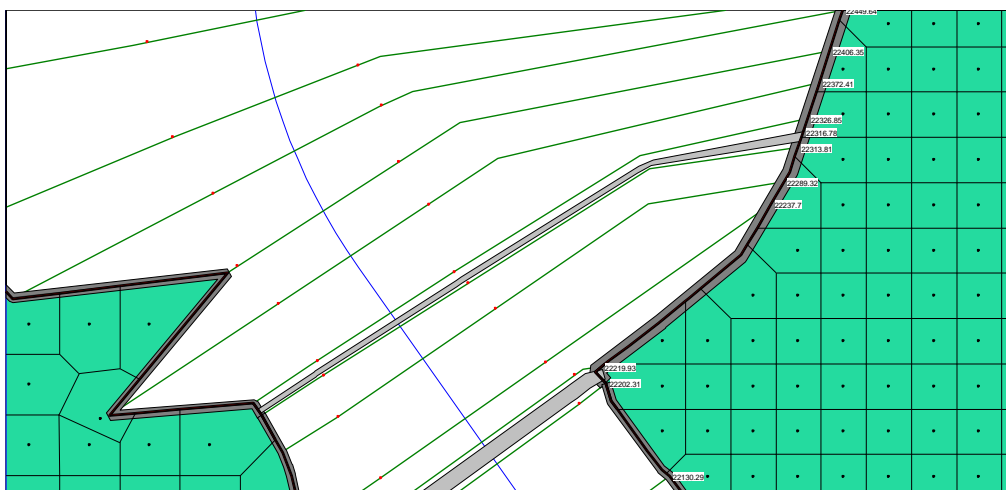
1. με υπερχείλιση της ΔΑΠ, αφού γεμίσει ή
2. με άνοιγμα του θυροφράγματος για ρυθμιζόμενη εκροή.

Για να υπάρχει ένα υδρογράφημα αναφοράς, αποφασίστηκε η προσομοίωση της πλημμύρας χωρίς υπερχείλιση ή θυροφράγμα, μόνο με το ανάχωμα.

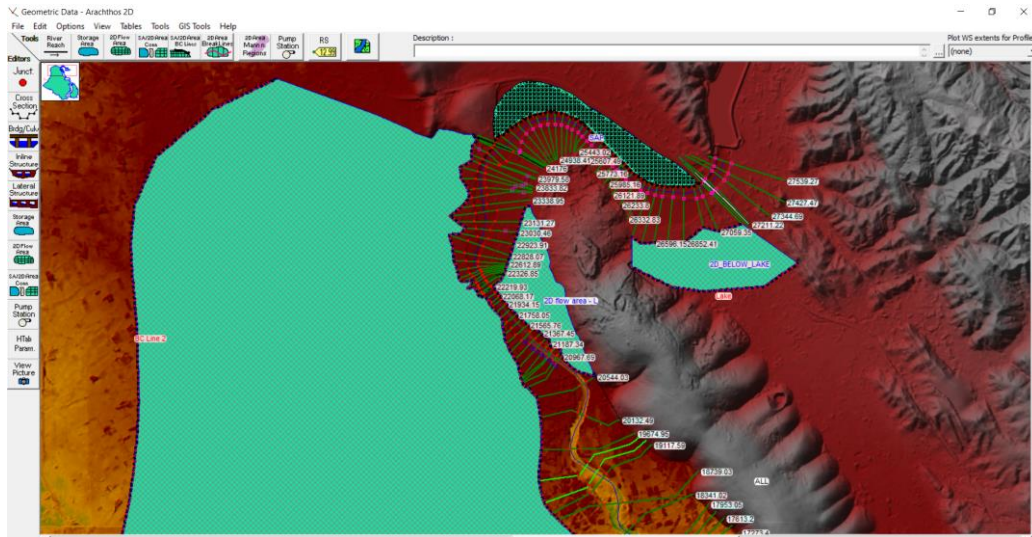
Για την προσομοίωση λήφθηκαν υπόψη δύο θέσεις για τη σύγκριση των υδρογραφημάτων:

1. **στη γέφυρα κατάντη**, για να φανεί η πραγματική επιρροή της ΔΑΠ στις κατάντη περιοχές, και
2. **για ενδιάμεση θέση** της κοίτης, στη μέση της ΔΑΠ.

Η γέφυρα κατάντη είναι η γέφυρα 22316BR, που φαίνεται στις Εικόνες 4.8-1 και 4.8-2.

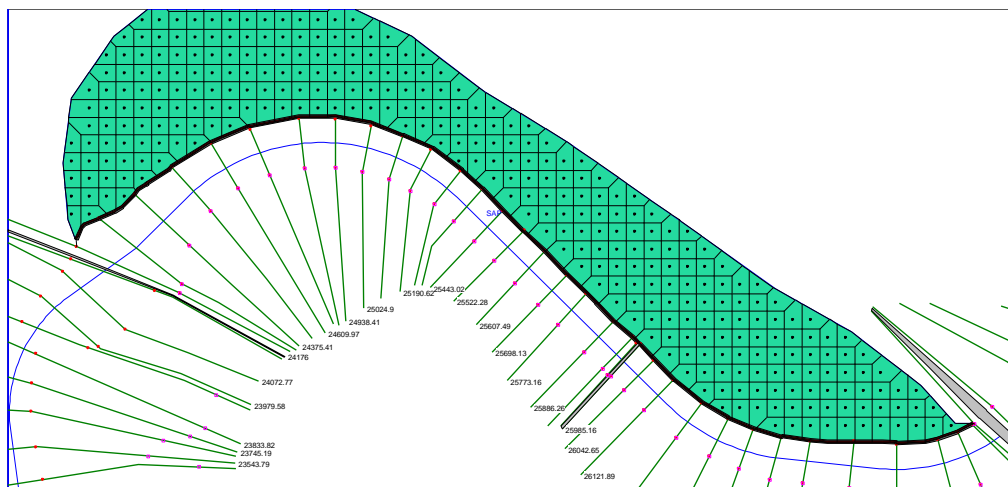


Εικόνα 4.8-1: Γέφυρα 22316BR



Εικόνα 4.8-2: Θέση γέφυρας 22316BR σε σχέση με τη ΔΑΠ, στη μέση της εικόνας, όπου ξεκινάει να στενεύει η κοίτη

Η επόμενη θέση που λήφθηκε είναι ένα ενδιάμεσο σημείο της κοίτης, στη μέση της ΔΑΠ, η διατομή 25773, διότι η ΔΑΠ ορίζεται περίπου από τη διατομή 27000 και τη διατομή 24000. Η διατομή φαίνεται στην Εικόνα 4.8-3.



Εικόνα 4.8-3: Διατομή 25773 στο κέντρο της ΔΑΠ

Για την προσομοίωση της πλημμύρας και τον υπολογισμό του υδρογραφήματος δόθηκαν ως **δεδομένα εισόδου** στο HEC-RAS:

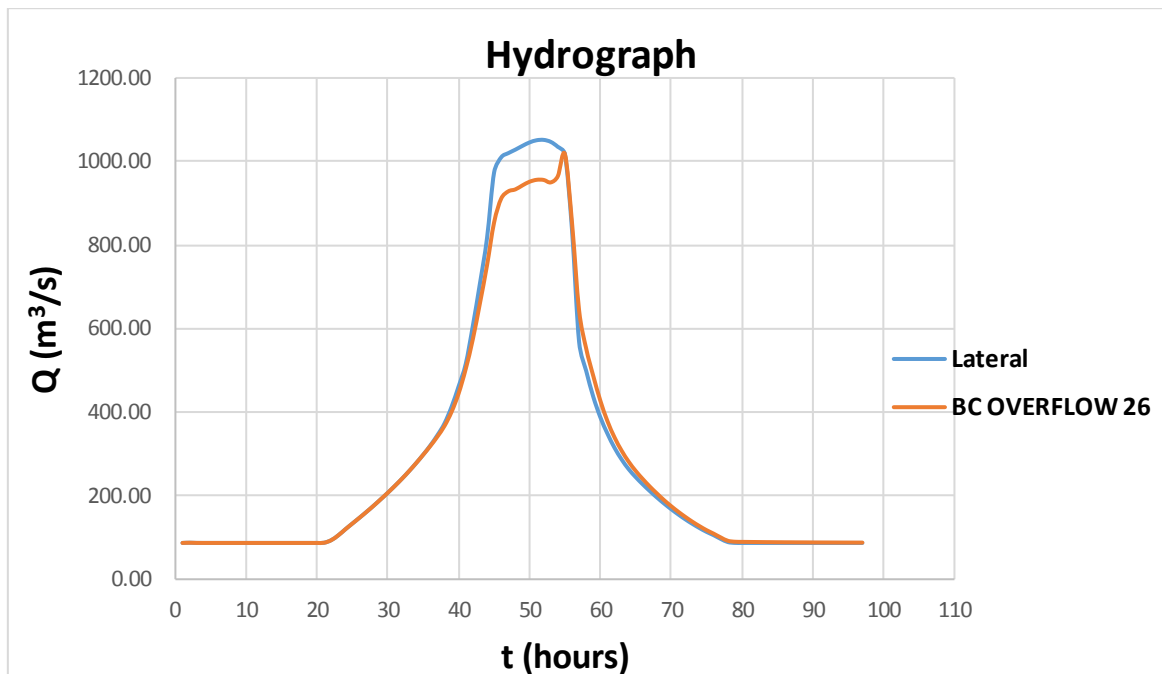
1. το πλημμυρογράφημα εισόδου που φαίνεται στην Εικόνα 4.2-1, δίνεται στο βήμα 1 της εφαρμογής στον Άραχθο,
2. πότε θα ανοίγει το θυρόφραγμα και πόσο θα είναι το άνοιγμά του, και
3. ο συντελεστής τριβής για κανονικά βάθη (normal depth) ίσος με 0.0005.

Μετά την πρώτη προσομοίωση όπου προκύπτει το υδρογράφημα μόνο αν υπάρχει ανάχωμα (Lateral), χωρίς υπερχειλιστή και χωρίς θυρόφραγμα, παρατηρήθηκε ότι η μέγιστη παροχή αιχμής είχε επηρεαστεί ελάχιστα κατάντη στη γέφυρα και ήταν ίση με $1051.75 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ στο ενδιάμεσο σημείο ήταν ίση με $1052.35 \text{ m}^3/\text{s}$.

Στη δεύτερη προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκε μόνον ο υπερχειλιστής ευρείας στέψης στη στάθμη 26 m (BC OVERFLOW 26), ενώ το θυρόφραγμα παρέμεινε κλειστό.

Το νερό υπερχειλίζει πάνω από τη ΔΑΠ. Η μέγιστη παροχή αιχμής στη γέφυρα ήταν $1017.72 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ στο ενδιάμεσο σημείο ήταν ίση με $957.26 \text{ m}^3/\text{s}$. Είναι εμφανές, λοιπόν, η επιρροή της ΔΑΠ.

Τα υδρογραφήματα από τις 2 πρώτες προσομοιώσεις φαίνονται στην Εικόνα 4.8-4 που ακολουθεί.

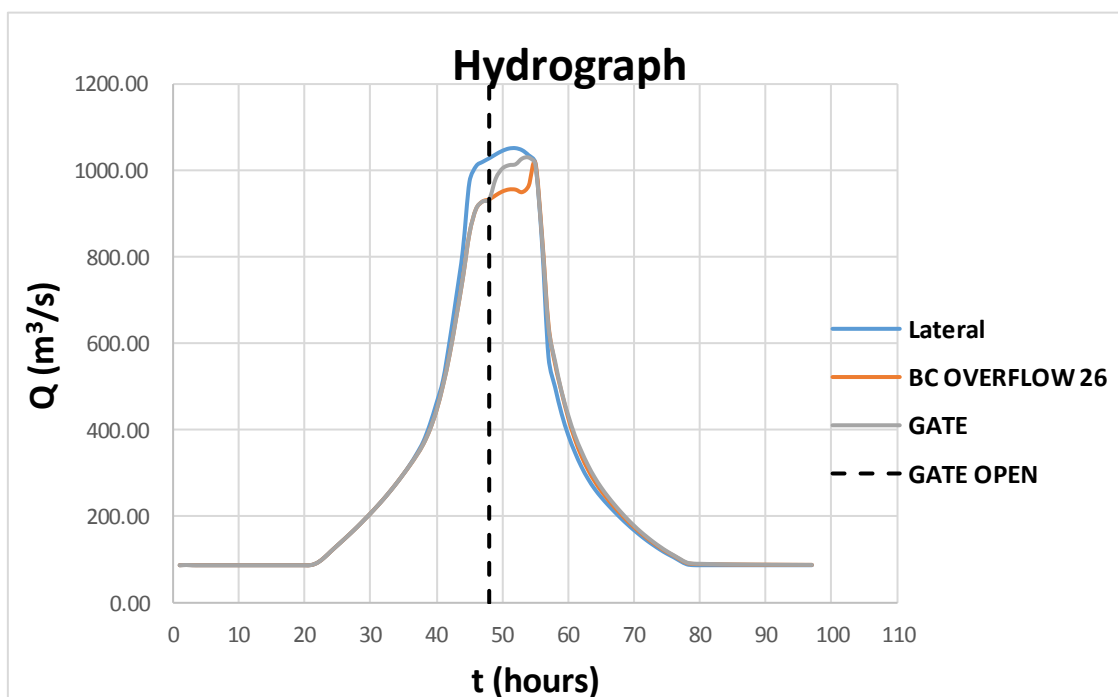


Εικόνα 4.8-4: Υδρογράφημα στη γέφυρα

Στην τρίτη προσομοίωση, αποφασίστηκε το άνοιγμα του θυροφράγματος (GATE) σταδιακά από 1 m για 3 ώρες, 1.5 m για 3 ώρες και 2 m μέχρι το τέλος της προσομοίωσης, με αποτέλεσμα να αδειάσει η ΔΑΠ. Το αποτέλεσμα ήταν ότι η παροχή αιχμής στη γέφυρα ήταν $1029.97 \text{ m}^3/\text{s}$ και στο ενδιάμεσο σε παροχή ίση με $957.33 \text{ m}^3/\text{s}$.

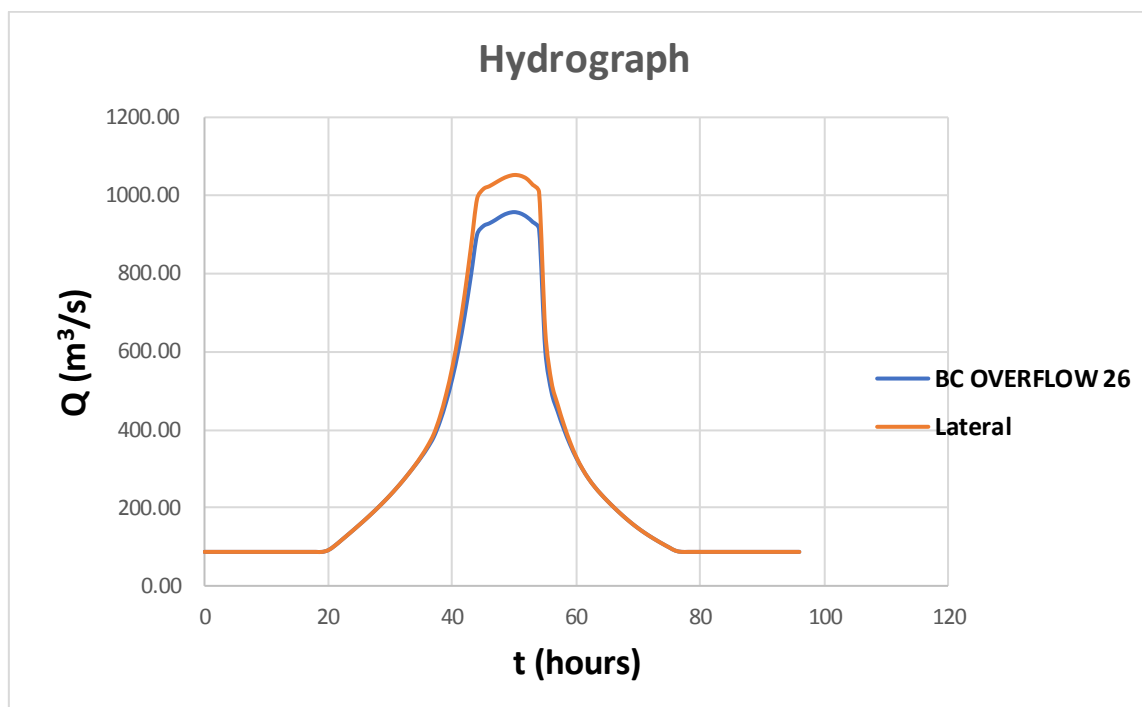
Το άνοιγμα του θυροφράγματος έγινε τη χρονική στιγμή 48, δηλαδή στη μέση της προσομοίωσης, διότι στη δεύτερη προσομοίωση από τη χρονική στιγμή 49 και μετά υπερχειλίζει η ΔΑΠ.

Το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 4.8-5 που ακολουθεί.



Εικόνα 4.8-5: Υδρογράφημα στη γέφυρα για όλες τις προσομοιώσεις

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων στο ενδιάμεσο σημείο είναι στην Εικόνα 4.8-6.



Εικόνα 4.8-6: Υδρογράφημα στο ενδιάμεσο σημείο

Δεν έχει τοποθετηθεί το διάγραμμα για το άνοιγμα του θυροφράγματος, διότι είναι σχεδόν ίδιο με της υπερχειλίσης της ΔΑΠ.

Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός Πίνακας 4.8-1 με τις παροχές αιχμής σε κάθε προσομοίωση και για τα δύο σημεία.

Πίνακας 4.8-1: Παροχές Q_{max} για όλες τις προσομοιώσεις

Προσομοίωση	Γέφυρα Q (m^3/s)	Ενδιάμεσο σημείο ΔΑΠ Q (m^3/s)
1^η: Ανάχωμα	1051.75	1052.35
2^η: Υπερχειλιστής	1017.72	957.26
3^η: Θυρόφραγμα	1029.97	957.33

Ο όγκος ανάσχεσης υπολογίζεται από τα εμβαδά που περικλείονται στα διαγράμματα των υδρογραφήματων.

Για κάθε προσομοίωση προστέθηκαν οι παροχές στο υδρογράφημα. Μετατράπηκαν σε όγκους και ο λόγος της διαφοράς τους προς τον όγκο της ΔΑΠ δίνει το **υπολογιστικό σφάλμα**.

Η δεύτερη προσομοίωση έχει χαμηλότερη αιχμή και συγκρίνεται με την προσομοίωση αναφοράς. Από το εμβαδόν του υδρογραφήματος με μόνο ανάχωμα (Lateral) αφαιρείται το εμβαδόν υδρογραφήματος με μόνο υπερχειλίση (BC OVERFLOW 26) και προκύπτει ο όγκος ανάσχεσης V_{anasx} .

Αν συγκριθεί με τον όγκο της ΔΑΠ, προκύπτει το υπολογιστικό σφάλμα κάθε μεθόδου από τον τύπο, διαιρώντας με το μεγαλύτερο όγκο:

$$\text{Σφάλμα} = \left| \frac{V_{anasx} - V_{lekan}}{V_{lekan}} \right| 100 \%, \text{ αν } V_{lekan} > V_{anasx} \quad (4.8-1)$$

$$\text{Σφάλμα} = \frac{V_{anasx} - V_{lekan}}{V_{anasx}} 100 \%, \text{ αν } V_{anasx} > V_{lekan}$$

όπου

V_{anasx} : ο όγκος ανάσχεσης από τα υδρογραφήματα

V_{lekan} : ο όγκος της ΔΑΠ

Προκύπτουν τα αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 4.8-2:

Πίνακας 4.8-2: Υπολογισμός σφαλμάτων για τους όγκους

Διάγραμμα	Όγκος ανάσχεσης Vanasx (m³)	Όγκος λεκάνης Vlekan (m³)	Σφάλμα
Γέφυρα	4131342	4388698	6 %
Ενδιάμεσο σημείο	5035122	4388698	13 %

Ουσιαστικά, συγκρίνεται πόσο κοντά στον όγκο της ΔΑΠ, είναι ο όγκος ανάσχεσης στα δύο διαγράμματα.

Ο όγκος νερού του πλημμυρικού επεισοδίου των 96 ωρών ήταν συνολικά 101.27 εκατομμύρια m³, ενώ ο όγκος της ΔΑΠ είναι 4.38 εκατομμύρια m³. Αποτελεί, δηλαδή το 4.32% του συνολικού όγκου του νερού της πλημμύρας, όσο είναι περίπου και η μείωση της πλημμυρικής αιχμής από το 1062.33 m³/s μέχρι το 1017.72 m³/s που είναι 4.20%.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής διατριβής είναι:

1. όσο μεγαλύτερη η ΔΑΠ, αυξάνεται ο όγκος ανάσχεσης νερού πλημμύρας, μπορεί να συγκρατηθεί μεγαλύτερη πλημμύρα,
2. όσο αυξάνει το πλάτος του υπερχειλιστή, μεγαλώνει ο ρυθμός εισροής νερού πλημμύρας στη ΔΑΠ, γεμίζει πιο γρήγορα,
3. όσο μειώνεται η στάθμη που τοποθετείται ο υπερχειλιστής, αυξάνεται ο ρυθμός εισροής νερού πλημμύρας στη ΔΑΠ,
4. όσο αυξάνει το πλάτος και το ύψος του θυροφράγματος, αυξάνεται ο ρυθμός εκροής νερού πλημμύρας από τη ΔΑΠ,
5. ότι το άνοιγμα του θυροφράγματος για εκροή νερού πλημμύρας από τη ΔΑΠ κατά τη διάρκεια της πλημμύρας, προκαλεί μικρή ανάσχεση, φτάνει η ίδια σχεδόν παροχή κατάντη
6. ότι το θυρόφραγμα πρέπει να ανοίγει μετά το πέρας της πλημμύρας, να πραγματοποιηθεί εκροή, όταν θα έχει ξαναέλθει η κανονική ροή του ποταμού, και
7. ότι πρέπει να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός για τη στάθμη του υπερχειλιστή, ώστε το νερό που θα μπαίνει να γεμίσει σχεδόν τη ΔΑΠ και μετά το πέρας της πλημμύρας το θυρόφραγμα να παροχετεύει μικρή ποσότητα νερού για άδειασμα της ΔΑΠ, ώστε να μην αναστατωθεί πολύ η ροή κατάντη.

Οι προτάσεις για καλύτερη ανάσχεση των πλημμυρών είναι:

1. μεγαλύτερη εκσκαφή του πυθμένα της ΔΑΠ, για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ανάσχεση νερού πλημμύρας,
2. κατασκευή και άλλων ΔΑΠ, ανάντη της Άρτας, με συνδυασμό των οποίων θα ελαττωθεί η πλημμυρική αιχμή στα κατάντη, και
3. η μετατροπή κάποιων εξ' αυτών σε ΔΑΠ-συγκράτησης, για να αξιοποιείται περισσότερο το νερό της πλημμύρας.

Τέλος, πέρα από τα έργα για την κατάλληλη προστασία των περιοχών έναντι πλημμυρών, κρίνεται σήμερα αναγκαία και η ανάπτυξη ενός μοντέρνου **συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης (ΣΕΠ)**, για το οποίο παρατίθενται κάποιες βασικές αρχές στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

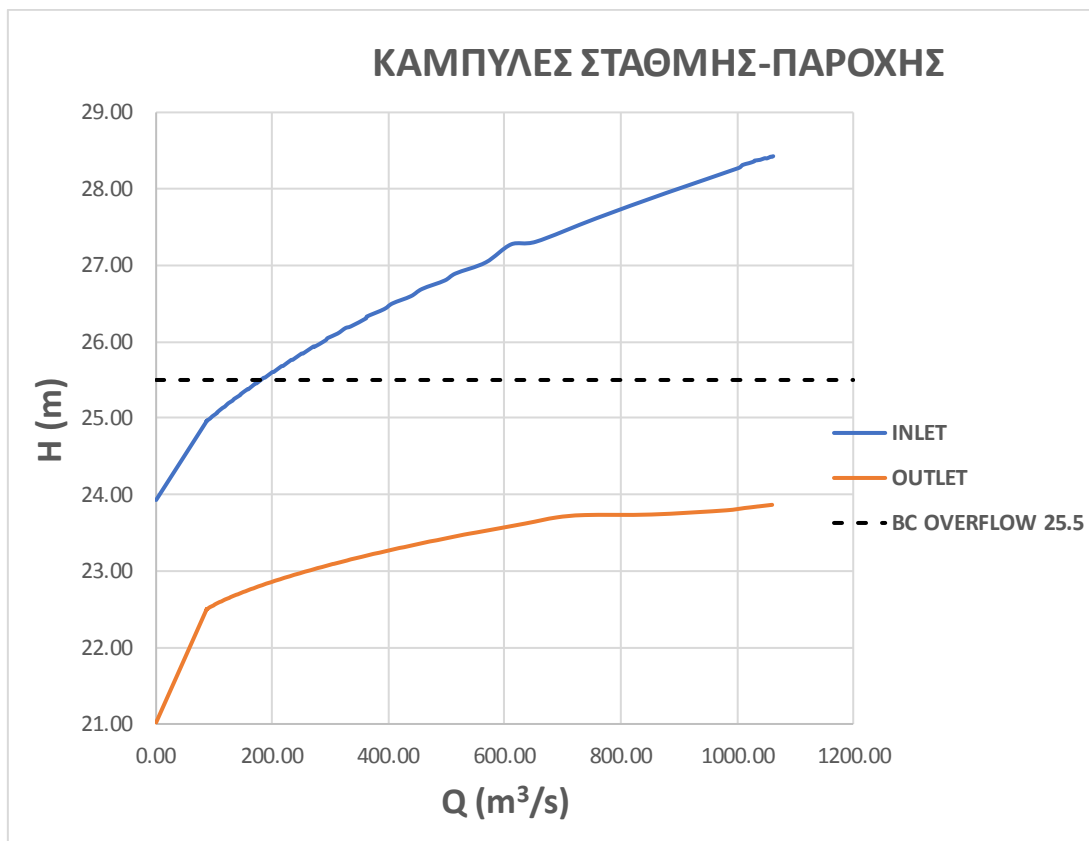
1. Χρυσάνθου Β., 2015. Ποτάμια υδραυλική και τεχνικά έργα. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/5433>
2. Vischer D. & Huber A., 1985. Wasserbau. [ηλεκτρ. βιβλ.] Διαθέσιμο στο: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-10854-3.pdf>
3. Lange G. & Lecher K., 1993. Gewässerregulierung – Gewässerpflege. [ηλεκτρ. βιβλ.] Διαθέσιμο στο: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-322-91580-1.pdf>
4. Μιμίκου Μ. και Μπαλτάς Ε., 2012. Τεχνική Υδρολογία
5. Νουτσόπουλος Γ., Χριστοδούλου Γ., Παπαθανασιάδης Τ., 2007. Υδραυλική Ανοικτών Αγωγών
6. Setty K., 2007. Design Manual: Retention Basin. Διαθέσιμο στο: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SETTY%20ny%20Design%20Manual.pdf
7. Pima County, 2014. Design Standards for Stormwater Detention and Retention. Διαθέσιμο στο: https://webcms.pima.gov/UserFiles/Servers/Server_6/File/Government/Flood%20Control/Rules%20and%20Procedures/Stormwater%20Detention-Retention/dssdr-manual-board-version-201511.pdf
8. Leber B., 2015. Stormwater Basins: How Detention and Retention Ponds Work. Διαθέσιμο στο: <https://info.wesslerengineering.com/blog/stormwater-basins-detention-retention-ponds>
9. Dauphin County. Best Management Practices Fact Sheet: Detention Ponds. Διαθέσιμο στο: <http://www.dauphincd.org/swm/BMPfactsheets/Detention%20Basin%20fact%20sheet.pdf>
10. Harris County. Stormwater Detention: How it works. Διαθέσιμο στο: <https://www.hcfd.org/Resources/Preparing-for-a-Storm/Stormwater-Detention-How-it-Works>
11. UCONN, University of Connecticut. Διαθέσιμο στο: <https://ctstormwatermanual.nemo.uconn.edu/11-design-guidance/dry-detention-ponds/>
12. Μουτάφης Ν.Ι. Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα. Διαθέσιμο στο: <https://www.itia.ntua.gr/en/getfile/1894/1/documents/Plim1.pdf>
13. World Meteorological Organization (WMO), 2013. Flood Management Tool Series. [ηλεκτρ. βιβλ.] Διαθέσιμο στο: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=16351#.YE5N7p0zZPY
14. Kundzewicz Zbigniew W., 2013. 15 Floods: lessons about early warning systems. Διαθέσιμο στο: <https://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2/late-lessons-chapters/late-lessons-ii-chapter-15/view>
15. Τζιμόπουλος, Χ., 1994. Υπερχειλιστές.
16. Μπαλιώτη Β., 2018. Επιλογή μορφής υπερχειλιστή φράγματος με εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης σε ασαφές περιβάλλον. Διαθέσιμο στο: <http://ikee.lib.auth.gr/record/300855/files/Balioti%20Vasiliki%20thesis.pdf>
17. The University Corporation for Atmospheric Research, 2011. Flash Flood Early Warning System Reference Guide. Διαθέσιμο στο: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20963#.YE5SnZ0zZPY
18. Φράγμα Πουρναρίου. Διαθέσιμο στο: <https://www.artavoice.gr/themata/fragmapournaroiy>
19. Άραχθος ποταμός. Διαθέσιμο στο: www.mixanitouxronou.gr
20. Το γεφύρι της Άρτας, Wikipedia. Διαθέσιμο στο: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%86%CF%8D%CF%81%CE%B9%CF%84%CE%B7%CF%82%CE%86%CF%81%CF%84%CE%B1%CF%82>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για υπερχείλιση της ΔΑΠ για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

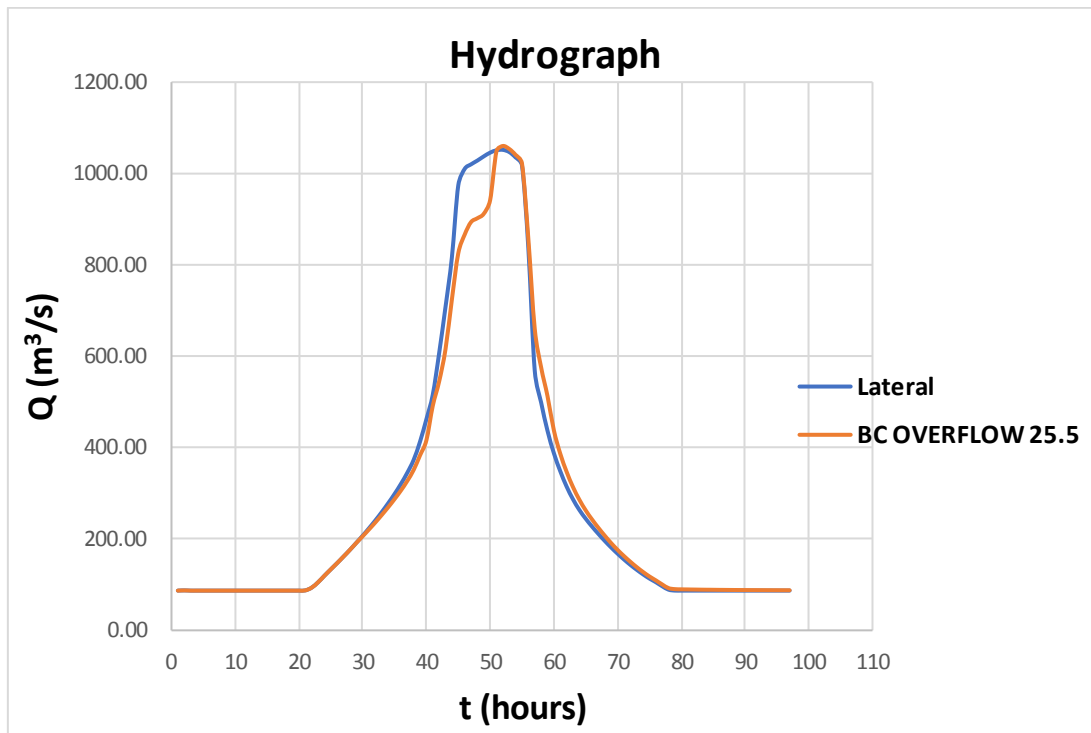
1. για υπερχειλιστή πλάτους $L = 20$ m, με αυτόν να ξεκινάει από τα **25.5 m** στάθμη (BC OVERFLOW 25.5),
2. για υπερχειλιστή πλάτους $L = 20$ m, με αυτόν να ξεκινάει από τα **26.5 m** στάθμη (BC OVERFLOW 26.5),
3. για υπερχειλιστή πλάτους $L = 10$ m, με αυτόν να ξεκινάει από τα **26 m** στάθμη (BC OVERFLOW 26),
4. για υπερχειλιστή πλάτους $L = 10$ m, με αυτόν να ξεκινάει από τα **25.5 m** στάθμη (BC OVERFLOW 25.5),
5. για υπερχειλιστή πλάτους $L = 15$ m, με αυτόν να ξεκινάει από τα **26 m** στάθμη (BC OVERFLOW 26), και
6. για υπερχειλιστή πλάτους $L = 15$ m, με αυτόν να ξεκινάει από τα **25.5 m** στάθμη (BC OVERFLOW 25.5).

Για την πρώτη περίπτωση, όπως φαίνεται από την Εικόνα Π.1, μπαίνει νερό στη ΔΑΠ για παροχή $Q = 180$ m³/s και πάνω.

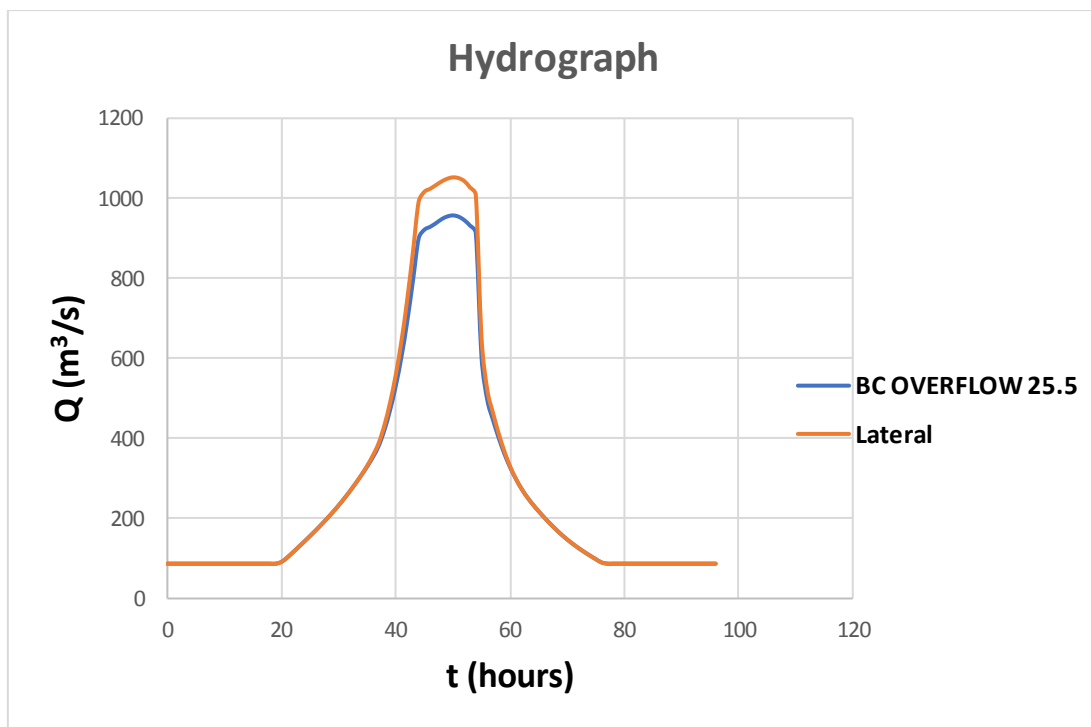


Εικόνα Π.1: Καμπύλες στάθμης-παροχής

Τα αποτελέσματα φαίνονται αρχικά για τη γέφυρα και στη συνέχεια στο ενδιάμεσο σημείο, όπως φαίνονται στις Εικόνες Π.2 και Π.3 αντίστοιχα.



Εικόνα Π.2: Υδρογράφημα γέφυρας



Εικόνα Π.3: Υδρογράφημα ενδιάμεσου σημείου

Στον Πίνακα Π.1 και στον Πίνακα Π.2 είναι τα αποτελέσματα στην ίδια μορφή που ήταν και στα αποτελέσματα του 4^{ου} κεφαλαίου.

Πίνακας Π.1: Υπολογισμός σφαλμάτων για τους όγκους

Διάγραμμα	Όγκος ανάσχεσης Vanasx (m^3)	Όγκος λεκάνης Vlekan (m^3)	Σφάλμα
Γέφυρα	4363002	4388698	1 %
Ενδιάμεσο σημείο	5268456	4388698	17 %

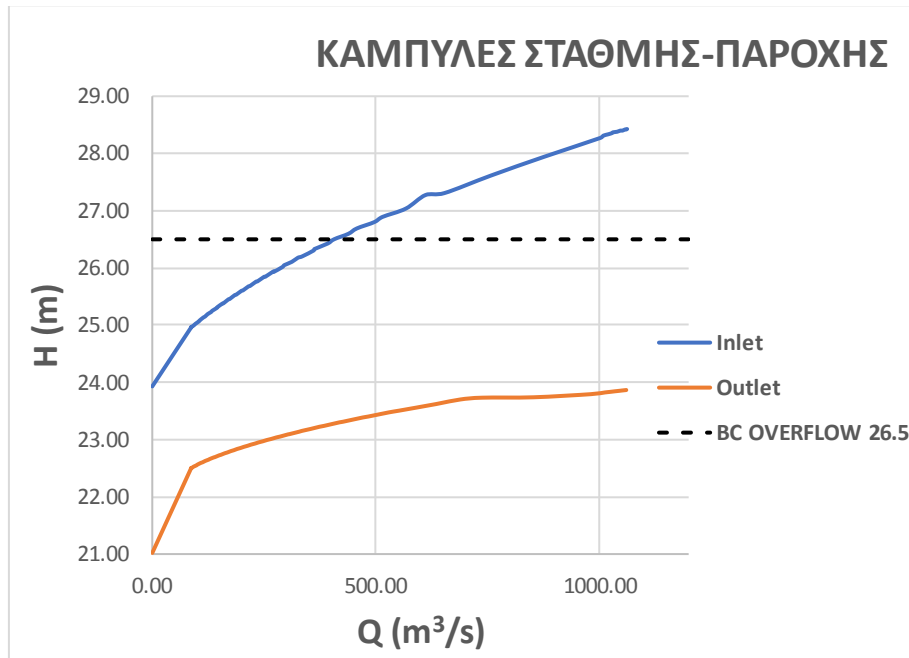
Πίνακας Π.2: Παροχές Q_{max} για όλες τις προσομοιώσεις

Προσομοίωση	Γέφυρα Q (m^3/s)	Ενδιάμεσο σημείο ΔΑΠ Q (m^3/s)
1^η: Ανάχωμα	1051.75	1052.35
2^η: Υπερχειλιστής	1060.25	985.91

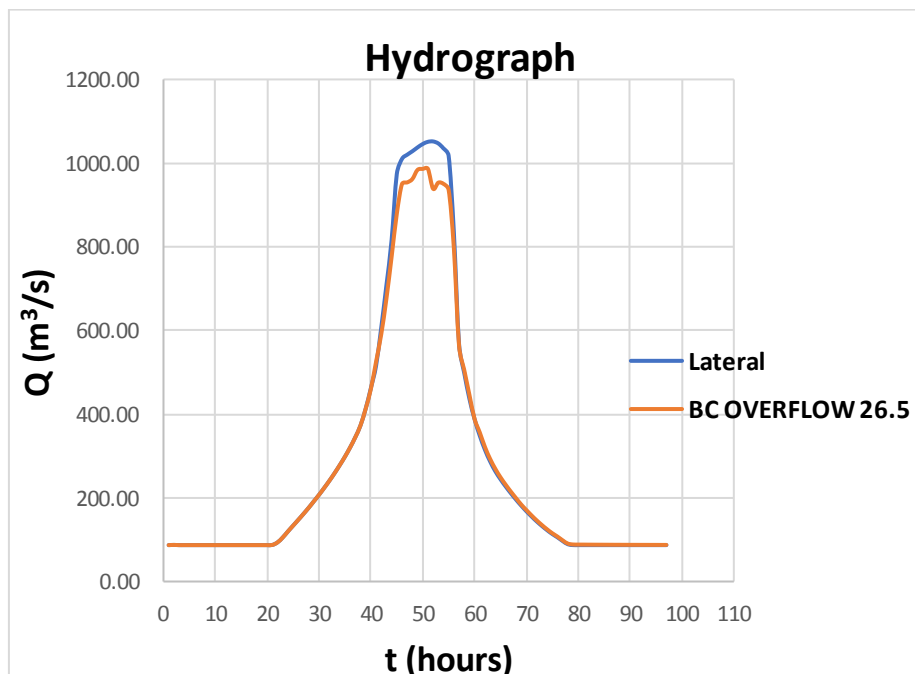
Όσο χαμηλά κι αν είναι τα σφάλματα, δηλαδή, χρησιμοποιείται πλήρως η ΔΑΠ, η παροχή αιχμής είναι πολύ υψηλή, πιο υψηλή από ότι ήταν πριν.

Ακολουθεί η προσομοίωση για υπερχειλιστή πλάτους, 20 m, αλλά ξεκινώντας από τη στάθμη των **26.5 m**, όπως φαίνεται στην Εικόνα Π.4, στις καμπύλες στάθμης-παροχής.

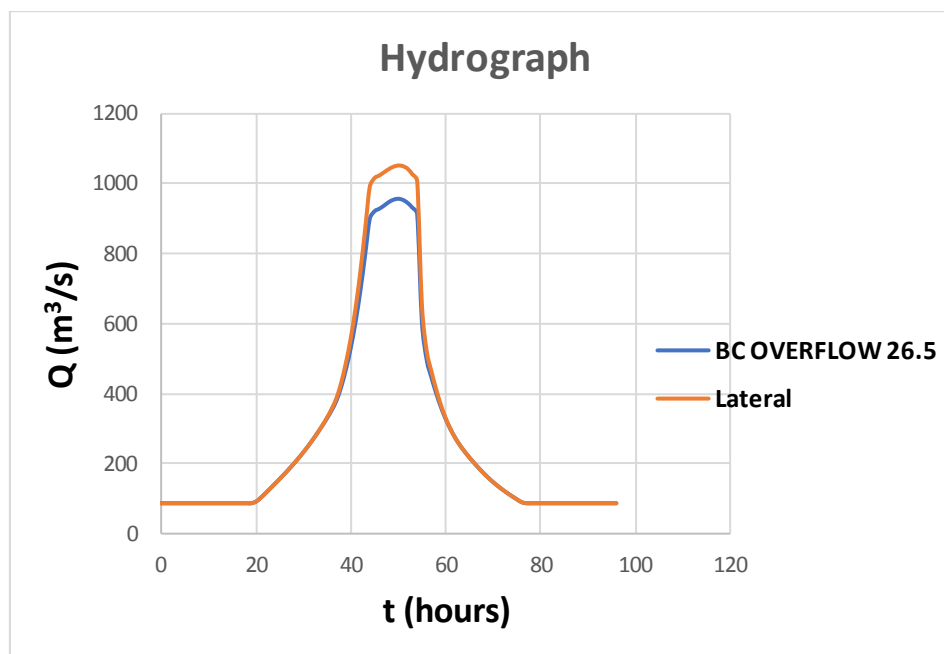
Άρα, μπαίνει νερό για παροχή $Q = 410 m^3/s$ και πάνω.



Εικόνα Π.4: Καμπύλες στάθμης-παροχής



Εικόνα Π.5: Υδρογράφημα γέφυρας



Εικόνα Π.6: Υδρογράφημα ενδιάμεσου σημείου

Στον Πίνακα Π.3 και στον Πίνακα Π.4 είναι τα αποτελέσματα στην ίδια μορφή, για να γίνει σύγκριση.

Πίνακας Π.3: Υπολογισμός σφαλμάτων για τους όγκους

Διάγραμμα	Όγκος ανάσχεσης V _{anasx} (m ³)	Όγκος λεκάνης V _{lekan} (m ³)	Σφάλμα
Γέφυρα	3465468	4388698	21 %
Ενδιάμεσο σημείο	3101490	4388698	29 %

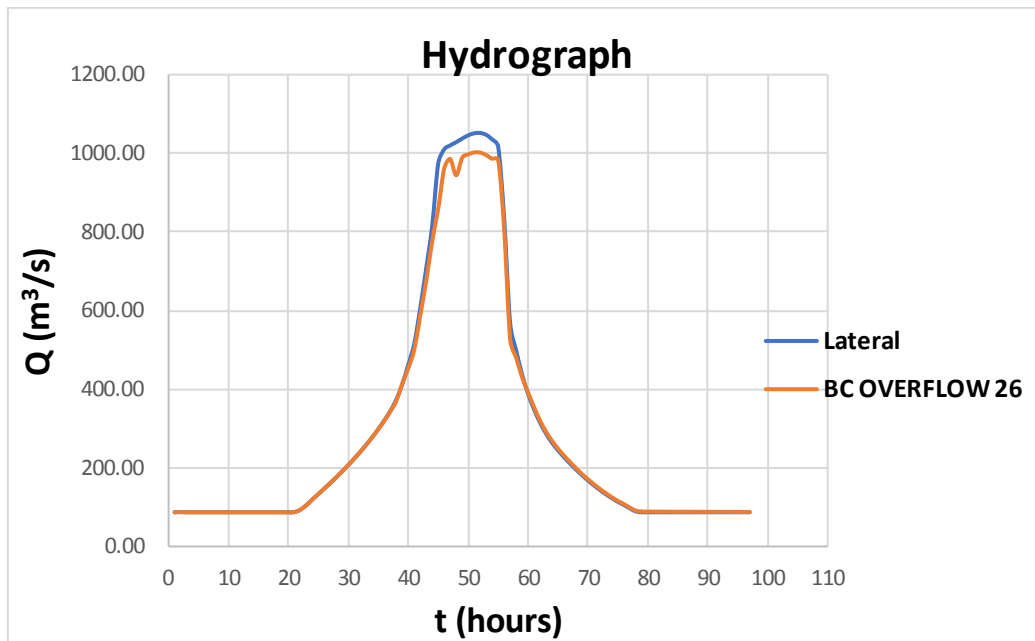
Πίνακας Π.4: Παροχές Q_{max} για όλες τις προσομοιώσεις

Προσομοίωση	Γέφυρα Q (m ³ /s)	Ενδιάμεσο σημείο ΔΑΠ Q (m ³ /s)
1 ^η : Ανάχωμα	1051.75	1052.35
2 ^η : Υπερχειλιστής	986.29	986.44

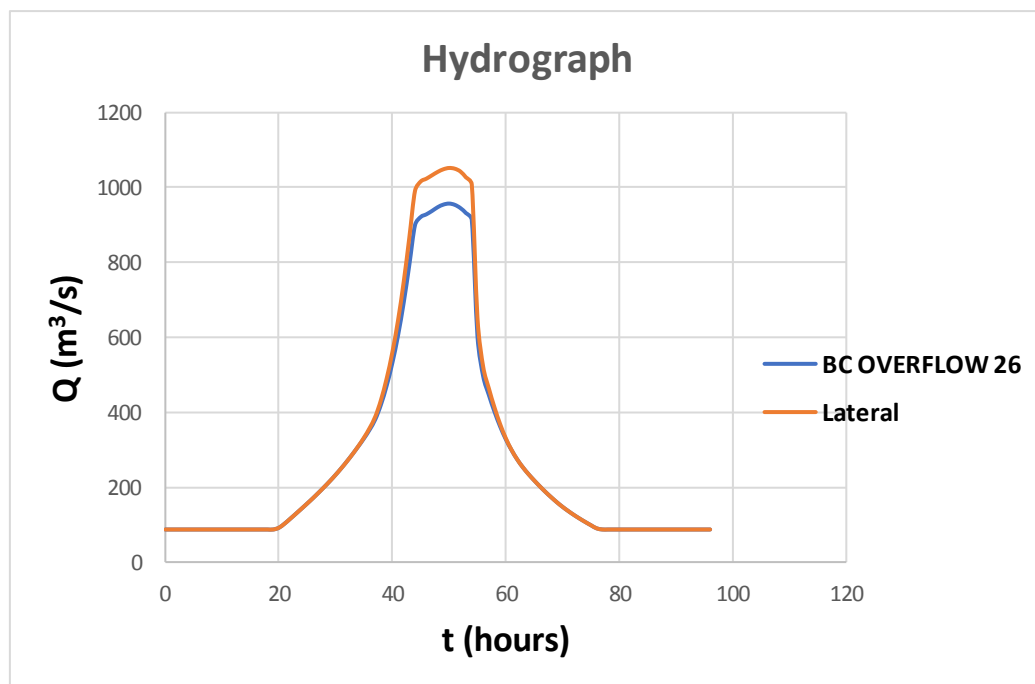
Τα σφάλματα είναι πολύ μεγάλα, οπότε δεν έχει προλάβει να χρησιμοποιηθεί όλη η ΔΑΠ, οπότε όσο και αν είναι μικρές οι παροχές αιχμής, δεν έχει προλάβει απλά ακόμη να υπερχειλίσει η ΔΑΠ.

Ακολουθεί προσομοίωση για υπερχειλιστή πλάτους **10 m**, αλλά ξεκινώντας από τη στάθμη των **26 m**.

Οι καμπύλες στάθμης-παροχής, είναι ίδιες με πριν δεν δείχνονται ξανά.



Εικόνα Π.7: Υδρογράφημα γέφυρας



Εικόνα Π.8: Υδρογράφημα ενδιάμεσου σημείου

Πίνακας Π.5: Υπολογισμός σφαλμάτων για τους όγκους

Διάγραμμα	Όγκος ανάσχεσης Vanasx (m ³)	Όγκος λεκάνης Vlekan (m ³)	Σφάλμα
Γέφυρα	2973186	4388698	32 %
Ενδιάμεσο σημείο	2659716	4388698	39 %

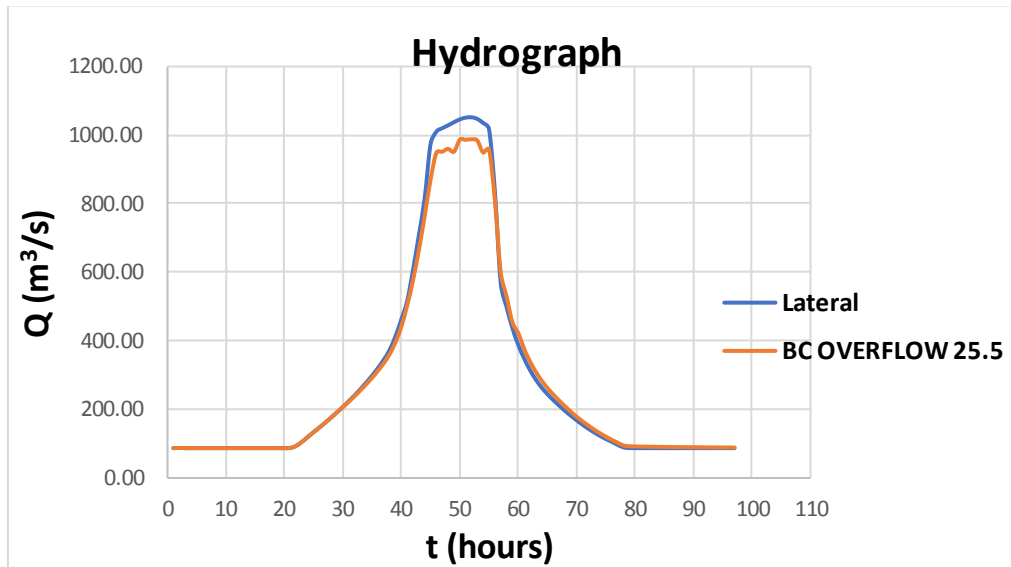
Πίνακας Π.6: Παροχές Q_{max} για όλες τις προσομοιώσεις

Προσομοίωση	Γέφυρα Q (m ³ /s)	Ενδιάμεσο σημείο ΔΑΠ Q (m ³ /s)
1^η: Ανάχωμα	1051.75	1052.35
2^η: Υπερχειλιστής	1002.19	1003.40

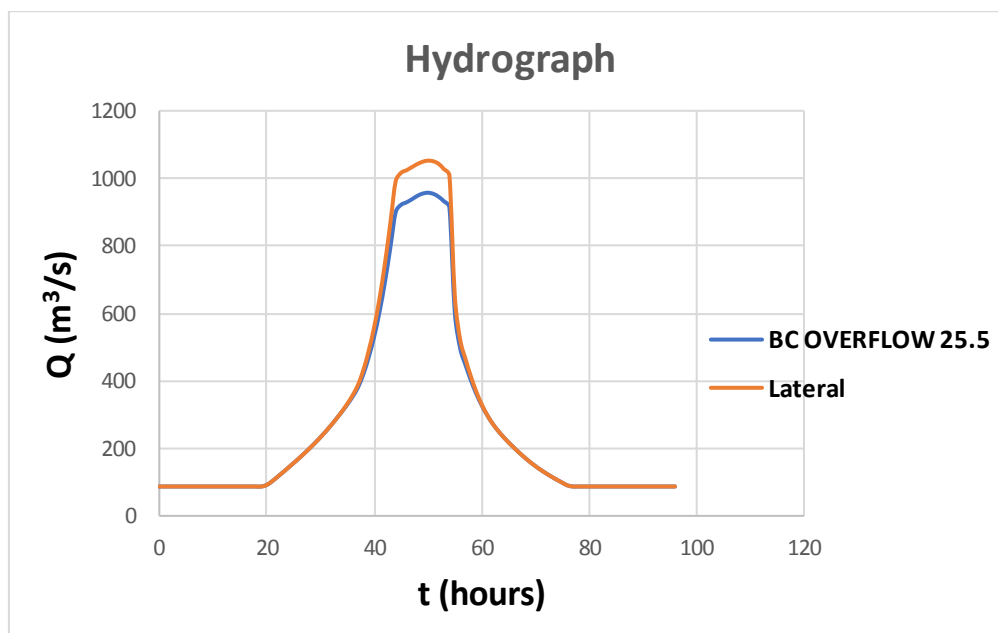
Τα σφάλματα είναι πολύ μεγάλα και δεν έχει προλάβει να χρησιμοποιηθεί όλη η ΔΑΠ, οπότε δεν έχει υπερχειλίσει η ΔΑΠ.

Στη στάθμη των **26.5 m** δε γίνεται δοκιμή, δε θα γεμίσει σίγουρα, αφού δε γέμισε με τη στάθμη των 26 m.

Ακολουθεί προσομοίωση για υπερχειλιστή **πλάτους 10 m**, αλλά ξεκινώντας από τη στάθμη των **25.5 m**.



Εικόνα Π.9: Υδρογράφημα γέφυρας



Εικόνα Π.10: Υδρογράφημα ενδιάμεσου σημείου

Πίνακας Π.7: Υπολογισμός σφαλμάτων για τους όγκους

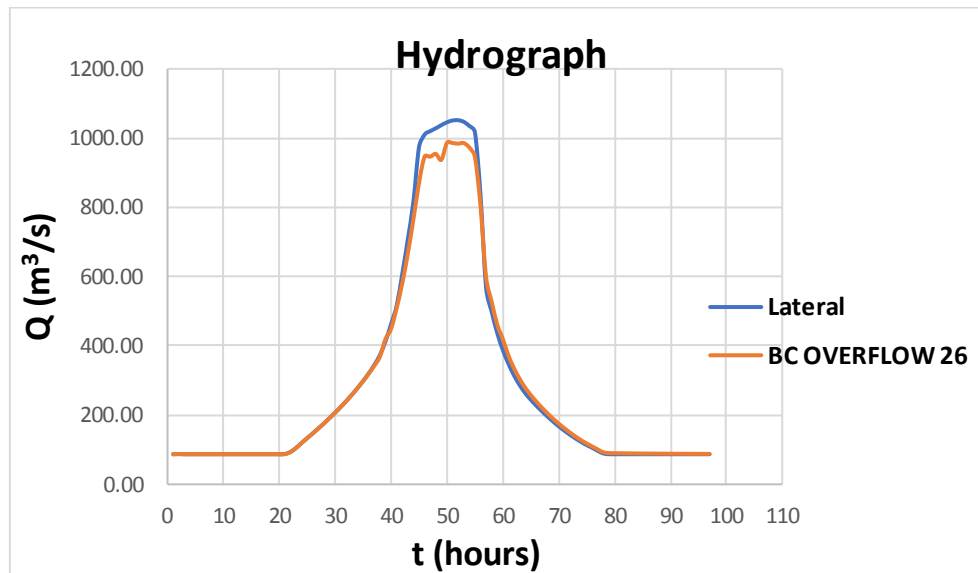
Διάγραμμα	Όγκος ανάσχεσης Vanasx (m ³)	Όγκος λεκάνης Vlekan (m ³)	Σφάλμα
Γέφυρα	3689406	4388698	16 %
Ενδιάμεσο σημείο	3581208	4388698	18 %

Πίνακας Π.8: Παροχές Q_{max} για όλες τις προσομοιώσεις

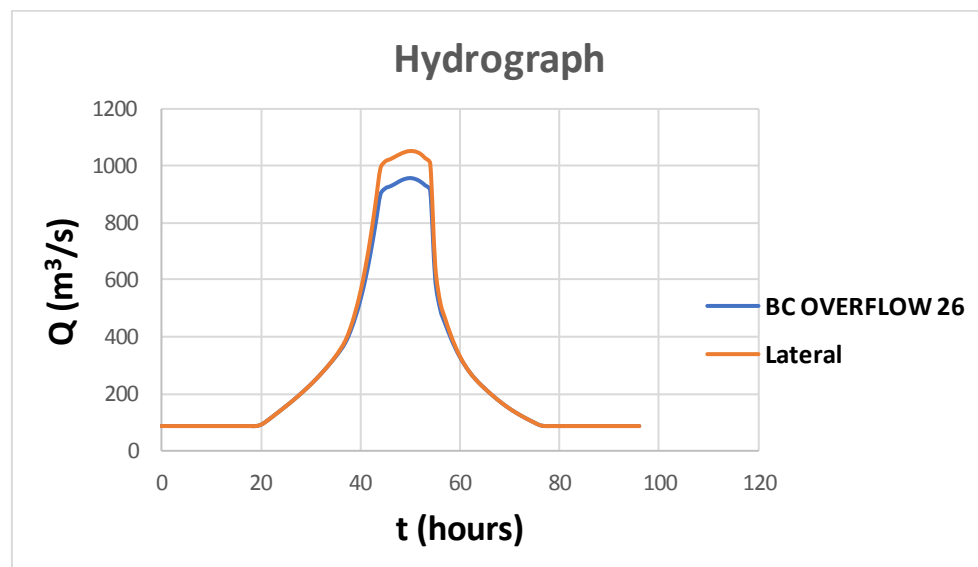
Προσομοίωση	Γέφυρα Q (m^3/s)	Ενδιάμεσο σημείο ΔΑΠ Q (m^3/s)
1 ^η : Ανάχωμα	1051.75	1052.35
2 ^η : Υπερχειλιστής	987.65	985.65

Τα σφάλματα είναι πολύ μεγάλα και δεν έχει προλάβει να χρησιμοποιηθεί όλη η ΔΑΠ, οπότε δεν έχει υπερχειλίσει η ΔΑΠ.

Ακολουθεί προσομοίωση για υπερχειλιστή πλάτους **15 m**, αλλά ξεκινώντας από τη στάθμη των **26 m**.



Εικόνα Π.11: Υδρογράφημα γέφυρας



Εικόνα Π.12: Υδρογράφημα ενδιάμεσου σημείου

Πίνακας Π.9: Υπολογισμός σφαλμάτων για τους όγκους

Διάγραμμα	Όγκος ανάσχεσης V_{anasx} (m^3)	Όγκος λεκάνης V_{lekan} (m^3)	Σφάλμα
Γέφυρα	3453444	4388698	21 %
Ενδιάμεσο σημείο	3549222	4388698	24 %

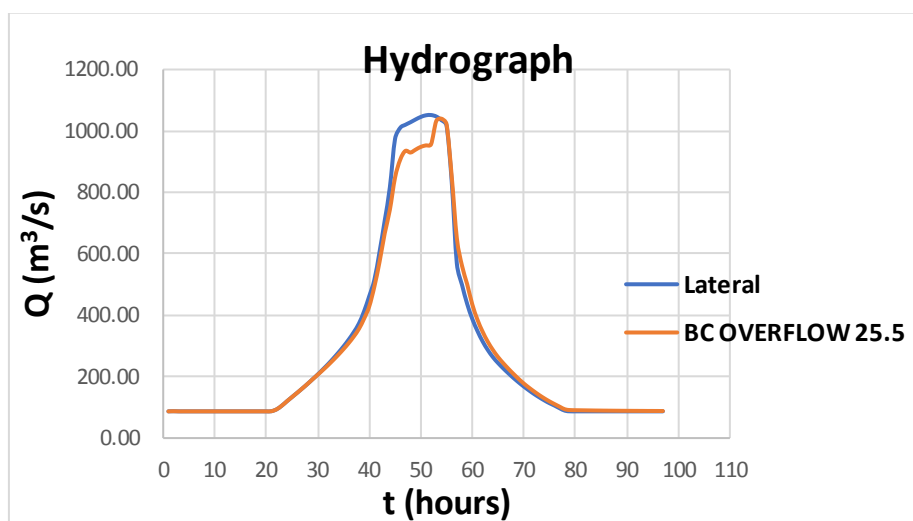
Πίνακας Π.10: Παροχές Q_{max} για όλες τις προσομοιώσεις

Προσομοίωση	Γέφυρα Q (m^3/s)	Ενδιάμεσο σημείο ΔΑΠ Q (m^3/s)
1 ^η : Ανάχωμα	1051.75	1052.35
2 ^η : Υπερχειλιστής	987.65	985.65

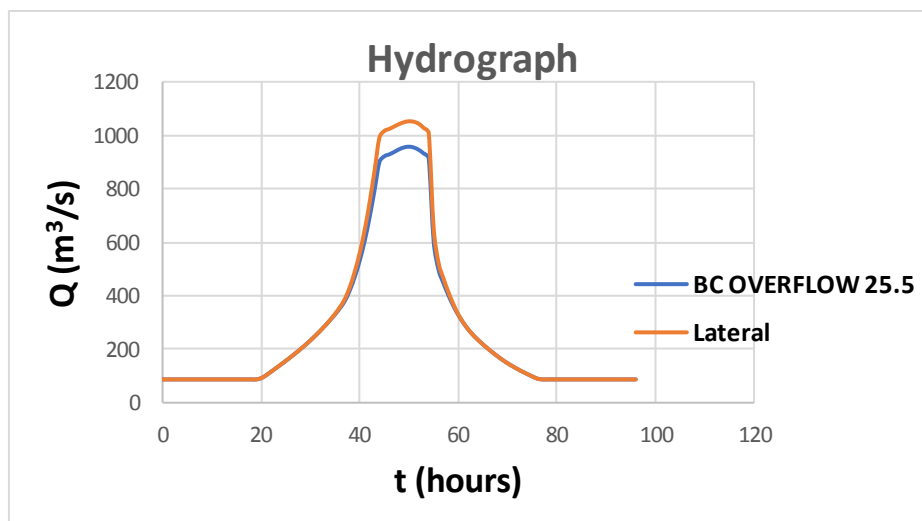
Έχει ακόμα περιθώριο να γεμίσει η ΔΑΠ, δεν έχει υπερχειλίσει.

Ομοίως με πριν δε θα ακολουθήσει προσομοίωση στη στάθμη των 26.5 m, διότι θα γεμίσει ελάχιστα η λεκάνη.

Ακολουθεί προσομοίωση για υπερχειλιστή πλάτους 15 m, αλλά ξεκινώντας από τη στάθμη των 25.5 m.



Εικόνα Π.13: Υδρογράφημα γέφυρας



Εικόνα Π.14: Υδρογράφημα ενδιάμεσου σημείου

Πίνακας Π.11: Υπολογισμός σφαλμάτων για τους όγκους

Διάγραμμα	Όγκος ανάσχεσης Vanasx (m^3)	Όγκος λεκάνης Vlekan (m^3)	Σφάλμα
Γέφυρα	4001202	4388698	9 %
Ενδιάμεσο σημείο	4596588	4388698	5 %

Πίνακας Π.12: Παροχές Q_{max} για όλες τις προσομοιώσεις

Προσομοίωση	Γέφυρα Q (m^3/s)	Ενδιάμεσο σημείο ΔΑΠ Q (m^3/s)
1 ^η : Ανάχωμα	1051.75	1052.35
2 ^η : Υπερχειλιστής	1039.88	985.00

Εδώ, έχει υπερχειλίσει, αλλά οι παροχές αιχμής είναι πολύ υψηλές, δεν είναι η βέλτιστη λύση.

Τελικά, η **βέλτιστη λύση** που δε μπορούσε να εφαρμοστεί στο HEC-RAS, διότι δεν υπήρχαν δεδομένα για μετά την πλημμύρα, είναι να ήταν ο **υπερχειλιστής στη στάθμη των 26 m, με πλάτος 15 m**, πιο φθηνό από 20 m, για να έχει στη γέφυρα κατάντη **$Q_{max} = 987.65 m^3/s$** . Όταν περάσει η πλημμύρα αδειάζει σιγά σιγά η ΔΑΠ μέσα από το θυρόφραγμα. Η ΔΑΠ έχει περιθώριο και για μεγαλύτερη πλημμύρα, εφόσον έχει δεχθεί 3.55 εκατομμύρια m^3 και μπορεί να δεχθεί άλλο περίπου 830000 m^3 ακόμη.

Πίνακας Π.13: Παροχή εισόδου από υπερχειλιστή

g (m/s^2)	9.81
H_o (m)	2.10
L (m)	15.00
Q (m^3/s)	77.82

Πίνακας Π.14: Παροχή εξόδου από θυρόφραγμα

$H1$ (m)	4.00
$H2$ (m)	2.00
d (m)	2.00
$d/H1$	0.50
C	0.64
L (m)	7.00
Q (m^3/s)	69.08

Όταν αφεθεί το νερό από το θυρόφραγμα, ο ποταμός θα έχει για 14 ώρες ($= 3549222m^3 / (69.08m^3/s * 3600s/h)$), που χρειάζεται για να αδειάσει η ΔΑΠ με το νερό που έχει μαζέψει, κανονική παροχή ροής $87 + 69.08 = 156.08 m^3/s$ στα κατάντη της ΔΑΠ.

Τέλος, ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση ενός **ΣΕΠ**, δηλαδή ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης που είναι απαραίτητο σε κάθε περιοχή που κινδυνεύει από πλημμύρες (WMO, 2013).

Η έγκυρη πρόβλεψη και η έγκαιρη προειδοποίηση αποδεικνύεται πως δίχως ιδιαίτερο κόστος ελαχιστοποιούν τις αρνητικές συνέπειες μιας πλημμύρας και κάνουν τη διαφορά ανάμεσα σε ζωή και το θάνατο.

Τα βασικά στοιχεία **ενός αποτελεσματικού ΣΕΠ (early warning system, EWS)** περιέχουν:

1. ανίχνευση, συνεχή παρακολούθηση, πρόβλεψη κινδύνων και ανάπτυξη προειδοποιητικών μηνυμάτων για κινδύνους,
2. εκτίμηση-αξιολόγηση πιθανών ρίσκων και ενσωμάτωση πληροφοριακού ρίσκου μέσα στα προειδοποιητικά μηνύματα,
3. διάδοση έγκαιρα, αξιόπιστων, και κατανοητών προειδοποιητικών μηνυμάτων σε υπεύθυνους (εξουσία) και στους ανθρώπους σε κίνδυνο, και
4. η κοινότητα να έχει ένα βασισμένο έκτακτο σχέδιο, δηλαδή με προετοιμασία και εξάσκηση να έχουν ως στόχο την αποτελεσματική αντιμετώπιση σε προειδοποιήσεις, ώστε να μειωθεί ο ενδεχόμενος αντίκτυπος σε ζωές και περιουσίες.

Τα **απαραίτητα εργαλεία** που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι τα εξής:

1. Να παρέχουν συνεχείς πληροφορίες για την πρόβλεψη πλημμυρών
2. Να καταλαβαίνουν ποια είναι τα απαραίτητα στοιχεία για τον εντοπισμό των πλημμυρικών φαινομένων

3. Να καταστρώνουν στρατηγικές που είναι απαραίτητες για την σωστή διαχείριση πλημμυρών
4. Να δίνουν κατευθύνσεις σε τοπικές κοινωνίες και σε ανθρώπους ατομικά

Οι δύο **βασικοί στόχοι** είναι:

1. να μειωθούν οι απώλειες ζώων με έγκαιρη εκκένωση, και
2. να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη από την όσο το δυνατόν μικρότερη καταστροφή και να χρησιμοποιηθούν σωστά αυτά που μπορεί να προσφέρει η πλημμύρα, όπως είναι η επαναφόρτιση υδροφορέων ή η λειτουργία ενός ταμιευτήρα.

Οι **προειδοποιήσεις** για μια πλημμύρα είναι απαραίτητο να φτάνουν **σε μεγάλο φάσμα χρηστών** για τους εξής λόγους:

1. πρέπει να προετοιμάζουν τις ομάδες που θα ενεργήσουν και τα άτομα για επείγοντα περιστατικά,
2. να προειδοποιούν το κοινό για το χρόνο και την τοποθεσία του πλημμυρικού συμβάντος,
3. να ενημερώνουν ποιοι δρόμοι, οικισμοί και αμυντικές δομές πλημμυρών θα επηρεαστούν από το συμβάν, και
4. να δίνουν ξεκάθαρο χρονικό περιθώριο σε ανθρώπους και υπηρεσίες για να δράσουν και τέλος, σε ακραίες περιστάσεις, να δίνουν εντολή εκκένωσης.

Ο πλημμυρικός κίνδυνος χαρακτηρίζεται από **υδρολογική αβεβαιότητα**. Για αυτό το λόγο οποιαδήποτε αμυντική ή επανορθωτική κατασκευή για την καταπολέμηση των πλημμυρών χαρακτηρίζεται επίσης από ορισμένα επίπεδα αβεβαιότητας. Τα επίπεδα αυτά ορίζουν και το τελικό κόστος προσπαθώντας να έρθει σε οικονομική ισορροπία με μια τυχόν αστοχία τους.

Ένα πλήρες προγνωστικό πλημμυρών πρέπει **να λειτουργεί σαν μια αλυσίδα**. Η δημιουργία αυτού χρειάζεται ανθεκτικότητα, ώστε να αντεπεξέρχεται σε όλα τα πιθανά σενάρια, όπως τα σπάνια και σοβαρά και τα λιγότερο σοβαρά και κοινά. Οι αβεβαιότητες στην πρόβλεψη μεγαλώνουν όταν πρόκειται για ακραία φαινόμενα και εξαρτώνται από τους εκάστοτε επιστημονικούς και τεχνολογικούς περιορισμούς.

Τα στοιχεία που είναι απαραίτητα στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης φυσικών κινδύνων είναι η γνώση των κινδύνων και η **συστηματική παρακολούθηση** των ευάλωτων περιοχών μέσω κατάλληλων χαρτών με τη χρήση επιστημονικών μεθόδων και τεχνολογιών.

Απαραίτητη είναι η **συνεχής και υπεύθυνη επικοινωνία** και μετάδοση των στοιχείων στις τοπικές και εθνικές υπηρεσίες, ώστε να προλάβουν να δράσουν κατάλληλα αξιολογώντας το κάθε πλημμυρικό επεισόδιο. Τα απαραίτητα δεδομένα είναι τα υδρολογικά, τα μετεωρολογικά, τα τοπογραφικά και τα κοινωνικά και δομικά στοιχεία μιας περιοχής.

Όσον αφορά στο **χρονικό περιθώριο πρόβλεψης** πλημμύρας, είναι ο χρόνος που απαιτείται από την αρχή της πρόβλεψης μέχρι το τελικό σημείο που θα φτάσει η πλημμύρα. Σε ένα μεγάλο ποταμό με πιθανές μεγάλες καταστροφές σε περίπτωση πλημμύρας, πρέπει το ΣΕΠ να δίνει προβάδισμα ημερών στους πληγέντες, ώστε να προλάβουν ακόμα και μια **πιθανή εκκένωση**.

Οι **απαραίτητες υποδομές** είναι οι παρακάτω:

1. κεντρική λειτουργική βάση,
2. δίκτυο με σταθμούς παρατήρησης,
3. επικοινωνία με άλλους σταθμούς (τηλεμετρία), και
4. εγκαταστάσεις για υπαλλήλους με μονάδες που θα έχουν μοντέλα παρακολούθησης και υπολογισμού και με μονάδες επικοινωνίας και διάδοσης προγνώσεων και προειδοποιήσεων

Όσον αφορά στο **ανθρώπινο δυναμικό**:

1. Απαιτούνται χρήστες υδρολογικών μοντέλων,
2. Μετεωρολόγοι,
3. Τεχνολογία πληροφοριών IT
4. Ειδικοί στις επικοινωνίες με τα μέσα, το κοινό και την κυβέρνηση
5. Διαχειριστές και διοίκηση
6. Ερευνητές για περαιτέρω εξέλιξη

Πρέπει να γίνουν αντιληπτές οι **αιτίες της πλημμύρας** σε κάθε λεκάνη απορροής, ώστε να αναπτυχθεί ένα μοντέλο πρόβλεψης.

Όταν η αιχμή περάσει, είναι σημαντικό να ξέρει ο κόσμος πότε είναι ασφαλής η περιοχή, πρώτα για τα οχήματα έκτακτης ανάγκης και ύστερα για τους κάτοικους της περιοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι περιοχές στο δέλτα ενός ποταμού ή οι λεκάνες απορροής με έντονη συνεισφορά υπόγειων νερών που μπορεί να παραμείνουν πλημμυρισμένες για παραπάνω χρονικό διάστημα από το φυσιολογικό.

Οι μετεωρολογικές και υδρολογικές υπηρεσίες θεωρούν **επαρκή τα στοιχεία** για μια περίοδο **30 ετών και άνω**.

Πολλές στατιστικές μέθοδοι είναι διαθέσιμες για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου. Η οπτική σύγκριση του μοντελοποιημένου και του παρατηρούμενου υδρογραφήματος δείχνουν κατά πόσο ήταν ποιοτική η εκτίμηση του μοντέλου.

Οι παρατηρήσεις, δηλαδή τα στοιχεία, πρέπει **να συλλεχθούν σε πραγματικό χρόνο**, ώστε να εισαχθούν στα μοντέλα και να ενισχύσουν την ακρίβεια.

Είναι βέβαια σαφές πως τόσο οι μετεωρολογικές όσο και οι υδρολογικές προβλέψεις έχουν **πάντα κάποιο σφάλμα**. Όμως οι διαχειριστές κινδύνου είναι υποχρεωμένοι να λαμβάνουν αποφάσεις ακόμα και κάτω από αυτήν την αβεβαιότητα για τις εξελίξεις μελλοντικών γεγονότων.

Το υδρομετεωρολογικό δίκτυο βασίζεται στο **συνδυασμό βροχής και στάθμης του ποταμού**. Αυτό πρέπει να είναι αξιόπιστο και ανθεκτικό.

Μια πλημμύρα μπορεί να προβλεφθεί με πολύ μεγάλη ακρίβεια μόνο στα τελευταία της στάδια, διότι προς το τέλος υπάρχουν πολύ περισσότερα και επαρκή δεδομένα.

Επίσης, η γρήγορη και η αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων είναι μεγάλης σημασίας για την πρόβλεψη και την έγκαιρη προειδοποίηση των πλημμυρών. Τα **όργανα** απαιτούν αισθητήρες και αυτόματη μεταφορά δεδομένων. Τέτοια είναι:

1. το tipping bucket που συλλέγει βροχή,
2. οι καταγραφείς της στάθμης του ποταμού,
3. οι υπερηχητικές μετρήσεις ροής, και
4. οι κλιματικοί σταθμοί.

Η **μεταφορά στοιχείων** γίνεται με τον εξής τρόπο:

1. η μεταφορά σήματος από αισθητήρα σε ψηφιακή μορφή,
2. η μεταφορά ψηφιακού στοιχείου σε στοιχείο επικοινωνίας, και
3. η μετατροπή του σε στοιχείο εισόδου για τα προγνωστικά μοντέλα.

Τα **μέσα μεταφοράς και επικοινωνίας** των δεδομένων είναι από τηλεμετρία:

1. μέσω ενσύρματων γραμμών επικοινωνίας,
2. ραδιοσυχνοτήτων VHF, HF και UHF,
3. δημόσιων τηλεπικοινωνιών,
4. κινητών τηλεφώνων, και
5. δορυφόρων.

Οι σταθμοί τηλεμετρίας που χρησιμοποιούνται για υδρομετρικές παρατηρήσεις δεν μπορούν πάντα να βρίσκονται σε ιδανική θέση. Πρέπει να τοποθετούνται, σε σημεία που να υπάρχει διαθεσιμότητα με κάποιον από τους παραπάνω τρόπους επικοινωνίας και γενικότερα να υπάρχει προσβασιμότητα από δρόμο, ώστε να εμπεριέχεται στο δίκτυο και να μπορεί και να συντηρείται εύκολα.

Τα **συστήματα μεγάλης σημασίας** για το δίκτυο πρέπει να διαθέτουν υψηλή χωρητικότητα και πάντα εφεδρικό σύστημα ενέργειας.

Η **διαχείριση δεδομένων** περιλαμβάνει την αποθήκευση, την προσβασιμότητα και την διάδοση των δεδομένων. Όλα πρέπει να αποθηκεύονται σε αρχείο, ώστε να μπορεί να τα επανεξετάσει ή να τα εκτιμήσει κάποιος στο μέλλον κυρίως τα ιστορικά πλημμυρικά συμβάντα. Αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη, αφού τα δεδομένα είναι αυτά που εξασφαλίζουν τη σωστή λειτουργία του δικτύου πρόβλεψης πλημμυρών και έγκαιρης προειδοποίησης.

Η **εσωτερική προειδοποίηση** είναι για την ανάληψη μέτρων μετριασμού του φαινομένου:

1. ειδοποίηση κεντρικού σταθμού,
2. τοποθέτηση παρατηρητών με συνεχόμενη αναφορά για τα επίπεδα της στάθμης,
3. ειδοποίηση ομάδων διατήρησης και διόρθωσης αμυντικών υποδομών έναντι πλημμυρών σε περίπτωση καταστροφής,
4. προετοιμασία κοινού και μέσων ενημέρωσης με απαραίτητες πληροφορίες για το συμβάν, και
5. συνεχόμενη ανανέωση και ενημέρωση δεδομένων στις διαδικτυακές πλατφόρμες

Οι **εξωτερικές προειδοποιήσεις** αφορούν:

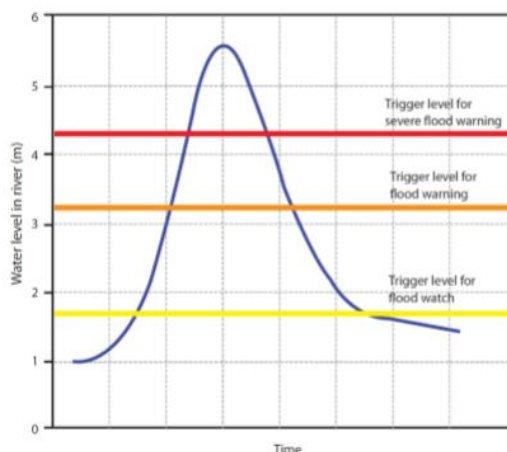
1. κυβερνητικές υπηρεσίες άμεσα εμπλεκόμενες με την πλημμύρα και τη διαχείριση εκτάκτου κινδύνου,
2. τοπικές κυβερνητικές εξουσίες,
3. υπηρεσίες βοήθειας, αστυνομία, πυροσβεστική και σε ακραία περιστατικά τον στρατό,
4. ΜΚΟ εμπλεκόμενες με τη διάσωση και την παροχή βοήθειας, π.χ. Ερυθρός Σταυρός, και
5. κοινό, Τύπο μέσα μαζικής ενημέρωσης

Πρώτα απ' όλα πρέπει το ΣΕΠ να ενημερώνει για την **χωρική έκταση** της πλημμύρας, δηλαδή ποιες περιοχές θα επηρεαστούν.

Πρέπει να υπάρχει **ιεραρχία** με την οποία θα ενημερωθούν οι οργανώσεις, ώστε να κατευθύνουν τον κόσμο σωστά και να λάβουν επί τόπου δράση. Συνήθως, μία εθνική κεντρική οργάνωση συντονίζει και κατευθύνει τις τοπικές οργανώσεις.

Το ΣΕΠ πρέπει να ενημερώνει για το **χρονικό περιθώριο** πριν από κάποιο πλημμυρικό επεισόδιο. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται:

1. από το μέγεθος της πλημμυρικής περιοχής, π.χ. οι μεγάλες λεκάνες αργούν να «κατεβάσουν» την πλημμύρα, ενώ στις απότομες ή μικρές λεκάνες χρειάζονται μεγάλα χρονικά περιθώρια,
2. από τη σοβαρότητα και το ρίσκο του επεισοδίου, αν χρειάζεται δηλαδή εκκένωση ή ενίσχυση των αμυντικών υποδομών έναντι πλημμύρας,
3. από το αν υπάρχουν στάδια προειδοποίησης, δηλαδή ανάλογα με την εξέλιξη της πλημμύρας, και
4. από τα δεδομένα που έχουμε ανεξάρτητα από τα παραπάνω.



Εικόνα Π.17: Παράδειγμα ορίων για προειδοποίηση (WMO, 2013)

Πιο αναλυτικά πρέπει, επίσης, το μήνυμα να ενημερώνει για τα φυσικά χαρακτηριστικά της πλημμύρας, δηλαδή:

1. ο χρόνος στον οποίο θα φτάσει η πλημμύρα και σε τι ύψη θα φτάσει,
2. ο χρόνος που θα εμφανιστεί η πλημμύρα,
3. πόσο θα διαρκέσει,
4. πού θα πάει το νερό, και
5. το βάθος και η ταχύτητα των νερών της πλημμύρας

Τα μηνύματα προειδοποίησης πρέπει να παρακινούν, συνήθως με τη συνοδεία κάποιας σειρήνας

ή ειδοποίησης.

Τα μηνύματα θα πρέπει να έχουν θετική νότα παρά αρνητική, λέγοντας στον κόσμο **τι να κάνει και όχι τι να μην κάνει** (π.χ. «Μείνετε σπίτι» παρά «μη φύγετε από το σπίτι»), να προτείνουν στον κόσμο τι να κάνει και να τους παρακινεί σε κοινωνικοποίηση παρά σε απομόνωση, όπως π.χ. να βοηθήσουν ή να ενημερώσουν και τους γείτονες ή τους ηλικιωμένους.

Αρκετοί άνθρωποι που ζούνε σε απομονωμένες περιοχές χωρίς πρόσβαση στο διαδίκτυο δεν μπορούν να λάβουν τα μηνύματα προειδοποίησης. Οι αρχές είναι υπεύθυνες ώστε να φτάσει και σε αυτούς το μήνυμα.

Οι διαχειριστές πλημμυρικού κινδύνου έχουν αναπτύξει κάποιους τρόπους επικοινωνίας, οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι:

1. το τοπικό ραδιόφωνο,
2. οι τοπικοί συναγερμοί, δηλαδή καμπάνες εκκλησιών, σειρήνες και μηνύματα από ελικόπτερα έκτακτης ανάγκης,

Οι προειδοποιήσεις συχνά μπορεί να μην είναι αποτελεσματικές. Αυτό οφείλεται σε παράγοντες, οι οποίοι είναι ότι:

1. κάτοικοι αρνούνται να αφήσουν τις περιουσίες τους φοβούμενοι για βανδαλισμό ή κλοπή,
2. οι αντιδράσεις των γειτόνων και ο καιρός μπορεί να είναι αντίθετοι εκείνη την ώρα με την επίσημη προειδοποίηση,
3. κάποιοι άνθρωποι έχουν αντίρρηση ακολουθούν οδηγίες από τις αρχές,
4. κάποιοι άνθρωποι δεν μπορούν να υπακούσουν στην προειδοποίηση, διότι μπορεί να μην έχουν φυσική ή διανοητική ικανότητα να αντιληφθούν την κατάσταση ή να είναι απόντες από τις κατοικίες του,
5. κάποιοι δεν πείθονται μέχρι να βιώσουν οποιουδήποτε είδους απώλεια, και
6. πολλές περιοχές είναι ποικιλόμορφες όσον αφορά τον κόσμο, με αποτέλεσμα κάθε άνθρωπος να ενεργοποιείται με διαφορετικό μήνυμα.

Γενικώς, μετά από κάθε μεγάλο πλημμυρικό επεισόδιο πρέπει να γίνεται **αξιολόγηση των προειδοποιήσεων** και, επίσης, να αξιολογείται η ανταπόκριση του κόσμου και οι δράσεις που ελήφθησαν.

Η **προετοιμασία της κοινότητας** για τέτοια θέματα, όπου μέσω προγραμμάτων ενημέρωσης κινδύνου ενισχύεται η επικοινωνία των ατόμων και η αντίληψή τους για τέτοια ζητήματα, οδηγεί γενικά στην καλύτερη ανθεκτικότητα της κοινότητας. Για να επιτευχθεί η ετοιμότητα της κοινότητας πρέπει:

1. να αυξηθεί σε όλους η αντίληψη του συνόλου,
2. να υπάρχουν σταθερά, αξιολογικά και αποτελεσματικά συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, και
3. τα μηνύματα προειδοποίησης να προκαλούν τον κόσμο να δράσει για τον μετριασμό των απωλειών.

Τα **συμπεράσματα** για τη διαχείριση του κινδύνου έναντι σε φυσικές καταστροφές είναι ότι:

1. τα ΣΕΠ πλημμυρών είναι πιο αποτελεσματικά όταν τα άτομα και οι ομάδες αντιλαμβάνονται τα πλεονεκτήματα τέτοιων συστημάτων,
2. η συμμετοχή της κοινότητας στην ανάπτυξη και δημιουργία των ΣΕΠ οδηγεί σε γρηγορότερη ανταπόκριση της, και
3. ασκήσεις μπορούν να δοκιμάσουν τα σχέδια προετοιμασίας και να δείξουν τις αδυναμίες των ΣΕΠ.