ΕΡΓΟ

Reconnecting a Lifeline: Rehabilitation of Agios Germanos River

Υδραυλική Μελέτη
Υπολογισμού προφίλ ανομοιόμορφης ροής για την παροχή σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς Τ=50 έτη στη θέση της νέας γέφυρας του ποταμού Αγίου Γερμανού Πρεσπών



Ε. ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ, Πολ. Μηχανικός MSc

ΜΑΙΟΣ 2026

Το έργο υποστηρίζεται από το European Open Rivers Programme - έναν χρηματοδοτικό οργανισμό, με σκοπό την αποκατάσταση ποταμών.





Περιεχόμενα

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ 3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΕΔΙΩΝ 3
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 2
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ 2
1.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΤΗ 2
1.3 ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ 2
2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 4
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΥΠΑΓΩΓΗ ΕΡΓΟΥ 4
2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 5
2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ 6
2.4 ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ – ΒΛΑΣΤΗΣΗ – ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ 8
2.5 1η ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ 12
2.6 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ 14
3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΓΕΦΥΡΩΣΗΣ 16
4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ 19
4.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ 19
4.2 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΤΩΝ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ 19
4.3 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ HEC-RAS 22
5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 25
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 33
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 35

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Συντομογραφία	**Ορισμός**
ΔΤΥ	Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών
ΕΠΠ	Εταιρία Προστασίας Πρεσπών
ΖΔΥΚΠ	Ζώνη Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας
ΛΑΠ	Λεκάνη Απορροής Ποταμού
ΠΑΚΠ	Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας
ΠΕ	Περιφερειακή Ενότητα
ΣΔΚΠ	Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας
ΣΔΛΑΠ	Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών
ΤΚ	Τοπική Κοινότητα
ΤΟ	Τύπος Οικοτόπου
ΥΔ	Υδατικό Διαμέρισμα
ΥΥΣ	Υπόγειο Υδατικό Σύστημα
ΨΜΕ	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΕΔΙΩΝ

Όνομα	**Κλίμακα**
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΜΗ	1 : 200
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΤΟΜΗ ΓΕΦΥΡΑΣ	1 : 100

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Η παρούσα Υδραυλική Μελέτη συντάσσεται για λογαριασμό της Εταιρίας Προστασίας Πρεσπών (ΕΠΠ) στα πλαίσια της υλοποίησης του Έργου "Reconnecting a Lifeline: Rehabilitation of Agios Germanos River" (χρηματοδότηση Open Rivers Programme) και της από 20/11/2025 σύμβασης μεταξύ του αναδόχου της μελέτης – Ευάγγελου Βασιλείου – και της Εταιρίας Προστασίας Πρεσπών.

Η Υδραυλική Μελέτη αποτελεί τμήμα της Προκαταρκτικής Μελέτης Σχεδιασμού οδικής γέφυρας αγροτικής οδού, εντός του αρδευτικού δικτύου Πρεσπών, επί του ποταμού Αγ. Γερμανού, στη θέση υφιστάμενης Ιρλανδικής Διάβασης, με συντεταγμένες Χ: 257697.70, Υ: 4523800.49.

Αντικείμενο της μελέτης είναι ο υδραυλικός υπολογισμός του προφίλ ροής του ποταμού Αγίου Γερμανού στη θέση της νέας γέφυρας, για την πλημμυρική παροχή σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς Τ=50 έτη, με επίλυση συνθηκών ανομοιόμορφης μόνιμης ροής. Στα πλαίσια της μελέτης πραγματοποιείται προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της ροής και ειδικότερα του βάθους ροής στη θέση διέλευσης του τεχνικού, έλεγχος του απαιτούμενου ελεύθερου ύψους της γέφυρας, καθώς και διερεύνηση και προκαταρκτικός καθορισμός των αναγκαίων έργων προστασίας έναντι διαβρώσεων και τοπικών υδραυλικών επιδράσεων στην περιοχή του έργου.

1.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΤΗ

Όνομα και επώνυμο: Ευάγγελος Βασιλείου,

Ειδικότητα : Πολ. Μηχανικός, MSc

Στοιχεία επικοινωνίας : Τηλέφωνο: +30 6979893337, e-mail: baggelhsbas@gmail.com

Ταχυδρομική διεύθυνση: Μεγαρίδος 24, ΤΚ 19300, Ασπρόπυργος

1.3 ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Για την σύνταξη της παρούσας μελέτης λήφθηκαν υπόψη:

- Εγκεκριμένη 1η Αναθεώρηση Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας του ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας (EL09), Παραδοτέο Π04 – Πλημμυρικά Υδρογραφήματα (https://floods.ypeka.gr/wp-content/uploads/2025/05/EL09_FEK_2527_B_2025.pdf)
- Φάκελος Οριοθέτησης ποταμού Αγίου Γερμανού στο τμήμα του οικοπέδου 95 του Ρυμοτομικού Σχεδίου της Τ. Κ. Λαιμού Δήμου Πρεσπών , Υδρολογική Μελέτη, ΕΠΠ, Ιούνιος 2023.
- Μελέτη Οδικής διασύνδεσης συνοριακής διάβασης με τον οικισμό Λαιμού, Υδρολογική Μελέτη, Π.Ε. Φλώρινας, Δ.Τ.Υ., Φεβρουάριος 2025.
- Υδρολογική έκθεση προκαταρκτικού προσδιορισμού της πλημμυρικής παροχής ποταμού Αγίου Γερμανού Πρεσπών περιόδου επαναφοράς Τ=50έτη, ΕΠΠ ΕΡΓΟ Reconnecting a Lifeline: Rehabilitation of Agios Germanos River

- Τοπογραφική Αποτύπωση για τις ανάγκες της υδραυλικής διερεύνησης στη θέση της νέας γέφυρας του ποταμού Αγίου Γερμανού Πρεσπών σε κλίμακα 1:500.



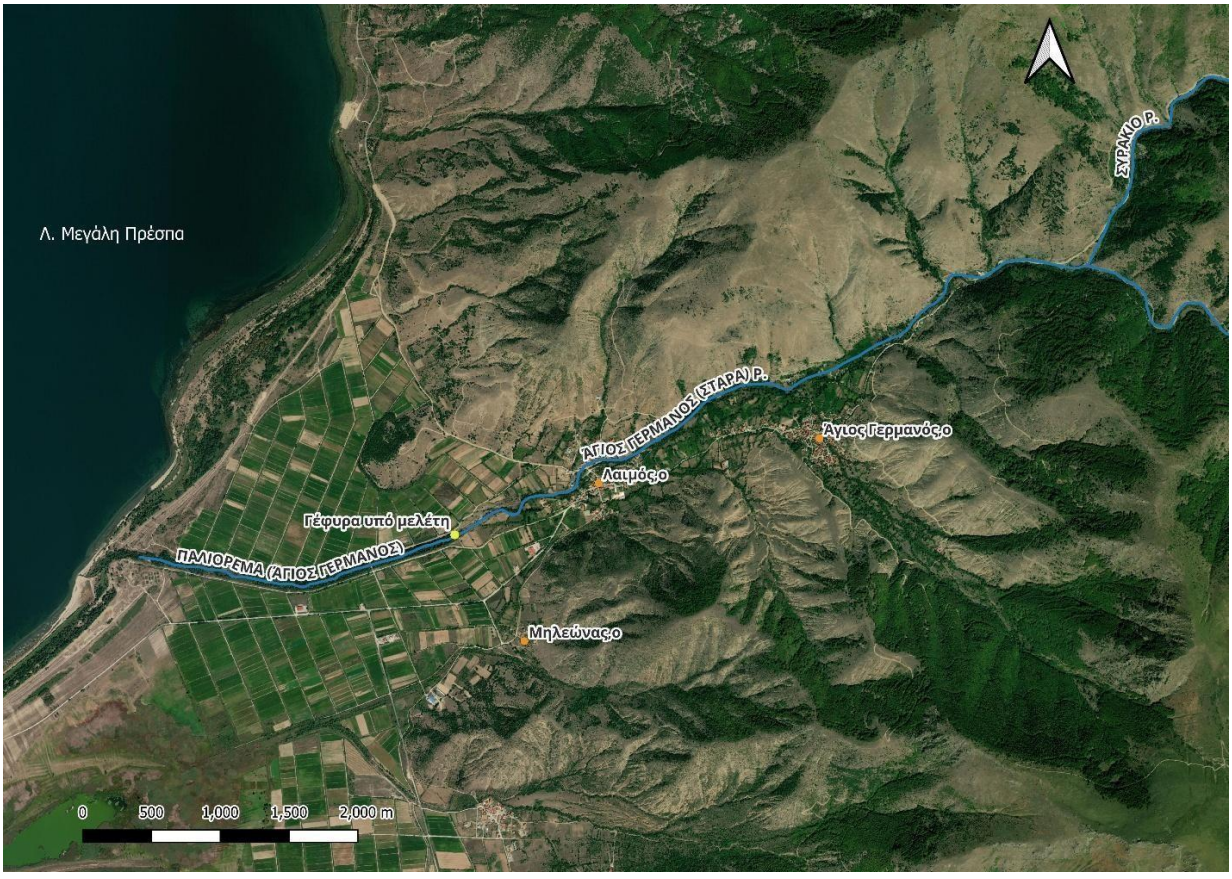
Σχήμα 1-1 Τοπογραφική Αποτύπωση στην θέση της νέας γέφυρας

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΥΠΑΓΩΓΗ ΕΡΓΟΥ

Το υπό μελέτη βρίσκεται στη Δημοτική Κοινότητα Λαιμού, του Δήμου Πρεσπών, της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας. Πιο συγκεκριμένα βρίσκεται σε απόσταση ενός χιλιομέτρου νοτιοδυτικά από το κέντρο του οικισμού Λαιμός και περίπου 900 m βορειοδυτικά από τον οικισμό Μηλεώνας. Η θέση της οδικής γέφυρας βρίσκεται επί του ποταμού Άγιος Γερμανός, σχεδόν τρία χιλιόμετρα ανάντη της εκβολής του στη λίμνη Μεγάλη Πρέσπα. Τα παραπάνω φαίνονται στο **Σχήμα 2-1** που ακολουθεί.

Σύμφωνα με το Ν. 3852/2010 (ΦΕΚ Α' 87) το έργο υπάγεται διοικητικά στην Αποκεντρωμένη Διοίκηση Ηπείρου – Δυτικής Μακεδονίας, Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας, Περιφερειακή Ενότητα Φλώρινας Δήμο Πρεσπών, Δημοτική Ενότητα Πρεσπών, Δημοτική Κοινότητα Λαιμού.



Σχήμα 2-1 Ευρύτερη Περιοχή Μελέτης

2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

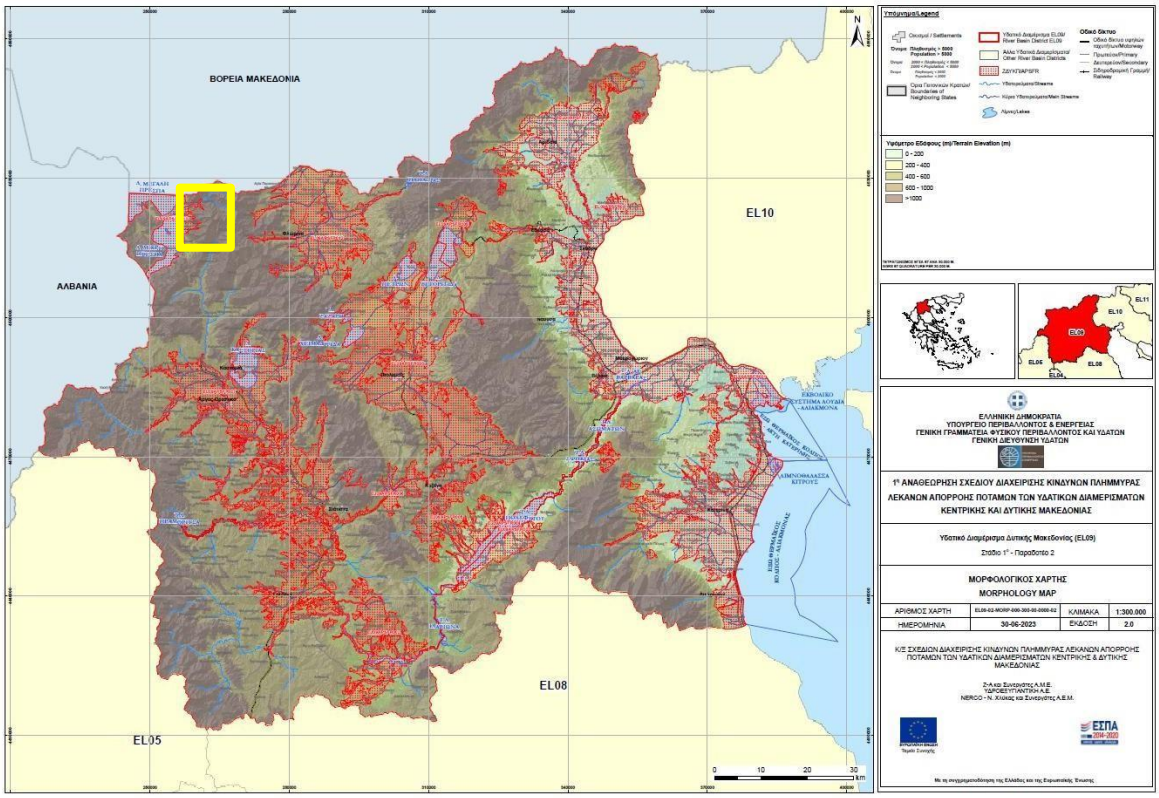
Η περιοχή του έργου ευρίσκεται στην πεδινή παραλίμνια ζώνη που αναπτύσσεται μεταξύ Μικρής και Μεγάλης Πρέσπας, στα ανατολικά των λιμνών (**Σχήμα 2-2) .** και δέχεται τις απορροές από τις δυτικές υπώρειες του όρους Βαρνούς (Περιστέρι). Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής έχει ήπιες κλίσεις. Οι έντονες κλίσεις (πάνω από 50%) εντοπίζονται στις ορεινές περιοχές της λεκάνης ανατολικά του οικισμού Άγιος Γερμανός.

Την περιοχή διατρέχει πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο, δενδριτικό, δεδομένης και της ύπαρξης αρδευτικών καναλιών, που μεταφέρουν μέρος της απορροής. Οι απορροές της περιοχής καταλήγουν στη λίμνη Μεγάλη Πρέσπα. Η κατάληξη στη Μ. Πρέσπα πραγματοποιείται δια μέσου του ποταμού Αγίου Γερμανού που αποτελεί τον τελικό αποδέκτη των υδάτων του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής.

Στη λεκάνη απορροής δεν παρατηρείται κάποιο ιδιαίτερο μορφολογικό στοιχείο που να επηρεάζει την επιφανειακή απορροή.

Στην περιοχή μελέτης οδικής γέφυρας, δεν εντοπίσθηκαν τμήματα που εμφανίζουν σοβαρή εκδηλωμένη αστάθεια πρανών ή που προβλέπεται να εμφανίσουν μελλοντική αστάθεια, σύμφωνα και με το υλικό που παρασχέθηκε από την Εταιρία Προστασίας Πρεσπών.

Επίσης, δεν εντοπίσθηκαν μεταβολές από ανθρώπινες δράσεις, όπως δανειοληψίες, λατομεία, επιχωματώσεις, χωματερές.



Σχήμα 2-2 Μορφολογικός χάρτης ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας (πηγή: floods.ypeka.gr). Σε κίτρινο περίγραμμα η ευρύτερη περιοχή μελέτης

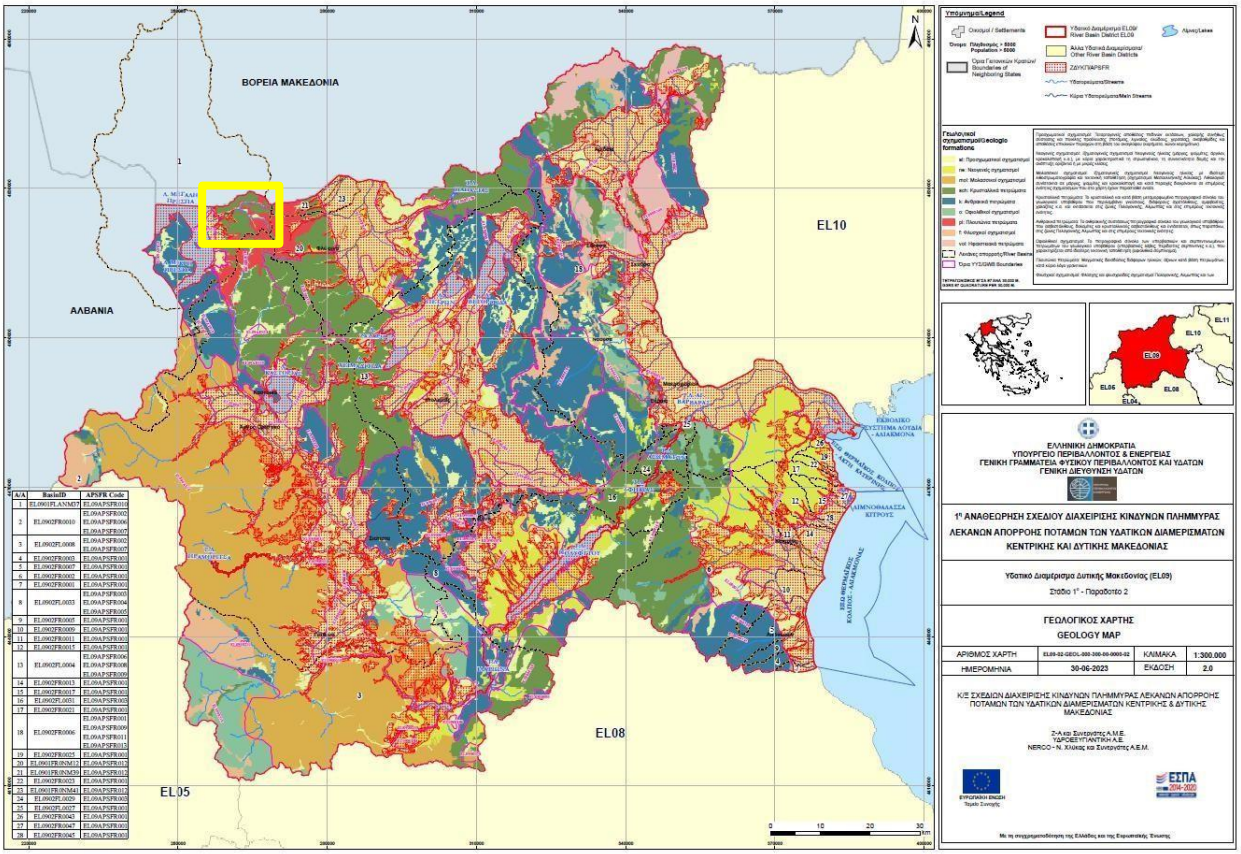
2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Από γεωλογική άποψη η ευρύτερη περιοχή δομείται από κορήματα και τεταρτογενείς προσχωματικές αποθέσεις (al) που είναι αμμοχάλικα, κροκάλες, γωνιώδη βραχώδη τεμάχη και λεπτοκλαστικά υλικά. Η λεκάνη των υδατορευμάτων που απορρέουν στη ζώνη αυτή δομείται από πυριγενή (pl), μεταμορφωμένα (sch) και ανθρακικά (k) πετρώματα που υπόκεινται των προσχωματικών ιζημάτων και συνιστούν το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής. Στα πετρώματα της ορεινής ζώνης επικρατούν ένας αδροκρυσταλλικός έως πορφυροειδής μεταγρανίτης και ένα σύστημα αμφιβιλιτικών σχιστόλιθων και γνευσίων Παλαιοζωϊκής ηλικίας. Στις προσβάσεις επικρατούν αδρόκοκκες εμφανίσεις κορημάτων και αναβαθμίδων, ενώ στην παραλίμνια περιοχή λεπτομερείς εμφανίσεις προσχωματικών υλικών.

Στην ευρύτερη περιοχή εντοπίζονται το Υ.Υ.Σ Πρεσπών (EL09AF013), στους αδρομερείς ορίζοντες των τεταρτογενών αποθέσεων της περιοχής και τμήμα του ρωγματώδους ΥΥΣ Βαρνούντα- Βέρνου. Στα κείμενα τεκμηρίωσης της 1ης Αναθεώρησης ΣΔΛΑΠ δεν υπάρχουν για τα δυο ΥΥΣ δεδομένα διακύμανσης της υπόγειας στάθμης και για την προσέγγιση αξιοποιήσαμε μόνο ποιοτικά υδρογεωλογικά δεδομένα.

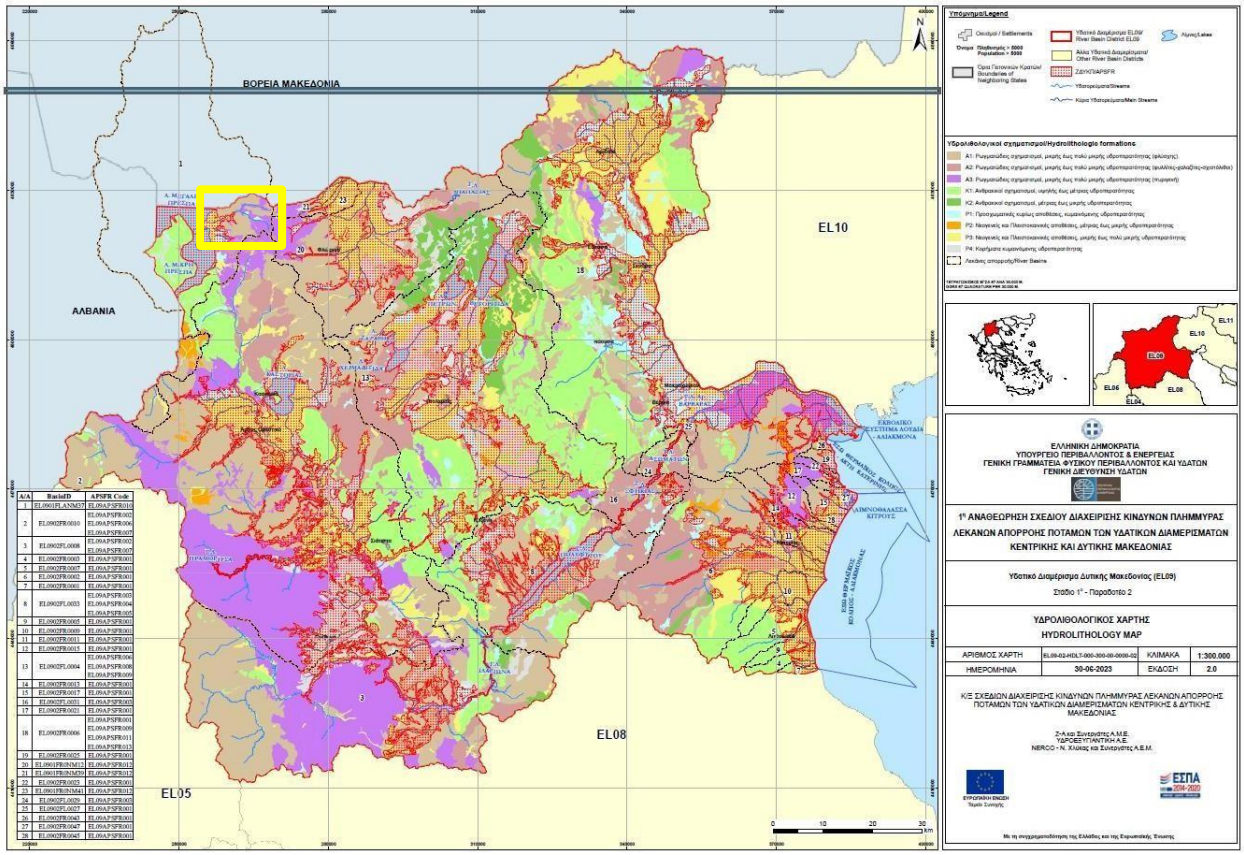
Η γεωλογική δομή της ορεινής ζώνης και το παραλίμνιο περιβάλλον της περιοχής υποδεικνύουν ότι η σύσταση του επιφανειακού στρώματος εδάφους της ζώνης θα είναι κατ΄ επικράτηση λεπτόκοκκη έως λεπτομερής και η υδροπερατότητά του αισθητά περιορισμένη. Η ζώνη χαρακτηρίζεται επομένως επιδεκτική σε κατακράτηση των επιφανειακών νερών και κρίσιμος παράγοντας για την εκδήλωση πλημμυρικών καταστάσεων είναι οι απορροές του ποταμού.

Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας (**Σχήμα *2-3***), στην περιοχή μελέτης της οδικής γέφυρας απαντώνται προσχωματικοί σχηματισμοί χαλαρής σύνθεσης και φλύσχης στο πεδινό τμήμα, ενώ στο ημιορεινό τμήμα της λεκάνης του ποταμού, ανάντη της θέσης ενδιαφέροντος, απαντώνται κρυσταλλικά και πλουτώνια πετρώματα.



Σχήμα 2-3 Γεωλογικός χάρτης ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας (πηγή: floods.ypeka.gr). Σε κίτρινο περίγραμμα η ευρύτερη περιοχή μελέτης

Σύμφωνα με τον υδρολιθολογικό χάρτης του ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας (**Σχήμα *2-4***), στην περιοχή μελέτης της οδικής γέφυρας απαντώνται νεογενείς και πλειστοκαινικές αποθέσεις, μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (κατηγορία P3 σύμφωνα με τα ΣΔΚΠ), ενώ ανάντη της θέσης αυτής, όπου εκτείνεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Αγίου Γερμανού, απαντώνται ρωγματώδεις σχηματισμοί, επίσης μικρής έως πολύ μικρής υδατοπερατότητας και πιο συγκεκριμένα φλύσχης και πυριγενή (κατηγορία A1 και A3 σύμφωνα με τα ΣΔΚΠ).



Σχήμα 2-4 Υδρολιθολογικός χάρτης ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας (πηγή: floods.ypeka.gr). Σε κίτρινο περίγραμμα η ευρύτερη περιοχή μελέτης

2.4 ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ – ΒΛΑΣΤΗΣΗ – ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Για την ταξινόμηση των εδαφών ανάλογα με την υδατοπερατότητά τους αξιοποιείται η εργασία που έχει πραγματοποιηθεί στα πλαίσια του ΣΔΚΠ Δυτικής Μακεδονίας, όπου ακολουθήθηκε η απλοποιημένη μεθοδολογία της USDA-NSCS όπου κατατάσσει τα εδάφη σε τέσσερεις υδρολογικούς τύπους. Σύμφωνα με αυτή:

Τύπος Α: Περιλαμβάνει εδάφη με χαμηλή δυνητική απορροή. Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν μεγάλη ταχύτητα διήθησης, ακόμη και μετά από διαβροχή τους. Αφορά κυρίως βαθιά, καλά στραγγιζόμενα βαθιά εδάφη, ελαφρά με αδρή υφή αμμώδη, πηλοαμμώδη και αμμοπηλώδη. Ταχύτητα διήθησης > 0,76 cm/h.

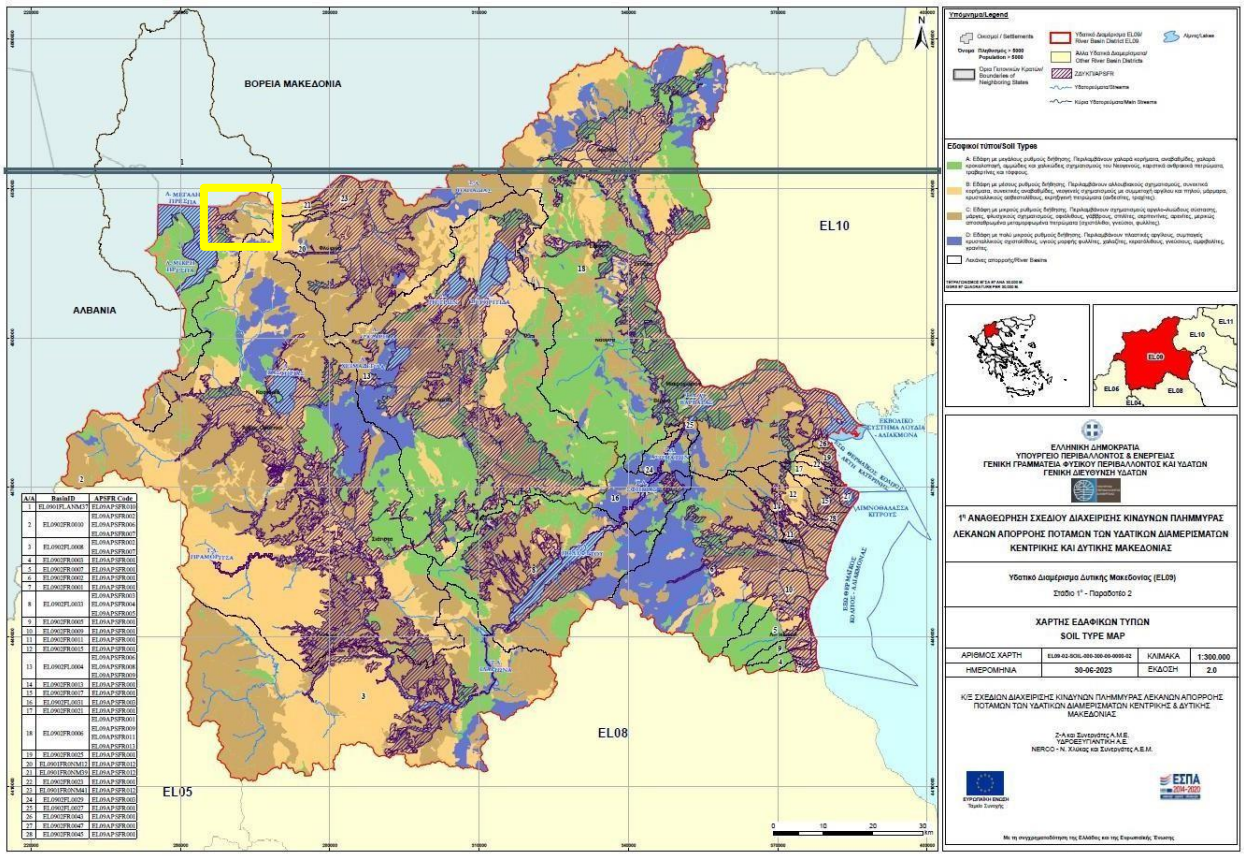
Τύπος Β: Περιλαμβάνει εδάφη με μεσαία ταχύτητα διήθησης μετά από καλή διαβροχή τους. Αφορά κυρίως εδάφη βαθιά έως μέτρια βαθιά, μέτριας υφής πηλώδη, ιλυοπηλώδη, ιλιώδη με μέτρια διηθητικότητα. Ταχύτητα διήθησης μεταξύ 0,38-0,76 cm/h.

Τύπος C: Περιλαμβάνει εδάφη με μικρή ταχύτητα διήθησης μετά από καλή διαβροχή. Αφορά κυρίως εδάφη με ορίζοντα που παρεμποδίζει τη διήθηση και εδάφη λεπτής υφής αμμοαργιλοπηλώδη με μικρή διηθητικότητα. Ταχύτητα διήθησης μεταξύ 0,13-0,38 cm/h.

Τύπος D: Περιλαμβάνει εδάφη με υψηλή δυνητική απορροή. Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν πολύ μικρή ταχύτητα διήθησης μετά από καλή διαβροχή. Αφορά κυρίως εδάφη πολύ λεπτής υφής αργιλοπηλώδη,

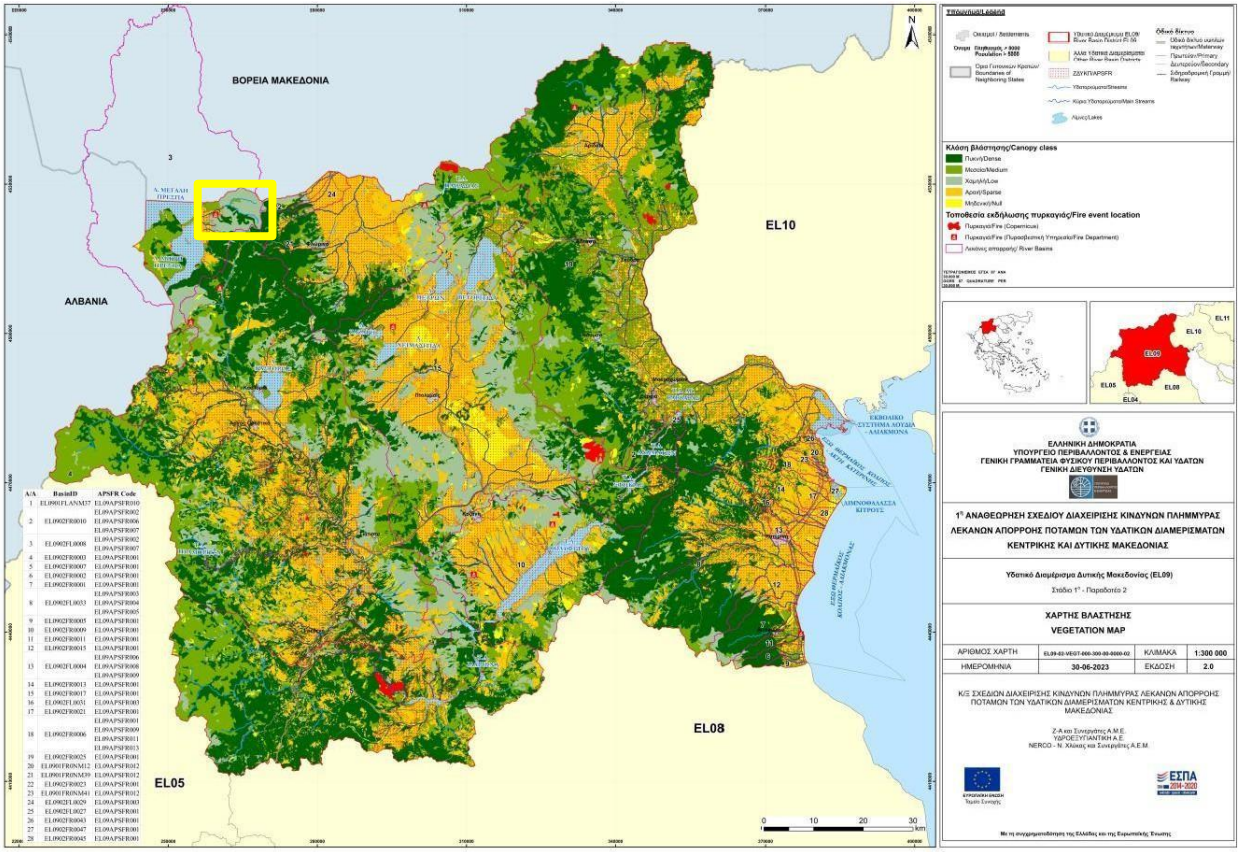
ιλυοαργιλοπηλώδη, αμμοαργιλώδη, ιλυοαργιλώδη και αργιλώδη με υψηλή δυνητική διόγκωση. Ταχύτητα διήθησης μικρότερη των 0,13 cm/h. Εδώ κατατάσσονται και τα αβαθή εδάφη(<50 cm) πάνω σε αδιαπέρατο μητρικό πέτρωμα είτε με μόνιμο υδροφορέα σε μικρό βάθος, είτε με αργιλικό ορίζοντα ή στρώση που περιορίζει την κατείσδυση σε μικρό βάθος.

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2-5 εμφανίζονται Εδάφη Τύπου Β και C (μικρής και μεσαίας υδατοπερατότητας) στο σύνολο της λεκάνης απορροής.



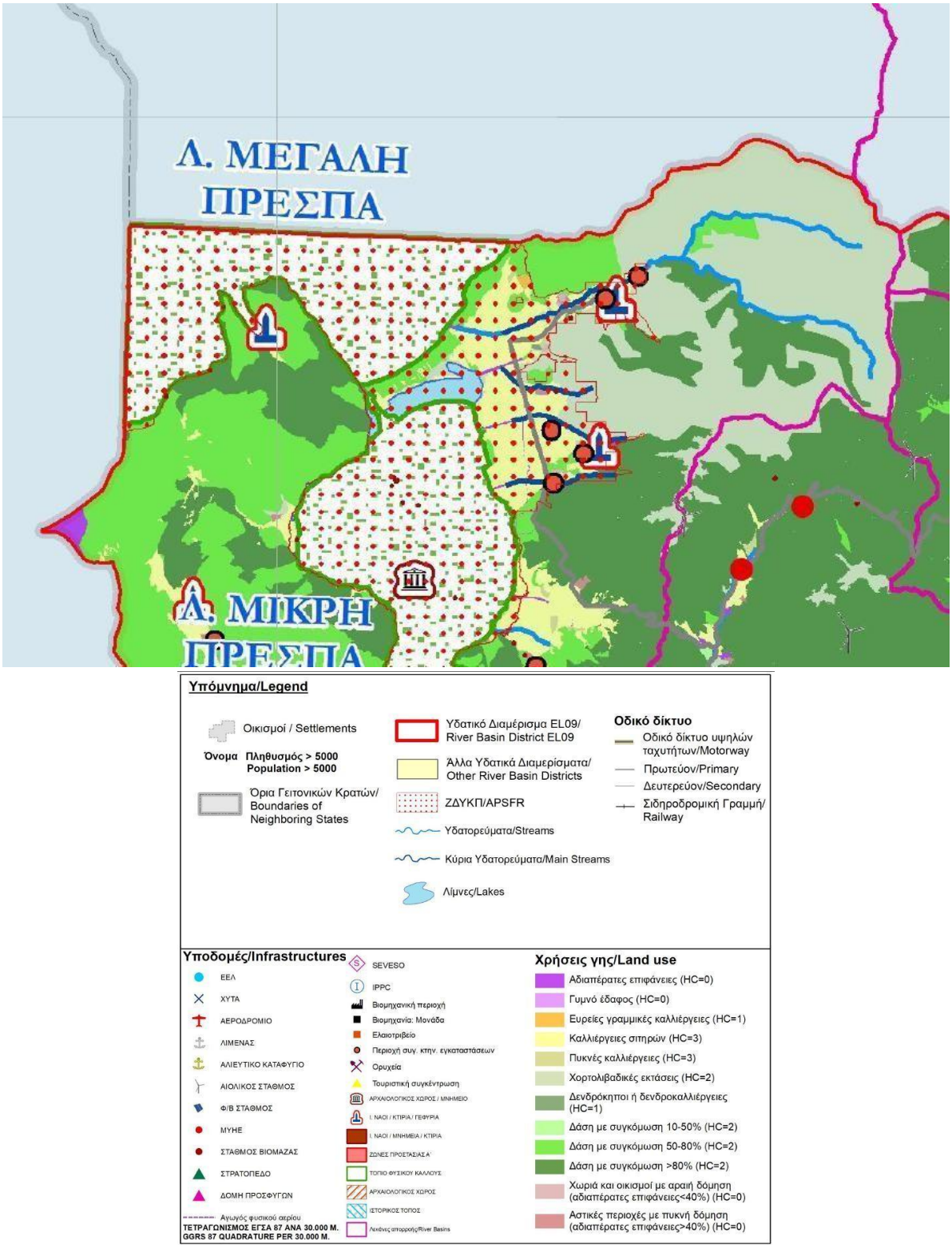
Σχήμα 2-5 *Εδαφολογικός χάρτης ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας (πηγή: floods.ypeka.gr). Σε κίτρινο περίγραμμα*

Εντός του ποταμού υπάρχει δενδρώδης βλάστηση, η οποία ανήκει στον Τ.Ο. προτεραιότητας f. 91E0. «Alluvial forests with Alnus glutinosa and Fraxinus excelsior (Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae)».Στις παραποτάμιες περιοχές η βλάστηση είναι μεσαία και πυκνή, ιδιαίτερα στον νότιο κλάδο του ποταμού Άγιος Γερμανός, στο ρέμα Καλονέρι. Η πεδινή περιοχή της λεκάνης του ποταμού, χαρακτηρίζεται από αραιή βλάστηση ενώ η λεκάνη του στα ορεινά κυρίαρχα από χαμηλή βλάστηση. Τέλος, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 2-6** εντοπίζεται καμένη έκταση πλησίον της θέσης του έργου.



Σχήμα 2-6 *Χάρτης βλάστησης ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας (πηγή: floods.ypeka.gr). Σε κίτρινο περίγραμμα*

Αντίστοιχα σε σχέση με τις χρήσεις γης, με βάση τον χάρτη που παρουσιάζεται στην 1η Αναθεώρηση των ΣΔΚΠ, η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος χαρακτηρίζεται από χορτολιβαδικές εκτάσεις και καλλιέργειες σιτηρών στα πιο πεδινά πλησίον της λίμνης Μεγάλη Πρέσπα.



Σχήμα 2-7 Τμήμα χάρτη χρήσεων γης ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας (πηγή: floods.ypeka.gr).

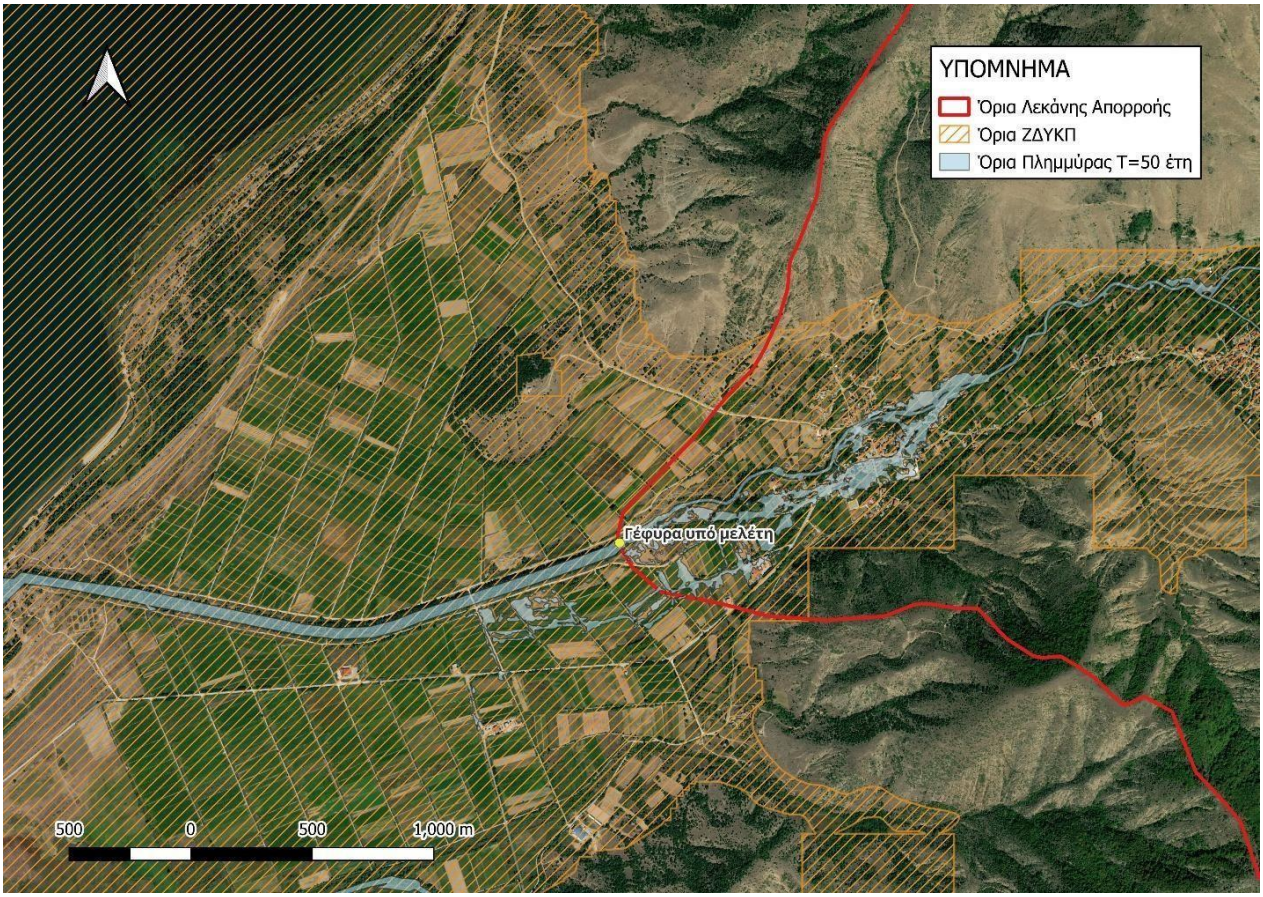
2.5 1η ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Σύμφωνα με το κάθε οικείο ΣΔΚΠ, σε κάθε ΥΔ ορίζονται Ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ), εντός των οποίων πραγματοποιείται η ανάλυση των ΣΔΚΠ και εφαρμόζονται συγκεκριμένα μέτρα για τη μείωση του κινδύνου πλημμύρας. Οι ΖΔΥΚΠ του ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας αναθεωρήθηκαν στα πλαίσια της 2ης Αναθεώρησης της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης των Κινδύνων πλημμύρας (ΠΑΚΠ). Με βάση τη Μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην ΠΑΚΠ οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας στο ΥΔ EL09 είναι οι ακόλουθες:

1. EL09APSFR001 Χαμηλή ζώνη περιφερειακής τάφρου και συμβαλλόντων ποταμών, πεδιάδα Κατερίνης και Λιτόχωρου
2. EL09APSFR002 Χαμηλή ζώνη μέσω ρου π. Αλιάκμονα (περιοχή Σαρακήνα, Καρπερό)
3. EL09APSFR003 Δεξιά παρόχθια περιοχή τεχνητής λίμνης Πολυφύτου
4. EL09APSFR004 Αριστερή παρόχθια περιοχή τεχνητής λίμνης Πολυφύτου, χαμηλή ζώνη Φτελιάς
5. EL09APSFR005 Πεδιάδα Κοζάνης
6. EL09APSFR006 Χαμηλή ζώνη Ξηρολίμνης
7. EL09APSFR007 Χαμηλή ζώνη άνω ρου π. Αλιάκμονα και λίμνης
8. EL09APSFR008 Χαμηλή ζώνη κλειστής λεκάνης Πτολεμαΐδας, παραλίμνιες εκτάσεις λιμνών Ζάζαρη, Χειμαδίτιδα, Πετρών και νότια της λίμνης Βεγορίτιδας
9. EL09APSFR009 Περιοχή Άρνισσα, Αγ. Αθανάσιος παρόχθιες εκτάσεις βόρεια της λίμνης Βεγορίτιδας
10. EL09APSFR010 Χαμηλή ζώνη λεκάνης Πρεσπών
11. EL09APSFR011 Άνω ρους περιφερειακής τάφρου Τ66
12. EL09APSFR012 Χαμηλή ζώνη λεκάνης π. Αξιού στο Ν. Φλώρινας (π. Λύγκος)
13. EL09APSFR013 Χαμηλή ζώνη π. Μαυροπόταμου (περιοχή Αλμωπαίου) και συμβαλλόντων ποταμών

Σύμφωνα με την 2η Αναθεώρηση της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης των Κινδύνων Πλημμύρας η περιοχή μελέτης εντάσσεται στην ζώνη δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας EL09APSFR010 «Χαμηλή ζώνη λεκάνης Πρεσπών». Τα παραπάνω φαίνονται και στον χάρτη που ακολουθεί (**Σχήμα-2.8**) όπου απεικονίζονται εκτός των ΖΔΥΚΠ και τα όρια πλημμυρών σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς Τ=50 έτη, σύμφωνα με την 1η Αναθεώρηση του ΣΔΚΠ.

Για την περιοχή μελέτης δεν προκύπτει εγγύτητα με πλημμυρικό συμβάν, όπως αυτά καταγράφηκαν στην 2η Αναθεώρηση της ΠΑΚΠ.



Σχήμα 2-8 Περιοχή μελέτης, ΖΔΥΚΠ και Όρια Πλημμύρας για περίοδο επαναφοράς Τ=50 έτη

2.6 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Για τον προσδιορισμό της πλημμυρικής παροχής σχεδιασμού στη θέση της υπό μελέτη γέφυρας επί του ποταμού Αγίου Γερμανού, εκπονήθηκε Υδρολογική Μελέτη (ΕΠΠ ΕΡΓΟ Reconnecting a Lifeline: Rehabilitation of Agios Germanos River 2026), τα βασικά συμπεράσματα και στοιχεία της οποίας παρουσιάζονται συνοπτικά στο παρόν κεφάλαιο. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου της παρούσας υδραυλικής ανάλυσης.

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Αγίου Γερμανού ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας (ΥΔ09) και ειδικότερα στη Λεκάνη Απορροής Πρεσπών (EL0901). Το ποτάμι αποστραγγίζει την ορεινή περιοχή ανατολικά του οικισμού Αγίου Γερμανού και εκβάλλει στη Μεγάλη Πρέσπα. Η ανάντη της θέσης της νέας γέφυρας λεκάνη απορροής προσδιορίστηκε βάσει Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (ΨΜΕ) και στοιχείων της 1ης Αναθεώρησης των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (ΣΔΚΠ). Η επιφάνεια της λεκάνη απορροής είναι ίση με 64,88 km².

Το κύριο υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης σχηματίζεται από δύο βασικούς κλάδους, οι οποίοι συμβάλλουν ανάντη της υπό μελέτη θέσης και σχηματίζουν την κοίτη του ποταμού Αγίου Γερμανού. Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονο ορεινό ανάγλυφο στα ανάντη τμήματα και ηπιότερες κλίσεις πλησίον της εκβολής προς τη λίμνη Μεγάλη Πρέσπα.

Στα πλαίσια της υδρολογικής διερεύνησης λήφθηκαν υπόψη και αξιολογήθηκαν υφιστάμενες υδρολογικές μελέτες και διαθέσιμα δεδομένα, τα οποία αφορούν άμεσα ή έμμεσα τη λεκάνη απορροής του ποταμού Αγίου Γερμανού. Ειδικότερα εξετάστηκαν:

- η Υδρολογική Μελέτη του Φακέλου Οριοθέτησης ποταμού Αγίου Γερμανού (ΕΠΠ, 2023),
- η Υδρολογική Μελέτη της Μελέτης Οδικής Σύνδεσης συνοριακής διάβασης Λαιμού (Π.Ε. Φλώρινας, 2025),
- η Υδρολογική Ανάλυση της 1ης Αναθεώρησης ΣΔΚΠ Δυτικής Μακεδονίας.

Οι θέσεις υπολογισμού της πλημμυρικής παροχής σχεδιασμού των παραπάνω μελετών βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση από τη θέση της παρούσας μελέτης και αφορούν λεκάνες απορροής με παρόμοια γεωμορφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, η θέση της παρούσας μελέτης βρίσκεται περίπου 800 m κατάντη της θέσης της μελέτης της Π.Ε. Φλώρινας (2025), 1.150 m κατάντη της θέσης της μελέτης ΕΠΠ (2023), ενώ η θέση εξόδου του μοντέλου της 1ης Αναθεώρησης ΣΔΚΠ βρίσκεται περίπου 930 m κατάντη της θέσης της νέας γέφυρας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών, οι υπολογισθείσες πλημμυρικές παροχές αιχμής για περίοδο επαναφοράς Τ=50 έτη κυμαίνονται μεταξύ 85 και 98 m³/s, με αντίστοιχες εκτάσεις λεκάνης απορροής από 59,37 έως 68,76 km². Από τη συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προέκυψε πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ επιφάνειας λεκάνης απορροής και πλημμυρικής παροχής αιχμής, γεγονός που επιβεβαιώνει τη συνοχή και συμβατότητα των διαθέσιμων υδρολογικών δεδομένων.

Κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της 1ης Αναθεώρησης ΣΔΚΠ διαπιστώθηκε ότι σε τμήματα της

χαμηλότερης περιοχής της λεκάνης εμφανίζονται διαφοροποιήσεις στη χάραξη των υδροκρίτων, οι οποίες οδηγούν σε ελαφρώς αυξημένη επιφάνεια λεκάνης απορροής και αντίστοιχα αυξημένη πλημμυρική παροχή. Για τον λόγο αυτό, και δεδομένης της καλύτερης προσαρμογής των δύο τοπικών μελετών στην άμεση περιοχή ενδιαφέροντος, ο τελικός προσδιορισμός της παροχής σχεδιασμού πραγματοποιήθηκε με βάση τα αποτελέσματα των μελετών ΕΠΠ 2023 και Π.Ε. Φλώρινας 2025.

Η εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής στη θέση της νέας γέφυρας πραγματοποιήθηκε με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των διαθέσιμων τιμών παροχής και επιφάνειας λεκάνης απορροής των δύο προαναφερθεισών μελετών. Για επιφάνεια λεκάνης απορροής ίση με 64,88 km^2, η παροχή αιχμής περιόδου επαναφοράς Τ=50 έτη υπολογίσθηκε ίση με 89,99 m^3/s.

Για τις ανάγκες της παρούσας υδραυλικής μελέτης, η πλημμυρική παροχή σχεδιασμού λαμβάνεται ίση με:

Q_{T50} = 90 m^3/s

Η παροχή αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του προφίλ ροής, τον έλεγχο της υδραυλικής επάρκειας της νέας γέφυρας και τη διερεύνηση των απαιτούμενων έργων προστασίας στην περιοχή του έργου.

3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΓΕΦΥΡΩΣΗΣ

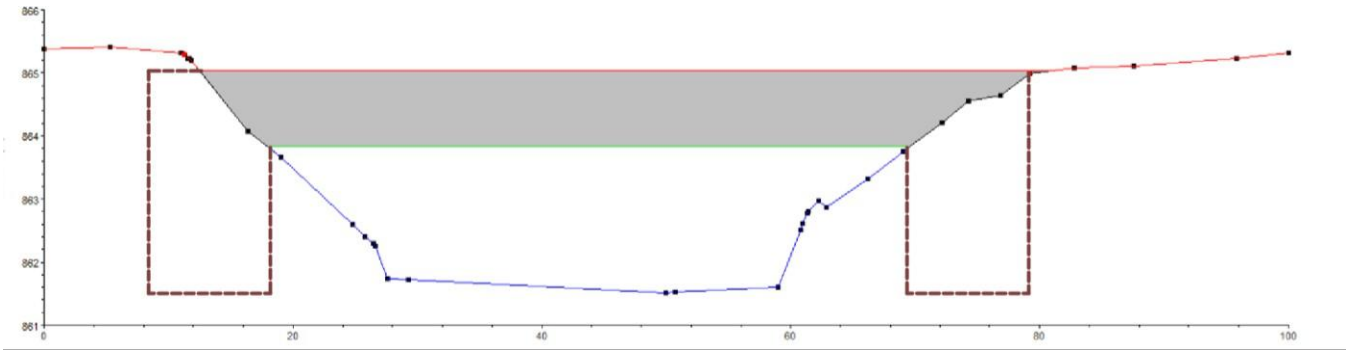
Για τις ανάγκες της υδραυλικής αξιολόγησης εξετάστηκαν δύο εναλλακτικά σενάρια (Α και Β) ανοίγματος της γέφυρας που περιγράφονται στη συνέχεια καθώς και το σενάριο μη κατασκευής γέφυρας "Do Nothing" :

- Α σενάριο: Μήκους καθαρού ανοίγματος L = 43,40 m, και
- Β σενάριο: Μήκος καθαρού ανοίγματος L = 30,00 m.

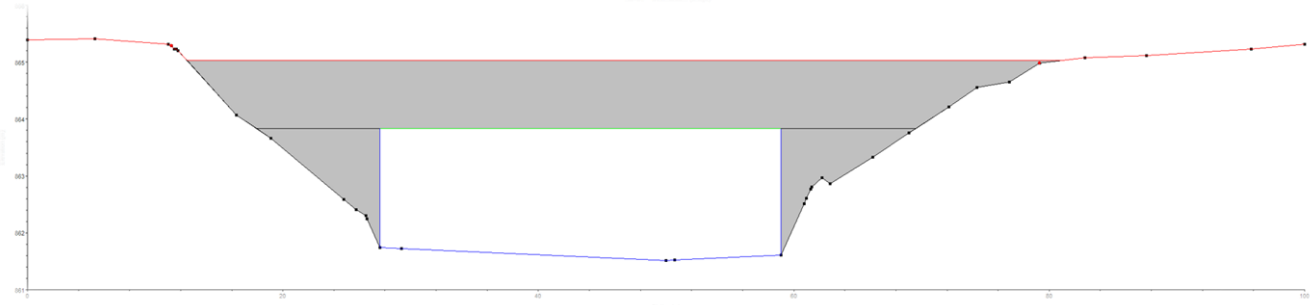
Στο σενάριο Α, με μήκος ανοίγματος L = 43,40 m (**Σχήμα 3-1)**, τα ακρόβαθρα χωροθετούνται εκτός της κύριας ενεργού κοίτης και πέραν του ποδιού των φυσικών πρανών του ποταμού, διατηρώντας πρακτικά ανεπηρέαστη τη φυσική υδραυλική διατομή της κοίτης. Αντίθετα, στο Β σενάριο με μήκος ανοίγματος L
= 30,00 m (**Σχήμα 3-2)**, τα ακρόβαθρα θεμελιώνονται πλησίον του ορίου του ποδιού των πρανών της κοίτης, με αποτέλεσμα η τεχνική διατομή να αναπτύσσεται εντός της υδραυλικής διατομής του ποταμού.

Οι υπολογισμοί του υδραυλικού προφίλ στη θέση της γέφυρας ισχύουν για κάθε εναλλακτικό τύπο ανωδομής γέφυρας (π.χ. οπλισμένο σκυρόδεμα, μεταλλική) η οποία εδράζεται σε ακρόβαθρα σε καθαρή απόσταση μεταξύ τους 43,40m ή 30m.

Το ελεύθερο ύψος μεταξύ της στάθμης και του κατώτατου υψομέτρου της γέφυρας διαφοροποιείται αναλόγως του ύψους του φορέα της γέφυρας. Στην περίπτωση γέφυρας από οπλισμένο σκυρόδεμα το ύψος του φορέα εκτιμήθηκε σε 1.20 m



Σχήμα 3-1 Ελεύθερη διατομή για το Α σενάριο με φορέα γέφυρας ύψους 1,20m



Σχήμα 3-2 Ελεύθερη διατομή για το Β σενάριο με φορέα γέφυρας ύψους 1,20m

Σύμφωνα με τα σχέδια της προκαταρκτικής διάταξης του έργου, το πλάτος της γέφυρας ανέρχεται σε περίπου Bmin = 5,45 m, η στάθμη της άνω επιφάνειας του καταστρώματος διαμορφώνεται στο υψόμετρο περίπου +865,10 m. ενώ η κατώτερη στάθμη του φορέα της γέφυρας για ύψος αυτού 1,20m βρίσκεται στο υψόμετρο +863,90 m.

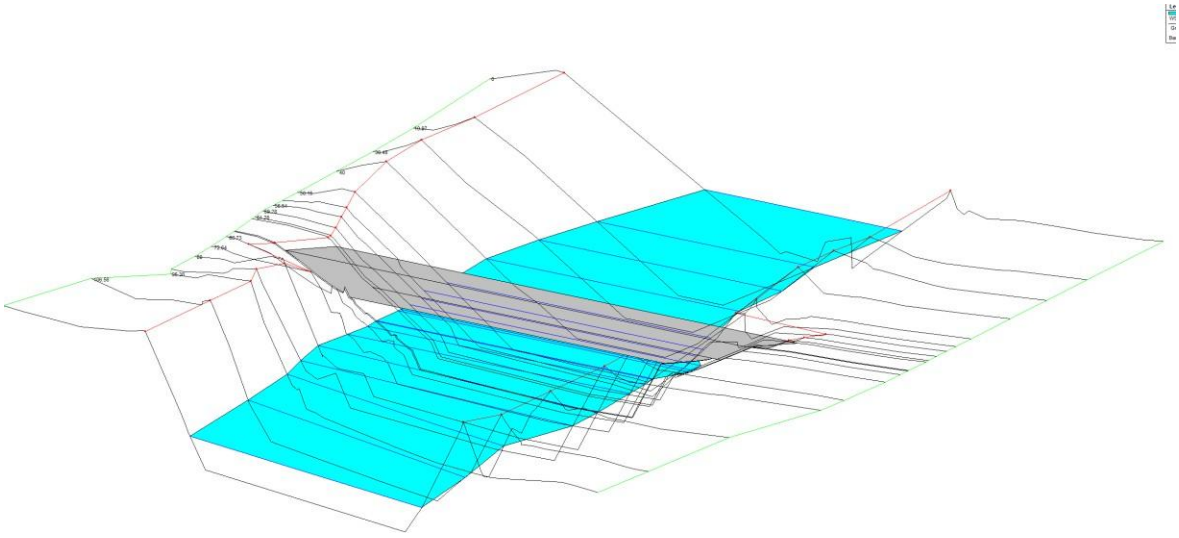
Η υδραυλική επίλυση πραγματοποιήθηκε για την παροχή σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς Τ=50 έτη Q=90 m^3/s. Από την ανάλυση προέκυψε ότι η μέγιστη στάθμη ύδατος στην περιοχή της γέφυρας ανέρχεται στο υψόμετρο +863,17 m, διαμορφώνοντας διαθέσιμο ελεύθερο ύψος (freeboard) περίπου 0,65–0,73 m ως προς την κατώτερη στάθμη του φορέα, ανάλογα με τη θέση εξέτασης κατά μήκος της διατομής.

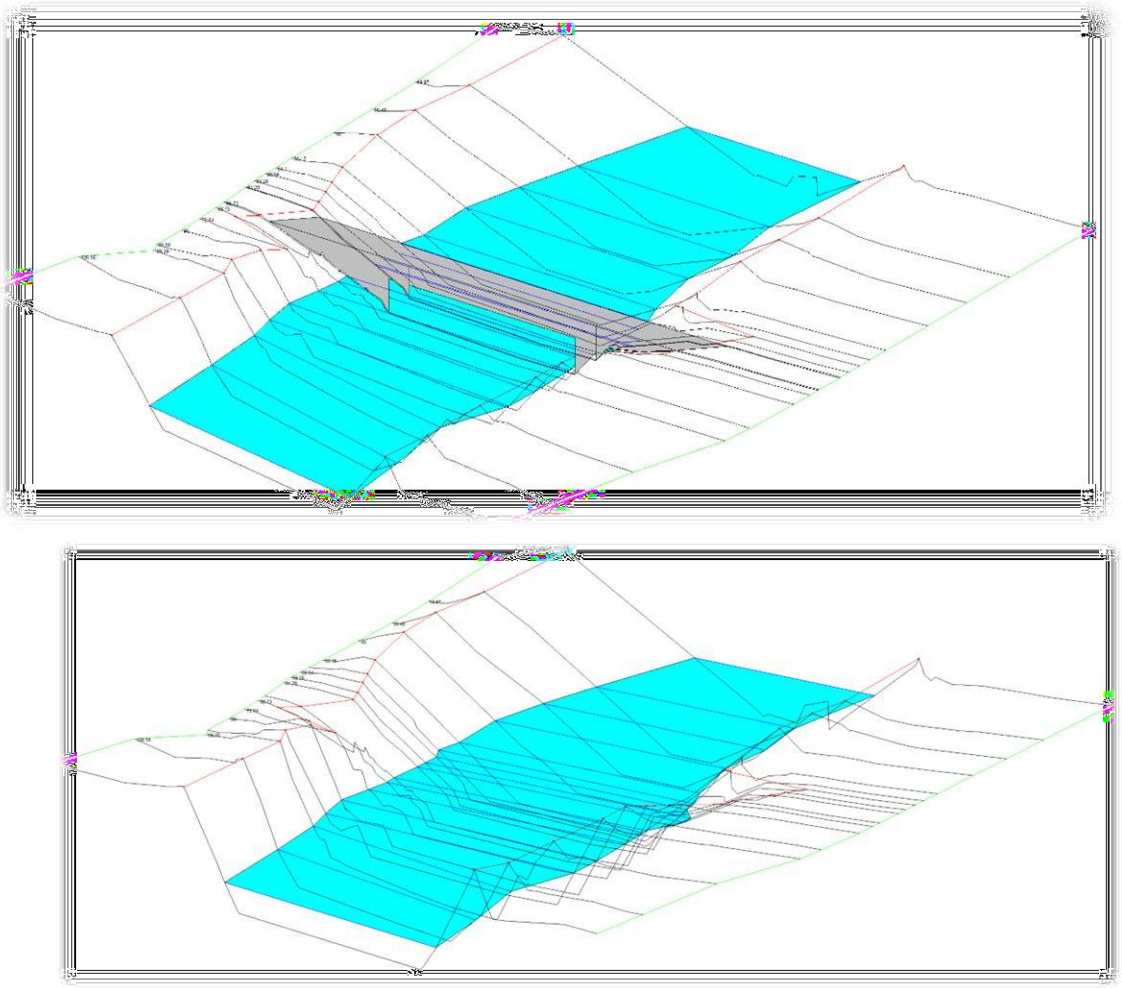
Η υφιστάμενη κοίτη στην περιοχή του έργου εμφανίζει στάθμες πυθμένα περί το υψόμετρο +861,52 m, ενώ τα πρανή της κοίτης ανυψώνονται σταδιακά προς τις όχθες και τις προσβάσεις της οδού. Για τη διαμόρφωση της πρόσβασης προς τη γέφυρα προβλέπονται κατάλληλα έργα χωματοδρόμου και προσαρμογής των υφιστάμενων κλίσεων του εδάφους.

Στην περιοχή των ακροβάθρων προβλέπεται η κατασκευή έργων προστασίας της κοίτης και των πρανών έναντι τοπικών διαβρώσεων, λόγω των αυξημένων ταχυτήτων ροής και των στροβιλισμών που αναπτύσσονται κατά τη διέλευση της πλημμυρικής παροχής από τη διατομή του τεχνικού. Τα έργα προστασίας δύνανται να περιλαμβάνουν λιθορριπές, συρματοκιβώτια ή άλλες κατάλληλες αντιδιαβρωτικές διατάξεις, ανάλογα με τις απαιτήσεις της επόμενης φάσης μελέτης.

Η υδραυλική αξιολόγηση των δύο σεναρίων πραγματοποιήθηκε με στόχο:

- τον έλεγχο της επάρκειας του ανοίγματος της γέφυρας,
- την εκτίμηση των υπερυψώσεων της στάθμης ανάντη,
- τον έλεγχο του διαθέσιμου ελεύθερου ύψους,
- καθώς και τη διερεύνηση της συνολικής υδραυλικής συμπεριφοράς του ποταμού στην περιοχή του έργου.





Σχήμα 3-3 Προσομοίωση προφίλ Ροής για Q=90 m^3/s στην θέση γεφύρωσης για τα σενάρια A ,B, Do Nothing αντίστοιχα

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Με την Υδραυλική μελέτη προσδιορίζονται οι γραμμές πλημμύρας για την παροχή σχεδιασμού, όπως προέκυψε από την Υδρολογική Μελέτη. Ειδικότερα, υπολογίζεται η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας του νερού (flow profile) κατά μήκος του υδατορέματος και προσδιορίζονται τα σημεία τομής της με τα πρανή του. Οι δύο γραμμές εκατέρωθεν της κοίτης που ορίζονται από τα ως άνω σημεία τομής αποτελούν τις γραμμές πλημμύρας.

Είναι ενδεχόμενο οι γραμμές αυτές ή τμήματα τους να βρίσκονται και εκτός των πρανών, υποδηλώνοντας τότε ανεπάρκεια του υδατορέματος να διοδεύσει την παροχή πλημμύρας. Στην περίπτωση αυτή οι γραμμές πλημμύρας ορίζονται από τα σημεία τομής της ελεύθερης επιφάνειας του νερού με το ανάγλυφο των παραρεμάτιων περιοχών. Έτσι, οι γραμμές πλημμύρας προσδιορίζονται ως οι τεθλασμένες γραμμές που συνδέουν τα σημεία τομής της ελεύθερης επιφάνειας του νερού σε συγκεκριμένες διατομές με το φυσικό ή διαμορφωμένο έδαφος στις ίδιες διατομές.

Ο υδραυλικός υπολογισμός της μορφής κατανομής της ελεύθερης επιφάνειας του νερού κατά μήκος του υδατορέματος επιτυγχάνεται με την προσομοίωση της ροής ως ανομοιόμορφης. Για περίοδο επαναφοράς Τ=50 έτη πραγματοποιείται εισαγωγή με μόνιμη ροή, στην πιο ανάντη διατομή του κάθε τμήματος των υδατορεμάτων μελέτης, της αντίστοιχης πλημμυρικής παροχής αιχμής από την υδρολογική μελέτη.

Με βάση την υδραυλική προσομοίωση μονοδιάστατης ανάλυσης προσδιορίζεται αν η κοίτη του υδατορέματος επαρκεί με την υφιστάμενη κατάστασή της στην εξεταζόμενη παροχή σχεδιασμού. Σε περίπτωση που δεν επαρκούν προσδιορίζονται ενδεχομένως αν αυτό απαιτηθεί για τον περιορισμό της γραμμής πλημμύρας όσο το δυνατόν πλησιέστερα ή εντός της κοίτης, οι κατάλληλες τεχνικές επεμβάσεις στις κρίσιμες διατομές ή κατάλληλες διαμορφώσεις της κοίτης. Οι επεμβάσεις αυτές εισάγονται με τροποποίηση των διατομών από την τοπογραφική αποτύπωση.

Οι παραπάνω υπολογισμοί πραγματοποιούνται μέσω του διεθνώς αναγνωρισμένου ελεύθερου λογισμικού υδραυλικής προσομοίωσης HEC-RAS US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center.

4.2 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΤΩΝ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

<u>Μονοδιάστατη αντιμετώπιση της ροής</u>

Η ροή στους ανοικτούς αγωγούς είναι γενικά τρισδιάστατη, μια που τα φυσικά μεγέθη της, όπως η ταχύτητα, η παροχή και η πίεση, μεταβάλλονται τόσο κατά μήκος της ροής όσο και μέσα στη διατομή.

Επειδή η αντιμετώπιση της ροής ως τρισδιάστατη είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν οδηγεί σε πρακτικά και εύχρηστα αποτελέσματα, η πλειοψηφία των προβλημάτων ροής σε

ανοικτούς αγωγούς στηρίζεται σε μονοδιάστατη θεώρηση αυτής. Χρησιμοποιούνται δηλαδή στην ανάλυση μόνο μέσες τιμές ή αντιπροσωπευτικά μεγέθη μιας διατομής και ερευνάται η μεταβολή κατά μήκος του ανοιχτού αγωγού.

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

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

Διαφορικές εξισώσεις ροής σε ανοικτούς αγωγούς

- Ασταθής ροή

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

Για έναν οποιονδήποτε ανοικτό αγωγό, οι εξισώσεις του Saint-Venant παίρνουν τη μορφή:

α) Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = I$$

β) Εξίσωση κίνησης:

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

όπου:

A : το εμβαδόν της υγρής διατομής,

Q : η παροχή κατά μήκος της ροής του αγωγού,

I : η πλάγια παροχή εισροής ή εκροής από τον αγωγό,

t : ο χρόνος,

x : η οριζόντια απόσταση,

V : η μέση ταχύτητα,

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας,

y : το βάθος ροής,

U : η συνιστώσα της ταχύτητας της πλάγιας εισροής κατά την x-διεύθυνση

So : η κλίση του πυθμένα και

Sf : η κλίση τριβών ή αντιστάσεων.

Η κλίση των αντιστάσεων εκτιμάται συνήθως με χρήση του εμπειρικού τύπου του Manning με τη γενικότερη σχέση:

$$S_t = \frac{n^2 * V * |V|}{R^{\frac{4}{3}}}$$

όπου:

R : η υδραυλική ακτίνα (= A/P),

P : η περιβρεχόμενη περίμετρος και

n : ο συντελεστής τριβών του Manning.

Στην παραπάνω εξίσωση χρησιμοποιείται το γινόμενο V * $|V|$ αντί για το τετράγωνο της ταχύτητας V 2 , γιατί στην ασταθή ροή είναι ενδεχόμενο το διάνυσμα της ταχύτητας να έχει αντίθετη διεύθυνση με το χρόνο και την απόσταση.

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

<u>Σταθερή ανομοιόμορφη ροή</u>

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

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

α) Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{dQ}{dx} = I$$

β) Εξίσωση κίνησης:

$$V\frac{dV}{dx} + g\frac{dy}{dx} + \frac{I*(V-U)}{A} = g*(S_o - S_f)$$

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

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

i) Για ανοικτούς αγωγούς οποιουδήποτε γεωμετρικού σχήματος:

α) Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \ \ (Q = \sigma\tau\alpha\theta\varepsilon\rho\acute{o})$$

β) Εξίσωση κίνησης:

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

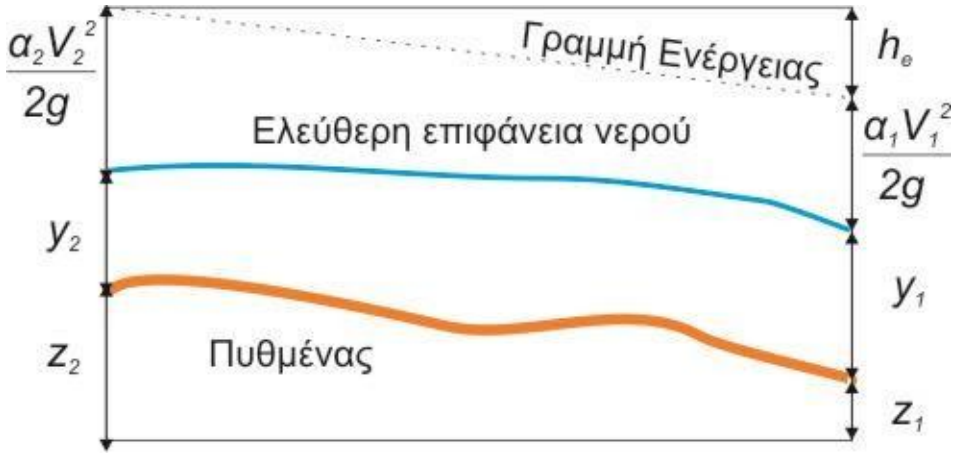
4.3 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ HEC-RAS

Στο HEC-RAS το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας υπολογίζεται από τη μια διατομή στην άλλη με την επίλυση της εξίσωσης ενέργειας κάνοντας χρήση μέσω της επαναληπτικής διαδικασίας ολοκληρώσεως της μεθόδου σταθερού βήματος (standard step method). Η υδραυλική ανάλυση και ο σχεδιασμός με βάση τη μέθοδο αυτή βασίζεται στις ακόλουθες υποθέσεις:

- Η ροή είναι μόνιμη ανομοιόμορφη.
- Η ολική ενέργεια μεταβάλλεται γραμμικά κατά το μήκος του τμήματος.
- Η ταχύτητα μεταβάλλεται μόνο κατά την κατεύθυνση της ροής ενώ κατά το πλάτος μιας διατομής παραμένει σταθερή.
- Η καμπυλότητα ροής είναι αμελητέα, η πίεση υδροστατική και η ροή δεν αποκολλάται από τα τοιχώματα ή τον πυθμένα.
- Η κατά μήκος κλίση του πυθμένα κάθε τμήματος μεταξύ δύο διατομών πρέπει να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με 10%, ώστε να μπορεί να γίνει αποδεκτή η παραδοχή υδροστατικής πίεσης.
- Το βάθος ροής μεταβάλλεται ομαλά και συνεχώς κατά μήκος κάθε τμήματος.

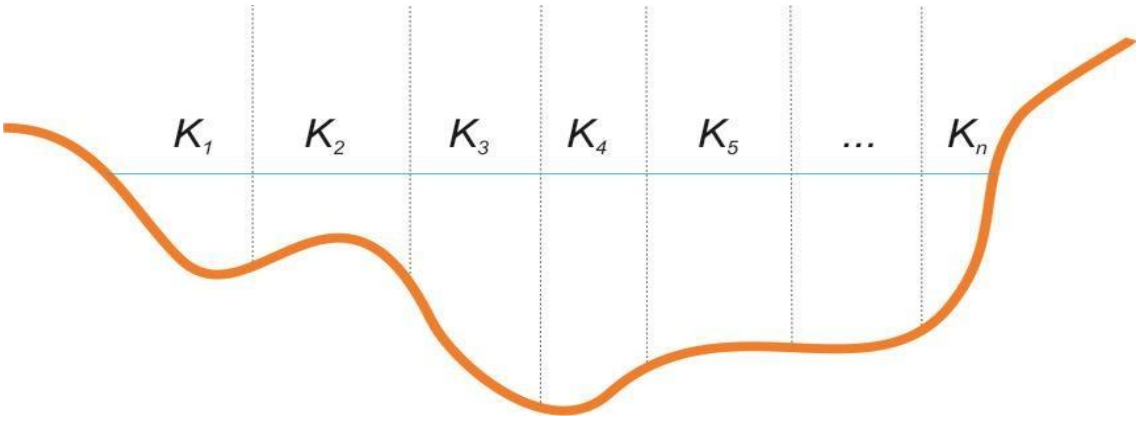
- Η απόσταση των λαμβανομένων διατομών πρέπει να είναι μικρότερη του (συνολικού εξεταζόμενου τμήματος/10). Για να επιτευχθεί η υπόθεση αυτή συνήθως απαιτείται πύκνωση των διατομών της τοπογραφικής μελέτης που πραγματοποιείται αυτόματα από το HEC-RAS με γραμμική παρεμβολή μεταξύ δύο διαδοχικών διατομών.

Έτσι, σε κάθε διατομή υπολογίζεται μία στάθμη ελεύθερης επιφάνειας και ένα μέσο ύψος κινητικής ενέργειας (δηλαδή της γραμμής ενέργειας), εκκινώντας από μία διατομή με γνωστή στάθμη ελεύθερης επιφάνειας. Στην συνέχεια υπολογίζοντας τις απώλειες μεταξύ δύο διατομών είναι δυνατό να προσδιοριστεί επαναληπτικά η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας της επόμενης (ανάντη για υπερκρίσιμη, κατάντη για υποκρίσιμη) διατομής.

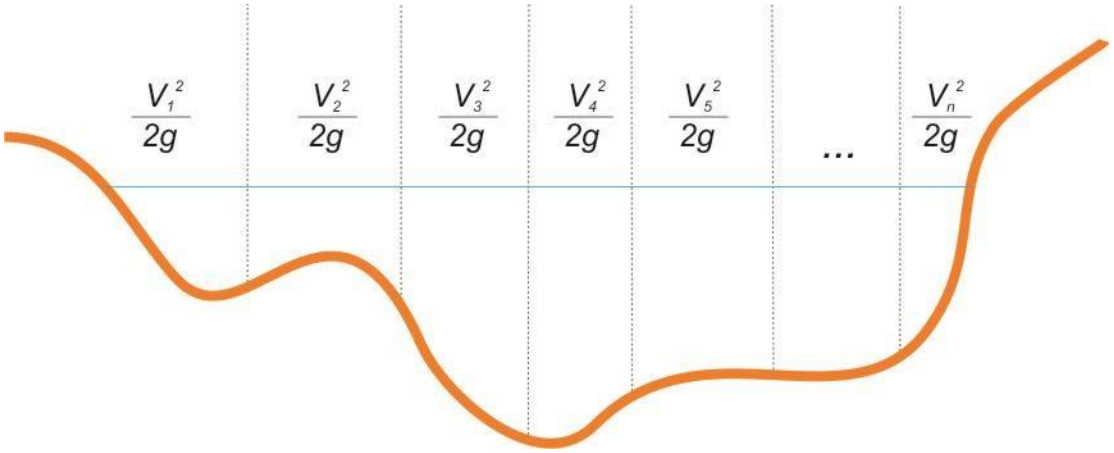


Σχήμα 4-1 Χαρακτηριστικά μεγέθη των διατομών (1) και (2)

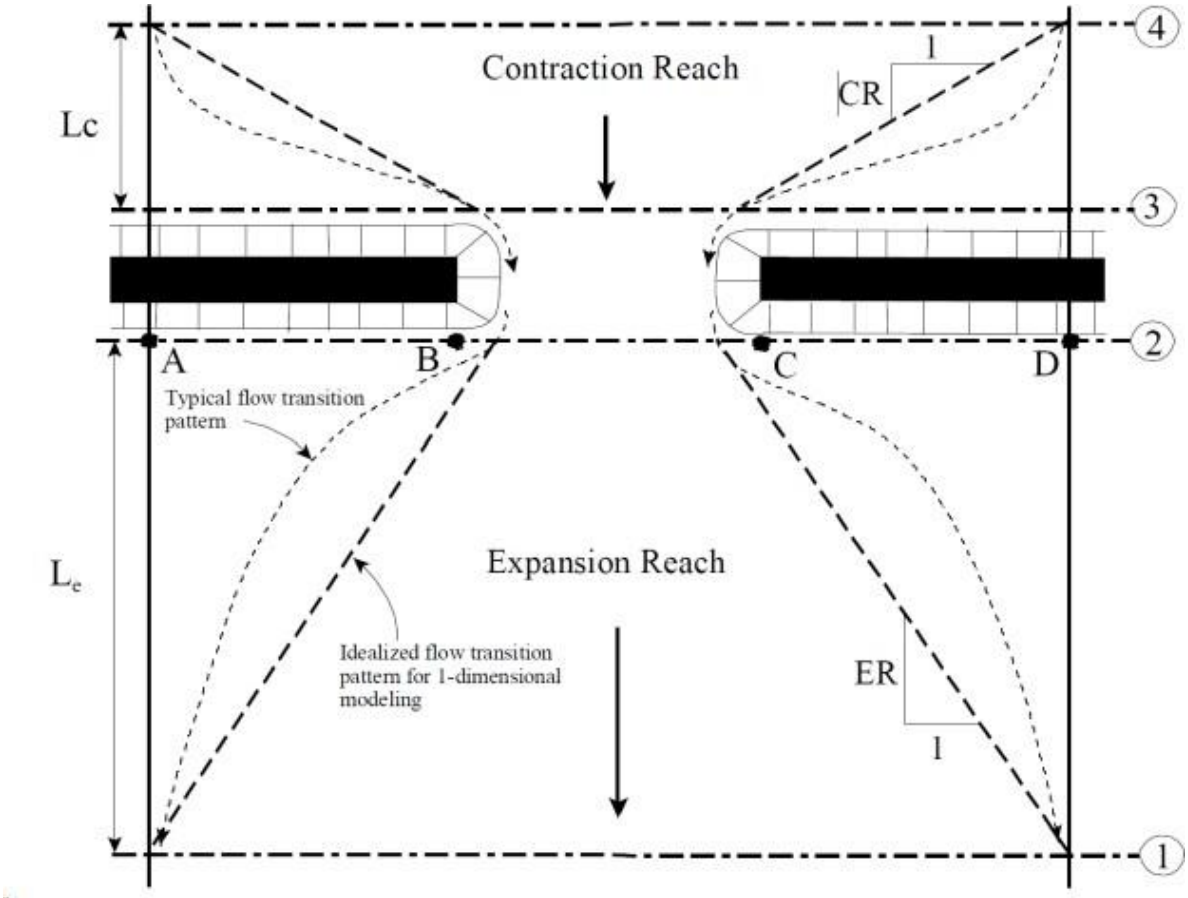
Οι απώλειες τριβής σε ένα τμήμα υπολογίζονται ως το γινόμενο της κλίσεως της πιεζομετρικής γραμμής επί το μήκος εξεταζόμενου τμήματος. Η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής υπολογίζεται σε κάθε διατομή από το γνωστό τύπο του Manning. Επίσης, σε κάθε διατομή υπολογίζονται επιπλέον και οι απώλειες λόγω στενώσεων και διευρύνσεων.



Σχήμα 4-2 Η υδραυλική αγωγιμότητα για κάθε τμήμα της διατομής



Σχήμα 4-3 Ο υπολογισμός του μέσου συντελεστή κινητικής ενέργειας



Σχήμα 4-4 Προσομοίωση γέφυρας

Σύμφωνα με το Hydraulic Reference Manual του λογισμικού, οι γέφυρες προσομοιώνονται ως τοπικές στενώσεις της ενεργού υδραυλικής διατομής, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του φορέα, των ακροβάθρων, τυχόν μεσοβάθρων, καθώς και τις απώλειες ενέργειας λόγω συστολής και διαστολής της ροής κατά τη διέλευση από το τεχνικό έργο.

Για τον υπολογισμό της στάθμης ροής στην περιοχή της γέφυρας, το HEC-RAS εφαρμόζει κυρίως την εξίσωση ενέργειας (standard step method) μεταξύ χαρακτηριστικών διατομών ανάντη και κατάντη του τεχνικού, ενώ σε περιπτώσεις όπου οι απώλειες λόγω πρόσκρουσης στα βάθρα ή οι μεταβολές της ορμής της ροής είναι σημαντικές, δύναται να εφαρμοστεί και η εξίσωση ορμής (momentum equation). Παράλληλα, το λογισμικό δύναται να προσομοιώσει συνθήκες υποκρίσιμης, υπερκρίσιμης ή και υπό πίεση ροής κάτω από τον φορέα της γέφυρας, καθώς και φαινόμενα υπερπήδησης του καταστρώματος όπου απαιτείται.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, η προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της ανάντη υπερύψωσης της στάθμης, του διαθέσιμου ελεύθερου ύψους κάτωθεν του φορέα, των ταχυτήτων ροής στην περιοχή του ανοίγματος, καθώς και της συνολικής υδραυλικής συμπεριφοράς του ποταμού στη θέση της νέας γέφυρας.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Με το πρόγραμμα προσομοιώθηκε η ροή στο μελετώμενο τμήμα του υδατορέματος και υπολογίσθηκε σε κάθε διατομή η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας της ροής.

Στη συνέχεια δίνονται οι Πίνακες με τα υπολογισμένα από το λογισμικό HEC-RAS υδραυλικά μεγέθη ανά διατομή, καθώς και σκαρίφημα των υδραυλικών μηκοτομών και διατομών του υδατορέματος από το HEC-RAS.

Τόσο η οριζοντιογραφία της περιοχής μελέτης, στην οποία αποτυπώνεται η γραμμή πλημμύρας που προέκυψε από την προσομοίωση ανομοιόμορφης μόνιμης ροής, όσο και η μηκοτομή και η χαρακτηριστική διατομή του υδατορέματος στη θέση της γέφυρας, με αποτύπωση της Ανώτατης Στάθμης Ύδατος για την παροχή σχεδιασμού, παρουσιάζονται στα σχέδια που συνοδεύουν την παρούσα υδραυλική έκθεση.

Πίν. 5-1 Υπολογισμός υδραυλικών μεγεθών ανά διατομή υδραυλικού μοντέλου για L=43.40 m

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	Max Chl Dpth	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
120	90	862.3	863.36	863.18	863.64	1.06	0.008946	2.33	38.6	39.01	0.75
106.56	90	862.05	863.29	863	863.52	1.24	0.00655	2.13	42.31	38.93	0.65
95.38	90	861.86	863.23	862.89	863.45	1.37	0.005781	2.07	43.43	37.62	0.62
85.56	90	861.71	863.22	862.74	863.39	1.51	0.004169	1.8	50.06	41.89	0.53
80	90	861.63	863.22	862.67	863.36	1.59	0.003217	1.65	54.68	43	0.47
72.64	90	861.56	863.2	862.59	863.34	1.63	0.003082	1.64	54.76	41.89	0.46
68.73	90	861.55	863.18	862.57	863.32	1.64	0.003107	1.66	54.28	41.11	0.46
66.73	90	861.54	863.18	862.56	863.32	1.64	0.003069	1.65	54.43	41.09	0.46
64	Bridge										
61.28	90	861.52	863.16	862.54	863.3	1.64	0.003145	1.63	55.11	43.29	0.46
59.28	90	861.51	863.16	862.53	863.29	1.65	0.003082	1.62	55.39	43.23	0.46
56.54	90	861.34	863.14	862.52	863.28	1.8	0.003094	1.67	54.01	40.7	0.46
54.1	90	861.24	863.15	862.41	863.27	1.91	0.002379	1.53	58.87	41.54	0.41
50.15	90	861.06	863.14	862.3	863.26	2.08	0.002189	1.53	58.95	39.12	0.4
40	90	860.9	863.11	862.25	863.24	2.21	0.002253	1.57	57.44	37.45	0.4
30.48	90	860.86	863.05	862.35	863.21	2.19	0.003118	1.75	51.34	36.1	0.47
19.97	90	860.83	862.9	862.49	863.15	2.07	0.005996	2.23	40.36	32.32	0.64
0	90	860.75	862.49	862.45	862.95	1.74	0.015007	3.01	29.94	29.23	0.95

River Sta	E.G. Elev	W.S. Elev	Crit W.S.	Frctn Loss	C & E Loss	Top Width	Q Left	Q Channel	Q Right	Vel Chnl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m/s)
68.73	863.32	863.18	862.57	0.01	0	41.11		90		1.66
66.73	863.32	863.18	862.56	0	0	41.09		90		1.65
64 BR U	863.32	863.18	862.56	0.01	0	41.08		90		1.65
64 BR D	863.3	863.16	862.54	0	0	43.32		90		1.63
61.28	863.3	863.16	862.54	0.01	0	43.29		90		1.63
59.28	863.29	863.16	862.53	0.01	0	43.23		90		1.62

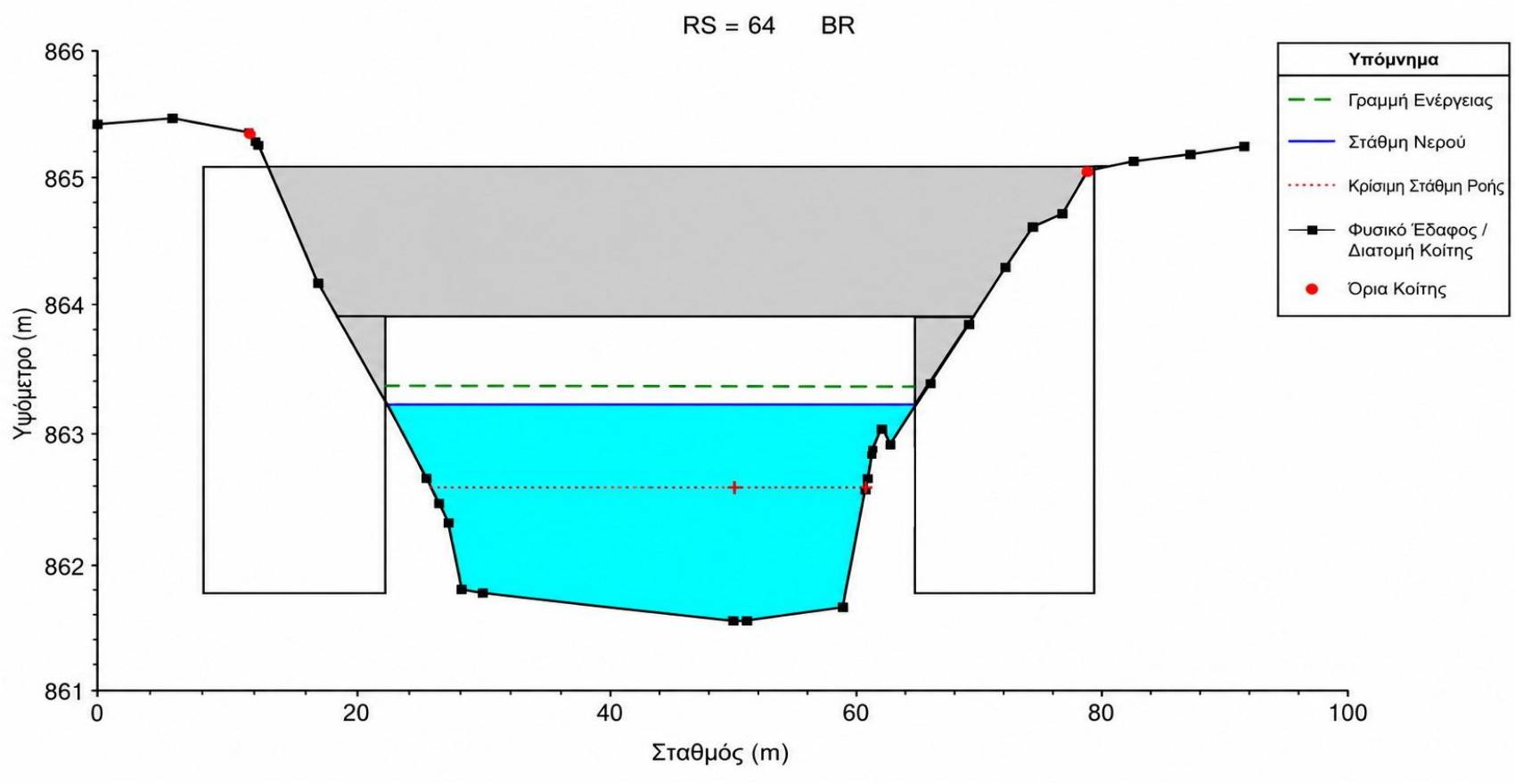
Πίν. 5-2 Υπολογισμός υδραυλικών μεγεθών ανά διατομή υδραυλικού μοντέλου για L=30.00 m

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	Max Chl Dpth	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
120	90	862.3	863.39	863.18	863.65	1.09	0.008289	2.28	39.54	39.11	0.72
106.56	90	862.05	863.33	863	863.54	1.28	0.005976	2.06	43.59	39.13	0.62
95.38	90	861.86	863.27	862.89	863.48	1.41	0.005191	2	44.95	37.8	0.59
85.56	90	861.71	863.27	862.74	863.42	1.55	0.003728	1.74	51.87	42.08	0.5
80	90	861.63	863.26	862.67	863.39	1.64	0.002892	1.59	56.55	43.17	0.44
72.64	90	861.56	863.24	862.59	863.37	1.68	0.002774	1.59	56.7	42.21	0.44
68.73	90	861.55	863.23	862.57	863.36	1.68	0.002797	1.6	56.24	41.51	0.44
66.73	90	861.54	863.22	862.56	863.35	1.69	0.002761	1.6	56.41	41.49	0.44
64	Bridge										
61.28	90	861.52	863.16	862.54	863.3	1.64	0.003144	1.63	55.11	43.29	0.46
59.28	90	861.51	863.16	862.53	863.29	1.65	0.003082	1.62	55.39	43.23	0.46
56.54	90	861.34	863.14	862.52	863.28	1.8	0.003094	1.67	54.01	40.7	0.46
54.1	90	861.24	863.15	862.41	863.27	1.91	0.002379	1.53	58.87	41.54	0.41
50.15	90	861.06	863.14	862.3	863.26	2.08	0.002189	1.53	58.95	39.12	0.4
40	90	860.9	863.11	862.25	863.24	2.21	0.002253	1.57	57.44	37.45	0.4
30.48	90	860.86	863.05	862.35	863.21	2.19	0.003118	1.75	51.34	36.1	0.47
19.97	90	860.83	862.9	862.49	863.15	2.07	0.005996	2.23	40.36	32.32	0.64
0	90	860.75	862.49	862.45	862.95	1.74	0.015007	3.01	29.94	29.23	0.95

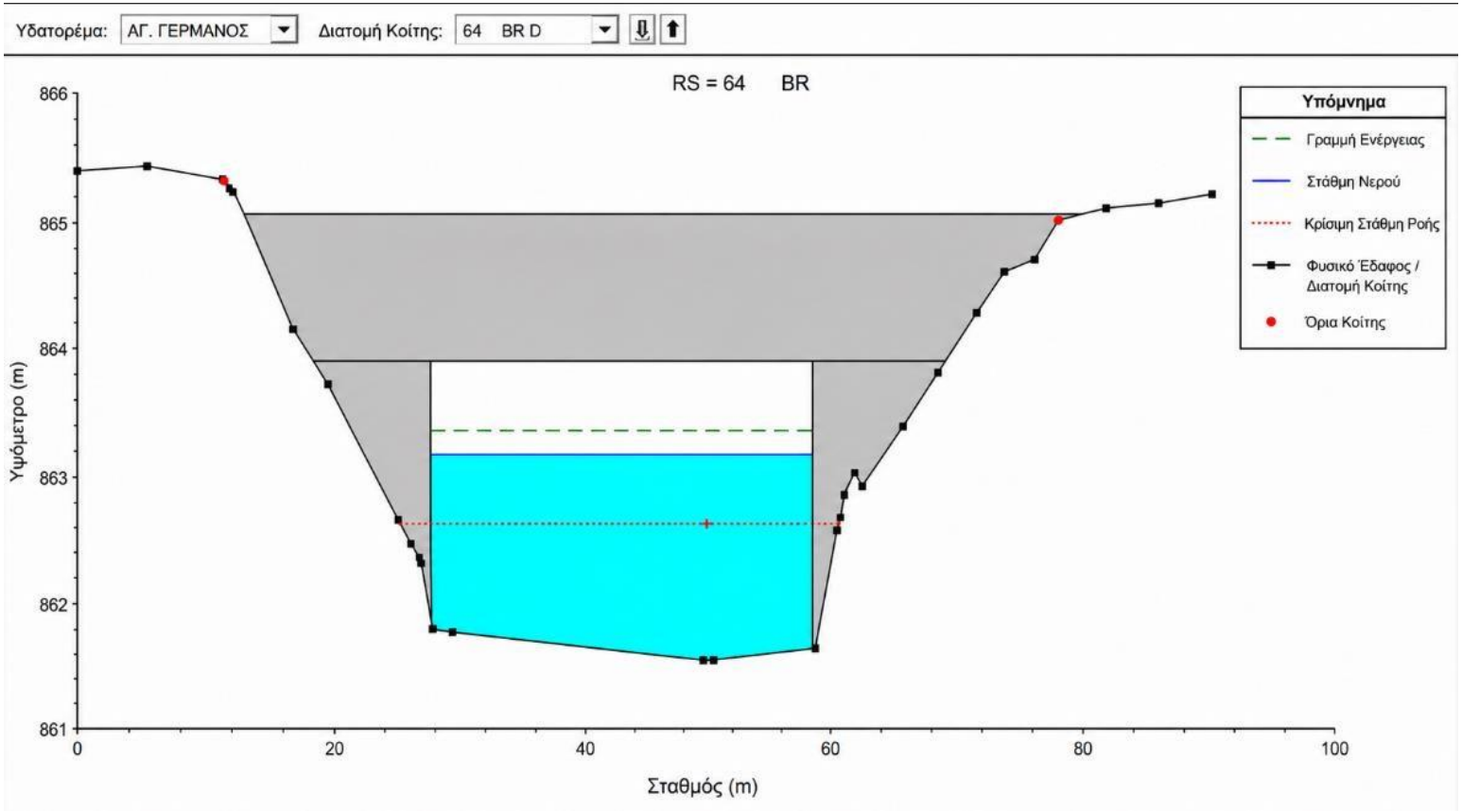
River Sta	E.G. Elev	W.S. Elev	Crit W.S.	Frctn Loss	C & E Loss	Top Width	Q Left	Q Channel	Q Right	Vel Chnl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m/s)
68.73	863.36	863.23	862.57	0.01	0	41.51		90		1.6
66.73	863.35	863.22	862.56	0	0.01	41.49		90		1.6
64 BR U	863.34	863.16	862.58	0.02	0	31.4		90		1.88
64 BR D	863.32	863.14	862.56	0	0.02	31.4		90		1.87
61.28	863.3	863.16	862.54	0.01	0	43.29		90		1.63
59.28	863.29	863.16	862.53	0.01	0	43.23		90		1.62

Πίν. 5-3 Υπολογισμός υδραυλικών μεγεθών ανά διατομή υδραυλικού μοντέλου Do Nothing

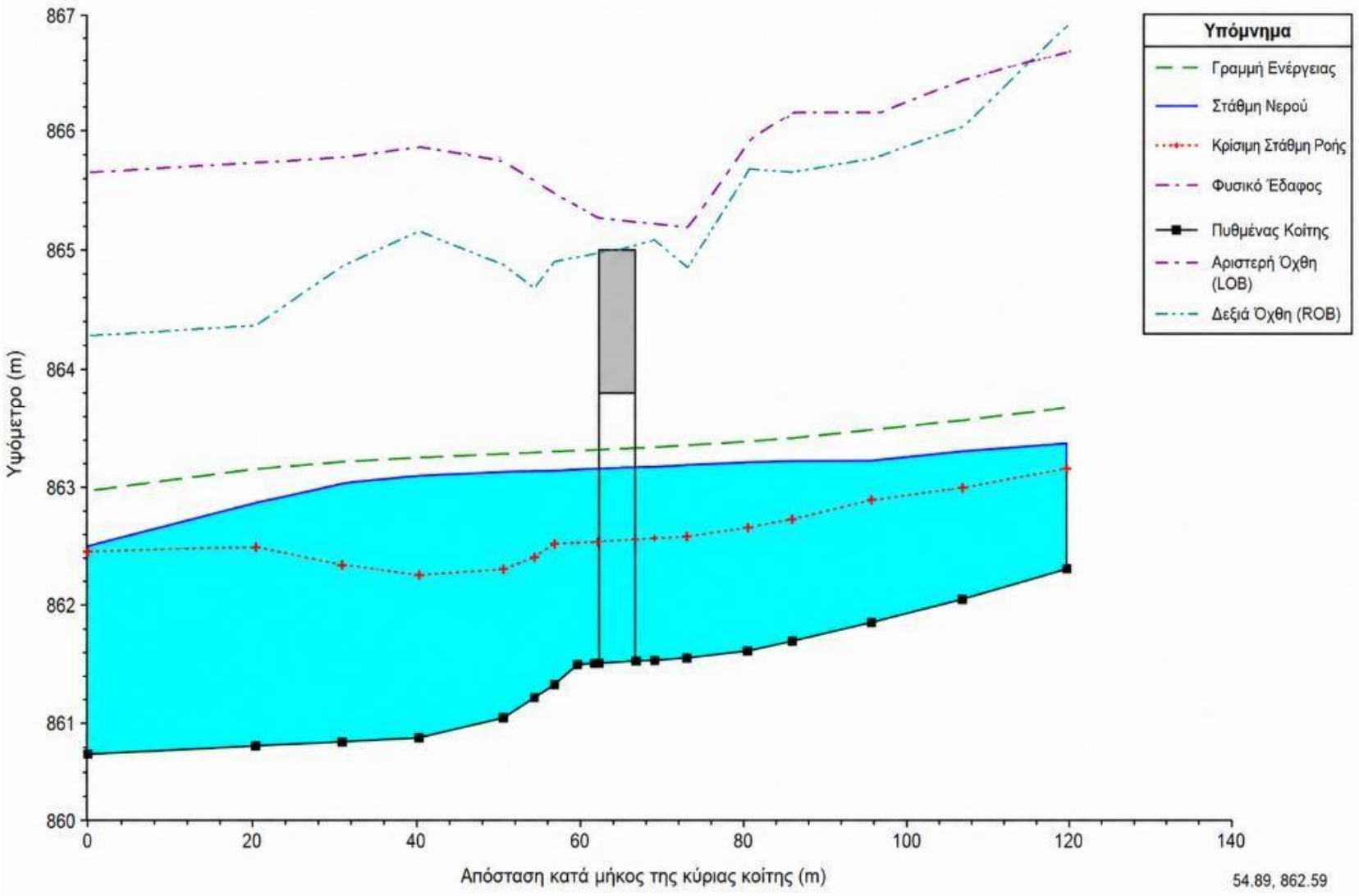
River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
120	PF 1	90	862.3	863.36	863.18	863.64	0.008946	2.33	38.6	39.01	0.75
106.56	PF 1	90	862.05	863.29	863	863.52	0.006549	2.13	42.32	38.93	0.65
95.38	PF 1	90	861.86	863.23	862.89	863.45	0.005779	2.07	43.44	37.62	0.62
85.56	PF 1	90	861.71	863.22	862.74	863.39	0.004166	1.8	50.07	41.89	0.52
80	PF 1	90	861.63	863.22	862.67	863.36	0.003215	1.65	54.69	43	0.47
72.64	PF 1	90	861.56	863.2	862.59	863.34	0.00308	1.64	54.78	41.89	0.46
68.73	PF 1	90	861.55	863.18	862.57	863.32	0.003105	1.66	54.29	41.11	0.46
66.73	PF 1	90	861.54	863.18	862.56	863.32	0.003068	1.65	54.44	41.09	0.46
61.28	PF 1	90	861.52	863.16	862.54	863.3	0.003145	1.63	55.11	43.29	0.46
59.28	PF 1	90	861.51	863.16	862.53	863.29	0.003082	1.62	55.39	43.23	0.46
56.54	PF 1	90	861.34	863.14	862.52	863.28	0.003094	1.67	54.01	40.7	0.46
54.1	PF 1	90	861.24	863.15	862.41	863.27	0.002379	1.53	58.87	41.54	0.41
50.15	PF 1	90	861.06	863.14	862.3	863.26	0.002189	1.53	58.95	39.12	0.4
40	PF 1	90	860.9	863.11	862.25	863.24	0.002253	1.57	57.44	37.45	0.4
30.48	PF 1	90	860.86	863.05	862.35	863.21	0.003118	1.75	51.34	36.1	0.47
19.97	PF 1	90	860.83	862.9	862.49	863.15	0.005996	2.23	40.36	32.32	0.64
0	PF 1	90	860.75	862.49	862.45	862.95	0.015007	3.01	29.94	29.23	0.95



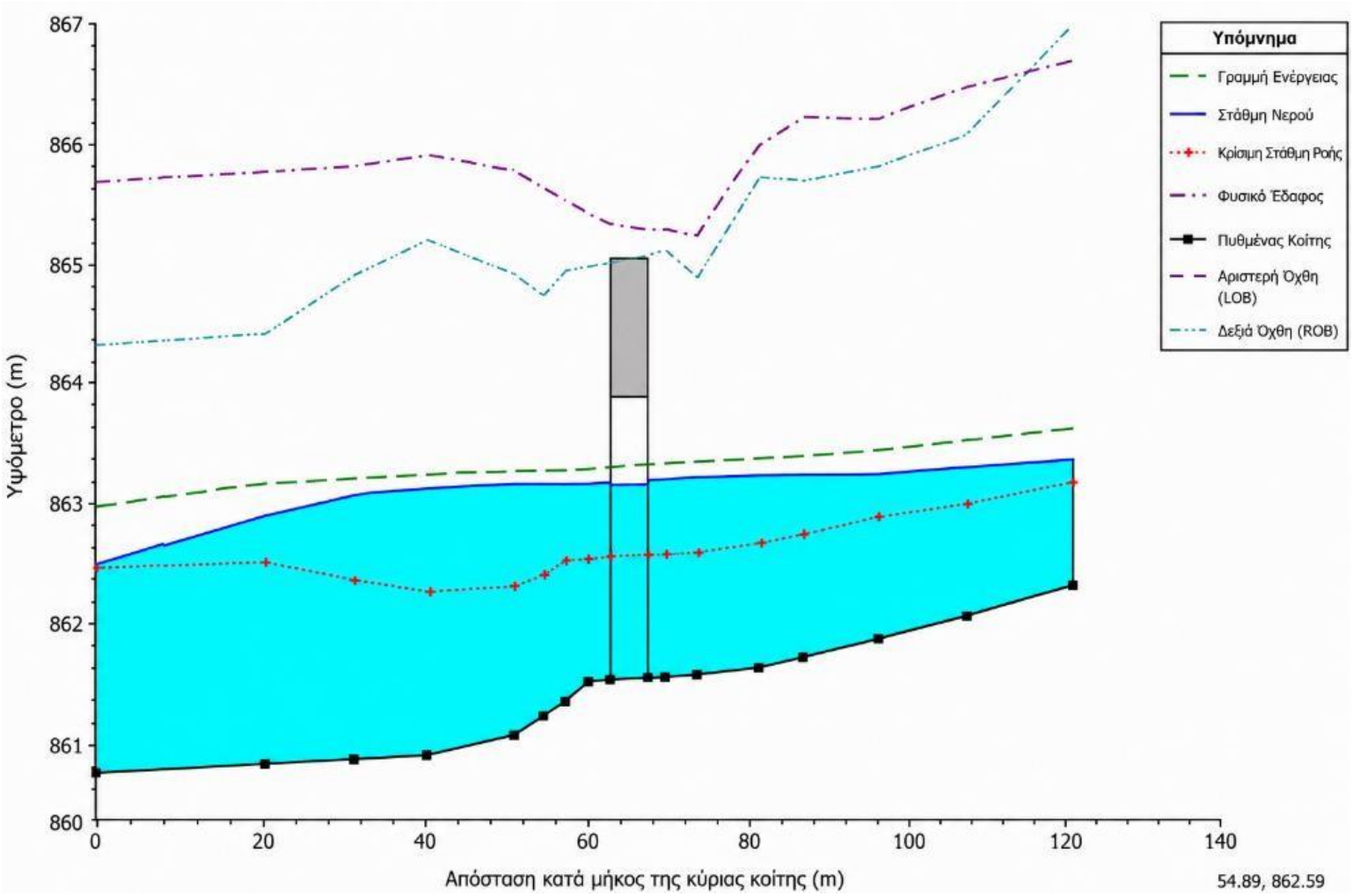
Σχήμα 5-1 Διατομή στην θέση της γέφυρας L=43.40 m



Σχήμα 5-2 Διατομή στην θέση της γέφυρας L=30.00 m



Σχήμα 5-3 Κατά μήκος τομή ποταμού εκατέρωθεν της γέφυρας για το σενάριο Α



Σχήμα 5-4 Κατά μήκος τομή ποταμού εκατέρωθεν της γέφυρας για το σενάριο Β

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η υδραυλική διερεύνηση της επίδρασης της νέας οδικής γέφυρας επί του ποταμού Αγίου Γερμανού πραγματοποιήθηκε με μονοδιάστατη προσομοίωση ανομοιόμορφης μόνιμης ροής, για πλημμυρική παροχή σχεδιασμού Q=90 m^3/s περιόδου επαναφοράς T=50 έτη .

Εξετάστηκαν δύο εναλλακτικά σενάρια ως προς το μήκος του ανοίγματος της γέφυρας (L),:

Σενάριο Α: L = 43,40 m και

Σενάριο Β L = 30,00 m.

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προέκυψε ότι και στις δύο περιπτώσεις η ροή στη θέση της γέφυρας παραμένει υποκρίσιμη, με τιμές αριθμού Froude σημαντικά μικρότερες της μονάδας (Fr < 1), γεγονός που επιβεβαιώνει συνθήκες σταθερής ανομοιόμορφης ροής χωρίς ανάπτυξη υπερκρίσιμων φαινομένων στην περιοχή του έργου.

- Για το σενάριο Α (L = 43,40 m), η υπολογισθείσα στάθμη ύδατος στην περιοχή της γέφυρας ανέρχεται περίπου στο υψόμετρο +863,18 m, ενώ για το σενάριο Β (L = 30,00 m) η αντίστοιχη στάθμη διαμορφώνεται περίπου στο +863,23 m. Η διαφορά στάθμης μεταξύ των δύο σεναρίων είναι περιορισμένη, γεγονός που δείχνει ότι η παροχετευτικότητα της διατομής παραμένει υψηλή και στις δύο περιπτώσεις.

- Στο σενάριο Β αναπτύσσονται αυξημένες ταχύτητες ροής στην περιοχή του τεχνικού, λόγω της μεγαλύτερης έναντι του σεναρίου Α τοπικής στένωσης της ενεργού υδραυλικής διατομής. Ειδικότερα, στην περιοχή της γέφυρας η μέση ταχύτητα ροής
- για το σενάριο Α (L = 43,40 m) ανέρχεται σε 1,65 m/s
- για το σενάριο Β (L = 30,00 m), ανέρχεται σε 1,88 m/s

- στο σενάριο Α L = 43,40 m τα ακρόβαθρα χωροθετούνται εκτός της κύριας ενεργού κοίτης και πέραν του ποδιού των φυσικών πρανών του ποταμού,
- ενώ στο σενάριο Β L = 30,00 m τα ακρόβαθρα τοποθετούνται πλησίον του ορίου των ποδιών των πρανών, με αποτέλεσμα μεγαλύτερο περιορισμό της φυσικής υδραυλικής διατομής.

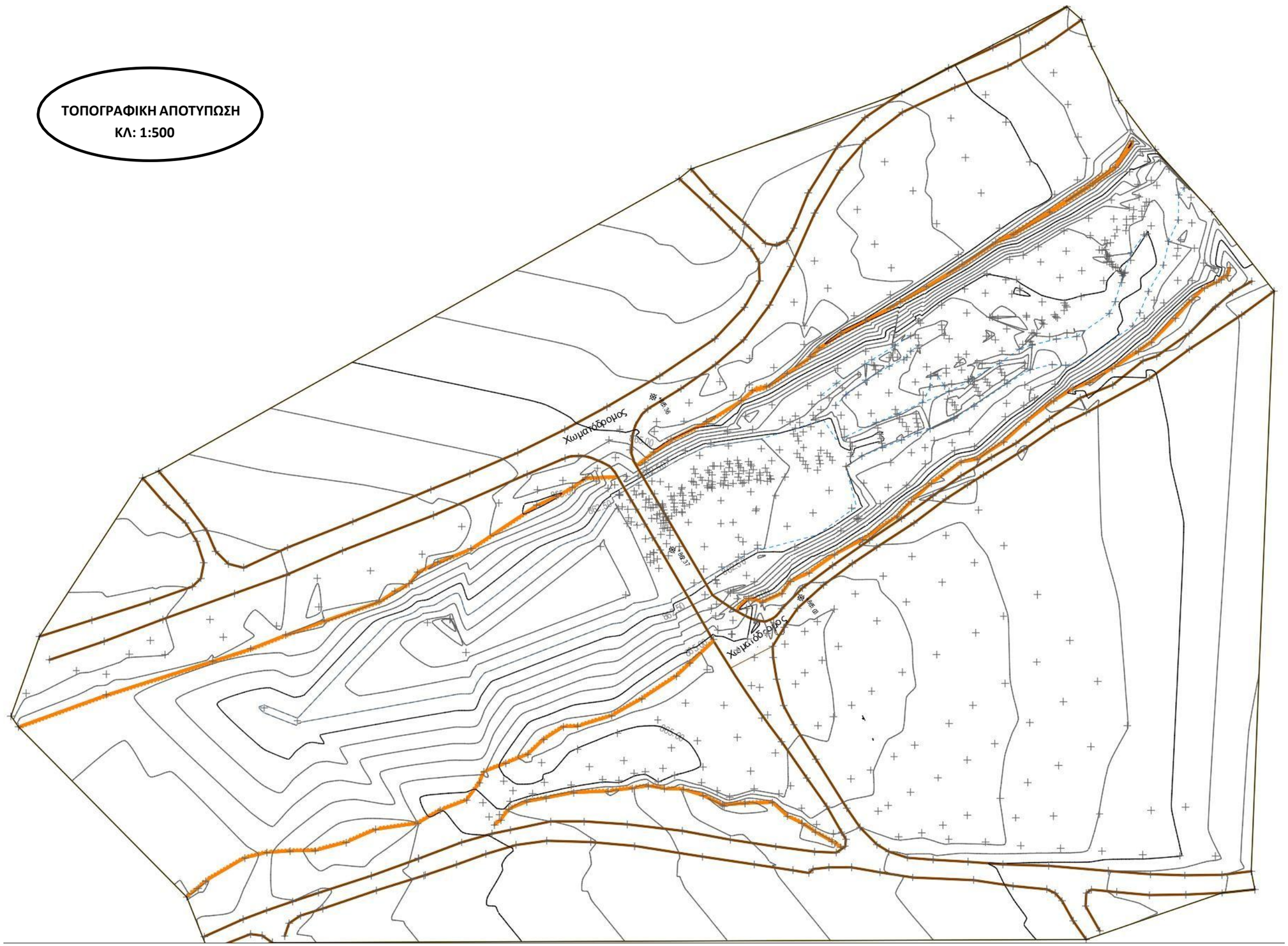
Και στα δυο σενάρια η ανώτατη στάθμη ύδατος παραμένει χαμηλότερα από την κατώτερη στάθμη του φορέα της γέφυρας, εξασφαλίζοντας διαθέσιμο ελεύθερο ύψος (freeboard) κατά τη διέλευση της πλημμυρικής παροχής σχεδιασμού. Στην περίπτωση φορέα γέφυρας από οπλισμένο σκυρόδεμα το διαθέσιμο ελεύθερο ύψος υπολογίζεται περίπου μεταξύ 0,65 m και 0,75 m στην περιοχή του ανοίγματος. Η ανάλυση έδειξε ότι η παρουσία της γέφυρας προκαλεί περιορισμένη τοπική υπερύψωση της στάθμης ανάντη, χωρίς ανάπτυξη εκτεταμένων φαινομένων ανάσχεσης. Επίσης η στάθμη κυκλοφορίας της γέφυρας βρίσκεται στο υψόμετρο +865,10 m, εξασφαλίζοντας διαθέσιμο ελεύθερο ύψος κατά τη διέλευση της πλημμυρικής παροχής σχεδιασμού.

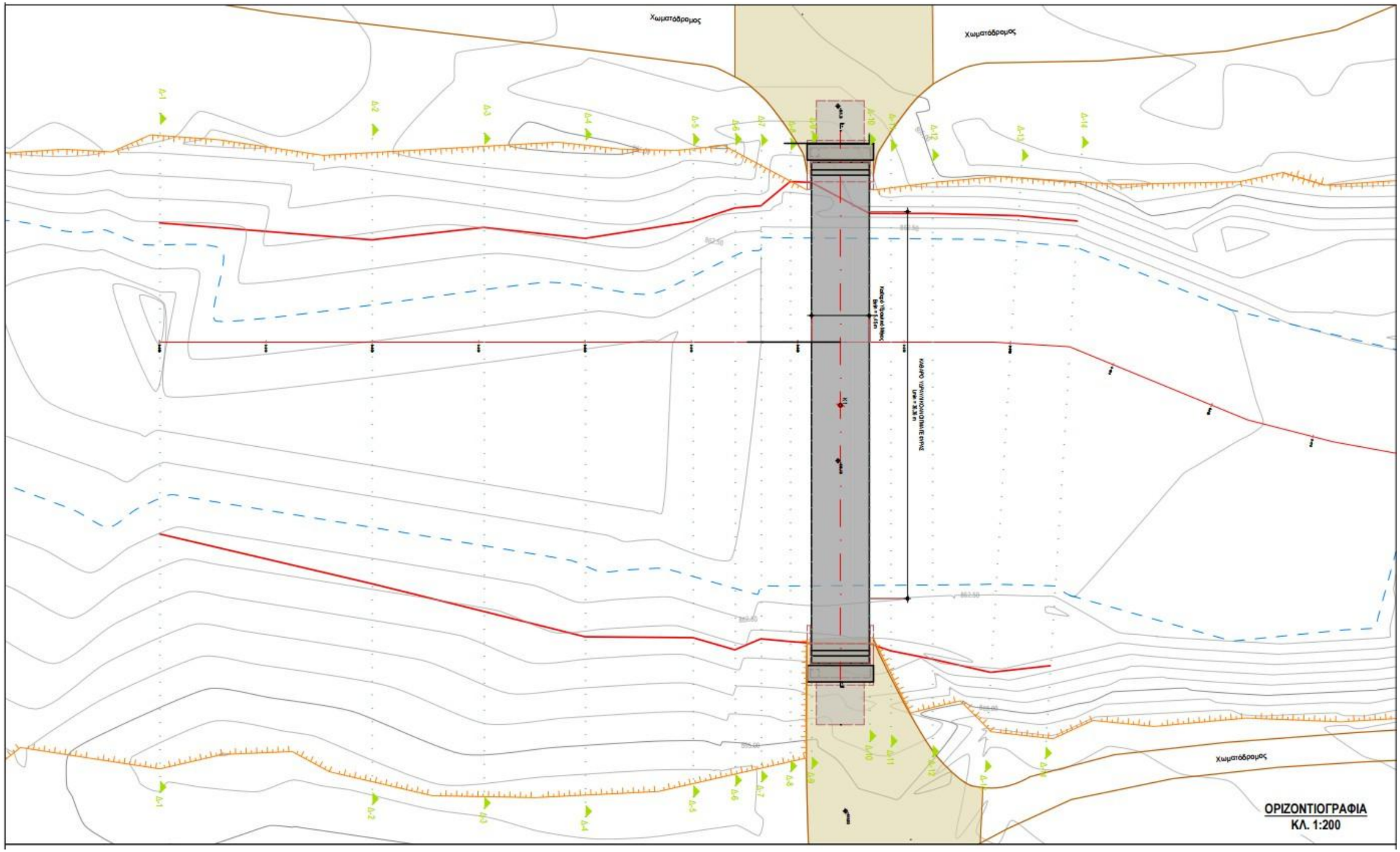
Από τη σύγκριση με το σενάριο DO NOTHING (μη κατασκευή γέφυρας) προέκυψε ότι στο σενάριο Α (L = 43,40 m) η στάθμη ροής παρουσιάζει πρακτικά μηδενική διαφοροποίηση ως προς τη στάθμη ροής και τη συνολική υδραυλική συμπεριφορά του ποταμού. Τα αποτελέσματα στο κεφάλαιο 5 καταδεικνύουν ότι η κατασκευή γέφυρας δεν μεταβάλει τη φυσική παροχετευτικότητα της κοίτης, που αποτέλεσε και βασικό στόχο του υδραυλικού σχεδιασμού.
Αντίστοιχα, στο Σενάριο Β (L = 30,00 m) παρατηρείται μεγαλύτερη τοπική στένωση της ενεργού υδραυλικής διατομής και αυξημένες ταχύτητες ροής στην περιοχή του τεχνικού (V = 1,88 m/s), χωρίς ωστόσο να προκύπτει ουσιώδης μεταβολή της συνολικής υδραυλικής συμπεριφοράς του ποταμού ή σημαντική ανάντη υπερύψωση της στάθμης για την παροχή σχεδιασμού.

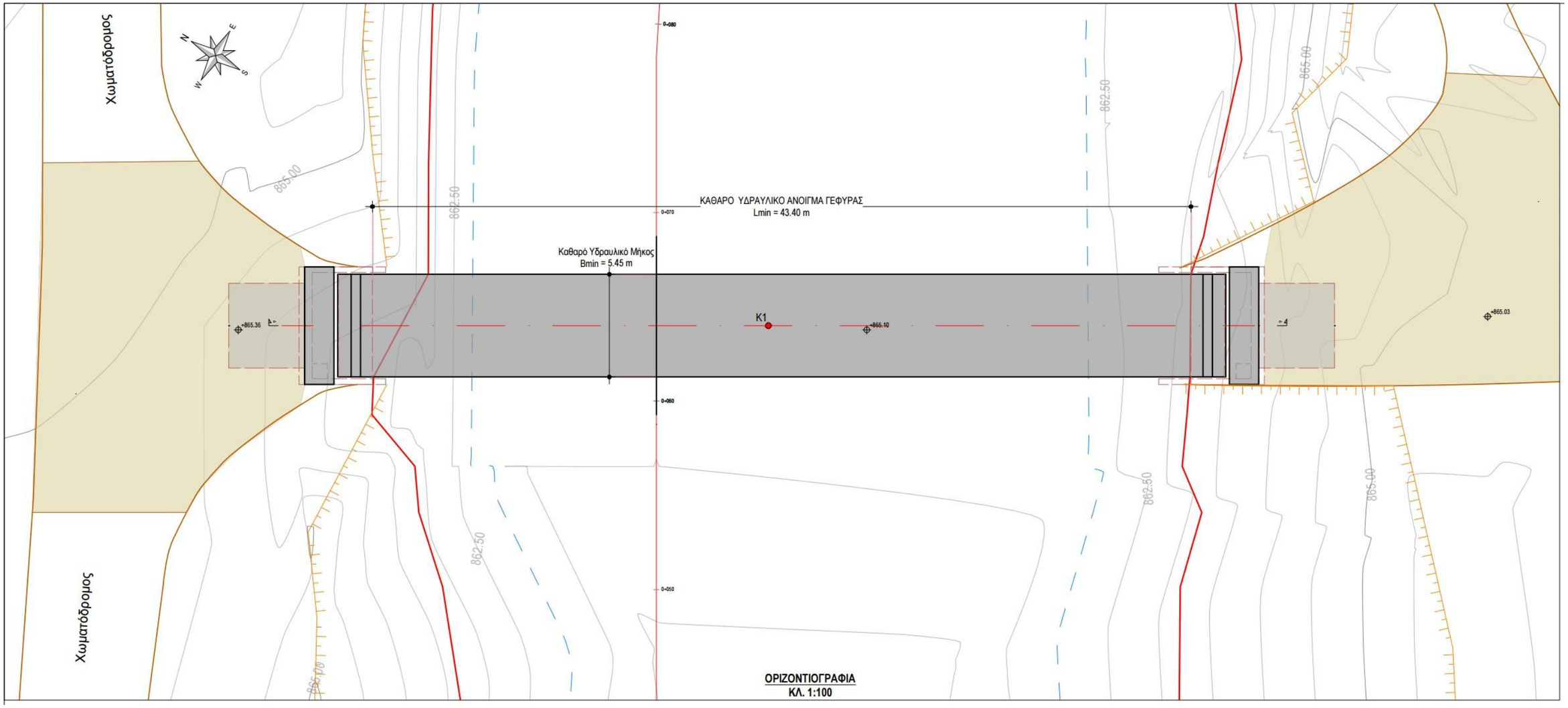
Λόγω των ταχυτήτων ροής και των τοπικών στροβιλισμών που αναπτύσσονται στην περιοχή των ακροβάθρων και της στένωσης της διατομής, απαιτείται η πρόβλεψη κατάλληλων έργων προστασίας της κοίτης και των πρανών έναντι τοπικών διαβρώσεων. Ενδεικτικά, δύναται να απαιτηθούν έργα προστασίας με χρήση λιθορριπής, συρματοκιβωτίων (gabions), επένδυσης πρανών, προστασίας ποδός πρανών, καθώς και τοπική θωράκιση στην περιοχή θεμελίωσης των ακροβάθρων και στις ζώνες εισόδου–εξόδου της ροής από το τεχνικό έργο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

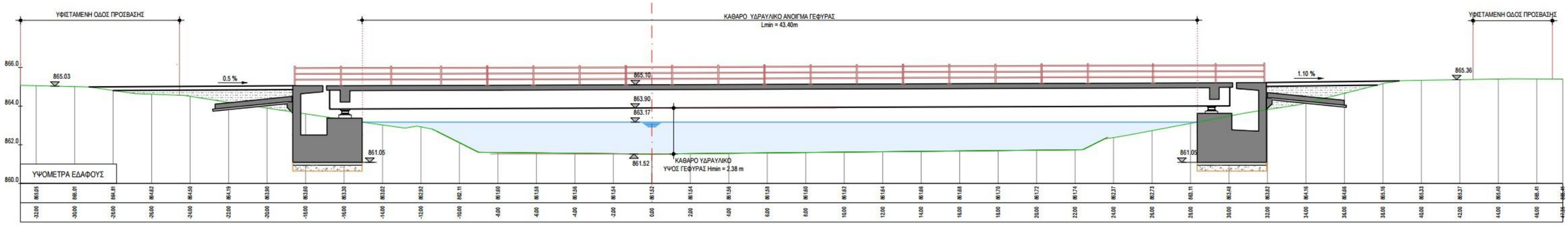
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ
ΚΛ: 1:500




Χωματόδρομος
Χωματόδρομος
Χωματόδρομος
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ
ΚΛ. 1:200

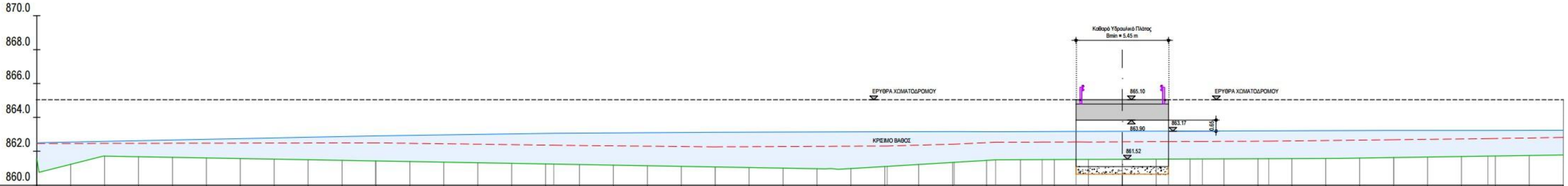


ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ
ΚΛ. 1:100



ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ
Χ.Θ. 0+064.00
Κλίμακα 1:100

ΣΧΕΔΙΟ ΜΗΚΟΤΟΜΗΣ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:200 / 1:200



ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΗΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΕΔΑΦΟΥΣ
0+002	861.23
0+004	861.71
0+006	861.68
0+008	861.64
0+010	861.61
0+012	861.57
0+014	861.54
0+016	861.50
0+018	861.47
0+020	861.43
0+022	861.40
0+024	861.36
0+026	861.33
0+028	861.29
0+030	861.25
0+032	861.22
0+034	861.18
0+036	861.15
0+038	861.11
0+040	861.08
0+042	861.04
0+044	861.01
0+046	860.97
0+048	860.96
0+050	861.09
0+052	861.21
0+054	861.34
0+056	861.46
0+058	861.94
0+060	862.26
0+062	862.25
0+064	862.17
0+066	862.01
0+068	861.64
0+070	861.51
0+072	861.65
0+074	861.64
0+076	861.62
0+078	861.82
0+080	861.80
0+082	861.79
0+084	861.97
0+086	862.08
0+088	861.86

ΟΝΟΜΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΑΡΧΗ
Δ-1	0.00
Δ-2	19.97
Δ-3	30.48
Δ-4	40.00
Δ-5	50.15
Δ-6	54.10
Δ-7	56.54
Δ-8	59.28
Δ-9	61.28
Δ-10	66.73
Δ-11	68.73
Δ-12	72.64
Δ-13	80.00
Δ-14	85.56