

**8. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ ΚΑΚΛΙΤΖΟΡΕΜΑ ΚΑΤΑΝΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ****8.1 Παραδοχές και μέθοδος υπολογισμού**

Η παροχή για τον υδραυλικό έλεγχο του ρέματος Κακλιτζόρεμα κατάντη του φράγματος είναι αυτή που ελήφθη υπόψη και για τον σχεδιασμό των έργων καταστροφής ενέργειας, δηλαδή 25,02 m<sup>3</sup>/s. Ο έλεγχος αφορά το τμήμα του ρέματος Κακλιτζόρεμα από την εκβολή της διώρυγας απαγωγής των πλημμυρικών παροχών υπερχείλισης του φράγματος Δίλοφου μέχρι περίπου 100m προς τα κατάντη, για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα τοπογραφικά δεδομένα.

Ο υπολογισμός της ανομοιομόρφης ροής γίνεται με την μέθοδο της ολοκλήρωσης του σταθερού βήματος (standard step method), με χρήση του λογισμικού HEC-RAS 4.0 Beta το οποίο αναπτύχθηκε από το Κέντρο Υδρολογικής Μηχανικής (Hydrologic Engineering Center-HEC) του Σώματος Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού (U.S. Army corps of Engineers) [13].

Το λογισμικό HEC-RAS υπολογίζει μονοδιάστατη, ανομοιομόρφη, ομαλώς μεταβαλλόμενη ροή σε φυσικά ρέματα ή τεχνητούς αγωγούς. Οι υπολογισμοί περιλαμβάνουν υποκρίσιμες, υπερκρίσιμες ή μεικτές συνθήκες ροής. Ο υδραυλικός υπολογισμός γίνεται μεταξύ δυο διαδοχικών διατομών επιλύοντας την εξίσωση διατήρησης της ενέργειας με μια επαναληπτική διαδικασία η οποία αποτελεί την μέθοδο της ολοκλήρωσης του σταθερού βήματος. Η εξίσωση διατήρησης της ενέργειας μεταξύ δύο διατομών 1 και 2 του αγωγού είναι:

$$y_2 + z_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (8-1)$$

όπου:

$y_1, y_2$ : τα βάθη ροής στις διατομές 1 και 2,

$z_1, z_2$ : οι στάθμες πυθμένα,

$V_1, V_2$ : οι μέσες ταχύτητες ροής,

$a_1, a_2$ : οι συντελεστές ενέργειας (Coriolis),

$h_e$ : απώλεια ενέργειας μεταξύ των διατομών 1 και 2.

Η απώλεια ενέργειας  $h_e$  περιλαμβάνει απώλειες λόγω τριβών και απώλειες λόγω μεταβολής της διατομής (δηλαδή της ταχύτητας). Ισχύει η σχέση:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2}{2g} - \frac{a_1 V_1}{2g} \right| \quad (8-2)$$

όπου:

$L$  : το μήκος του αγωγού μεταξύ 1 και 2,

$\bar{S}_f$  : η αντιπροσωπευτική κλίση της γραμμής ενέργειας μεταξύ των διατομών 1 και 2,

$C$  : συντελεστής απωλειών ενέργειας λόγω μεταβολής της διατομής (ταχύτητας).

Η κλίση της γραμμής ενέργειας στη θέση μιας διατομής δίνεται από τον τύπο του Manning.

$$Q = KS_f^2 \quad (8-3)$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} \quad (8-4)$$

όπου  $A$  είναι η επιφάνεια ροής.

Για την αντιπροσωπευτική κλίση της γραμμής ενέργειας μεταξύ δυο διαδοχικών διατομών εφαρμόζεται η σχέση

$$\bar{S}_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (8-5)$$

Οι σχέσεις (3-1) και (3-2) επιλύονται επαναληπτικά για διαδοχικές διατομές ως προς το βάθος ροής, αρχίζοντας από δεδομένες οριακές συνθήκες ροής στο κατάντη πέρας του αγωγού εάν οι συνθήκες ροής είναι υπό κρίσιμες ή στο ανάντη πέρας του αγωγού εάν οι συνθήκες ροής είναι υπερκρίσιμες.

Το λογισμικό HEC-RAS έχει την δυνατότητα να λάβει υπόψη υπερκρίσιμες και υποκρίσιμες συνθήκες ροής, καθώς και μεικτές συνθήκες ροής με μεταβολές ανάμεσα σε υπερκρίσιμη και υποκρίσιμη ροή. Για τον καθορισμό των συνθηκών ροής

(υπερκρίσιμων ή υποκρίσιμων) που υπερισχύουν και για τον καθορισμό των θέσεων υδραυλικών αλμάτων χρησιμοποιείται η εξίσωση της ειδικής δύναμης (specific force). Θεωρείται ότι υπερισχύουν οι συνθήκες ροής για τις οποίες η ειδική δύναμη είναι μεγαλύτερη. Για κάθε συγκεκριμένη διατομή ισχύει η σχέση

$$SF = \frac{Q^2}{gA} + \bar{Y}A \quad (8-6)$$

Όπου SF είναι η ειδική δύναμη και  $\bar{Y}$  είναι το βάθος από την επιφάνεια του νερού μέχρι το κέντρο βάρους της επιφάνειας ροής.

Οι παραδοχές για την εφαρμογή της μεθόδου της ολοκλήρωσης του σταθερού βήματος και του λογισμικού HEC-RAS συνοψίζονται ως εξής:

1. Η ροή είναι μόνιμη.
2. Η ροή είναι ομαλώς μεταβαλλόμενη.
3. Η ροή είναι μονοδιάστατη (λαμβάνονται υπόψη συνιστώσες της ταχύτητας ροής μόνο κατά την διεύθυνση της ροής).
4. Οι κλίσεις πυθμένα του αγωγού είναι μικρές.

Για τον υδραυλικό έλεγχο του ρέματος Κακλιτζόρεμα κατάντη του φράγματος Διλόφου γίνεται υπολογισμός της ανομοιόμορφης ροής σε τμήμα του ρέματος στα κατάντη του φράγματος.

## 8.2 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού της ανομοιόμορφης ροής στο ρέμα Κακλιτζόρεμα από την Χ.Θ. 0+345,00 έως τη Χ.Θ. 0+425,00 για παροχή 25,02 m<sup>3</sup>/s παρουσιάζεται στον πίνακα 8.1. Για τους υδραυλικούς υπολογισμούς θεωρήθηκε τιμή του συντελεστή Manning n ίση με 0,030. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε φυσικά ρέματα με καθαρά-χαλαρά βότσαλα, μαιανδρισμούς και αραιή βλάστηση[18].

Τέθηκε ως κατάντη οριακή συνθήκη στη Χ.Θ.0+425,00 το ομοιόμορφο βάθος ροής για παροχή Q=25,02m<sup>3</sup>/s το οποίο αντιστοιχεί στη μέση κατά μήκος κλίση της βαθειάς γραμμής του χειμάρρου Κακλιτζόρεμα στο εξεταζόμενο τμήμα. Η κλίση αυτή είναι 0,02.

Η τιμή του συντελεστή C στη σχέση (8-2) λαμβάνεται 0,3 για διεύρυνση διατομής και 0,1 για στένωση.

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 8.1 και του σχήματος 8.1 προκύπτει ότι για την παροχή  $Q=25,02 \text{ m}^3/\text{s}$  η ροή κατάντη του φράγματος είναι εντοπισμένη εντός της κοίτης του χειμάρρου Κακλιτζόρεμα χωρίς να επεκτείνεται στην ευρύτερη κοίτη πλημμυρών.

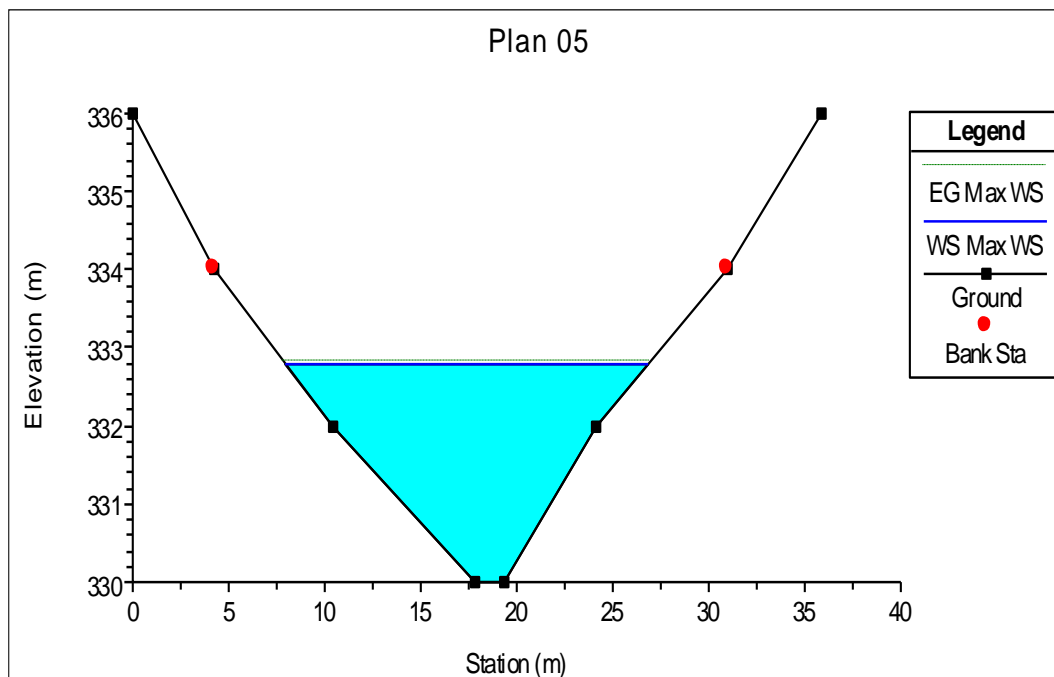
Από τα αποτελέσματα του υπολογισμού της ανομοιόμορφης ροής προκύπτει ακόμα ότι η στάθμη νερού στη Χ.Θ.0+345,00, δηλαδή περίπου στη θέση εκβολής της διώρυγας απαγωγής των παροχών υπερχειλίσσης του φράγματος, είναι +332,79. Το στοιχείο αυτό είναι σημαντικό για τον υδραυλικό σχεδιασμό των έργων καταστροφής ενέργειας του φράγματος Διλόφου που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 5. Επίσης, η στάθμη αυτή στο χείμαρρο Κακλιτζόρεμα δεν δημιουργεί πρόβλημα στον περιβάλλοντα χώρο της λεκάνης ηρεμίας .

**Πίνακας 8.1:** Υπολογισμός ανομοιόμορφης ροής στο χείμαρρο Κακλιτζόρεμα

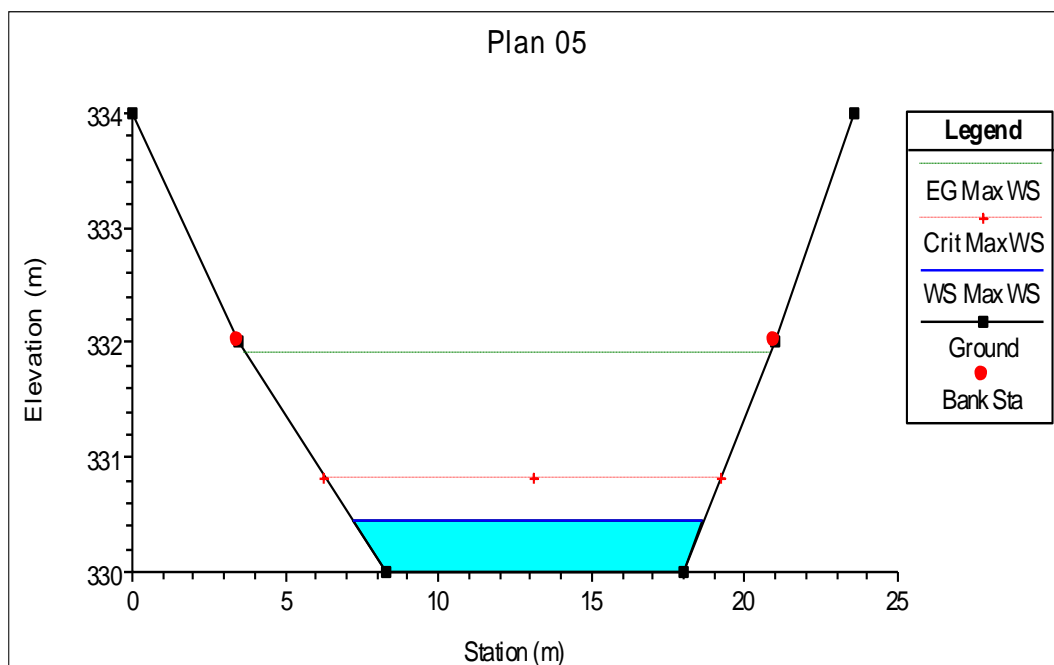
River Sta	Qtotal	Min Ch EI	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	FlowA rea	Top Width	Froude
	( $\text{m}^3/\text{s}$ )	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	( $\text{m}^2$ )	(m)	
345,00	25,02	330,00	332,80	332,83	0,000429	0,87	28,19	18,90	0,23
385,00	25,02	330,00	330,44	331,90	0,087914	5,36	4,65	11,44	2,68
425,00	25,02	328,00	329,16	329,80	0,021154	3,55	7,02	10,93	1,41

- (1) : Χιλιομετρική θέση
- (2) : Παροχή
- (3) : Στάθμη πυθμένα
- (4) : Στάθμη νερού
- (5) : Στάθμη νερού που αντιστοιχεί σε κρίσιμο βάθος
- (6) : Στάθμη γραμμής ενέργειας
- (7) : Ταχύτητα ροής
- (8) : Εμβαδό βρεχόμενης διατομής
- (9) : Άνω πλάτος βρεχόμενης διατομής
- (10): Αριθμός Froude

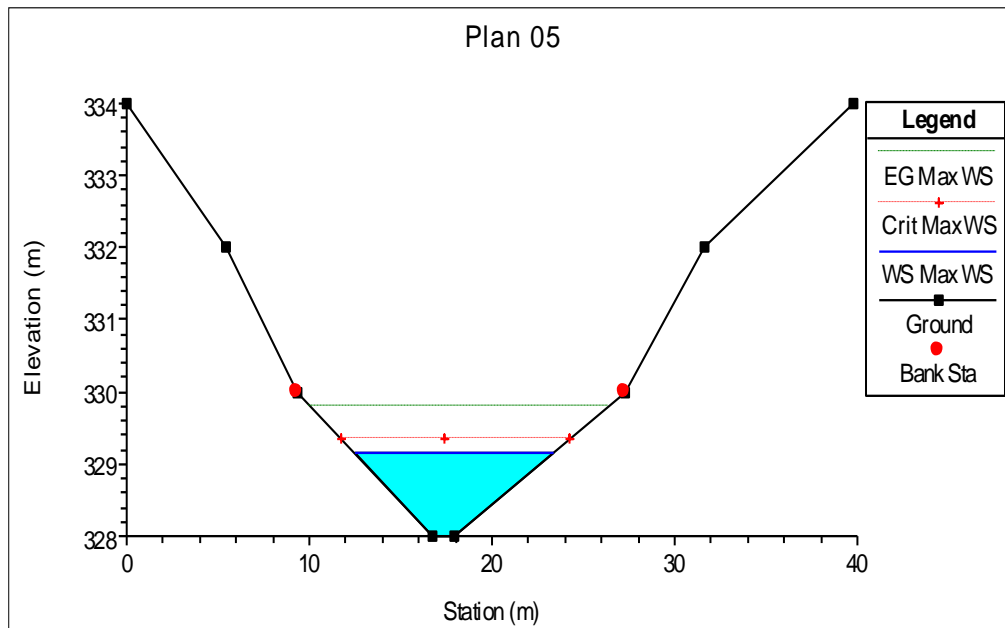
**Σχήμα 8.1:** Διατομές και στάθμες νερού χειμάρρου Κακλιτζόρεμα  $Q=24.95\text{m}^3/\text{s}$  (αποτελέσματα λογισμικού HEC-RAS)



α) Διατομή και στάθμη νερού στη Χ.Θ. 0+345,00



β) Διατομή και στάθμη νερού στη Χ.Θ. 0+385,00



γ) Διατομή και στάθμη νερού στη Χ.Θ. 0+425,00