

Επιπτώσεις από την κατασκευή ενός φράγματος στη μορφολογία του ποταμού Saalach και μέτρα αντιμετώπισης.

Ν. Π. Ευθυμίου

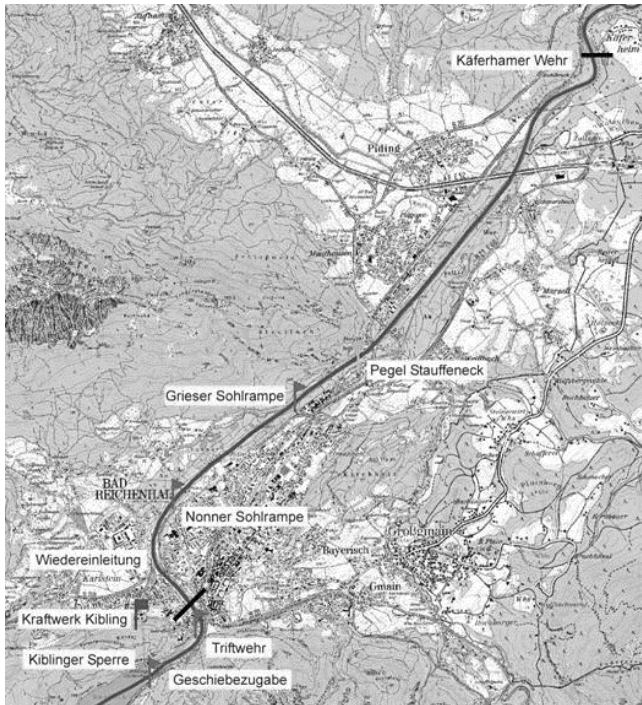
Υποψήφιος διδάκτορας. Έδρα υδραυλικών έργων και διαχείρισης υδατικών πόρων. Τεχνικό Πανεπιστήμιο Μονάχου.

Λέξεις κλειδιά: διάβρωση, αριθμητικό μοντέλο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι σημαντικότερες υδρομορφολογικές επιπτώσεις της κατασκευής του φράγματος Kiblinger Sperre στον ποταμό Saalach στα σύνορα της Βαυαρίας και της Αυστρίας καθώς επίσης τα μέτρα που λήφθηκαν για τη διαχείριση των φερτών υλών και την αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων από την κατασκευή του φράγματος. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ενός αριθμητικού μοντέλου το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να προβλεφθεί η αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων μέτρων που αποσκοπούν στην επίτευξη μιας κατάστασης δυναμικής ισορροπίας της κοίτης του ποταμού. Τέλος σχολιάζονται οι σημερινές δυνατότητες και οι περιορισμοί των μορφολογικών αριθμητικών μοντέλων.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Saalach είναι ένας τυπικός παραλπίνειος ποταμός με μήκος περίπου 130 χμ. Η υπό μελέτη περιοχή εκτείνεται, από το φράγμα Kiblinger Sperre (Χ.Θ. 20,7) μέχρι το Käferhamer Wehr (Χ.Θ. 10,2) όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Η μέση κλίση του ποταμού είναι 0,0035 και το πλάτος του περίπου 40 m.



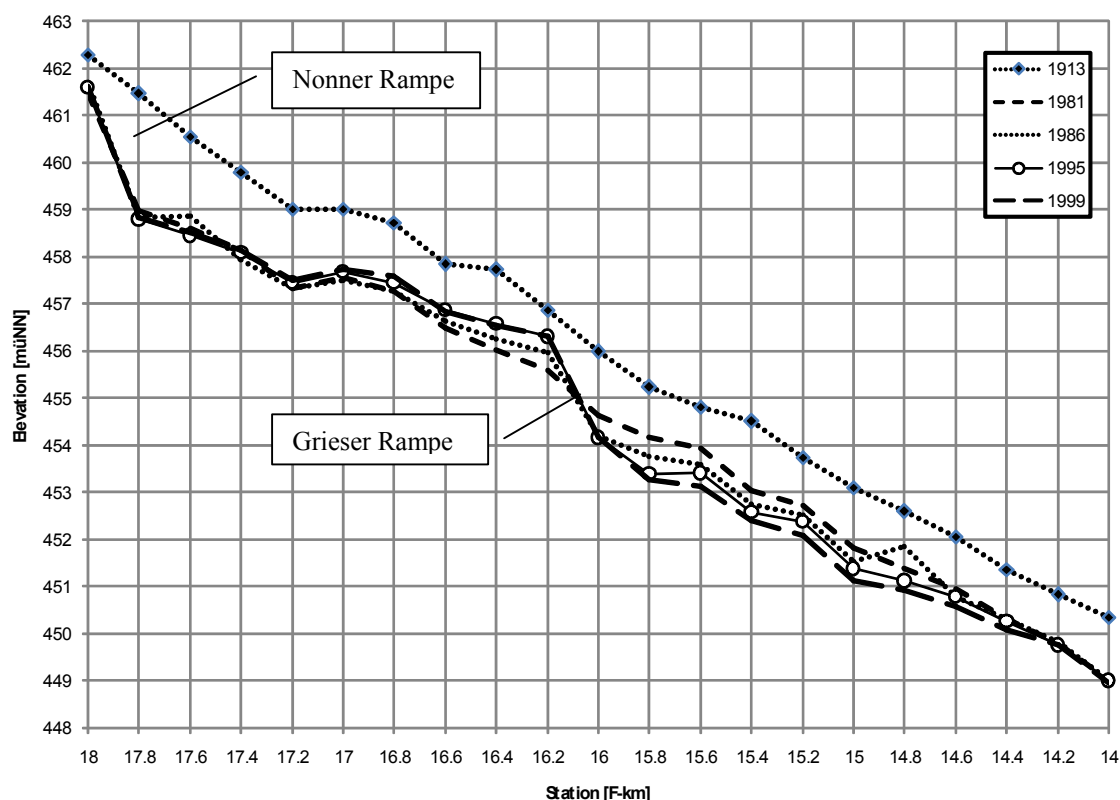
Εικόνα 1. Περιοχή μελέτης

Το συγκεκριμένο τμήμα του ποταμού έχει δεχθεί πολλαπλές ανθρωπογενείς τεχνικές επεμβάσεις με αποτέλεσμα η επίτευξη του στόχου της καλής κατάστασης, όπως αυτή προσδιορίζεται στην Ευρωπαϊκή οδηγία 2000/60, μέχρι το 2013 να είναι εξαιρετικά δύσκολη, κυρίως όσον αφορά την παράμετρο της υδρομορφολογίας.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναφέρονται οι επιπτώσεις στην μορφολογία της κοίτης του ποταμού από την κατασκευή του φράγματος Kiblinger Sperre και τα μέτρα που έχουν ληφθεί για την αντιμετώπισή τους. Παρουσιάζονται επίσης τα αποτελέσματα ενός αριθμητικού μοντέλου, που χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της εξέλιξης της κοίτης για μια προτεινόμενη σειρά νέων μέτρων.

2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

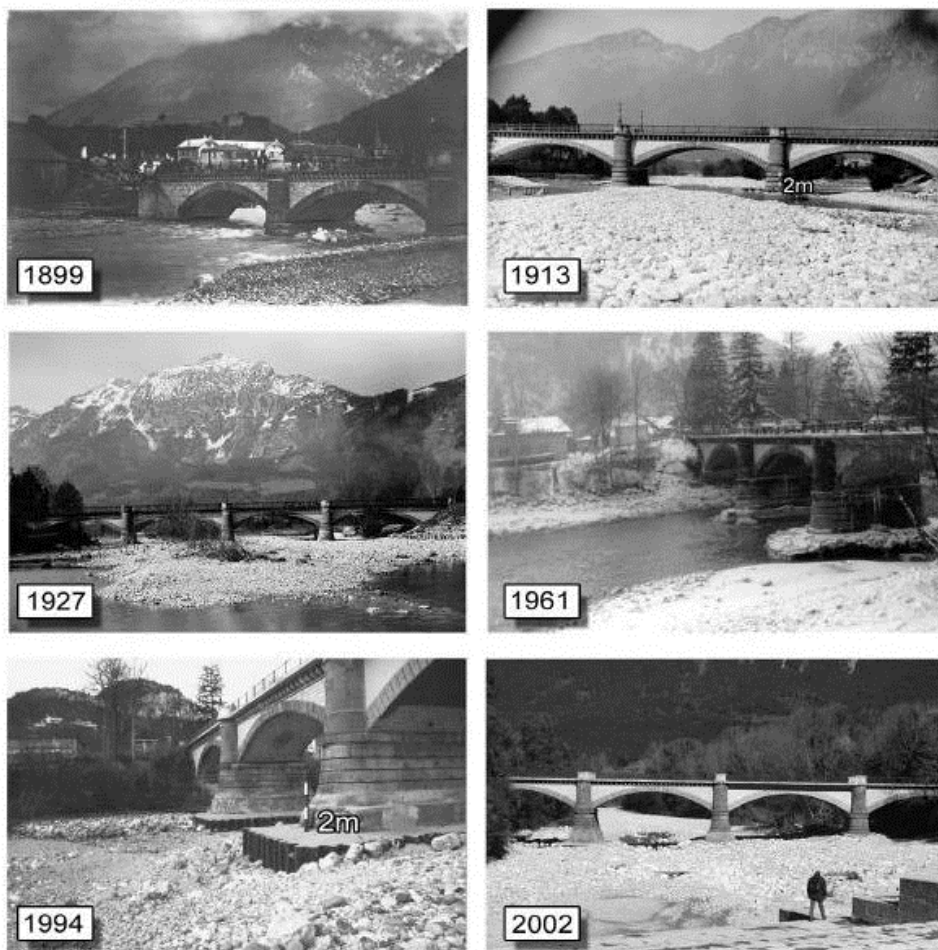
Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα πραγματοποιήθηκε διευθέτηση στο υπο μελέτη τμήμα του ποταμού με σκοπό την αύξηση της έκτασης της καλλιεργήσιμης γης και την αντιπλημμυρική προστασία των παρακείμενων οικισμών. Η επέμβαση αυτή αποτέλεσε το έναυσμα για μια τάση υποβάθμισης του πυθμένα λόγω της συνεπακόλουθης αύξησης των ασκούμενων διαμηθικών τάσεων στον πυθμένα. Η διάβρωση του πυθμένα του ποταμού διογκώθηκε εξαιτίας της κατασκευής του φράγματος Kiblinger Sperre το 1913 στη χιλιομετρική θέση 20,7, λόγω της διακοπής της στερεομεταφοράς. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1 η κατασκευή του φράγματος είχε ως συνέπεια υποβάθμιση της μέσης στάθμης της κοίτης του ποταμού της τάξης των 2 μέτρων.



Διάγραμμα 1. Εξέλιξη της μέσης στάθμης κοίτης από το 1913 έως το 1999

Αρχικά, η υποβάθμιση της στάθμης της κοίτης που συνόδευσε τη διευθέτηση θεωρήθηκε θετική, καθώς επέτρεπε τη διόδευση μεγαλύτερων πλημμυρικών παροχών χωρίς την κατασκευή επιπρόσθετων έργων. Ωστόσο, η επιδείνωση της κατάστασης μετά την κατασκευή του φράγματος

αποτελέσει ένα σημαντικό πρόβλημα καθώς έθεσε σε κίνδυνο την ευστάθεια τεχνικών έργων, όπως φαίνεται στην εικόνα 2, όπου φαίνεται ότι με την πάροδο του χρόνου εκτέθηκαν τα θεμέλια της γέφυρας, η οποία βρίσκεται περίπου 2 km κατάντη του φράγματος, ενώ κατά τη διάρκεια πλημμυρικών γεγονότων σημειώθηκαν σημαντικές καταπτώσεις πρανών [3].



Εικόνα 2. Υποβάθμιση της στάθμης του πυθμένα κατάντη του φράγματος Kiblinger Sperre

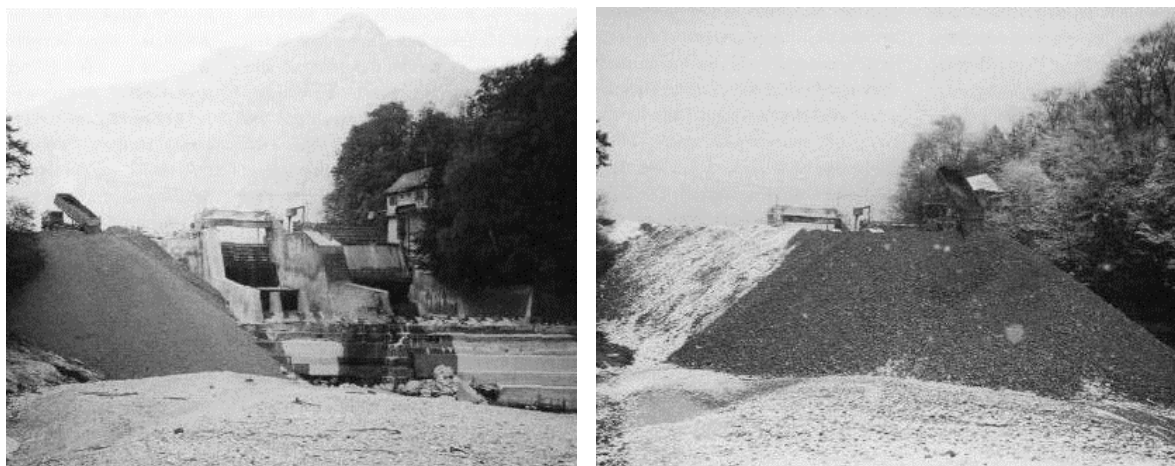
Ταυτόχρονα η διακοπή της στερεομεταφοράς είχε ως συνέπεια να εμφανιστούν ανάλογα προβλήματα στον ποταμό Salzach, του οποίου ο Saalach αποτελεί το σημαντικότερο παραπόταμο και παροχέα φερτών υλών[1]. Παράπλευρη συνέπεια της διάβρωσης της κοίτης ήταν η πτώση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, η οποία ωστόσο δεν είναι σημαντική καθώς στην περιοχή δεν υπάρχουν γεωτρήσεις για την άντληση νερού.

Στα ανάντη του φράγματος, όπως ήταν αναμενόμενο η ελάττωση των ταχυτήτων ροής έχει σαν αποτέλεσμα την εναπόθεση των φερτών υλών. Επειδή το μεταφερόμενο υλικό είναι χονδρόκοκκο καθιζάνει κυρίως στην είσοδο του ταμιευτήρα με αποτέλεσμα το σχηματισμό δελταϊκών εναποθέσεων, οι οποίες επιδεινώνουν την αντιπλημμυρική προστασία στο τμήμα του ποταμού από τη Χ.Θ. 26,0 μέχρι τη Χ.Θ. 24,6.

Τέλος η κατασκευή του φράγματος είχε ως συνέπεια να διακοπεί η βιολογική συνέχεια.

3 ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Για να αντιμετωπιστούν οι δυσμενείς επιπτώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, λήφθηκαν μια σειρά μέτρων που αποσκοπούσαν κυρίως στη σταθεροποίηση της κοίτης του ποταμού. Στις Χ.Θ. 19,8, 18,0 και 16,2 κατασκευάστηκαν τρεις αναβαθμοί (Triftwehr, Grieser Rampe και Nonner Rampe). Από το 1985 και μέχρι σήμερα μεταφέρονται με φορτηγά και αποτίθενται ποσότητες φερτών υλών στα κατάντη του φράγματος με στόχο να καληφθεί με αυτό τον τρόπο το έλλειμα που δημιουργείται από την διακοπή της στερεομεταφοράς. Την εκπλήρωση αυτής της υποχρέωσης έχει αναλάβει η εταιρία που διαχειρίζεται το φράγμα. Τα πρώτα δέκα χρόνια της εφαρμογής αυτού του μέτρου μεταφέρονταν ετησίως 10000 m³ φερτών υλών. Από το 1995 μέχρι σήμερα μεταφέρονται ετησίως 60000 m³, από τα οποία τα 10000 m³ προέρχονται από εκκένωση του ταμιευτήρα και τα 50000 m³ προέρχονται από βυθοκόρηση του κώνου πρόσχωσης στην είσοδο του ταμιευτήρα. [3]



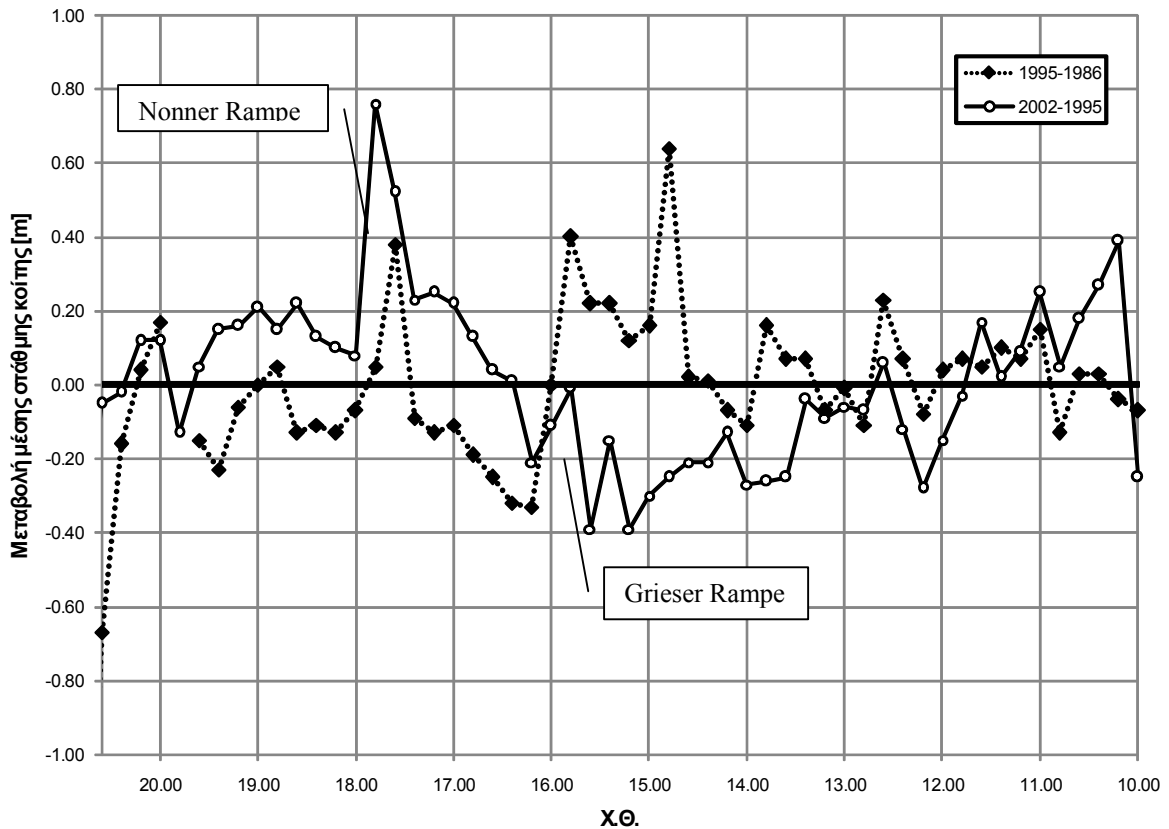
Εικόνα 3. Μεταφορά φερτών στα κατάντη του φράγματος, το φθινόπωρο του 1999.

Στην εικόνα 3 απεικονίζεται ο τρόπος απόθεσης των φερτών υλών στα κατάντη του φράγματος. Στην πρώτη φωτογραφία έχουν μεταφερθεί περίπου 20000 m³ και στη δεύτερη έχει ολοκληρωθεί η μεταφορά 50000 m³. Η κοκκομετρία του υλικού που μεταφέρθηκε ήταν παραπλήσια με αυτή του πυθμένα του ποταμού κατάντη του φράγματος. Κατά τη διάρκεια δύο ημερών με μέση παροχή 140 m³/s, ανοίγοντας τα θυροφράγματα, το υλικό απομακρύνθηκε από την περιοχή που φαίνεται στις φωτογραφίες και μεταφέρθηκε παρακάτω. Στο διάγραμμα 2 παριστάνονται οι μεταβολές της κοίτης από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν το 1986, το 1995 και το 2002. Στο χρονικό διάστημα 1986 / 1995 μεταφέρθηκαν από τα ανάντη στα κατάντη του φράγματος 133000 m³. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2 το μέτρο αυτό οδήγησε σε σταθερόποιηση του πυθμένα στα τελευταία τρία χιλιόμετρα της υπο μελέτη περιοχής αλλά ωστόσο παρατηρήθηκαν διαβρώσεις κατάντη της Χ.Θ. 17,5, μεταξύ των δύο εγκάρσιων έργων, καθώς επίσης εναποθέσεις κατάντη της Grieser Rampe.

Στο χρονικό διάστημα 1995 – 2002 κατά τη διάρκεια του οποίου δόθηκε περίπου ο πενταπλάσιος όγκος φερτών υλών, προκειμένου να καληφθεί το έλλειμα που δημιουργείται από την παρουσία του φράγματος. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2 παρουσιάστηκαν εναποθέσεις στα πρώτα τέσσερα χιλιόμετρα της υπό μελέτη περιοχής μέχρι τη Grieser Rampe. Κατάντη του αναβαθμού εμφανίστηκε μια έντονη διάβρωση σε ένα μήκος τριών χιλιομέτρων και στη συνέχεια η κοίτη έμεινε σταθερή.

Από τη σύγκριση των δύο τελευταίων φωτογραφιών στην εικόνα 2 φαίνεται ότι το μέτρο αυτό απέδωσε στην κοντινή στο φράγμα περιοχή καθώς οδήγησε σε μία μικρή αύξηση της στάθμης της κοίτης χωρίς ωστόσο οι εναποθέσεις που παρατηρήθηκαν να οδηγούν σε χειροτέρευση της

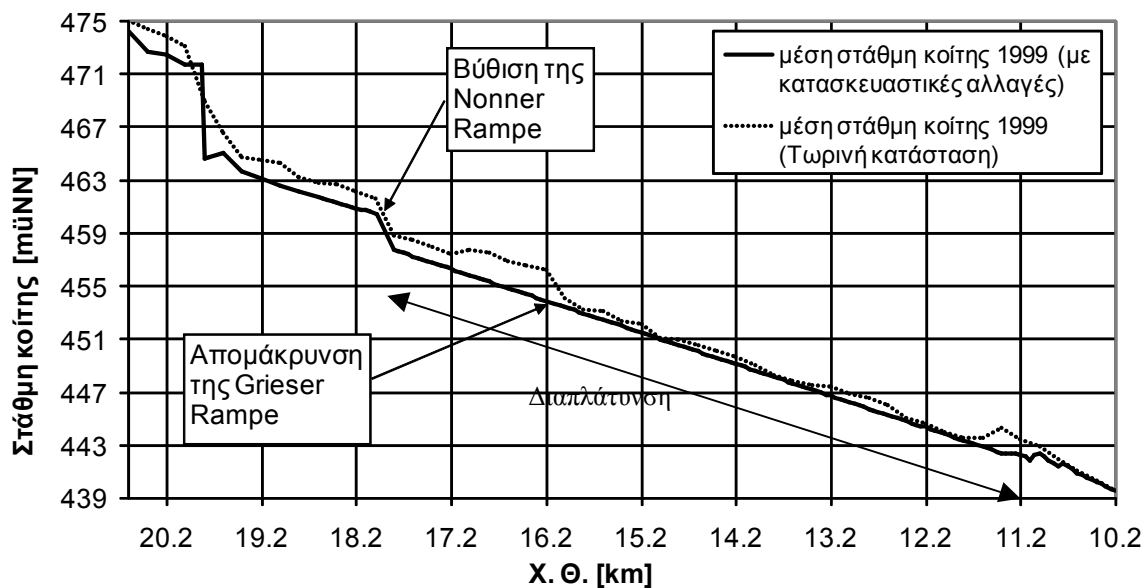
αντιπλημμυρικής προστασίας. Ωστόσο, όπως φαίνεται από το διάγραμμα 2, με το συγκεκριμένο μέτρο δεν μπόρεσε να επιτευχθεί μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας της κοίτης, δηλαδή μια κοίτης η στάθμη της οποίας θα αυξάνεται και θα ελαττώνεται εντός αποδεκτών και επιθυμητών ορίων, ειδικά στο τμήμα του ποταμού Χ.Θ. 18,0 – Χ.Θ. 13,0.



Διάγραμμα 2. Μεταβολή της μέσης στάθμης της κοίτης του ποταμού από το 1986 μέχρι το 1995 και από το 1995 μέχρι το 2002

Το 2004 αποφασίστηκε από την αρμόδια υπηρεσία να μελετηθεί η επίδραση στην μορφολογία του ποταμού που θα είχε η βύθιση της Nonner Rampe κατά ένα μέτρο και η απομάκρυνση της Grieser Rampe, σε συνδυασμό με τη διαπλάτυνση του ποταμού στο τμήμα 18,0 – 11,2. Το πλάτος του ποταμού μετά την εργασία διαπλάτυνσης θα είναι 70 m, ενώ διερευνήθηκε και η περίπτωση της διαπλάτυνσης στα 90 m. Τα προτεινόμενα έργα απεικονίζονται στο διάγραμμα 3, όπου φαίνεται η μηκοτομή του υπο μελέτη τμήματος του ποταμού.

Με τα μέτρα αυτά επιδιώχθηκε να επιτευχθούν οι εξής στόχοι: με τη διαπλάτυνση θα απομακρυνθούν οι επενδύσεις των πρανών και ο ποταμός θα αποκτήσει μια πιο φυσική όψη με αποτέλεσμα να αναβαθμιστεί η περιοχή ως χώρος αναψυχής. Αυτό είναι σύμφωνο και με τους στόχους της κοινοτικής οδηγίας 2000/60. Παράλληλα με την διαπλάτυνση θα μειωθεί η μέση ταχύτητα ροής με αποτέλεσμα να μειωθεί η ικανότητα στερεομεταφοράς. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να επιτευχθεί η σταθεροποίηση, ή ελαφρά άνοδος της στάθμης του πυθμένα με ταυτόχρονη μείωση της ποσότητας φερτών που μεταφέρονται από την περιοχή του κώνου πρόσκωσης του ταμιευτήρα στα κατάντη του φράγματος. Με την απομάκρυνση του αναβαθμού θα ελαττωθούν οι εναποθέσεις και οι διαβρώσεις που παρατηρούνται πριν και μετά από αυτόν αντίστοιχα, ενώ θα είναι πιο εύκολα διαπερατός για τους βιολογικούς οργανισμούς κατά τη διάρκεια των μικρών παροχών, κάτι που επίσης αποτελεί απαίτηση της Ευρωπαϊκής οδηγίας [2].



Διάγραμμα 3. Προτεινόμενα κατασκευαστικά μέτρα

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για την προσομοίωση των μορφολογικών διεργασιών στην κοίτη του ποταμού χρησιμοποιήθηκε το μονοδιάστατο αριθμητικό μοντέλο MORMO v. 9.3, το οποίο αναπτύχθηκε στην έδρα υδραυλικών έργων του τεχνικού πανεπιστημίου της Ζυρίχης [4]. Αρχικά πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του μοντέλου με την κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων έτσι ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή συμφωνία μεταξύ αριθμητικών αποτελεσμάτων και μετρήσεων στο πεδίο. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν προγνώσεις για την εξέλιξη της κοίτης του ποταμού για τα σενάρια λήψης μέτρων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, καθώς επίσης για την μελλοντική εξέλιξη σε περίπτωση που δε ληφθούν μέτρα. Παράλληλα με την αντιμετώπιση της τάσης διάβρωσης της κοίτης και την τροφοδότηση του Salzach με φερτές ύλες, πολύ σημαντική παράμετρο για τη λήψη των αποφάσεων αποτέλεσε η ανάγκη για επαρκή αντιπλημμυρική προστασία των παρακείμενων οικισμών. Για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα του μορφολογικού μοντέλου αποτέλεσαν τα δεδομένα στα οποία βασίστηκε η γεωμετρία ενός διδιάστατου υδραυλικού μοντέλου, έτσι ώστε να προσδιοριστεί ποιες περιοχές θα πλημμυρίσουν σε περίπτωση παροχής με περίοδο επαναφοράς την εκατονταετία και το αν θα χρειαστεί ανύψωση των αντιπλημμυρικών έργων.

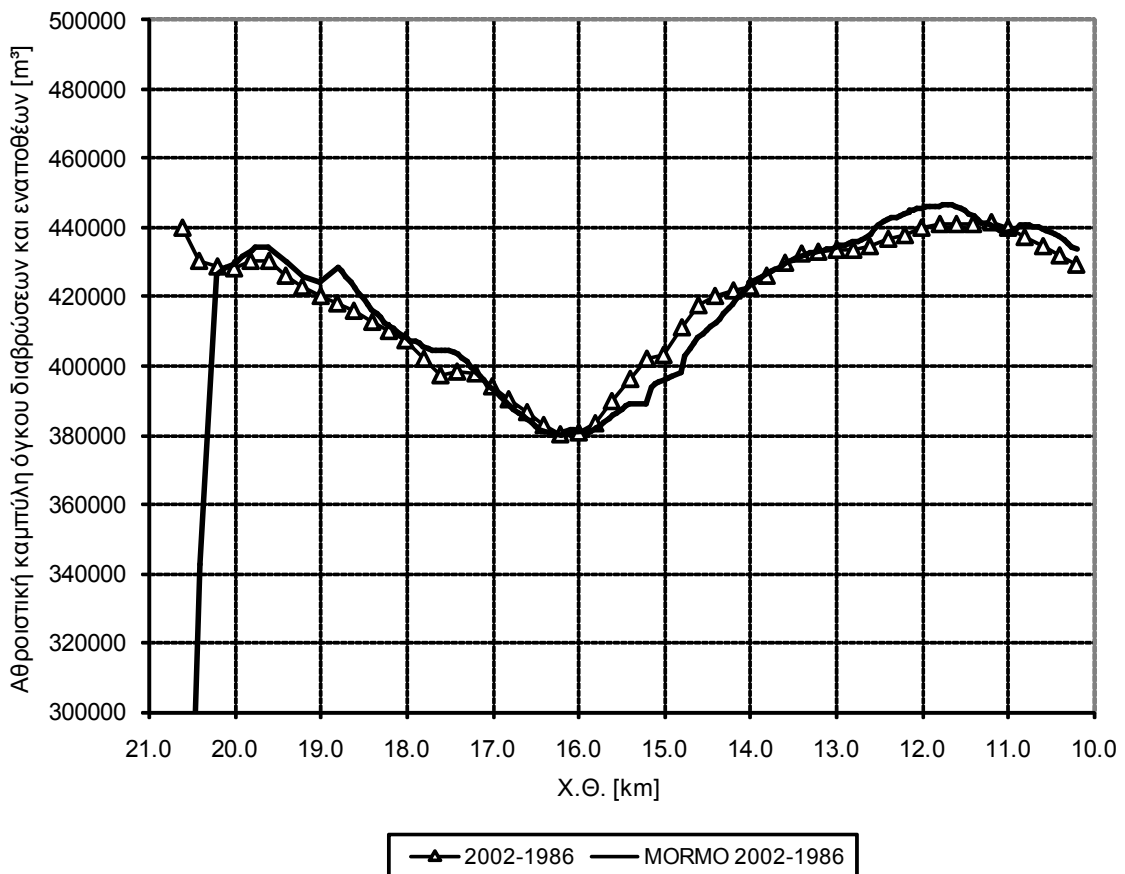
4.1 Βαθμονόμηση του μοντέλου

Το καλιμπράρισμα του μοντέλου στην προκειμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκε με σύγκριση μεταξύ της αθροιστικής καμπύλης του όγκου που διαβρώθηκε ή εναποτέθηκε στον πυθμένα του ποταμού με βάση τα αποτελέσματα των υπολογισμών και αυτής που προσδιορίστηκε από μετρήσεις πεδίου για το χρονικό διάστημα 1986 - 2002. Η καμπύλη αυτή προέκυψε από το γινόμενο των μεταβολών της στάθμης της κοίτης με το πλάτος των εγκάρσιων προφίλ και την μεταξύ τους απόσταση.

Για τον υπολογισμό της ικανότητας στερεομεταφοράς χρησιμοποιήθηκε ο τροποποιημένος τύπος των Meyer-Peter Müller από τον Hunziker [4]. Για την επιλογή του τύπου που χρησιμοποιήθηκε

λήφθηκε υπ' όψιν το γεγονός ότι το εδαφικό υλικό του πυθμένα του συγκεκριμένου ποταμού είναι χονδρόκοκκο και με μεγάλο βαθμό ανομοιομορφίας και επομένως σημαντικό ρόλο παίζει το φαινόμενο της δημιουργίας μια επιφανειακής στρώσης θωράκισης, η οποία λειτουργεί προστατευτικά για την κοίτη. Η τροποποίηση που προτάθηκε από τον Hunziker διορθώνει την πλεονάζουσα διατμητική τάση που ευθύνεται για την απόσπαση των κόκκων από τον πυθμένα. Η διόρθωση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι οι μεγαλύτεροι κόκκοι είναι περισσότερο εκτεθειμένοι στη ροή, ενώ ταυτόχρονα οι μικρότεροι προστατεύονται από τους μεγαλύτερους. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατός ο υπολογισμός της ικανότητας μεταφοράς για κάθε διάμετρο ξεχωρίστα. Στο τέλος υπολογίζεται η συνολική ικανότητα μεταφοράς με άθροιση των επιμέρους, για να προσδιοριστεί από μια εξίσωση διατήρησης της μάζας η μεταβολή της στάθμης του πυθμένα.

Για την διακριτοποίηση του πυθμένα χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο με δύο στρώσεις. Το υπόστρωμα είχε σταθερή κοκκομετρική σύσταση, ενώ η ενεργή στρώση (active layer) είχε κοκκομετρική σύσταση η οποία μεταβαλλόταν ανάλογα με την υδραυλική φόρτιση του πυθμένα. Με τον τρόπο αυτό ήταν δυνατή η μοντελοποίηση της διαδικασίας θωράκισης της κοίτης. Το πάχος της ενεργής στρώσης, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως μία από τις παραμέτρους για την προσαρμογή των αριθμητικών αποτελεσμάτων στις μετρήσεις πεδίου τελικά επιλέχθηκε ίσο με τη διάμετρο d_{90} του υλικού του υποστρώματος.



Διάγραμμα 4. Σύγκριση αποτελεσμάτων μοντέλου με μετρήσεις πεδίου

Η καθοριστική παράμετρος για την προσαρμογή των αποτελεσμάτων του μοντέλου στις μετρήσεις του πεδίου ήταν η κοκκομετρική σύσταση της κοίτης. Αρχικά επιλέχθηκε μία βασική κοκκομετρική καμπύλη, η οποία προέκυψε από δείγματα που λήφθηκαν από την κοίτη του ποταμού και στη συνέχεια μέσω ενός συντελεστή χρησιμοποιήθηκαν παράγωγές της σε

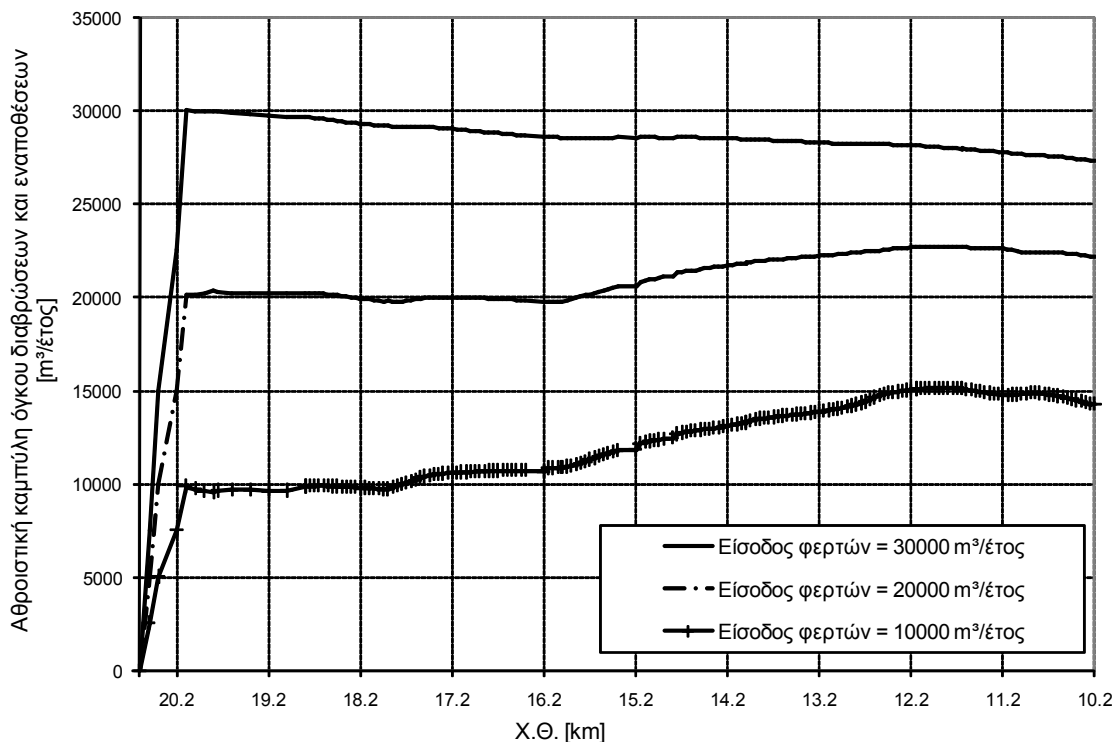
διαφορετικές θέσεις του ποταμού, ελαφρώς πιο λεπτόκοκκες ή χονδρόκοκκες. Η μεταβολή της παραμέτρου αυτής ήταν σύμφωνη με τις φυσικές διεργασίες που συναντώνται στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα πριν τους αναβαθμούς χρησιμοποιήθηκε μια πιο λεπτόκοκκη κοκκομετρική καμπύλη, γεγονός που μπορεί να δικαιολογηθεί από τις παρατηρούμενες εναποθέσεις στα συγκεκριμένα σημεία.

Στο διάγραμμα 4 παρατίθεται μια σύγκριση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών με τις μεταβολές που μετρήθηκαν στην πραγματικότητα [2]. Η συμφωνία υπολογισμών και μετρήσεων είναι πολύ ικανοποιητική και θεωρήθηκε ότι το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διεξαγωγή προγνώσεων, για την εξέλιξη της μορφολογίας της κοίτης, για την προτεινόμενη σειρά μέτρων.

4.2 Προγνώσεις για την εξέλιξη της μορφολογίας της κοίτης

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί με στόχο την πρόβλεψη της εξέλιξης της κοίτης σε περίπτωση που δεν πραγματοποιηθούν οι προτεινόμενες αλλαγές, δηλαδή η διαπλάτυνση και η απομάκρυνση του δεύτερου αναβαθμού. Διερευνήθηκαν τρία πιθανά σενάρια αναφορικά με τη ποσότητα φερτών που μεταφέρεται ετησίως από τον ταμιευτήρα και αποτίθεται στα κατάντη. Για τις προγνώσεις χρησιμοποιήθηκε ένα υδρογράφημα διάρκειας 80 ετών που προέκυψε από την επανάληψη πέντε φορές της χρονοσειράς των μετρημένων παροχών στο διάστημα 1986 – 2002.

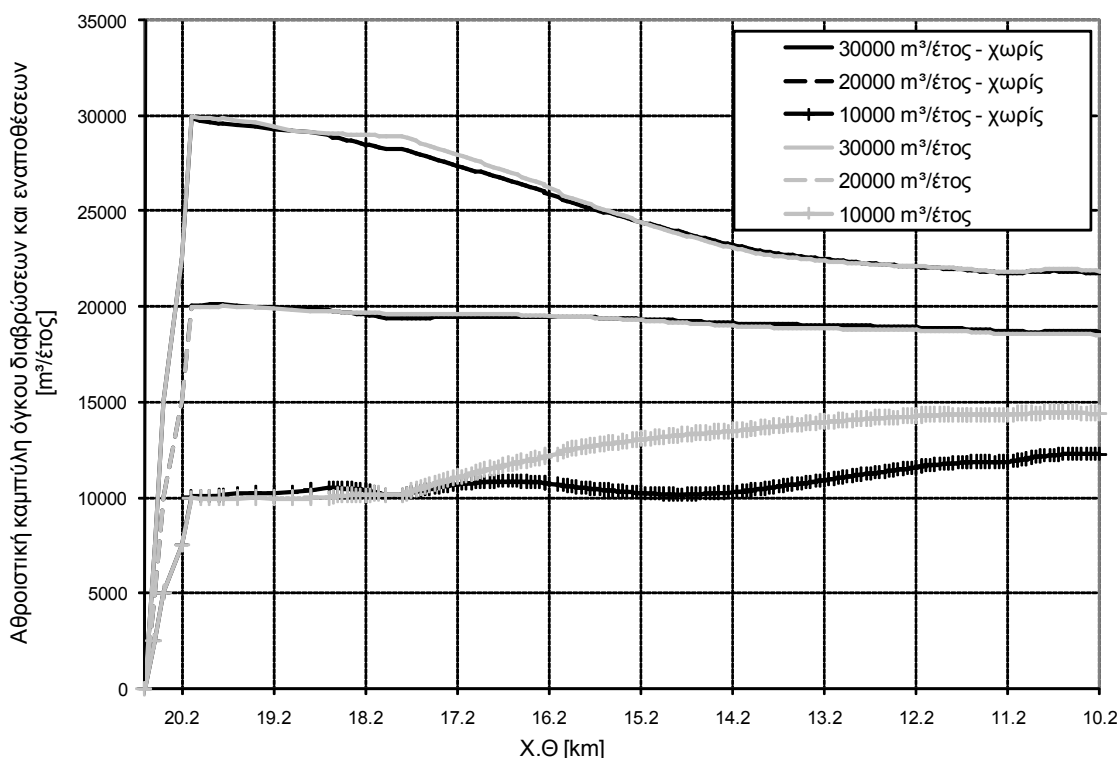
Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρατίθενται στο διάγραμμα 5. Αναφορικά με την ερμηνεία του διαγράμματος, η άνοδος της αθροιστικής καμπύλης σημαίνει ότι μεταξύ των δύο εγκάρσιων διατομών του ποταμού θα ελαττωθεί η στάθμη της κοίτης, ενώ η κλίση της καμπύλης προς τα κάτω σημαίνει ότι ο όγκος αυτός θα εναποτεθεί και θα οδηγήσει σε αύξηση της στάθμης της κοίτης.



Διάγραμμα 5. Πρόγνωση για την εξέλιξη της μορφολογίας της κοίτης χωρίς την εφαρμογή επιπρόσθετων μέτρων

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι σε περίπτωση που δεν πραγματοποιηθεί η διαπλάτυνση του ποταμού είναι απαραίτητο να μεταφέρονται ετησίως τουλάχιστον 30000 m³ έτσι ώστε να μην παρατηρείται επιπλέον διάβρωση της κοίτης του ποταμού. Στην περίπτωση αυτή, περίπου 3000 m³ θα εναποτίθενται κατα μήκος της υπό μελέτη περιοχής και τα υπόλοιπα 27000 m³ θα μεταφέρονται παρακάτω. Σε περίπτωση μικρότερης παρεχόμενης ποσότητας φερτών, η κοίτη παρέμενε σταθερή μέχρι τη Grieser Rampe στη Χ. Θ. 16,2, αλλά στη συνέχεια παρατηρείται διάβρωση της κοίτης.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την περίπτωση της διαπλάτυνσης στα 70 m και την προτεινόμενη τροποποίηση των υπάρχοντων τεχνικών έργων για την σταθεροποίηση της κοίτης φαίνονται στο διάγραμμα 6.



Διάγραμμα 6. Πρόγνωση για την εξέλιξη της μορφολογίας της κοίτης μετά τη διαπλάτυνση στα 70 m και με ή χωρίς τις προτεινόμενες τροποποιήσεις στα υπάρχοντα τεχνικά έργα

Με γκρι γραμμή έχουν παρατεθεί γραφικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών στους οποίους λήφθηκε υπ' όψιν η απομάκρυνση της Grieser Rampe και η βύθιση κατά ένα μέτρο της Nonner Rampe, ενώ με μαυρή γραμμή είναι τα αποτελέσματα των υπολογισμών χωρίς την προτεινόμενη τροποποίηση των τεχνικών έργων. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα σενάρια μεταφοράς και απόθεσης 10000, 20000 και 30000 m³ στα κατάντη του φράγματος αντίστοιχα. Η επιθυμητή κατάσταση επέρχεται όταν δίνονται 20000 m³ στο άνω άκρο της υπό μελέτη περιοχής. Για το σενάριο των 10000 m³/έτος παρατηρείται διάβρωση. Σε αυτή την περίπτωση σημαντικό ρόλο παίζει η παρουσία του δεύτερου αναβαθμού, ο οποίος σε αυτή την περίπτωση σταθεροποιεί την κοίτη μέχρι τη Χ.Θ. 14,0 με αποτέλεσμα ο όγκος των διαβρώσεων να είναι πολύ πιο μικρός. Για το σενάριο των 30000 m³/έτος παρατηρούνται σημαντικές εναποθέσεις της τάξης των 7000 m³/έτος που θα οδηγήσουν σε σημαντική και ανεπιθύμητη αύξηση της στάθμης της κοίτης του ποταμού.

Οι αντίστοιχοι υπολογισμοί για την περίπτωση της διαπλάτυνσης της κοίτης του ποταμού στα 90 m έδειξαν ότι θα μπορούσε η κοίτη να σταθεροποιηθεί χωρίς τη μεταφορά και απόθεση φερτών υλών στα κατάντη του φράγματος. Η λύση αυτή ωστόσο δεν μπορεί να υλοποιηθεί λόγω χωροταξικών περιορισμών.

Συνοψίζοντας μπορεί να λεχθεί ότι η προτεινόμενη διαπλάτυνση στα 70 m μπορεί να οδηγήσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα μιας κοίτης που θα σταματήσει να διαβρώνεται σε συνδυασμό με την παροχή περίπου 20000 m³ φερτών υλών ετησίως έτσι ώστε να καλύπτεται το έλλειμα που προκαλεί η παρουσία του φράγματος. Από αυτή την προσφερόμενη ποσότητα, περίπου 18000 m³ θα μπορέσουν να διασχίσουν την υπο μελέτη περιοχή και να βοηθήσουν στην σταθεροποίηση του Salzach. Οι τροποποιήσεις των τεχνικών έργων παίζουν ένα σημαντικό ρόλο όταν η προσφερόμενη ποσότητα φερτών δεν είναι αρκετή και παρατηρείται διάβρωση του πυθμένα.

5 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Τα αριθμητικά μοντέλα στερεομεταφοράς πολύ πιθανόν στο μέλλον να αντικαταστήσουν τα καθαρά υδραυλικά μοντέλα, καθώς η γεωμετρία της κοίτης ενός ποταμού παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό των υδραυλικών μεγεθών. Ωστόσο σήμερα υπάρχουν πολλοί περιορισμοί που περιορίζουν τη χρήση τους σε συγκεκριμένες εφαρμογές όπως αυτή που αναφέρθηκε στις παραπάνω παραγράφους.

Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην κοίτη του ποταμού δεν είναι εντελώς κατανοητές, αν και έχουν αποτελέσει αντικείμενο συστηματικής έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες. Σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα και τη στοχαστική φύση του φαινομένου της διφασικής ροής είναι αναγκαία η χρήση απλοποιητικών εννοιών και παραδοχών οι οποίες συχνά δεν αντικατοπτρίζουν ικανοποιητικά την πραγματικότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση μιας χαρακτηριστικής διαμέτρου για την περιγραφή του υλικού που αποτελεί την κοίτη του ποταμού και τον προσδιορισμό μεγεθών όπως η ικανότητα μεταφοράς και η έναρξη κίνησης των κόκκων, παρόλου που είναι πλέον γνωστό ότι η ανομοιομορφία του υλικού του πυθμένα παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των φαινομένων στερεομεταφοράς. Ένα επιπλέον πρόβλημα αποτελεί το γεγονός ότι οι περισσότερες σχέσεις που έχουν προταθεί προέκυψαν από εργαστηριακά πειράματα και πολύ λίγες από μετρήσεις πεδίου με αποτέλεσμα η χρήση τους συχνά να οδηγεί σε σημαντικές αποκλίσεις από τη πραγματικότητα.

Εξαιτίας των παραπάνω λόγων, μετά την κατάστρωση του μοντέλου είναι απαραίτητο το καλιμπράρισμα του, έτσι ώστε να είναι ασφαλής η διεξαγωγή προγνώσεων. Ωστόσο αυτό απαιτεί ένα σημαντικό αριθμό δεδομένων και πολύ περισσότερο δεδομένων από διαφορετικές χρονικές στιγμές που συχνά είναι δύσκολο να βρεθούν. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται μεγάλη εμπειρία από την πλευρά του μηχανικού έτσι ώστε η επιλογή των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν να είναι εντός ρεαλιστικών πλαισίων, όπως επίσης κρίση για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Πέρα από την αβεβαιότητα που υπεισέρχεται εξαιτίας της μη ολοκληρωμένης αντίληψης των φυσικών διεργασιών, ένας επιπλέον περιορισμός είναι ότι οι υπολογισμοί είναι χρονοβόροι και απαιτούν μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Για την προσομοίωση των μορφολογικών διεργασιών σε μεγάλα χρονικά διαστήματα, αυτή τη στιγμή είναι δυνατή μόνο η χρήση μονοδιάστατων μοντέλων και υπό πολύ περισσότερους περιορισμούς η χρήση διδιάστατων αριθμητικών μοντέλων. Για την προσομοίωση συγκεκριμένων φαινομένων σε σχετικά περιορισμένο χώρο και χρονικό διάστημα είναι δυνατή εφαρμογή τρισδιάστατων μοντέλων. Ωστόσο τα μοντέλα αυτά αποτελούν ακόμα αντικείμενο έρευνας και είναι σε φάση εξέλιξης.

Στην περίπτωση της μονοδιάστατης προσέγγισης ο υπολογισμός μέσω μεγεθών για τη διατομή μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα αν το ποτάμι έχει πολλές στροφές, ή γενικά περιοχές όπου η ροή δεν είναι μπορεί να χαρακτηριστεί ως μονοδιάστατη. Για το λόγο αυτό αυτά τα μοντέλα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση συγκεκριμένων φαινομένων όπως π.χ. η εξέλιξη των δέλταϊκών αποθέσεων στην είσοδο ενός ταμιευτήρα. Ωστόσο παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι οι υπολογισμοί διαρκούν από μερικά λεπτά έως ώρες με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η καλή βαθμονόμηση του μοντέλου και η διεξαγωγή προγνώσεων για τις μεταβολές της κοίτης σε μεγάλα χρονικά διαστήματα [5].

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατασκευή του φράγματος Kiblinger Sperre στον ποταμό Saalach είχε ως επίπτωση τη διακοπή της στερεομεταφοράς, με αποτέλεσμα την συνεχή διάβρωση του πυθμένα, η οποία έθεσε σε κίνδυνο την ευστάθεια τεχνικών έργων και την κατάπτωση πρανών κατά τη διάρκεια πλημυρικών γεγονότων.

Για την αντιμετώπιση αυτών των επιπτώσεων, από το 1986 έως σήμερα μεταφέρονται στα κατάντη του φράγματος μεγάλες ποσότητες φερτών υλών με σκοπό να αποφευχθεί η περαιτέρω υποστάθμιση της κοίτης του ποταμού, ενώ κατασκευάστηκαν τρία εγκάρσια έργα για τη σταθεροποίηση του πυθμένα.

Στην εργασία παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα μιας διερεύνησης, με χρήση ενός μονοδιάστατου αριθμητικού μοντέλου, για την εξέλιξη της μορφολογίας της κοίτης του ποταμού αν πραγματοποιηθεί μια διαπλάτυνση, μειωθεί η προσφερόμενη ποσότητα φερτών και πραγματοποιηθούν τροποποιήσεις στα υπάρχοντα τεχνικά έργα.

Με διαπλάτυνση κατά 30 m, μπορεί να μειωθεί η ποσότητα που μεταφέρεται και αποτίθεται στα κατάντη του φράγματος ετησίως και ταυτόχρονα η κοίτη του ποταμού να βρίσκεται σε μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. 2000. Untersuchungen zur Flussmorphologie der Unteren Salzach. München: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. Στα γερμανικά.
2. Efthymiou , N. P. 2006. Geschiebetransportmodellierung Saalach III. Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München. München Αδημοσίευτη. Στα γερμανικά.
3. Hartlieb , A., Spannring , M., Roland , F., N. P. 2004. Geschiebetransportmodellierung Saalach I. Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München. München. Αδημοσίευτη. Στα γερμανικά.
4. Hunziker, R. 1995. Fraktionsweiser Geschiebetransport. Mitteilung Nr. 138 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. Zürich: ETH Zürich. Στα γερμανικά.
5. Hunziker, R. 2005. Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen von 1D-Transportmodellen. Beiträge zum Workshop „Anwendung und Grenzen physikalischer und numerischer Modelle im Wasserbau“ Berichte des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Heft 104. München: Technische Universität München. Στα γερμανικά

Morphological impacts caused by dam construction in river Saalach and countermeasures.

Nikolaos Efthymiou

Dipl.-Engineer. Institute of Hydraulic and Water Resources Engineering. Technische Universität München.

ABSTRACT: In the present paper are reported the most important hydromorphological effects, triggered by the construction of Kiblinger dam at river Saalach, which defines the natural boundary between Bayern and Austria, as well as the countermeasures that were taken for sediment management and confronting the negative impacts of the dam construction. Furthermore are presented the results of a numerical model which was applied for the prediction of the suggested actions efficiency. These actions aim to the establishment of a state of dynamic equilibrium of the riverbed. Finally the potential, as well as the limitations, of the morphological numerical models nowadays are discussed.