Γεωμορφολογική μελέτη του ποταμού Αγίου Γερμανού

Η μεταφορά των φερτών υλικών και οι επιλογές αποκατάστασης των τριών διαβάσεων

Γεώργιος Μανιάτης · Natural Highways Ltd

Για την Εταιρία Προστασίας Πρεσπών

Reconnecting a Lifeline · Open Rivers Programme · Σύμβαση 2025-10-761

Τελική έκδοση R7 · 30 Σεπτεμβρίου 2026

Η μελέτη εξετάζει πώς κινούνται και πού συγκεντρώνονται τα φερτά υλικά του ποταμού. Συνδέει τα διαθέσιμα στοιχεία με τις επιλογές αποκατάστασης των τριών διαβάσεων και με τις ανάγκες του επόμενου σταδίου σχεδιασμού.

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

Περιεχόμενα

Τα βασικά συμπεράσματα

1 Σκοπός και στοιχεία της μελέτης

2 Ο ποταμός από το βουνό μέχρι τη λίμνη

3 Η ροή και η μετακίνηση των υλικών

4 Τι σημαίνουν οι ποσοτικές εκτιμήσεις

5 Οι τρεις διαβάσεις και οι επιλογές αποκατάστασης

6 Από τη μελέτη στον σχεδιασμό των έργων

7 Συμπεράσματα

Βασικοί όροι και συνοδευτική τεκμηρίωση

Βιβλιογραφία

Οι ενότητες 1 έως 3 εξηγούν τη βάση της μελέτης και τη λειτουργία του ποταμού. Η ενότητα 4 παρουσιάζει τη σημασία των ποσοτικών εκτιμήσεων. Οι ενότητες 5 και 6 συνδέουν τα ευρήματα με τις επιλογές αποκατάστασης-διαχείρισης για κάθε διάβαση και με τη συνέχεια του σχεδιασμού.

Τα βασικά συμπεράσματα

Η μελέτη εξετάζει πώς ο ποταμός του Αγίου Γερμανού διαβρώνει, μεταφέρει και αποθέτει υλικά από τα ορεινά τμήματα μέχρι τη Μεγάλη Πρέσπα. Στόχος είναι να στηρίξει την αξιολόγηση της τροποποίησης ή της απομάκρυνσης των τριών χαμηλών οδικών διαβάσεων από σκυρόδεμα, γνωστών ως ιρλανδικών διαβάσεων. Συνδυάζει τις παρατηρήσεις και τις φωτογραφίες του Ιουλίου 2026 με δείγματα υλικών, χάρτες, καταγραφές ροής, προηγούμενες μελέτες και την τοπογραφική αποτύπωση που έχει παραληφθεί.

Το βασικό εύρημα είναι ότι τα φερτά υλικά δεν κινούνται συνεχώς ούτε φτάνουν όλα απευθείας στη λίμνη. Συγκεντρώνονται προσωρινά και μπορούν να μετακινηθούν ξανά με ισχυρότερες ροές. Στο βουνό κυριαρχούν ο βράχος και οι μεγάλοι ογκόλιθοι. Χαμηλότερα, οι όχθες, οι αποθέσεις, οι κατασκευές και το ξυλώδες υλικό επηρεάζουν περισσότερο τη ροή. Ως ξυλώδες υλικό νοούνται εδώ οι κορμοί, τα κλαδιά και οι συγκεντρώσεις τους μέσα στην κοίτη· η ζωντανή παρόχθια βλάστηση εξετάζεται χωριστά.

Οι τρεις διαβάσεις χρειάζονται διαφορετική αντιμετώπιση. Κάτω από την ανώτερη HM13 εξετάζουμε ποια συσσωρευμένα υλικά μπορεί να κινηθούν και πού θα αποτεθούν ξανά. Στη μεσαία HM14 εξετάζουμε μαζί την κατανομή της ροής στους κλάδους, τα ξύλα, την ιχθυόσκαλα και τις υποδομές. Στην κατώτερη HM15 η αξιολόγηση συνεχίζεται για 1,76 χιλιόμετρα μέχρι τη λίμνη, λαμβάνοντας υπόψη τη στάθμη της και τα ενδιαιτήματα χαμηλότερα.

Οι καταγραφές στον Λαιμό δείχνουν ίδιο αριθμό ανεξάρτητων επεισοδίων υψηλής ροής στα υδρολογικά έτη 2021 και 2022, αλλά υπερδιπλάσια συνολική διάρκειά τους το 2022. Αυτό σημαίνει περισσότερες ευκαιρίες για μετακίνηση υλικών, χωρίς να αποδεικνύει ότι μεταφέρθηκε διπλάσια ποσότητα. Η χωριστή εκτίμηση σχεδιασμού των περίπου 29 χιλιάδων τόνων τον χρόνο προκύπτει από σύγκριση με λεκάνες της Πρέσπας και δεν αποτελεί μέτρηση της ποσότητας που φτάνει στη λίμνη.

Η χαρτογράφηση πηγών και αποθέσεων, η αναλυτική κοκκομετρία και οι εκτιμήσεις μετακίνησης υλικών συγκροτούν ολοκληρωμένη βάση για το γεωμορφολογικό σκέλος της αξιολόγησης των διαβάσεων. Οι παγίδες καταστράφηκαν δύο φορές από τις έντονες ροές του 2026, παρά τις επανειλημμένες προσπάθειες μέτρησης. Η μελέτη ανταποκρίθηκε με συνδυασμό παρατηρήσεων και υπολογισμών με ρητή αβεβαιότητα. Οι μετρήσεις παγίδων θα ενίσχυαν τον τοπικό έλεγχο των ποσοτήτων, συμπληρώνοντας την εικόνα των πηγών και της διαδρομής των υλικών στη λεκάνη. Η ενότητα 1.3 εξηγεί τη συμβολή κάθε μεθόδου και τις προϋποθέσεις ενός κλειστού ισοζυγίου.

Η συνέχεια είναι να συγκριθούν η διατήρηση, η επιλεκτική τροποποίηση, η σταδιακή απομάκρυνση και η πλήρης απομάκρυνση των διαβάσεων. Αξιοποιούμε την υπάρχουσα τοπογραφική αποτύπωση μετά τους απαραίτητους ελέγχους και συμπληρώνουμε συγκεκριμένα κενά. Πριν προταθεί απομάκρυνση ξύλων, απαιτείται αξιολόγηση από ερευνητή με σχετική εμπειρία σε ποτάμια προστατευόμενων περιοχών. Η οικολογική αξία, η ασφάλεια και η παρακολούθηση πριν και μετά τα έργα αποτελούν μέρος της απόφασης.

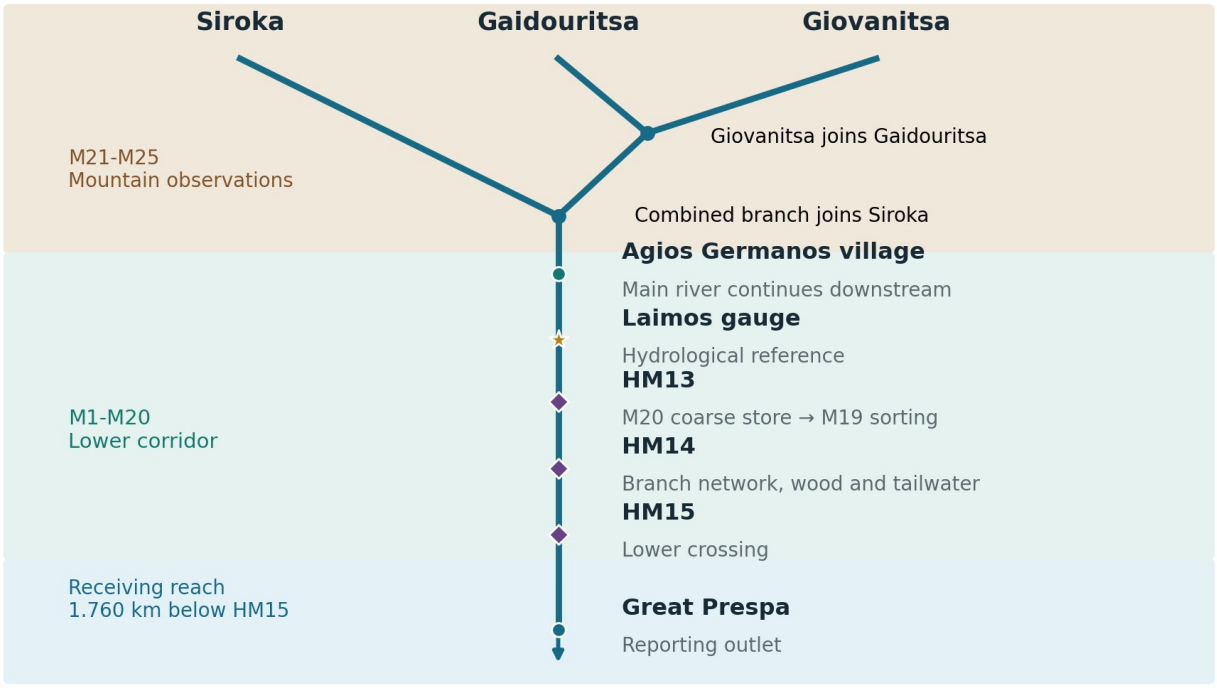


Figure 1: MR00. Reader orientation from the mountain tributaries to Great Prespa. The diagram defines the module and passage codes used throughout the report and follows the downstream sediment-process sequence.

1 Σκοπός και στοιχεία της μελέτης

1.1 Τι εξετάζει η μελέτη

Η γεωμορφολογική μελέτη εξετάζει τη μορφή της κοίτης και τους τρόπους με τους οποίους ο ποταμός διαβρώνει, μεταφέρει και αποθέτει υλικά. Στόχος είναι να κατανοήσουμε πώς λειτουργεί ο ποταμός του Αγίου Γερμανού σήμερα και τι χρειάζεται να γνωρίζουμε για να αξιολογήσουμε την τροποποίηση ή την απομάκρυνση των τριών διαβάσεων.

Η ανάλυση συνδυάζει τις παρατηρήσεις πεδίου του Ιουλίου 2026 με φωτογραφίες, μετρήσεις του μεγέθους των υλικών, χαρτογραφικά δεδομένα, ελεγμένες καταγραφές παροχής και προηγούμενες μελέτες. Περιλαμβάνει επίσης τις τοπογραφικές μετρήσεις RTK που παραλήφθηκαν στις 10 Αυγούστου 2026. Η οργάνωση των παρατηρήσεων πεδίου ακολουθεί αρχές της μεθόδου MoRPh, διατηρώντας την ακρίβεια και τα όρια κάθε καταγραφής (Gurnell και Shuker, 2022).

Η μελέτη εξετάζει πώς αλλάζει ο ποταμός από το βουνό μέχρι τη λίμνη, πού συγκεντρώνονται τα φερτά υλικά, πότε η ισχυρότερη ροή μπορεί να τα μετακινήσει και ποια χαρακτηριστικά της κοίτης διακόπτουν ή αλλάζουν την πορεία τους. Εξετάζει επίσης ποιες ποσοτικές εκτιμήσεις είναι χρήσιμες για τον σχεδιασμό και πώς διαφέρουν μεταξύ τους οι τρεις διαβάσεις.

1.2 Πώς διαβάζονται τα στοιχεία

Η μελέτη διακρίνει τις παρατηρήσεις από τους υπολογισμούς. Μια φωτογραφία ή μια μέτρηση πεδίου τεκμηριώνει τι καταγράφηκε σε συγκεκριμένο σημείο. Ένας υπολογισμός εκτιμά τι μπορεί να συμβεί με ορισμένες παραδοχές για τη ροή, τη γεωμετρία ή τα διαθέσιμα υλικά. Η σύγκριση με άλλες λεκάνες δίνει μια ευρύτερη εικόνα της πιθανής τάξης μεγέθους.

Αυτή η διάκριση βοηθά να χρησιμοποιείται κάθε αποτέλεσμα σωστά. Οι παρατηρήσεις περιγράφουν την υφιστάμενη κατάσταση. Οι τοπικοί υπολογισμοί δείχνουν ποιοι παράγοντες επηρεάζουν περισσότερο μια πιθανή επέμβαση. Οι εκτιμήσεις για ολόκληρη τη λεκάνη βοηθούν στον αρχικό σχεδιασμό και στην οργάνωση της παρακολούθησης.

Στοιχεία	Διαθέσιμο υλικό	Τι προσφέρουν
Παρατηρήσεις πεδίου	26 θέσεις ή ενότητες καταγραφής και 1.180 παρατηρήσεις μορφολογίας	Εντοπίζουν πηγές υλικών, αποθέσεις, διάβρωση και σημεία που επηρεάζουν τη ροή.
Φωτογραφίες	214 εγγραφές στο αρχείο και 213 διαθέσιμα αρχεία εικόνας	Συνδέουν τις περιγραφές με την εικόνα του ποταμού και των διαβάσεων.
Μετρήσεις επιφανειακών λίθων	611 λίθοι στο αρχείο, από τους οποίους 606 χρησιμοποιούνται στη βασική στατιστική ανάλυση	Περιγράφουν το μέγεθος των υλικών στην εκτεθειμένη επιφάνεια της κοίτης.
Δείγματα κοσκίνισης	80 εγγραφές, από τις οποίες 74 έγιναν δεκτές	Δείχνουν την αναλογία διαφορετικών μεγεθών μέσα στο υλικό που συλλέχθηκε.
Καταγραφές ροής	Ελεγμένα στοιχεία για τα υδρολογικά έτη 2021 και 2022 στον Λαιμό	Δείχνουν πότε και για πόσο υπήρχαν υψηλές παροχές.
Τοπογραφικές μετρήσεις RTK	3.659 σημεία γύρω από τις τρεις διαβάσεις	Βοηθούν στον εντοπισμό και στη συσχέτιση των στοιχείων στον χώρο.

Τα παραπάνω συμπληρώνονται από το γεωγραφικό αρχείο του έργου και τις προηγούμενες μελέτες του ΕΛΚΕΘΕ, της SCIMABIO και της μελέτης σκοπιμότητας του 2025. Η περίοδος συλλογής των στοιχείων που χρησιμοποιούνται εδώ κλείνει στις 10 Αυγούστου 2026. Η αναλυτική τεκμηρίωση και οι πλήρεις υπολογισμοί βρίσκονται στον χωριστό τόμο των τεχνικών παραρτημάτων.

1.3 Η ολοκληρωμένη αξιολόγηση και η συμβολή πρόσθετων μετρήσεων

Η μελέτη εντοπίζει τις πηγές των φερτών, αναλύει το μέγεθος των υλικών και εξηγεί πώς αποθηκεύονται και μετακινούνται από τη λεκάνη προς την περιοχή αποκατάστασης. Οι έντονες ροές κατέστρεψαν τις παγίδες δύο φορές το 2026, παρά τις επανειλημμένες προσπάθειες μέτρησης. Η αντιμετώπιση αυτής της δυσκολίας έδωσε μεγαλύτερη έμφαση στην αναγνώριση πηγών, στην αναλυτική κοκκομετρία και στις εκτιμήσεις μεταφοράς με εύρη αβεβαιότητας. Ο συνδυασμός αυτός παρέχει την αναγκαία γεωμορφολογική τεκμηρίωση για να οριστούν και να συγκριθούν οι επιλογές αποκατάστασης. Ο πίνακας διακρίνει τα παραδοθέντα αποτελέσματα από τη συμβολή πρόσθετων μετρήσεων.

Ζητούμενο	Τι παραδίδεται	Συμβολή πρόσθετων μετρήσεων
Βαθμονομημένες καμπύλες μεταφοράς φερτών	Υπολογισμοί δυνητικής μεταφοράς στη Μ2 και σενάρια διαθεσιμότητας και διέλευσης υλικών, με στοιχεία ροής, κοκκομετρίας, δηλωμένες παραδοχές και εύρη αβεβαιότητας.	Οι παγίδες θα μετρούσαν ποσότητες στις περιόδους δειγματοληψίας. Μαζί με την παροχή και τον έλεγχο απόδοσης του οργάνου, θα στήριζαν βαθμονόμηση και έλεγχο των υπολογισμών. Τα εύρη αβεβαιότητας δεν ισοδυναμούν με τέτοιο έλεγχο.
Ισοζύγιο διάβρωσης και απόθεσης στην περιοχή αποκατάστασης	Χαρτογράφηση πηγών και αποθέσεων, εκτιμήσεις τοπικής εισόδου από όχθες και συρματοκιβώτια, σενάρια μετακίνησης αποθέματος στη Μ20 και χωριστές εκτιμήσεις μεταφορικής ικανότητας.	Δεν έχει κλείσει ενιαίο ποσοτικό ισοζύγιο. Οι παγίδες θα συνέβαλλαν στις μετρήσεις μεταφοράς· χρειάζονται επίσης επαναλαμβανόμενες μετρήσεις αποθήκευσης και διάβρωσης, με πυκνότητα, για την ίδια περιοχή και περίοδο.

Η χαρτογράφηση δείχνει πού βρίσκονται οι πηγές και οι αποθέσεις, ενώ η κοκκομετρία διακρίνει υλικά με διαφορετική δυνατότητα μετακίνησης. Τα στοιχεία αυτά εξηγούν τις διαφορές μεταξύ των διαβάσεων και τις επιδράσεις χαμηλότερα στον ποταμό. Οι ποσοτικές εκτιμήσεις έχουν χωριστά όρια: η τοπική είσοδος στο Μ1–Μ20, η μεταφορική ικανότητα στη Μ2, το απόθεμα στη Μ20 και η εκτίμηση λεκάνης δεν προστίθενται ούτε αφαιρούνται ως μέρη κοινού ισοζυγίου.

Τα εύρη περιγράφουν την αβεβαιότητα των υπολογισμών μέσα στις δηλωμένες παραδοχές και μεταξύ σεναρίων. Δεν αποτελούν εμπειρική βαθμονόμηση. Λειτουργικές παγίδες θα ενίσχυαν τον τοπικό έλεγχο των εκτιμήσεων· για κλειστό ισοζύγιο θα χρειάζονταν επίσης συμβατές μετρήσεις εισόδου, εξόδου και μεταβολών της κοίτης. Η ολοκληρωμένη γεωμορφολογική αξιολόγηση στηρίζει τη σύγκριση επιλογών στο παρόν στάδιο. Το Τεχνικό Παράρτημα Α.4 και οι απαντήσεις στην ΕΠΠ αναπτύσσουν τη σχετική τεκμηρίωση.

2 Ο ποταμός από το βουνό μέχρι τη λίμνη

2.1 Η λεκάνη και η θέση των διαβάσεων

Για να παραμένουν συγκρίσιμοι και αναπαραγώγιμοι οι υπολογισμοί, χρησιμοποιείται η ίδια περιοχή αναφοράς των 18 υπολεκανών του έργου, συνολικής έκτασης 73,374 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Η περιοχή αυτή εξυπηρετεί τους υπολογισμούς του μοντέλου και δεν ταυτίζεται με την ακριβή λεκάνη που απορρέει στον σταθμό του Λαιμού. Οι μικρότερες εκτάσεις παλαιότερων μελετών, περίπου 59,4 και 65,6 τετραγωνικά χιλιόμετρα, αφορούν διαφορετικές οριοθετήσεις και σημεία αναφοράς. Η σύγκριση των χαρτών δείχνει διαφορές τόσο στα όρια όσο και στην κατάντη περιοχή που περιλαμβάνεται. Στο ορεινό δίκτυο, η Γιουβάνιτσα ενώνεται πρώτα με τη Γαϊδουρίτσα. Ο κοινός κλάδος συναντά στη συνέχεια τη Σιρόκα, ανάντη του οικισμού του Αγίου Γερμανού, και σχηματίζεται ο ποταμός Άγιος Γερμανός. Ο ποταμός συνεχίζει προς τον σταθμό του Λαιμού και έπειτα προς τις τρεις διαβάσεις και τη Μεγάλη Πρέσπα. Η προέλευση της οριοθέτησης και η σύγκριση με τις προηγούμενες μελέτες τεκμηριώνονται στα τεχνικά παραρτήματα.

Η θέση τους έχει σημασία για κάθε επέμβαση. Τα υλικά που φτάνουν σε μια διάβαση εξαρτώνται από όσα συμβαίνουν ψηλότερα στον ποταμό. Αντίστοιχα, τα υλικά που περνούν από αυτήν μπορεί να επηρεάσουν τις επόμενες αποθέσεις, διαβάσεις και όχθες. Κάτω από την ΗΜ15 ακολουθεί τμήμα μήκους 1,76 χιλιομέτρων μέχρι την εκβολή. Για τη μελέτη των έργων, η κατάσταση αυτού του τμήματος χρειάζεται να συνδυαστεί με τη στάθμη της λίμνης κατά την περίοδο εξέτασης.

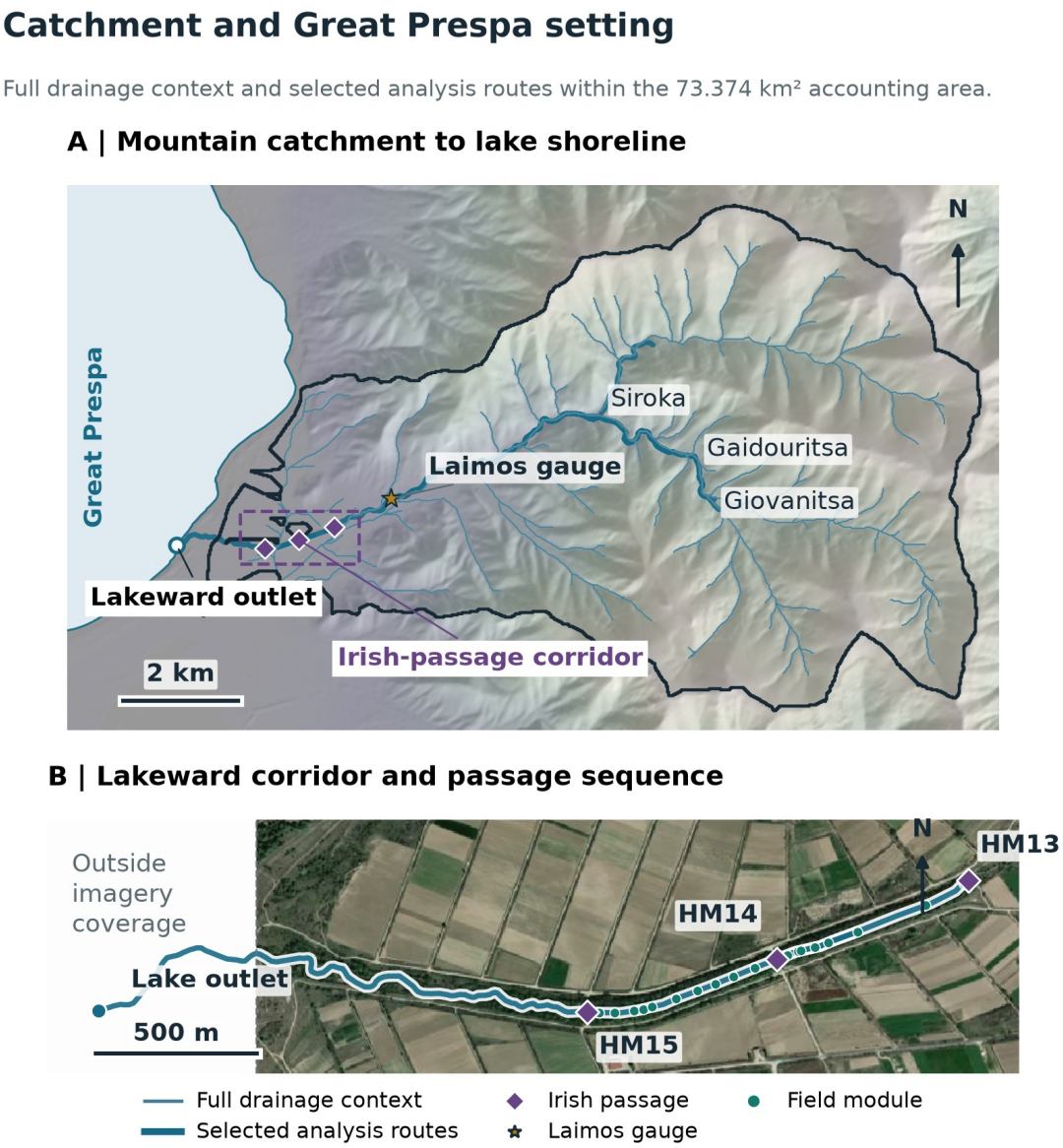


Figure 2: MR01. Catchment and Great Prespa setting. Giovanitsa joins Gaidouritsa, and their combined branch joins Siroka upstream of Agios Germanos village. The river then passes the Laimos gauge and the lower corridor. Pale lines show the fuller drainage context; darker lines are selected morphology analysis routes, not the upstream limits of the rivers. The 73.374 km² accounting area is unchanged.

2.2 Οι θέσεις των παρατηρήσεων

Οι κωδικοί M1 έως M25 προσδιορίζουν τις ενότητες παρατήρησης πεδίου του Ιουλίου 2026. Οι κωδικοί HM13, HM14 και HM15 προσδιορίζουν αντίστοιχα την ανώτερη, τη μεσαία και την κατώτερη διάβαση. Ο χάρτης θέσεων στο Σχήμα 3 παρουσιάζει τις ενότητες και τις διαβάσεις, με αναλυτικότερη απεικόνιση του χαμηλότερου τμήματος. Οι ίδιοι κωδικοί χρησιμοποιούνται στις φωτογραφίες και στους υπολογισμούς, ώστε τα στοιχεία να μπορούν να συσχετιστούν.

Κάθε δείγμα αντιπροσωπεύει τη θέση και το είδος υλικού από το οποίο συλλέχθηκε. Για παράδειγμα, ένα δείγμα από μια μικρή αμμώδη απόθεση δεν περιγράφει ολόκληρη την κοίτη ενός ορεινού τμήματος με ογκόλιθους. Όταν εξετάζουμε τις θέσεις με τη σειρά της ροής, διακρίνουμε τη

χονδρόκοκκη απόθεση κοντά στην HM13, τη διαλογή των υλικών λίγο χαμηλότερα και τα λεπτότερα μίγματα στο υπόλοιπο διευθετημένο τμήμα.

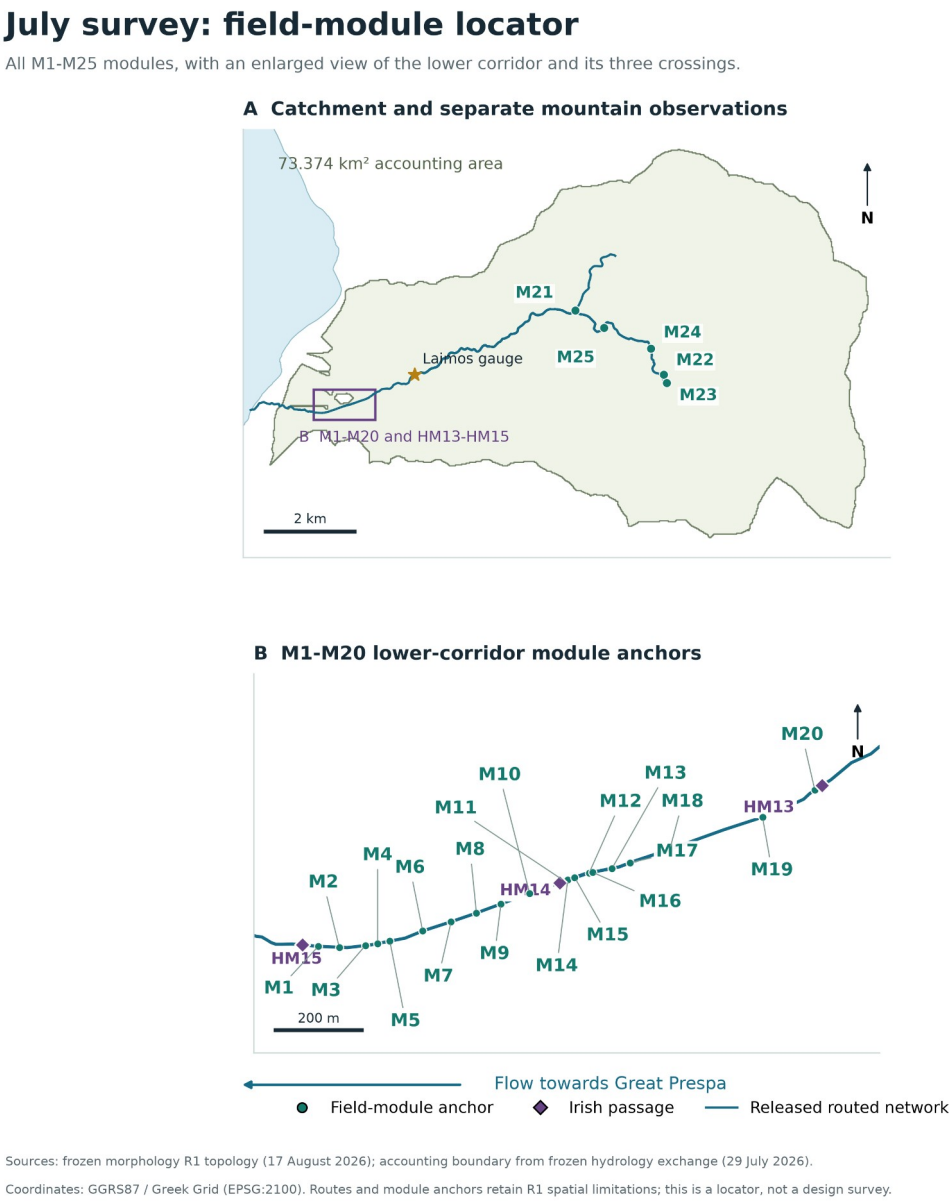


Figure 3: MR15. Field-module and Irish-passage locator. The whole-catchment view locates M1–M25 and the lower-river inset separates the densely spaced modules and HM13–HM15. Symbols indicate module-level locations and do not imply surveyed sampling points.

2.3 Πώς αλλάζει η μορφή της κοίτης

Στο ορεινό τμήμα, στις ενότητες M21 έως M25, το νερό κυλά πάνω σε βράχο, μεγάλες πέτρες και διαδοχικά φυσικά σκαλοπάτια, ανάμεσα στα οποία σχηματίζονται μικρές λεκάνες. Άμμος, χαλίκια και μικρότερες πέτρες συγκεντρώνονται στα κενά και στις τοπικές αποθέσεις. Η μετακίνησή τους γίνεται κατά επεισόδια και εξαρτάται από τις συνθήκες ροής και τις επόμενες θέσεις όπου μπορούν να συγκρατηθούν.

Χαμηλότερα, η κοίτη περιλαμβάνει περισσότερες χαλαρές αποθέσεις και επηρεάζεται από αναχώματα, προστατευτικά έργα, κορμούς και κλαδιά. Τα υλικά μπορεί να συγκεντρώνονται σε νησίδες, να απομακρύνονται από διαβρωμένες όχθες ή να συγκρατούνται προσωρινά κοντά σε μια κατασκευή. Η κίνηση και η αποθήκευσή τους εξαρτώνται περισσότερο από αυτές τις τοπικές συνθήκες.

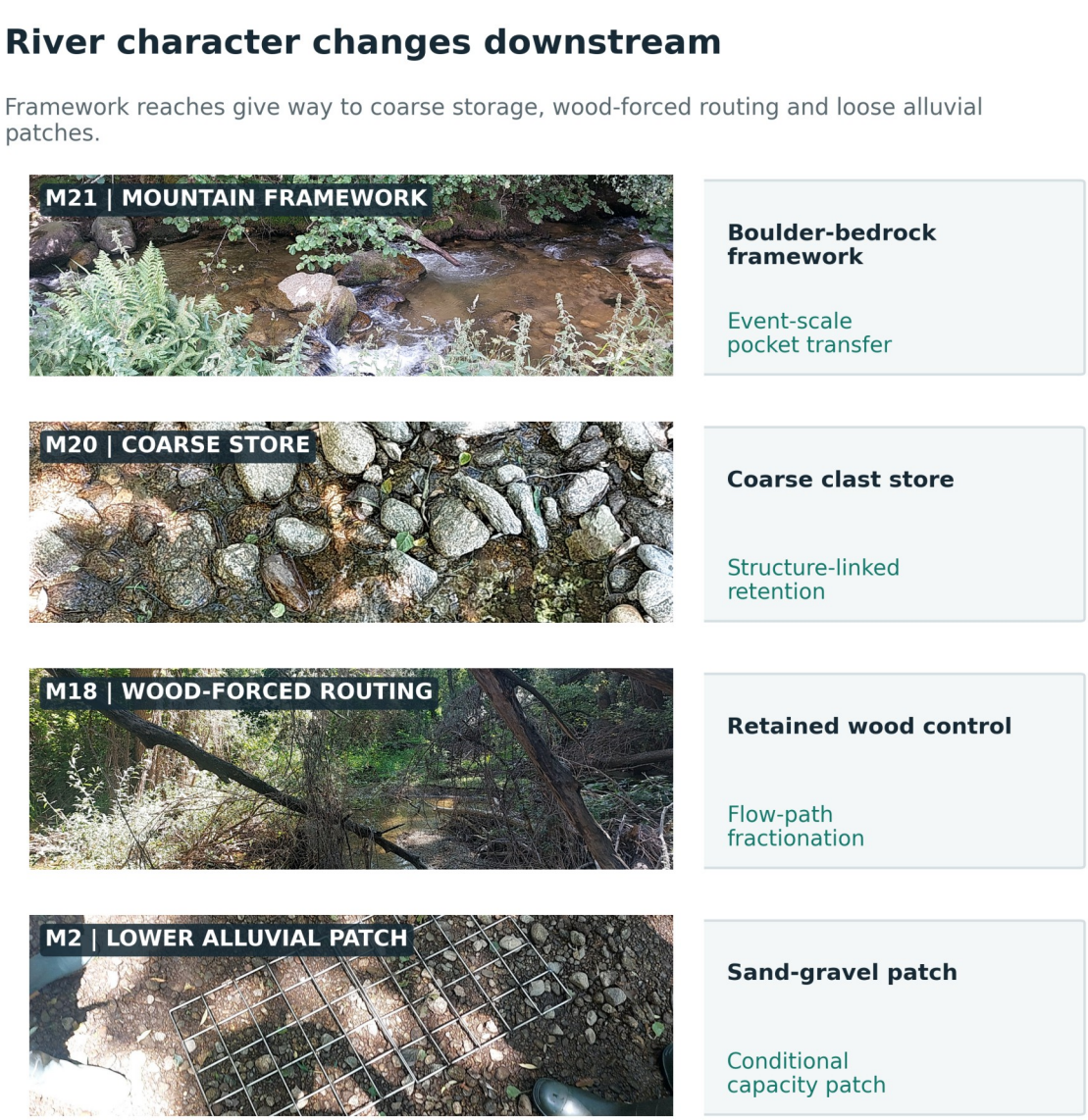


Figure 4: MR02. Representative field evidence for the principal sediment-process domains. Framework, structure-associated storage, wood and confinement create different sediment behaviours along the river.

2.4 Τι δείχνουν οι μετρήσεις στην επιφάνεια της κοίτης

Στις επιφανειακές καταμετρήσεις μετριέται το μέγεθος μεμονωμένων λίθων. Ο δείκτης D50 είναι το μέγεθος που χωρίζει το δείγμα στη μέση: οι μισοί μετρημένοι λίθοι είναι μικρότεροι και οι άλλοι μισοί μεγαλύτεροι. Το εύρος D16 έως D84 δείχνει πόσο ποικίλλουν τα μεγέθη μέσα στο ίδιο δείγμα. Οι τιμές αυτές αφορούν τον αριθμό των λίθων, όχι το βάρος τους.

Οι μετρήσεις δείχνουν ότι η θέση M20, αμέσως χαμηλότερα από την HM13, έχει σταθερά πιο χονδρόκοκκο υλικό. Στη θέση M19, που ακολουθεί, εμφανίζεται μεγαλύτερη ποικιλία και γενικά μικρότερα μεγέθη. Ακόμη χαμηλότερα υπάρχουν θέσεις με λεπτότερο υλικό. Η εικόνα αυτή είναι συμβατή με τη διαλογή των υλικών κατά τη μεταφορά τους: διαφορετικά μεγέθη συγκρατούνται ή συνεχίζουν προς τα κάτω ανάλογα με τις συνθήκες.

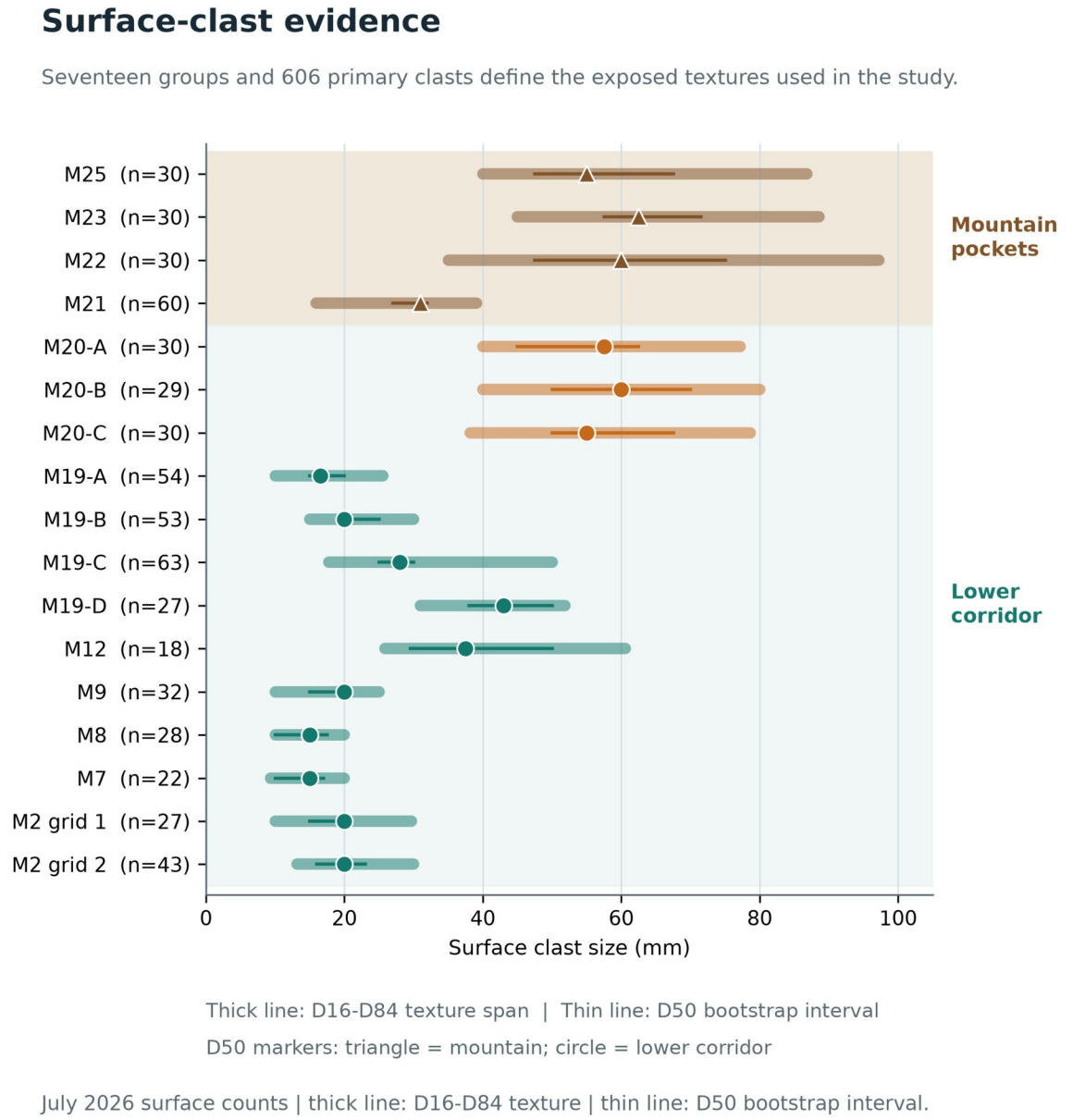


Figure 5: MR03. Surface-clast evidence. The retained archive contains 611 clasts, with 606 used in the primary statistics. Points show sample D50 and intervals describe within-sample texture; the samples remain grouped by facies and domain.

2.5 Τι προσθέτουν τα δείγματα κοσκίνισης

Η κοσκίνιση εξετάζει ένα δείγμα υλικού που έχει συλλεχθεί από μια θέση. Το δείγμα περνά από κόσκινα διαφορετικού ανοίγματος και μετριέται το βάρος κάθε κατηγορίας μεγέθους. Έτσι αποτυπώνονται και λεπτότερα υλικά που μπορεί να βρίσκονται ανάμεσα ή κάτω από τις μεγαλύτερες πέτρες της επιφάνειας. Πρόκειται για υλικό που συλλέχθηκε από συγκεκριμένη θέση, όχι για μετρήσεις παγίδων που καταγράφουν υλικά διερχόμενα στη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος. Η κοσκίνιση περιγράφει τη σύσταση του δείγματος και δεν βαθμονομεί τη μεταφορά φερτών.

Από τις 80 εγγραφές του αρχείου, οι 74 πέρασαν τους ελέγχους της ανάλυσης. Οι 66 αφορούν δείγματα μέσα από την κοίτη και οι 8 υλικά από θέσεις τροφοδοσίας. Τα πρώτα περιγράφουν τις

χαλαρές αποθέσεις του ποταμού. Τα δεύτερα βοηθούν στην εκτίμηση της σύστασης των υλικών που μπορούν να τροφοδοτήσουν το σύστημα.

Οι δύο τρόποι μέτρησης συμπληρώνουν ο ένας τον άλλον. Οι επιφανειακές καταμετρήσεις δείχνουν τι βρίσκεται εκτεθειμένο στην κοίτη. Η κοσκίνιση δείχνει τη σύνθεση του υλικού που συλλέχθηκε, με βάση το βάρος. Τα αποτελέσματά τους διατηρούνται χωριστά, ώστε να μη συγχέονται αυτές οι διαφορετικές πληροφορίες.

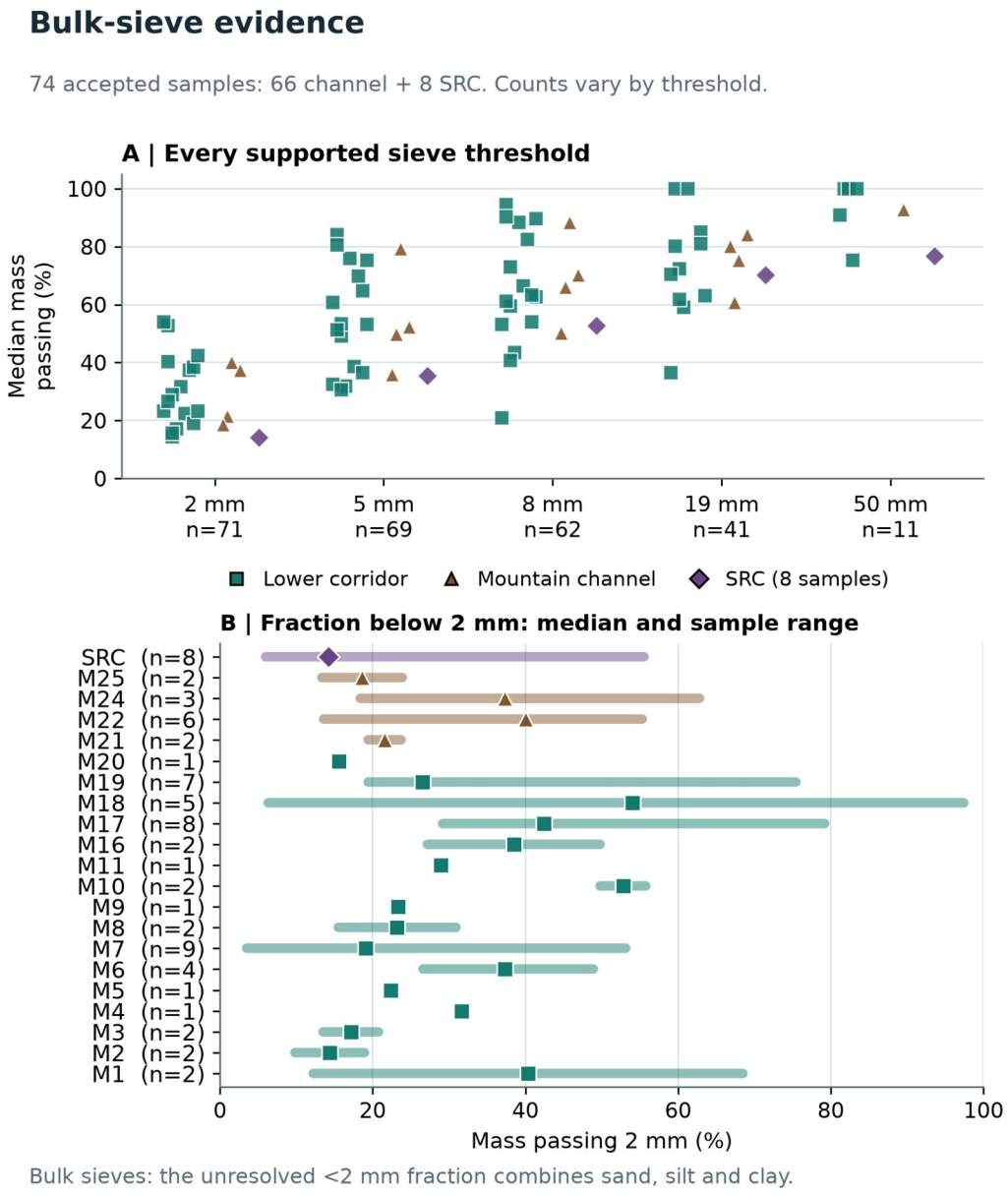
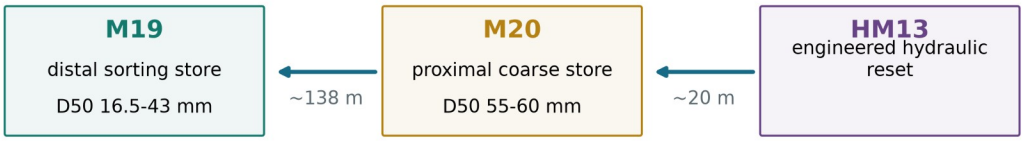


Figure 6: MR14. Bulk-sieve evidence. The archive contains 80 records; 74 meet the analytical checks, comprising 66 channel samples and 8 source-material records. Cumulative mass passing supported thresholds describes material within each sampled grab.

2.6 Η ακολουθία αποθέσεων κάτω από την HM13



Flow and sediment direction

Περίπου 20 μέτρα χαμηλότερα από την HM13 βρίσκεται η χονδρόκοκκη απόθεση M20. Οι τρεις επιφανειακές καταμετρήσεις σε αυτήν έχουν D50 από 55 έως 60 χιλιοστά. Περίπου 138 μέτρα μετά την M20 βρίσκεται η απόθεση M19. Οι τέσσερις καταμετρήσεις της δίνουν D50 από 16,5 έως 43 χιλιοστά και δείχνουν πιο ανάμικτο υλικό.

Η σειρά των θέσεων, οι αποστάσεις, οι φωτογραφίες και οι επτά καταμετρήσεις συνθέτουν την πιο σαφή καταγεγραμμένη σχέση ανάμεσα σε διάβαση και διαδοχικές αποθέσεις. Κοντά στην HM13 συγκεντρώνεται πιο χονδρόκοκκο υλικό, ενώ χαμηλότερα φαίνεται η διαλογή του σε διαφορετικά μεγέθη.

Για να εκτιμηθεί η απόκριση αυτών των αποθέσεων σε μια επέμβαση, χρειάζεται να προσδιοριστούν το σχήμα και ο όγκος τους, καθώς και το μέρος του υλικού που μπορεί πράγματι να κινηθεί. Παρατηρήσεις πριν και μετά από επεισόδια υψηλής παροχής θα βοηθήσουν να συνδεθεί η σημερινή εικόνα με τον τρόπο που αλλάζει η κοίτη.

2.7 Τι σημαίνει η εικόνα του ποταμού για τις διαβάσεις

Ο χάρτης του Σχήματος 3 εντοπίζει τις ενότητες που αναφέρονται παρακάτω. Τα σημεία του αντιστοιχούν σε θέσεις αναφοράς των παρατηρήσεων και όχι σε τοπογραφικά αποτυπωμένα όρια ενοτήτων ή διατομές. Κάτω από την ακολουθία HM13–M20–M19, οι ενότητες M15 έως M18 σχηματίζουν ένα τμήμα με περισσότερους κλάδους και έντονη παρουσία ξυλώδους υλικού. Η HM14 βρίσκεται μέσα σε αυτό το σύστημα διακλαδώσεων. Οι M13 και M14 είναι παράλληλοι κλάδοι πριν από τη διάβαση, η M12 βρίσκεται αμέσως μετά και η M11 ακολουθεί χαμηλότερα.

Ανάμεσα στις HM14 και HM15, ο ποταμός ρέει σε περιορισμένη κοίτη με ανάμικτες αποθέσεις, νησίδες, θέσεις διάβρωσης και τοπικά έργα προστασίας. Η HM15 συνδέει αυτό το τμήμα με τη συνέχεια του ποταμού προς τη λίμνη.

Στην HM13 εξετάζουμε κυρίως την κίνηση και τη διαλογή των αποθηκευμένων υλικών. Στην HM14 εξετάζουμε την κατανομή της ροής ανάμεσα στους κλάδους και τη σχέση της με κορμούς και κατασκευές. Στην HM15 εξετάζουμε τις πιθανές αλλαγές στην κοίτη μέχρι την εκβολή. Κάθε επιλογή αξιολογείται πρώτα για τη συγκεκριμένη διάβαση και στη συνέχεια ως προς τις επιδράσεις της στις υπόλοιπες διαβάσεις και στα χαμηλότερα τμήματα του ποταμού.

3 Η ροή και η μετακίνηση των υλικών

3.1 Πότε υπήρχαν υψηλές παροχές

Η παροχή είναι ο όγκος νερού που περνά από μια θέση του ποταμού σε ορισμένο χρόνο και συνήθως εκφράζεται σε κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Οι ελεγμένες καταγραφές του σταθμού στον Λαιμό επιτρέπουν τη σύγκριση των υδρολογικών ετών 2021 και 2022, που στα γραφήματα σημειώνονται ως WY2021 και WY2022. Το υδρολογικό έτος είναι η ετήσια περίοδος που χρησιμοποιείται για την ανάλυση της ροής και διακρίνεται από το ημερολογιακό έτος.

Για να εξεταστούν με κοινό τρόπο οι δύο περίοδοι, η μελέτη όρισε ως υψηλές τις παροχές πάνω από 3,52 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Το όριο αυτό αντιστοιχεί στο ανώτερο 5% των καταγεγραμμένων τιμών παροχής που είναι μεγαλύτερες από το μηδέν, στο συνδυασμένο αρχείο των δύο ετών. Τα ανεξάρτητα επεισόδια διακρίθηκαν με κανόνα χρονικού διαχωρισμού 24 ωρών.

Σε κάθε έτος καταγράφηκαν 16 ανεξάρτητα επεισόδια, αλλά η συνολική διάρκειά τους διέφερε αισθητά. Το 2021 οι υψηλές παροχές διήρκεσαν περίπου 236 ώρες και το 2022 περίπου 572 ώρες. Το 2022, επομένως, οι συνθήκες που ευνοούν τη μετακίνηση υλικών και την αναδιαμόρφωση των αποθέσεων διήρκεσαν περισσότερο. Οι καταγραφές δείχνουν τις συνθήκες που μπορούσαν να προκαλέσουν μεταφορά, όχι την ποσότητα υλικού που μεταφέρθηκε σε κάθε θέση.

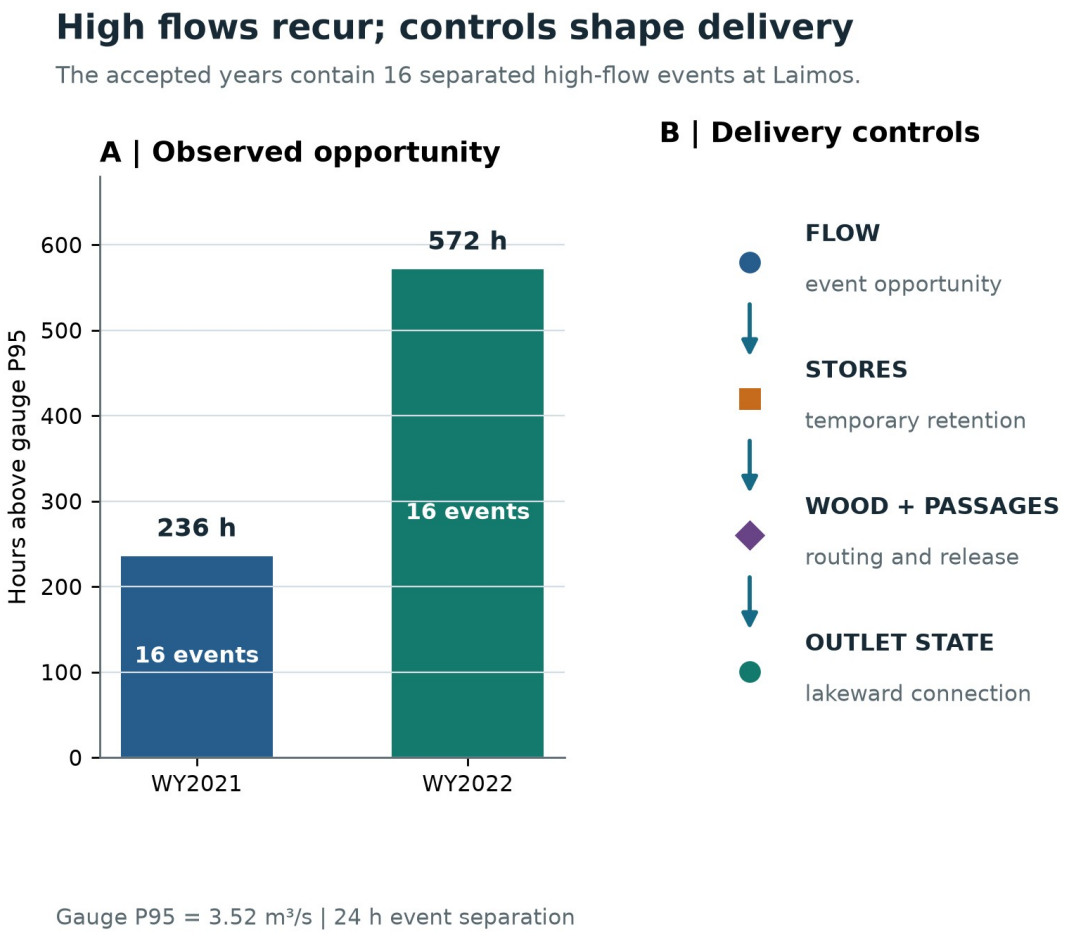


Figure 7: MR04. Accepted high-flow opportunity and principal controls on connectivity. Both accepted years contain 16 independent events under the 24-hour rule; supported high flow lasts about 236 hours in WY2021 and 572 hours in WY2022.

3.2 Πόσο εύκολα συνεχίζουν τα υλικά προς τα κάτω

Με τον όρο συνδεσιμότητα περιγράφουμε κατά πόσο τα υλικά μπορούν να μετακινηθούν από τη θέση όπου παράγονται ή αποθηκεύονται προς τα χαμηλότερα τμήματα του ποταμού. Στην πράξη, αυτή η διαδρομή επηρεάζεται από διαβάσεις, κορμούς, νησίδες και άλλες αποθέσεις. Ένα υλικό μπορεί να περάσει από ένα σημείο και να συγκρατηθεί στο επόμενο.

Το μοντέλο της μελέτης αναπαριστά αυτή τη διαδρομή ως ακολουθία θέσεων τροφοδοσίας, μεταφοράς, αποθήκευσης και εμποδίων. Εξετάζει χωριστά τέσσερις κατηγορίες μεγέθους υλικού και διαφορετικές παραδοχές για το πόσο εύκολα περνά κάθε κατηγορία από τα επιμέρους σημεία. Οι περιοχές τροφοδοσίας έχουν ίση βαρύτητα στη σύγκριση, ώστε μια περιοχή με περισσότερες καταγραφές να μην αποκτά μεγαλύτερη σημασία μόνο και μόνο επειδή μελετήθηκε πυκνότερα (Fryirs και συν., 2007· Borselli και συν., 2008· Heckmann και συν., 2018).

Ο συγκριτικός δείκτης συνδεσιμότητας συνοψίζει, χωρίς μονάδα μέτρησης, πόσο εύκολα συνεχίζεται η κίνηση των υλικών μέσα στις διαδρομές του μοντέλου. Στο σενάριο αναφοράς έχει τιμή περίπου 0,032. Η τιμή χρησιμοποιείται ως αφετηρία για τη σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων του ίδιου μοντέλου και δεν αποτελεί αυτοτελή χαρακτηρισμό της κατάστασης του ποταμού. Δεν σημαίνει ότι το 3,2% μιας μετρημένης ποσότητας υλικών φτάνει στη λίμνη.

Για να εντοπιστούν τα σημεία με τη μεγαλύτερη επίδραση, το μοντέλο εξετάζει πόσο αλλάζει ο δείκτης όταν διευκολύνεται η διέλευση από ένα σημείο κάθε φορά. Μεταξύ των σημαντικότερων είναι το σύμπλεγμα κορμών και αποθέσεων της Μ2, η ΗΜ15, η Μ5 και η διαδοχή Μ7 έως Μ10, που εντοπίζονται στον χάρτη θέσεων του Σχήματος 3. Οι ΗΜ13 και ΗΜ14 παραμένουν σημαντικές για τις τοπικές αποθέσεις και τις διακλαδώσεις, ακόμη και όταν η μεταβολή του συνολικού δείκτη είναι μικρότερη. Αυτή η σύγκριση δεν καθορίζει από μόνη της τη σειρά απομάκρυνσης των διαβάσεων.

Η σύγκριση δείχνει ότι η κίνηση των υλικών επηρεάζεται από πολλά διαδοχικά σημεία. Βοηθά να επιλεγούν θέσεις για πιο λεπτομερή μελέτη και παρακολούθηση. Η τελική επιλογή έργου χρειάζεται επιπλέον να λάβει υπόψη την οικολογία, την υδραυλική λειτουργία, τις κατασκευές και την πρόσβαση. Επίσης, η ευκολότερη διέλευση λεπτού υλικού από μια θέση δεν συνεπάγεται ότι θα κινηθούν και οι μεγαλύτερες πέτρες που βρίσκονται εκεί.

3.3 Ο ρόλος των κορμών και των αποθέσεων

Οι κορμοί, οι νησίδες και οι παρόχθιες ζώνες με βλάστηση συμμετέχουν στη διαμόρφωση του ποταμού. Μπορούν να δημιουργούν βαθύτερες θέσεις, να εκτρέπουν τη ροή, να συγκρατούν φερτά υλικά και να αυξάνουν την ποικιλία των ενδιαιτημάτων. Η αξιολόγησή τους χρειάζεται να εξετάζει τη λειτουργία και τη σταθερότητά τους, καθώς και τη σχέση τους με γειτονικές υποδομές.

Για τη μελλοντική παρακολούθηση προτείνεται αρχείο των σημαντικών συγκεντρώσεων ξυλώδους υλικού, με θέση, διαστάσεις, είδος, κατάσταση, στήριξη, δυνατότητα μετακίνησης και υλικά που συγκρατούν. Πριν προταθεί απομάκρυνση, χρειάζεται ειδική αξιολόγηση από ερευνητή που έχει ασχοληθεί με τη λειτουργία του ξύλου σε ποτάμια προστατευόμενων περιοχών, με συνδρομή δασολόγου όπου απαιτείται. Η αξιολόγηση θα συνεκτιμά τη δημιουργία ενδιαιτημάτων, τη μορφή της κοίτης, τη ροή και τους κινδύνους για υποδομές. Θα συγκρίνονται η διατήρηση, η στερέωση, η μετατόπιση και η επιλεκτική επέμβαση.

Οι επεμβάσεις αποκατάστασης στις διαβάσεις έχουν διαδοχικές επιδράσεις. Η αλλαγή στην ΗΜ13 μπορεί να μεταβάλει την τροφοδοσία της ΗΜ14, ενώ η αλλαγή στην ΗΜ14 μπορεί να ανακατανείμει νερό και υλικά στους κλάδους. Η ΗΜ15 μπορεί να επηρεάσει τη χαμηλότερη κοίτη. Η σταδιακή εφαρμογή επιτρέπει την παρακολούθηση αυτών των επιδράσεων πριν από την επόμενη επέμβαση αποκατάστασης.

4 Τι σημαίνουν οι ποσοτικές εκτιμήσεις

4.1 Τέσσερις διαφορετικές ερωτήσεις

Η μελέτη περιλαμβάνει τέσσερις ομάδες υπολογισμών. Καθεμία αφορά διαφορετικό τμήμα του ποταμού ή διαφορετική διαδικασία. Η διάκριση είναι απαραίτητη, επειδή μια ποσότητα που μπορεί να κινηθεί τοπικά δεν είναι το ίδιο με την ποσότητα που εισέρχεται από τις όχθες ή με εκείνη που εκτιμάται για ολόκληρη τη λεκάνη.

Υπολογισμός	Ερώτημα που απαντά
Δυνατότητα μεταφοράς στη Μ2. Θέση: Σχήμα 3· αποτελέσματα: Σχήμα 9.	Πόσο υλικό θα μπορούσε να μεταφέρει η ροή από τη συγκεκριμένη επιφάνεια της κοίτης, με τις παραδοχές κάθε μοντέλου;
Τροφοδοσία από όχθες και συρματοκιβώτια	Πόσο υλικό μπορεί να εισέλθει στην ενεργή κοίτη από τις καταγεγραμμένες τοπικές πηγές;
Μετακίνηση από την απόθεση Μ20. Θέση: Σχήμα 3· μεγέθη: Σχήμα 8.	Πόσο χονδρόκοκκο υλικό μπορεί να μετακινηθεί από μια συγκεκριμένη, πεπερασμένη απόθεση σε διαφορετικά σενάρια;
Εκτίμηση για ολόκληρη τη λεκάνη	Ποια ετήσια ποσότητα είναι αντιπροσωπευτική ως αρχική παραδοχή σχεδιασμού στην κλίμακα της περιοχής μελέτης;

Οι τέσσερις υπολογισμοί ποσοτήτων υλικού εξετάζονται παράλληλα. Δεν προστίθενται μεταξύ τους και δεν αποτελούν επιμέρους τμήματα ενός κοινού, μετρημένου ισοζυγίου.

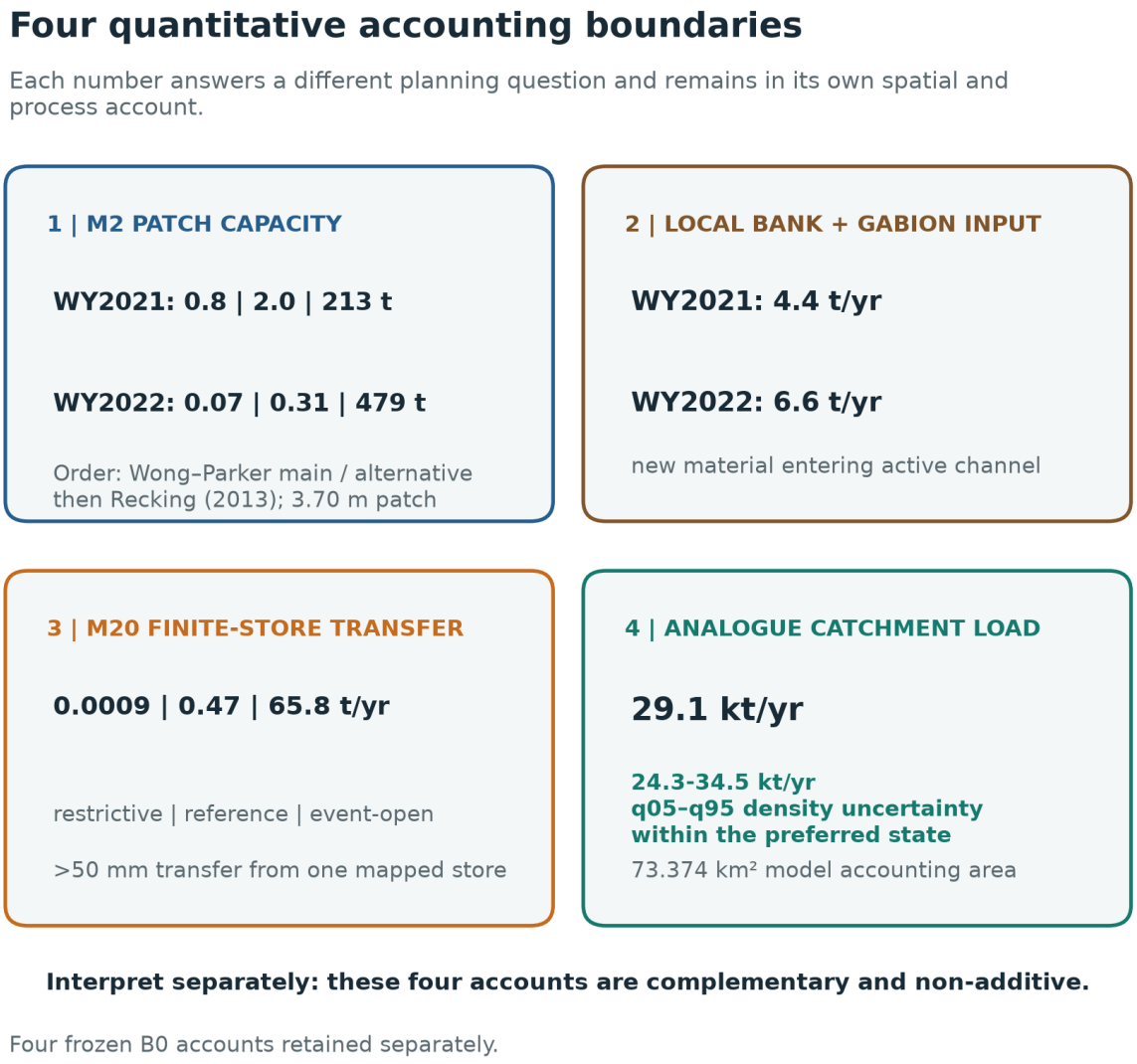


Figure 8: MR16. Four quantitative accounting boundaries. The calculations are complementary, but each answers a different question at a different spatial and material scale. They are interpreted side by side and are never added.

4.2 Η δυνατότητα μεταφοράς στην ενότητα M2

Η M2 είναι ενότητα παρατήρησης, δηλαδή τμήμα του ποταμού, και εντοπίζεται στον χάρτη του Σχήματος 3. Μέσα σε αυτήν εξετάστηκε η δειγματισμένη ενεργή επιφάνεια της κοίτης, με πλάτος αναφοράς 3,70 μέτρων. Ο υπολογισμός δεν αφορά μια πλήρως αποτυπωμένη διατομή. Συνδυάζει τις καταγραφές ροής στον Λαιμό με δηλωμένες παραδοχές για την τοπική ροή, την κλίση, τη μορφή της κοίτης και το μέγεθος των υλικών. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις εξισώσεις μεταφοράς κοντά στον πυθμένα: δύο μορφές της Wong–Parker και η Recking. Για κάθε εξίσωση και εξεταζόμενη υδραυλική κατάσταση έγιναν 20.000 επαναλήψεις με διαφορετικές τιμές εισόδου μέσα στα καθορισμένα όρια.

Ως συνθήκη αναφοράς ορίζεται ένας συγκεκριμένος συνδυασμός παραδοχών για την τοπική ροή και τη μορφή της κοίτης. Για αυτόν τον συνδυασμό, ο πίνακας παρουσιάζει τη διάμεσο κάθε μεθόδου: την τιμή κάτω από την οποία βρίσκεται το μισό των υπολογισμένων αποτελεσμάτων. Οι διάμεσοι διαφέρουν πολύ μεταξύ των μεθόδων.

Μέθοδος	Υδρολογικό έτος 2021 σε τόνους	Υδρολογικό έτος 2022 σε τόνους
Wong–Parker βασική μορφή	0,8	0,07
Wong–Parker εναλλακτική μορφή	2,0	0,31
Recking	213	479

Οι αποκλίσεις δείχνουν πόσο σημαντικές είναι η επιλογή εξίσωσης και η περιγραφή της τοπικής ροής. Οι τιμές αφορούν τη θεωρητική δυνατότητα μεταφοράς από τη συγκεκριμένη επιφάνεια, με τις παραδοχές κάθε μοντέλου. Δεν είναι μετρήσεις πραγματικής μεταφοράς ούτε εκτιμήσεις για ολόκληρο τον ποταμό.

Για να περιοριστεί η αβεβαιότητα, χρειάζονται τοπικές μετρήσεις της στάθμης, του πλάτους που κατακλύζεται, της κλίσης και της τραχύτητας, συνδεδεμένες με τις καταγραφές στον Λαιμό. Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του μεγέθους των υλικών στην ίδια θέση και παρατηρήσεις της έναρξης της κίνησής τους θα ελέγξουν τις παραδοχές του μοντέλου. Για τον έλεγχο των ποσοτήτων χρειάζεται να σχεδιαστούν και μετρήσεις της μάζας που διέρχεται σε γνωστά χρονικά διαστήματα κατά τα επεισόδια ροής.

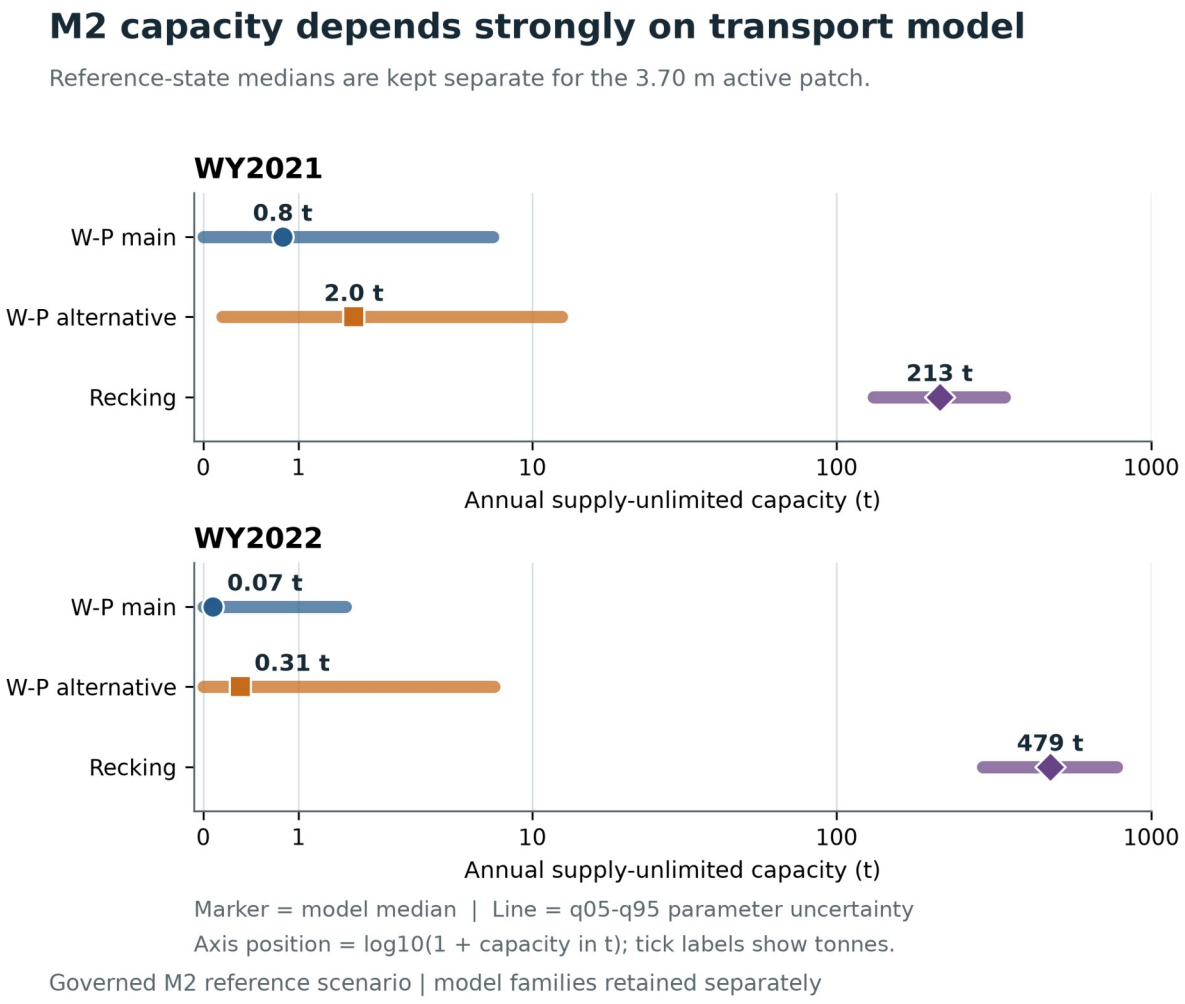


Figure 9: MR05. M2 carrying potential over the 3.70 m active patch. Model-specific medians are retained separately: 0.8, 2.0 and 213 t in WY2021; and 0.07, 0.31 and 479 t in WY2022.

4.3 Τα υλικά που εισέρχονται από τις όχθες και τα συρματοκιβώτια

Οι παρατηρήσεις πεδίου καταγράφουν θέσεις όπου οι όχθες διαβρώνονται ή υποσκάπτονται και θέσεις όπου συρματοκιβώτια παρουσιάζουν φθορές. Τα συρματοκιβώτια είναι μεταλλικά πλέγματα γεμισμένα με πέτρες, που χρησιμοποιούνται σε έργα προστασίας. Όταν φθείρονται, μέρος του περιεχομένου τους μπορεί να περάσει στην κοίτη.

Για τις χωμάτινες όχθες, ο υπολογισμός εκτιμά το υλικό που αποσπάται από το μήκος και το ύψος της ενεργής επιφάνειας διάβρωσης και τον ετήσιο ρυθμό υποχώρησής της. Ο όγκος μετατρέπεται σε ξηρή μάζα και λαμβάνεται υπόψη το ποσοστό που φτάνει στην κοίτη. Για τα συρματοκιβώτια, εξετάζονται ο όγκος των λίθων, η ετήσια απώλεια υλικού και το μέρος της απώλειας που εισέρχεται στον ποταμό.

Οι θέσεις και το είδος των πηγών προκύπτουν από το πεδίο. Οι διαστάσεις και οι ρυθμοί απώλειας που απαιτούνται για τον υπολογισμό περιλαμβάνουν δηλωμένες παραδοχές με καθορισμένα όρια. Οι καταγραφές υψηλών παροχών χρησιμοποιούνται για να διαφοροποιηθεί η εκτίμηση μεταξύ των δύο ετών (WY 2021 και WY 2022).

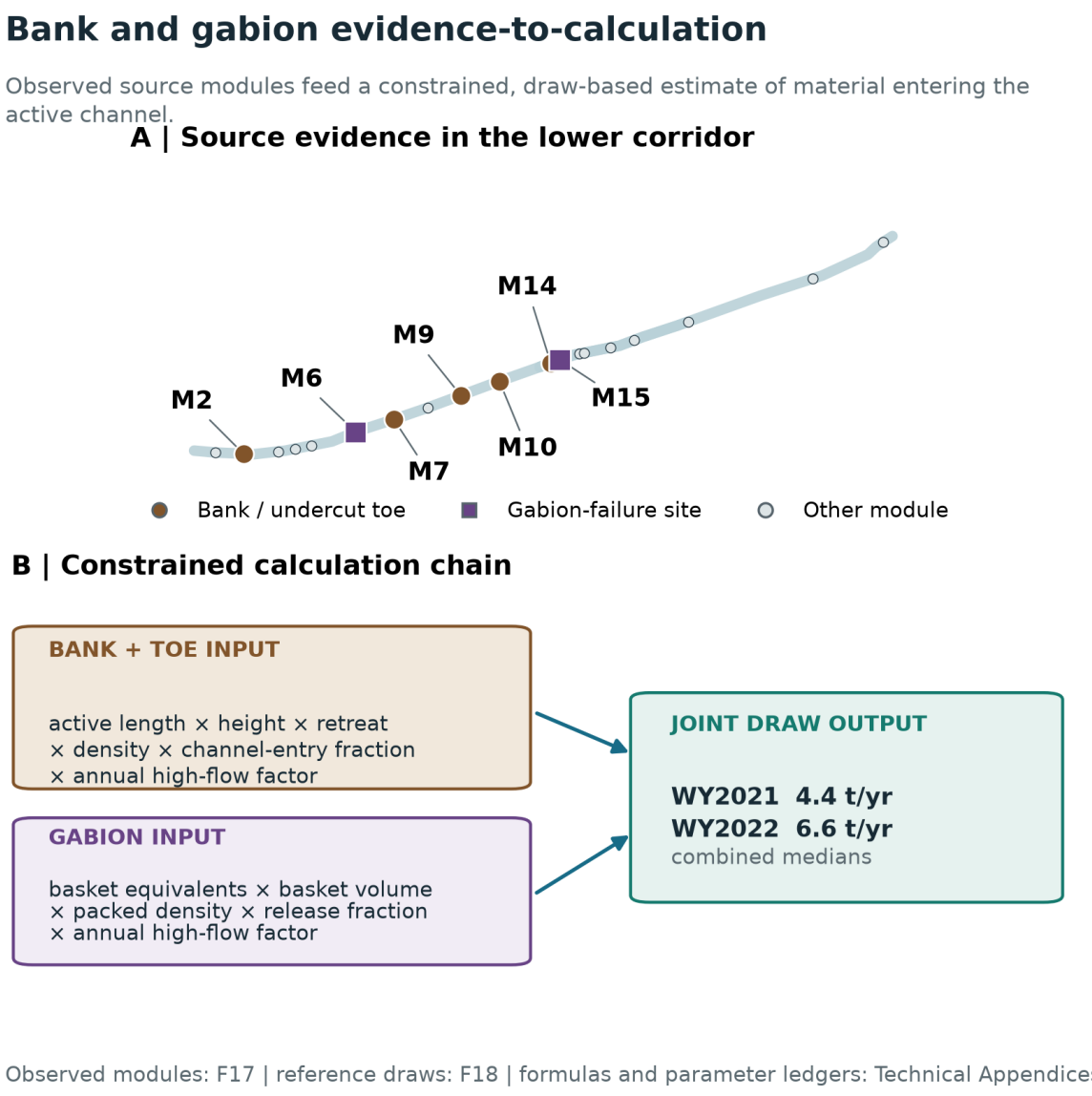


Figure 10: MR17. Bank and gabion evidence-to-calculation pathway. Field observations anchor the source mechanisms and locations; declared, bounded geometry and rate terms convert those anchors into a conditional estimate of material entering the active M1–M20 corridor.

Για το κατώτερο δίκτυο M1 έως M20, συνολικού μήκους περίπου 1,54 χιλιομέτρων μαζί με τους δύο κύριους κλάδους στην HM14, η συνολική διάμεσος τοπικής εισροής εκτιμάται σε 4,4 τόνους τον χρόνο για το υδρολογικό έτος 2021 και 6,6 τόνους τον χρόνο για το 2022. Τα αντίστοιχα εύρη μεταβολής των παραμέτρων είναι 1,7 έως 10,0 και 2,7 έως 15,2 τόνοι τον χρόνο. Οι εκτιμήσεις προκύπτουν με επέκταση των παρατηρήσεων από τα καταγεγραμμένα τμήματα, συνολικής ονομαστικής κάλυψης περίπου 330 έως 420 μέτρων, βάσει δηλωμένων παραδοχών. Αφορούν είσοδο υλικών από όχθες και συρματοκιβώτια στην κοίτη, όχι ολόκληρη τη λεκάνη ή τη μεταφορά στην εκβολή.

Οι επιμέρους διάμεσοι για τις όχθες είναι 3,75 και 5,69 τόνοι τον χρόνο, ενώ για τα συρματοκιβώτια είναι 0,54 και 0,83 τόνοι τον χρόνο, αντίστοιχα. Η συνολική διάμεσος προκύπτει αφού προστεθούν οι δύο συνιστώσες σε κάθε επανάληψη του υπολογισμού. Γι’ αυτό δεν ισούται υποχρεωτικά με το άθροισμα των δύο επιμέρους διαμέσων.

Η εκτιμώμενη τροφοδοσία είναι μεγαλύτερη για το 2022 επειδή ο συνολικός όγκος ροής πάνω από το επιλεγμένο όριο υψηλής παροχής ήταν μεγαλύτερος: 1,439 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, έναντι 0,755 εκατομμυρίων το 2021. Η σχέση αυτή αποτελεί μέρος της παραδοχής για την απόκριση των πηγών στη ροή.

Ο υπολογισμός ολοκληρώνεται τη στιγμή που το υλικό εισέρχεται στην ενεργή κοίτη των ενοτήτων M1 έως M20. Δεν περιγράφει πόσο από αυτό αποθηκεύεται ξανά, περνά από τις διαβάσεις ή καταλήγει στη λίμνη.

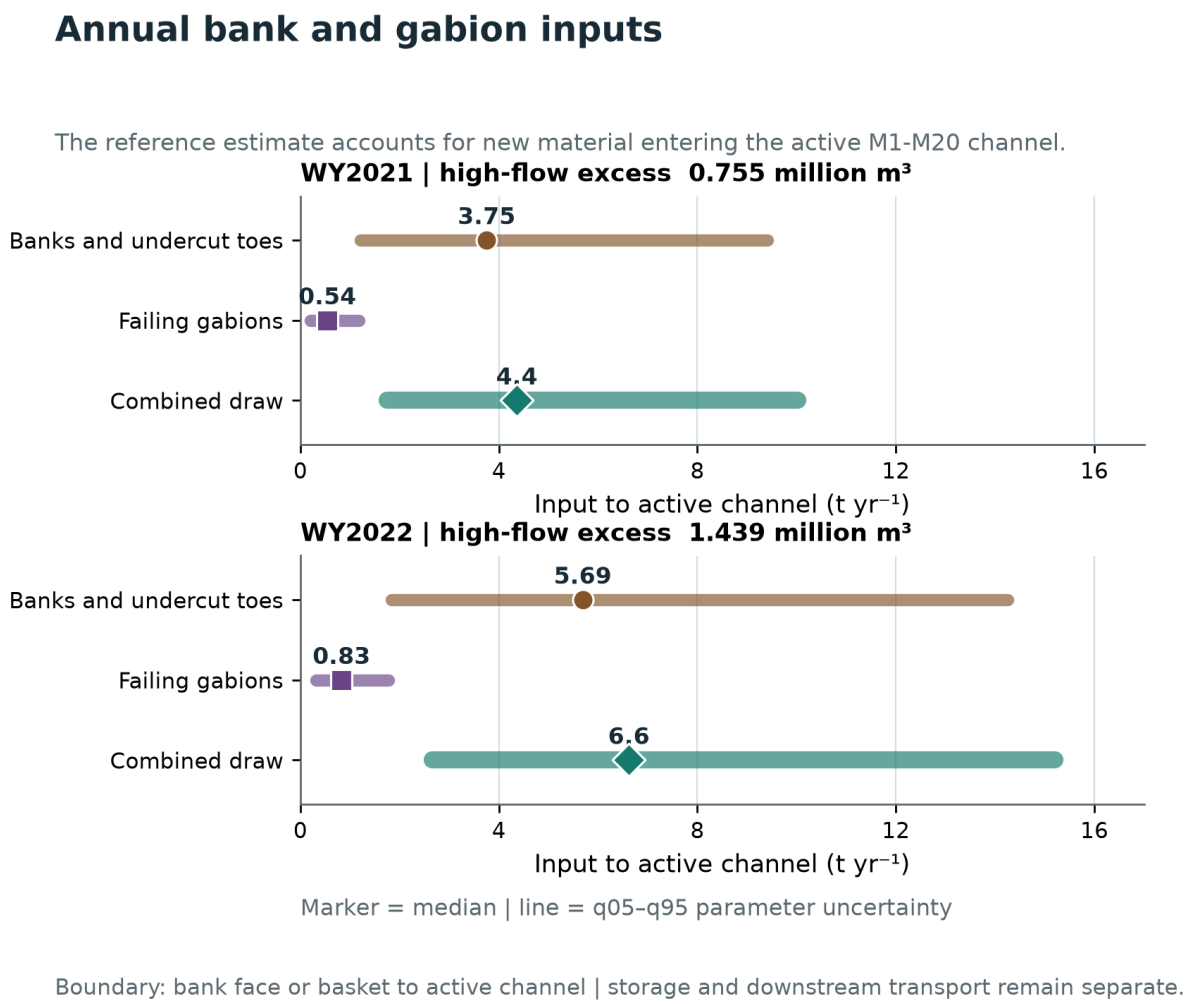


Figure 11: MR06. Modelled annual input from lower-corridor banks and failing gabions. The total median is 4.4 t/yr in WY2021 and 6.6 t/yr in WY2022; q05–q95 parameter ranges are 1.7–10.0 and 2.7–15.2 t/yr.

4.4 Η εκτίμηση στην κλίμακα της λεκάνης

Για να εκτιμηθεί μια αντιπροσωπευτική ετήσια ποσότητα στην κλίμακα της λεκάνης, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από γειτονικές λεκάνες της Πρέσπας. Η βασική επιλογή στηρίζεται σε τέσσερις ανεξάρτητες λεκάνες και αντιστοιχεί σε ετήσιο μεταφερόμενο όγκο 287,897 κυβικών μέτρων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Η τιμή αυτή εφαρμόζεται στην έκταση των 73,374 τετραγωνικών χιλιομέτρων της ενεργής οριοθέτησης του έργου, όπως διευκρινίζεται στην ενότητα 2.1.

Ο υπολογισμός δίνει κεντρική εκτίμηση 21.124 κυβικών μέτρων τον χρόνο. Ο όγκος μετατρέπεται σε ξηρή μάζα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το βάρος ανά κυβικό μέτρο υλικού μπορεί να διαφέρει. Η

διάμεση τιμή αυτής της πυκνότητας είναι 1,376 τόνοι ανά κυβικό μέτρο. Η κεντρική εκτίμηση σχεδιασμού που προκύπτει είναι περίπου 29,1 χιλιάδες τόνοι τον χρόνο.

Με την ίδια βασική επιλογή λεκανών, η αβεβαιότητα ως προς την πυκνότητα δίνει εύρος 24,3 έως 34,5 χιλιάδων τόνων τον χρόνο. Αν αλλάξουν και οι παραδοχές για τον αντιπροσωπευτικό ρυθμό μεταφοράς στις λεκάνες της Πρέσπας, το συνολικό εύρος σχεδιασμού διευρύνεται σε 14,9 έως 62,7 χιλιάδες τόνους τον χρόνο. Τα δύο εύρη περιγράφουν διαφορετικές πηγές αβεβαιότητας. Το ευρύτερο εύρος συγκρίνει εναλλακτικά σενάρια χωρίς να τους αποδίδει πιθανότητες· δεν είναι διάστημα εμπιστοσύνης 90%.

Η βασική εκτίμηση σχεδιασμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αρχικές συγκρίσεις και για τον σχεδιασμό ενός προγράμματος μέτρησης των φερτών υλικών στην εκβολή. Η επιβεβαίωση της πραγματικής ετήσιας μεταφοράς του π. Αγίου Γερμανού απαιτεί μετρήσεις στον ίδιο τον ποταμό.

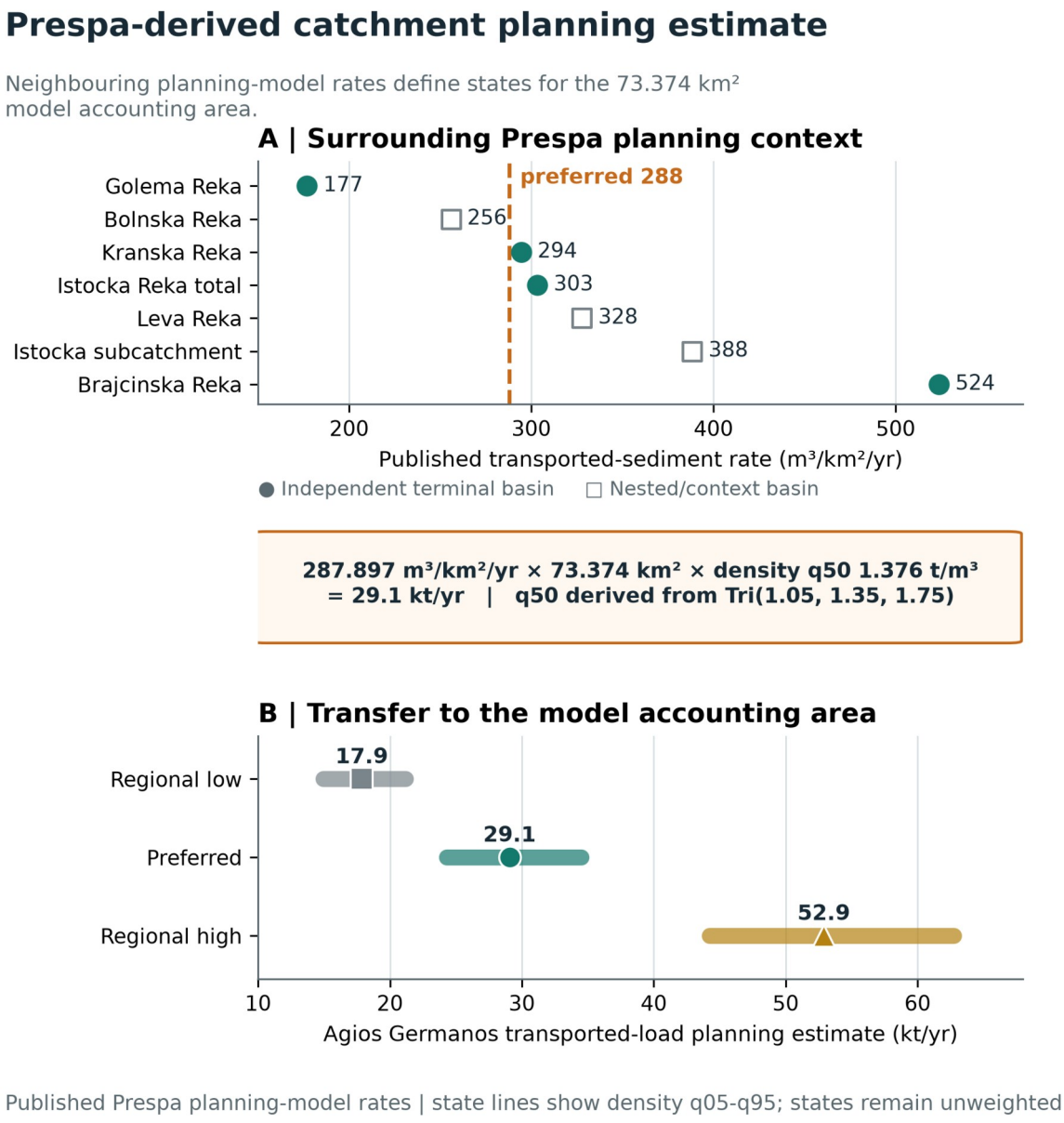


Figure 12: MR07. Prespa-derived catchment planning estimate. A preferred specific transported- sediment rate of 287.897 m³ km⁻² yr⁻¹ is applied to 73.374 km² and converted using the governed dry bulk-density distribution, giving a working centre of 29.1 kt/yr.

4.5 Τι προσφέρουν οι συγκρίσεις με άλλους ποταμούς

Η γειτονική λεκάνη Brajčinska, με παρόμοια έκταση, δίνει διάμεση εκτίμηση 51.676 τόνων τον χρόνο μετά τη μετατροπή του όγκου σε μάζα. Η Brajčinska έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στη σύγκριση με τις λεκάνες της Πρέσπας. Εδώ παρουσιάζεται χωριστά για έλεγχο της τάξης μεγέθους και δεν προστίθεται ούτε συνδυάζεται ξανά ως ανεξάρτητο αποτέλεσμα.

Μια ξεχωριστή σχέση για ποταμούς των Γαλλικών Άλπεων δίνει, για την έκταση της λεκάνης του π. Αγίου Γερμανού, περίπου 63.655 τόνους τον χρόνο. Οι διαφορετικές παραδοχές για τη μεταφορά αυτής της σχέσης σε άλλη περιοχή δίνουν μεγάλο εύρος, από 20.769 έως 175.767 τόνους τον χρόνο. Παράλληλα, μετρήσεις χονδρόκοκκων υλικών που κινούνται κοντά στον πυθμένα σε αυστριακές λεκάνες παρόμοιου μεγέθους κυμαίνονται από 4.560 έως 30.684 τόνους τον χρόνο.

Οι συγκρίσεις βοηθούν να ελεγχθεί αν οι εκτιμήσεις βρίσκονται σε εύλογη τάξη μεγέθους. Αφορούν, όμως, διαφορετικές μεθόδους, περιοχές και κατηγορίες υλικού. Διατηρούνται ως χωριστά στοιχεία αναφοράς και δεν συνδυάζονται σε έναν κοινό μέσο όρο.

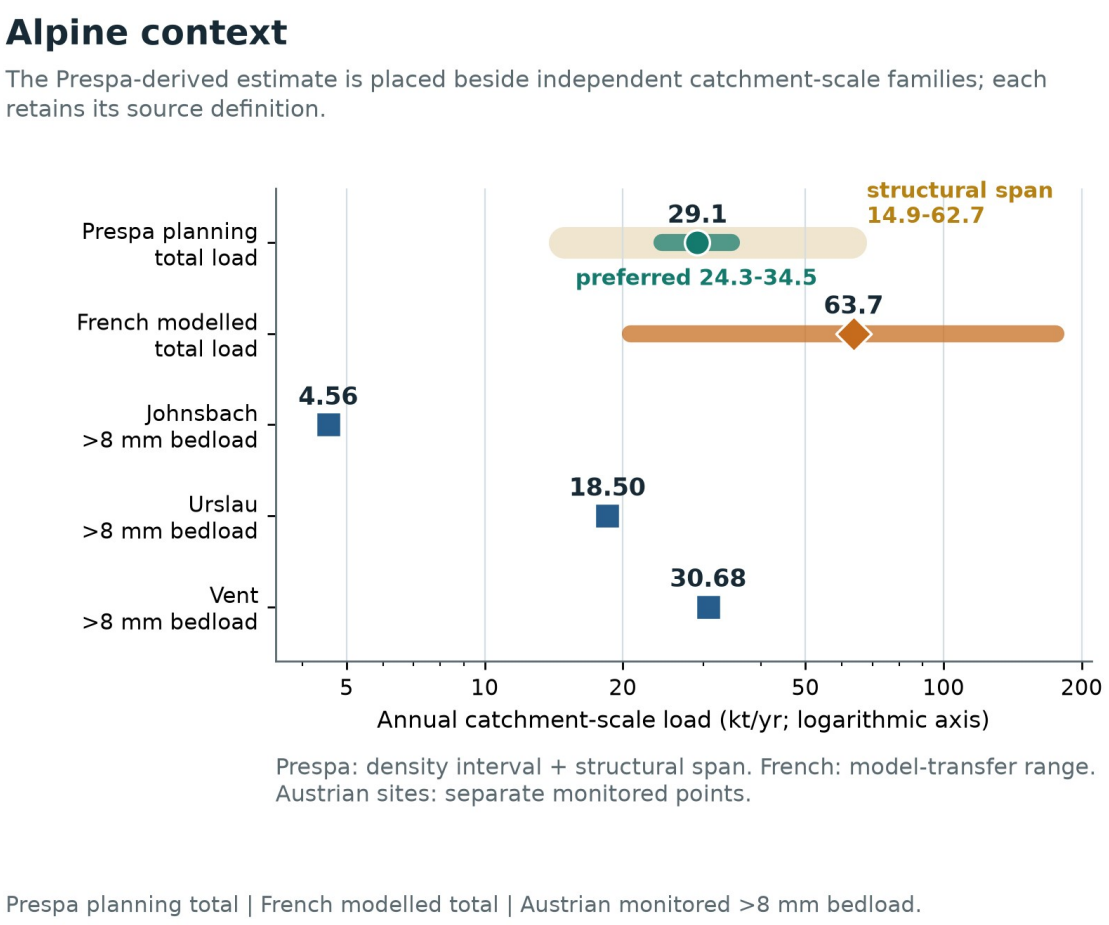


Figure 13: MR18. Catchment-scale context. Neighbouring Prespa rates establish the preferred planning family. The French Alpine scaling point and its transferability range, and Austrian monitored bedload at similar drainage areas, remain separate contextual families rather than pooled observations.

4.6 Η μετακίνηση από τη χονδρόκοκκη απόθεση M20

Ένας ακόμη υπολογισμός εξετάζει τη μετακίνηση υλικού διαμέτρου μεγαλύτερης από 50 χιλιοστά από τη συγκεκριμένη απόθεση M20. Η διάμεσος είναι 0,47 τόνοι τον χρόνο στο σενάριο αναφοράς και 65,78 τόνοι τον χρόνο στο σενάριο όπου η διέλευση διευκολύνεται κατά τα επεισόδια ροής.

Η μεγάλη διαφορά δείχνει πόσο επηρεάζεται το αποτέλεσμα από τις συνθήκες που επιτρέπουν ή περιορίζουν την κίνηση. Ο υπολογισμός αφορά μια απόθεση με πεπερασμένο απόθεμα και συγκεκριμένη κατηγορία μεγέθους. Δεν εκφράζει τη συνολική μεταφορά φερτών υλικών του ποταμού και δεν αποτελεί πρόβλεψη της ποσότητας που θα απελευθερωθεί αν απομακρυνθεί η HM13.

4.7 Πώς διαβάζονται τα εύρη στα γραφήματα

Στα γραφήματα, η διάμεσος είναι η κεντρική τιμή των αποτελεσμάτων ενός συγκεκριμένου μοντέλου ή σεναρίου. Το εύρος q05 έως q95 περιλαμβάνει το μεσαίο 90% των αποτελεσμάτων όταν μεταβάλλονται οι παράμετροι μέσα στα όρια που έχουν τεθεί. Περιγράφει τη μεταβολή μέσα σε εκείνο το μοντέλο και δεν περιλαμβάνει όλες τις πιθανές πηγές αβεβαιότητας.

Τα πιο ανοιχτόχρωμα εύρη δείχνουν συνήθως τη διαφορά μεταξύ εναλλακτικών παραδοχών ή μεθόδων. Δεν έχουν αποδοθεί πιθανότητες σε αυτές τις εναλλακτικές. Οι χωριστές ομάδες τιμών αντιστοιχούν σε διαφορετικές περιοχές ή διαφορετικές κατηγορίες υλικών.

Οι υπολογισμοί δείχνουν και πού αξίζει να εστιαστεί η επόμενη συλλογή στοιχείων. Στη Μ2 χρειάζεται καλύτερη γνώση της τοπικής ροής. Για την τροφοδοσία από τις όχθες χρειάζονται διαστάσεις και ρυθμοί διάβρωσης. Για τις αποθέσεις χρειάζεται να προσδιοριστεί το κινητό απόθεμα. Στην κλίμακα της λεκάνης χρειάζεται παρακολούθηση της πραγματικής μεταφοράς σε σταθερή θέση.

5 Οι τρεις διαβάσεις και οι επιλογές αποκατάστασης

5.1 Κοινή προσέγγιση με διαφορετική έμφαση σε κάθε θέση

Οι HM13, HM14 και HM15 βρίσκονται στην ίδια διαδρομή του νερού και των φερτών υλικών, αλλά σε διαφορετικές τοπικές συνθήκες. Η μελέτη τις εξετάζει με κοινά κριτήρια, διατηρώντας χωριστά τα στοιχεία και τα ζητήματα κάθε θέσης. Έτσι μπορεί να συγκριθεί τόσο η απόκριση μιας μεμονωμένης διάβασης όσο και η επίδραση διαδοχικών επεμβάσεων στο σύνολο του ποταμού.

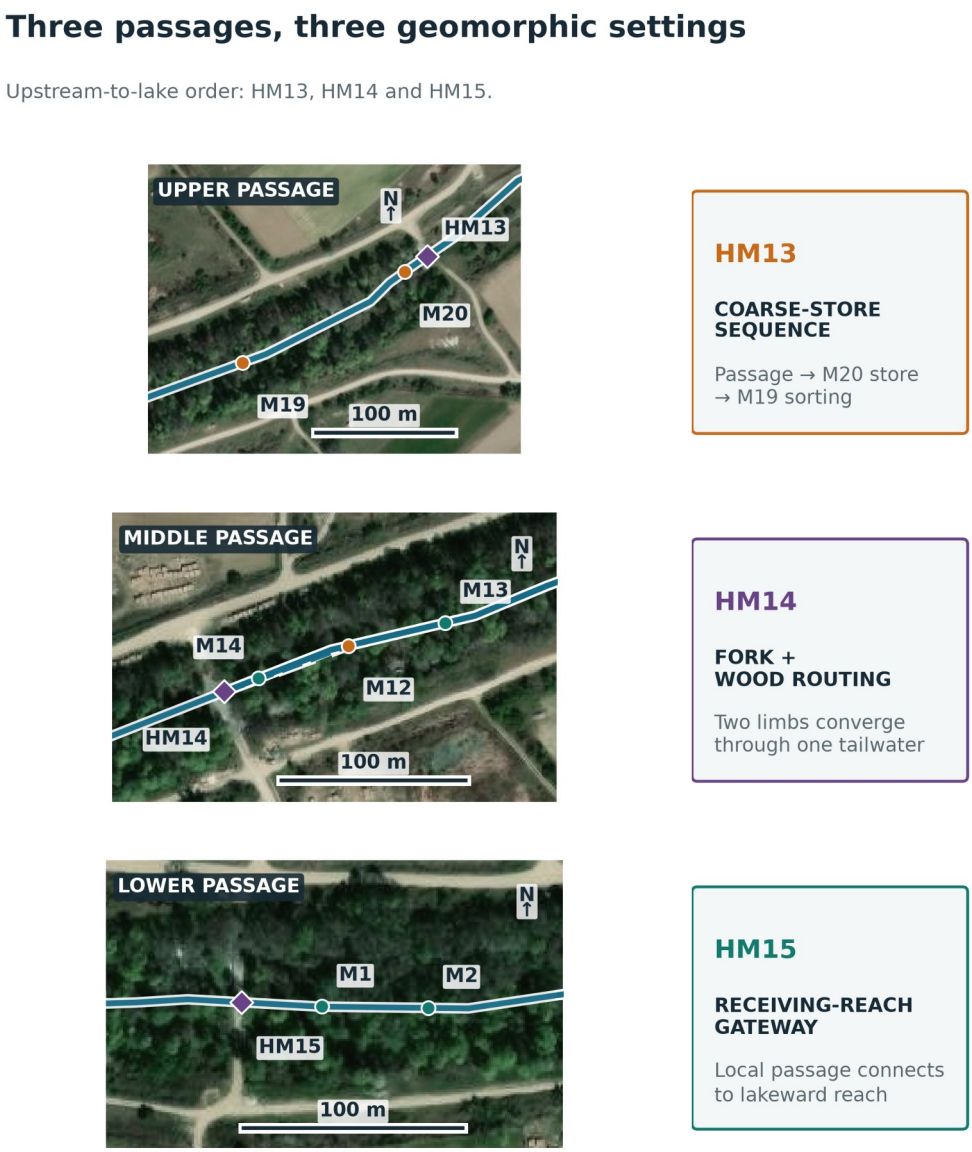


Figure 14: MR08. Three-passage location atlas. HM13 is followed by the M20 and M19 stores; HM14 lies within the fork and tailwater complex; and HM15 marks the transition from the observed corridor to the lakeward receiving reach.

5.2 Τι γνωρίζουμε από τις τοπογραφικές μετρήσεις

Οι μετρήσεις RTK είναι δορυφορικές τοπογραφικές μετρήσεις που καταγράφουν τη θέση σημείων στον χώρο. Το αρχείο που παραλήφθηκε περιλαμβάνει 3.659 σημεία γύρω από τις τρεις διαβάσεις. Προσφέρει πυκνή κάλυψη και βοηθά να συνδεθούν οι χάρτες με τις φωτογραφίες, τα δείγματα και τις παρατηρήσεις πεδίου.

Η παραληφθείσα αποτύπωση αξιοποιείται στην παρούσα μελέτη για τον εντοπισμό των διαβάσεων και τη χωρική συσχέτιση των στοιχείων. Στην ελεγμένη έκδοση δεδομένων της 10ης Αυγούστου 2026, η οριζόντια θέση ερμηνεύεται με την παραδοχή EPSG:2100 και δεν έχει τεκμηριωθεί πλήρως το υψομετρικό σύστημα αναφοράς. Πριν από τη διαστασιολόγηση έργων, τα συνοδευτικά στοιχεία του τοπογράφου και τυχόν μεταγενέστερες διευκρινίσεις πρέπει να αντιστοιχιστούν σε αυτή την έκδοση, ώστε να επιβεβαιωθούν η ακρίβεια, η τελική διορθωμένη έκδοση και η καταλληλότητα των σημείων για υψομετρικές διαφορές και γεωμετρία έργων.

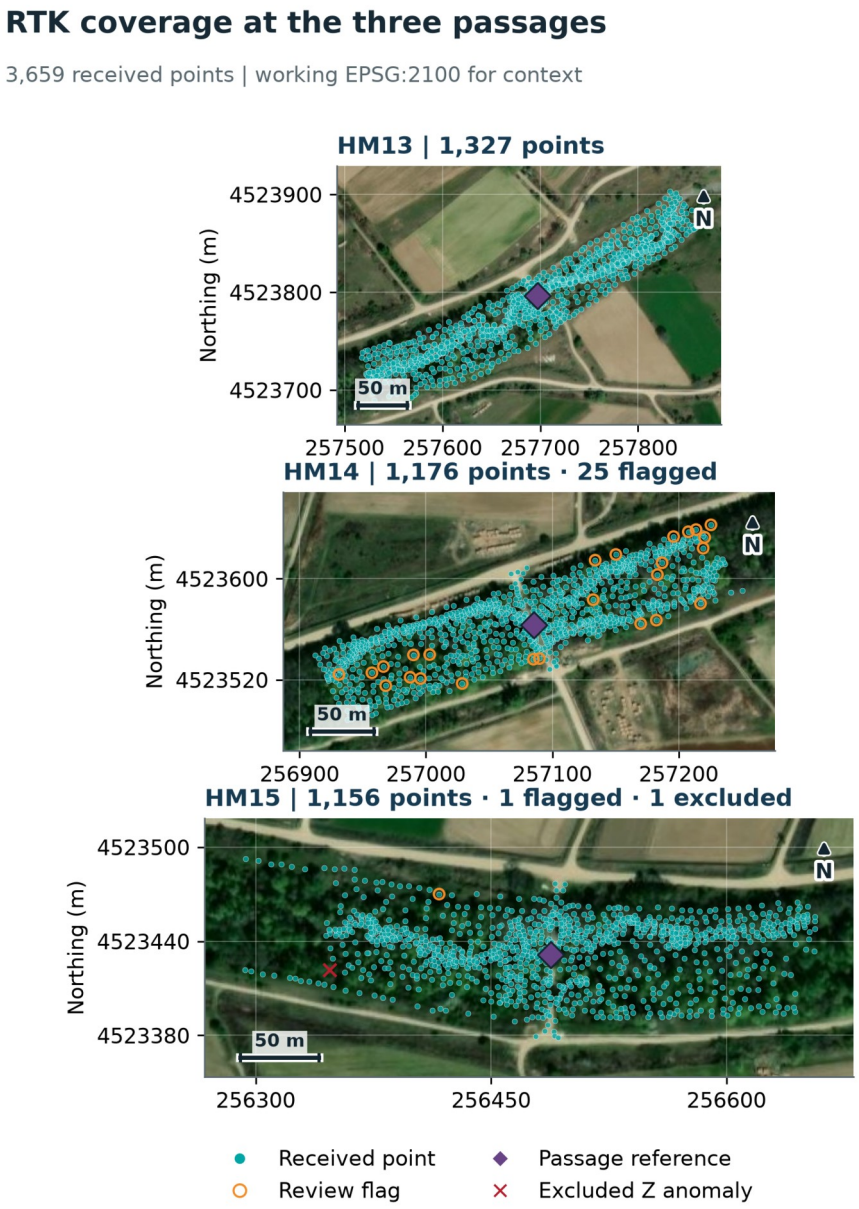


Figure 15: MR09. RTK coverage at HM13–HM15. The 3,659 received points provide dense local spatial context. The dated context release passed 6 of 6 controlled checks for identity, provenance, context use, association integrity, report-safe content and reproducibility.

Διάβαση	Σημεία που παραλήφθηκαν	Αποτέλεσμα ελέγχου
HM13	1.327	Εντοπίστηκαν και διαχωρίστηκαν 27 πλεονάζουσες εγγραφές με ακριβώς ίδιες συντεταγμένες.
HM14	1.176	Επισημάνθηκαν 25 εγγραφές που χρειάζονται προσεκτικότερο έλεγχο.
HM15	1.156	Επισημάνθηκε μία εγγραφή για έλεγχο και αποκλείστηκε μία άλλη με σοβαρή ασυμφωνία υψομέτρου.

Το αρχείο πέρασε τους έξι ελέγχους που αφορούν την ταυτότητα, την προέλευση, τη συσχέτιση, την παρουσίαση και την αναπαραγωγή των στοιχείων για αυτή τη χρήση. Η επιτυχία των ελέγχων δεν μετατρέπει από μόνη της τα σημεία σε οριστικά δεδομένα διαστασιολόγησης έργων.

Ο έλεγχος για το επόμενο στάδιο αφορά επίσης το χαρακτηριστικό που αποτυπώνει κάθε σημείο: πυθμένα, όχθη, κατασκευή, άκρη δρόμου ή άλλο στοιχείο. Η βλάστηση δυσκολεύει τοπικά την αναγνώριση των ορίων. Θα χρησιμοποιηθούν πρώτα η υπάρχουσα αποτύπωση και τυχόν διαθέσιμη κωδικοποίηση ή διευκρινίσεις του παρόχου. Συμπληρωματικά στοιχεία ή μετρήσεις θα ζητηθούν μόνο για συγκεκριμένα κενά που θα παραμείνουν μετά τον έλεγχο. Η αναφορά αυτή δεν αποτελεί αίτημα επανάληψης ολόκληρης της αποτύπωσης.

Η κάλυψη γύρω από την ΗΜ15 αφορά την περιοχή της ίδιας της διάβασης. Για τον σχεδιασμό θα ελεγχθεί χωριστά αν τα διαθέσιμα στοιχεία καλύπτουν και το τμήμα των 1,76 χιλιομέτρων μέχρι τη λίμνη. Πρόσθετη αποτύπωση χρειάζεται μόνο όπου η υπάρχουσα κάλυψη δεν επαρκεί για τα συγκεκριμένα ερωτήματα του σχεδιασμού.

5.3 ΗΜ13 και οι αποθέσεις που ακολουθούν

Στην ΗΜ13, το κεντρικό ερώτημα είναι πώς θα ανταποκριθούν οι αποθέσεις Μ20 και Μ19 σε μια αλλαγή της διάβασης. Οι φωτογραφίες, οι περιγραφές και οι επτά επιφανειακές καταμετρήσεις τεκμηριώνουν τη σημερινή ακολουθία: πιο χονδρόκοκκο υλικό κοντά στη διάβαση και πιο ανάμικτο υλικό χαμηλότερα.

Κάθε επιλογή αποκατάστασης χρειάζεται να εξετάζει ποιο μέρος των αποθέσεων θα παραμείνει στη θέση του, ποιο μπορεί να κινηθεί και πού μπορεί να συγκεντρωθεί ξανά. Σημασία έχει τόσο η ποσότητα όσο και το μέγεθος των υλικών, καθώς και ο διαθέσιμος χώρος για την αναδιαμόρφωση της κοίτης.

Στο επόμενο στάδιο σχεδιασμού θα αξιοποιηθεί η αποτύπωση που έχει ήδη παραληφθεί για τη στέψη και την πλάκα της διάβασης. Θα ελεγχθεί επίσης η κάλυψη της ανάντη κοίτης, δηλαδή της μορφής και των συνθηκών με τις οποίες το νερό φτάνει στη διάβαση, της κοίτης αμέσως χαμηλότερα και των αποθέσεων. Μόνο τυχόν κενά θα συμπληρωθούν με νέες μετρήσεις. Έτσι μπορεί να συγκριθεί η συμπεριφορά των επιλογών και η επίδρασή τους στα επόμενα τμήματα.

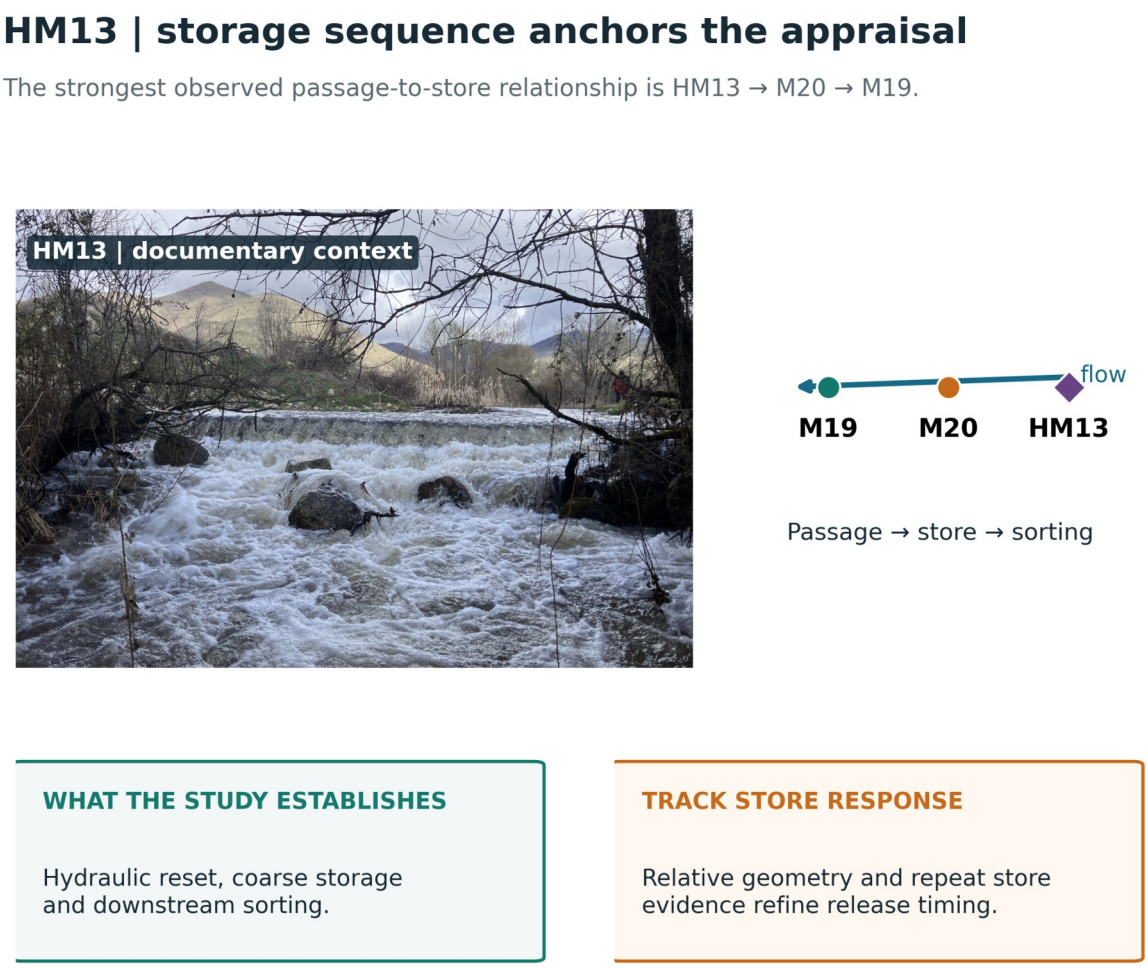


Figure 16: MR10. HM13 evidence-to-action synthesis. The observed HM13–M20–M19 sequence makes stored-material response, sorting and downstream adjustment space the principal geomorphic tests for each option.

5.4 HM14 και η κατανομή της ροής στους κλάδους

Η HM14 βρίσκεται σε σύστημα δύο κύριων κλάδων με πρόσθετες τοπικές διακλαδώσεις γύρω από νησίδες και συσσωρεύσεις ξυλώδους υλικού. Συνυπάρχουν αποθέσεις και γειτονική υποδομή κοινής ωφέλειας. Η υφιστάμενη ιχθυόσκαλα έχει κριθεί ανεπαρκής στην προγενέστερη μελέτη σκοπιμότητας (Δεμερτζή και συν., 2025, σ. 58). Η αποτελεσματικότητά της χρειάζεται ειδικό έλεγχο για τα είδη ψαριών που επιδιώκεται να εξυπηρετήσει και τις σχετικές παροχές. Η εικόνα αναφοράς στο Σχήμα 17 προέρχεται από προγενέστερη τεκμηρίωση και δεν αποτελεί δοκιμή λειτουργίας της ιχθυόσκαλας. Τα στοιχεία της θέσης πρέπει να εξεταστούν μαζί, καθώς μια αλλαγή στη διάβαση επηρεάζει την κατανομή του νερού και των φερτών υλικών. Η διέλευση των ψαριών παραμένει βασικό κριτήριο αξιολόγησης.

Η ανάλυση περιλαμβάνει τους δύο κλάδους πριν από τη διάβαση και τη συνέχεια στις M12 και M11 αμέσως χαμηλότερα. Η σημερινή παραδοχή ίσης κατανομής μεταξύ των κλάδων χρησιμοποιείται για τη σύγκριση σεναρίων. Η πραγματική κατανομή πρέπει να μετρηθεί για να στηρίξει τον σχεδιασμό.

Η υπάρχουσα αποτύπωση θα ελεγχθεί ως προς την κάλυψη των κλάδων, της διάβασης και της κατασκευής διέλευσης ψαριών. Χρειάζονται επίσης επιβεβαίωση της θέσης των υποδομών και παρατηρήσεις της κατανομής της ροής και των υλικών. Οι κορμοί, οι αποθέσεις και η κατάσταση των συρματοκιβωτίων πρέπει να συνεκτιμηθούν. Πρόσθετες μετρήσεις και τυχόν εργασίες συντήρησης θα προσδιοριστούν από αυτόν τον έλεγχο.

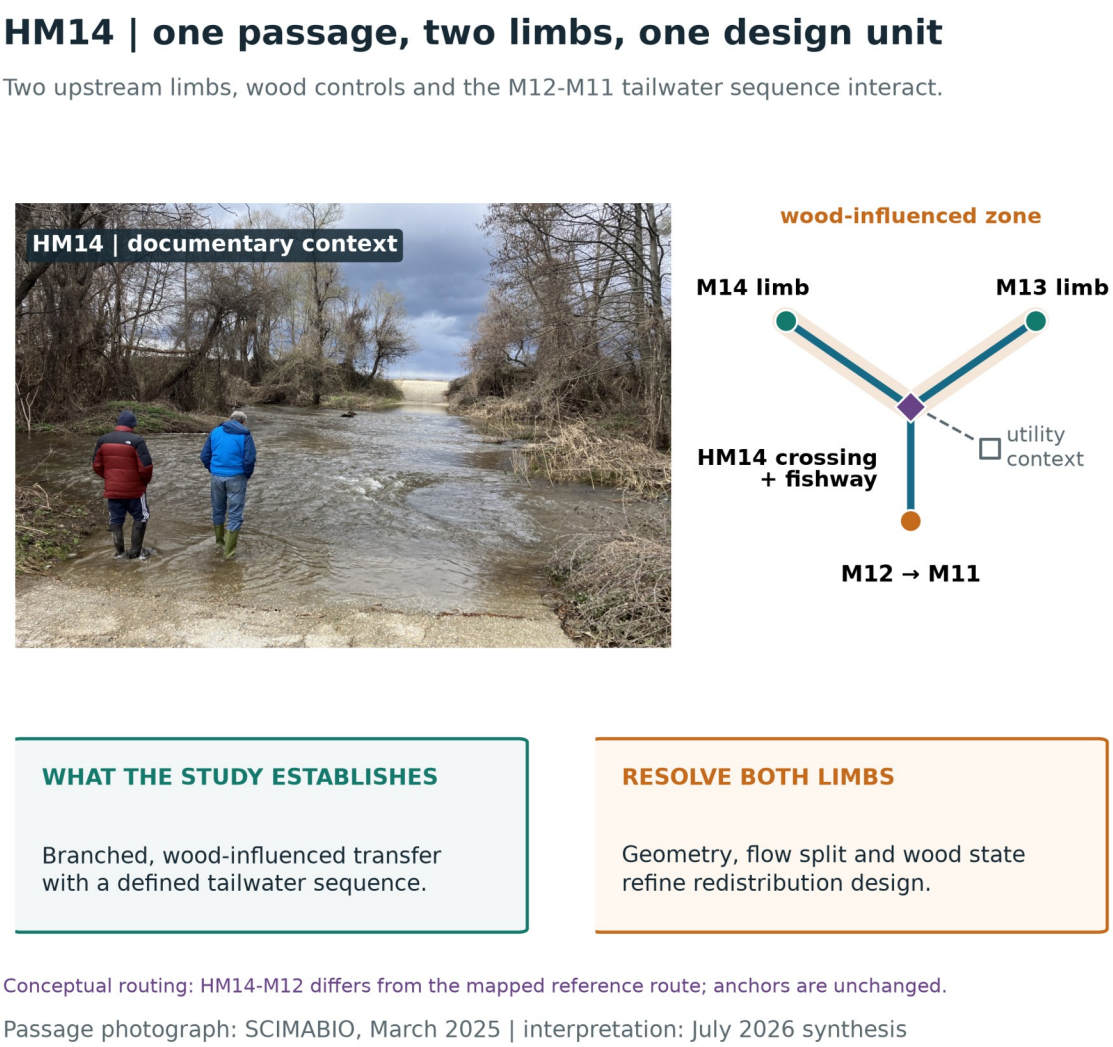


Figure 17: MR11. HM14 evidence-to-action synthesis. Passage geometry, branch routing, wood, the M12–M11 tailwater sequence, the existing fishway and nearby utility form one local design unit. The documentary photograph comes from the SCIMABIO reference archive, not the July 2026 survey. The fishway was assessed as inadequate in the 2025 feasibility study; its presence does not establish effective passage.

5.5 HM15 και το τμήμα μέχρι τη Μεγάλη Πρέσπα

Η HM15 βρίσκεται στο όριο ανάμεσα στο χαμηλότερο τμήμα που έχει παρατηρηθεί στο πεδίο και στη συνέχεια του ποταμού προς τη λίμνη. Εδώ η αξιολόγηση χρειάζεται να δώσει έμφαση στην πιθανή διάβρωση, στην απόθεση υλικών και στις αλλαγές του υψομέτρου του πυθμένα μετά από μια επέμβαση.

Για το επόμενο στάδιο σχεδιασμού θα ελεγχθεί αν η παραληφθείσα αποτύπωση καλύπτει συνεχώς τη διάβαση, το σημείο απότομης πτώσης της κοίτης και τη βαθύτερη θέση που ακολουθεί. Θα αξιοποιηθούν τα επαρκώς τεκμηριωμένα σημεία και θα συμπληρωθούν μόνο τα κενά που

επηρεάζουν τη σύγκριση των επιλογών. Η συνέχεια μέχρι τη λίμνη εξετάζεται χωριστά, μαζί με τη στάθμη της κατά την περίοδο αναφοράς.

Η σύνδεση με τη Μεγάλη Πρέσπα είναι μέρος της ίδιας εξέτασης. Η γεωμετρία του ποταμού και η στάθμη της λίμνης πρέπει να χρησιμοποιηθούν μαζί για να εκτιμηθεί η ροή στο χαμηλότερο τμήμα. Οι θέσεις παρακολούθησης θα επιλεγούν έτσι ώστε να καταγράφουν τόσο την τοπική αλλαγή στην HM15 όσο και την απόκριση μέχρι την εκβολή.

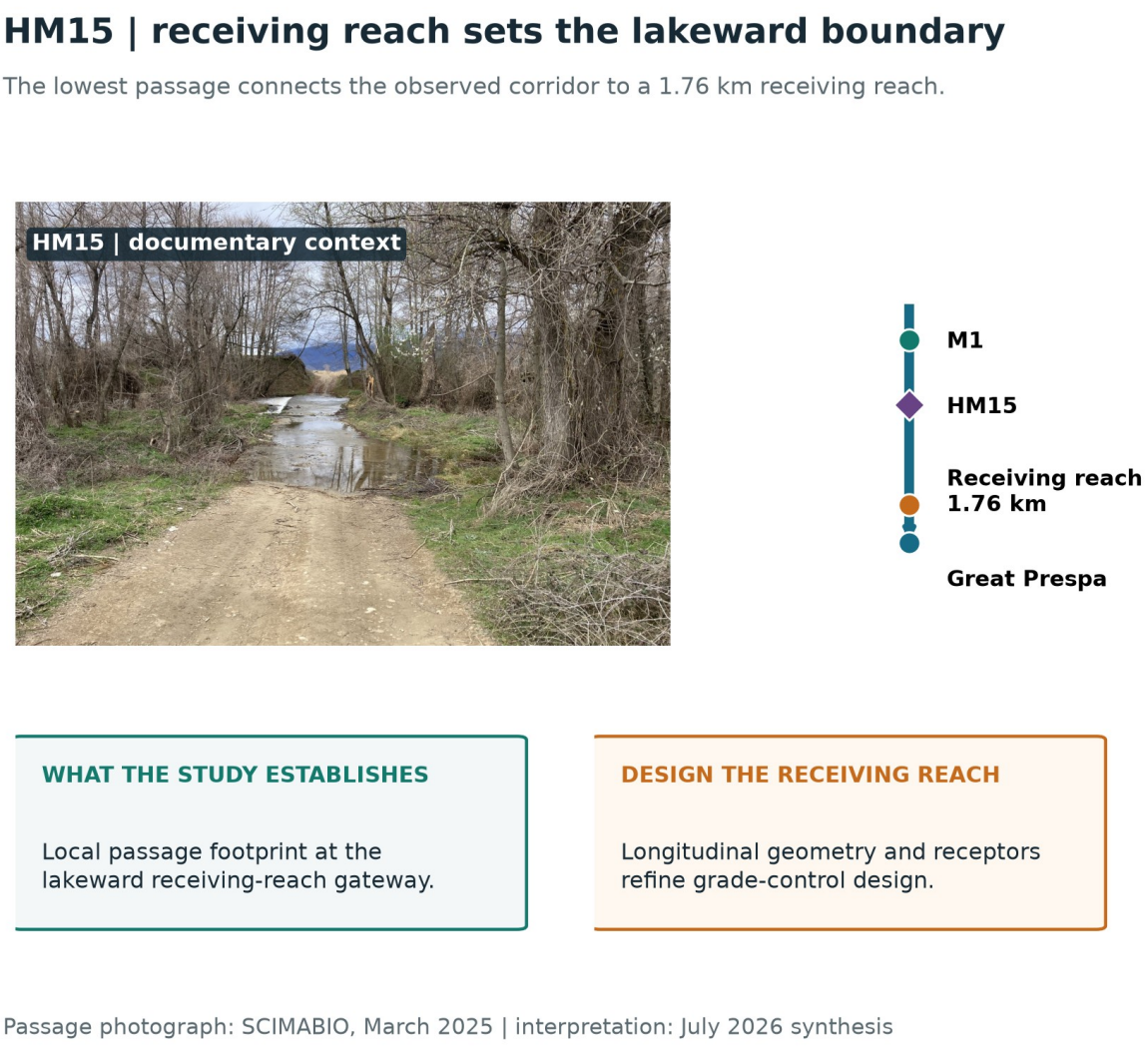


Figure 18: MR12. HM15 evidence-to-action synthesis. HM15 marks the transition between the observed lower corridor and the receiving reach, making downstream erosion, deposition, grade response and monitoring locations central to appraisal.

5.6 Ποιες επιλογές αποκατάστασης χρειάζεται να συγκριθούν

Η προκαταρκτική μελέτη σκοπιμότητας του Οκτωβρίου 2025 προτείνει ως αρχική ιδέα τη συνδυασμένη απομάκρυνση των τριών διαβάσεων, την αποκατάσταση της πτώσης της κοίτης στην HM15 και την αντικατάσταση των τριών οδικών συνδέσεων από μία γέφυρα (Δεμερτζή και συν., 2025). Η παρούσα μελέτη εξετάζει αυτή την κατεύθυνση μαζί με τις υπόλοιπες επιλογές.

Επιλογή	Βασικό ερώτημα για την αξιολόγηση
Διατήρηση και παρακολούθηση	Μπορεί η σημερινή λειτουργία να διατηρηθεί με επιθεωρήσεις, συντήρηση και σαφή όρια που ενεργοποιούν παρέμβαση;
Επιλεκτική τροποποίηση	Μπορεί να βελτιωθεί η διέλευση νερού, υλικών ή ψαριών, διατηρώντας όσα στοιχεία της κατασκευής εξακολουθούν να είναι χρήσιμα;
Σταδιακή απομάκρυνση	Μπορεί να αξιολογηθεί η απόκριση της πρώτης επέμβασης πριν προχωρήσει η επόμενη;
Πλήρης απομάκρυνση	Ποια είναι τα συνολικά οφέλη και οι συνέπειες για τη λειτουργία του ποταμού, την οικολογία, τις κατασκευές και την πρόσβαση;

Όλες οι επιλογές αποκατάστασης χρειάζεται να αξιολογηθούν ως προς την κίνηση των υλικών, τη διάβρωση και τις αποθέσεις, τη ροή και τη σταθερότητα της κοίτης. Στην ίδια σύγκριση εντάσσονται η οικολογική συνέχεια, η ασφάλεια των κατασκευών, οι γειτονικές υποδομές, η πρόσβαση και οι επιπτώσεις της κατασκευαστικής περιόδου.

Ειδικά για τη σταδιακή εφαρμογή, πρέπει να έχουν συμφωνηθεί η σειρά των ενεργειών, η περίοδος παρακολούθησης, οι υπεύθυνοι και τα όρια που οδηγούν σε συνέχιση, παύση ή προσαρμογή. Η κατάταξη των σημείων από το μοντέλο συνδεσιμότητας βοηθά στην έρευνα και στην παρακολούθηση, αλλά δεν αρκεί για να ορίσει σειρά απομάκρυνσης των διαβάσεων.

6 Από τη μελέτη στον σχεδιασμό των έργων

6.1 Ποια στοιχεία χρειάζονται στη συνέχεια

Η μελέτη συγκεντρώνει την υφιστάμενη εικόνα του ποταμού, τις βασικές ποσοτικές εκτιμήσεις και τα ιδιαίτερα ζητήματα κάθε διάβασης. Το επόμενο στάδιο είναι να εξεταστούν οι εναλλακτικές λύσεις αποκατάστασης με τη γεωμετρική, υδραυλική, οικολογική και κατασκευαστική λεπτομέρεια που απαιτεί ο σχεδιασμός έργων.

Οι πρόσθετες μετρήσεις μπορούν να εστιαστούν στα στοιχεία που επηρεάζουν περισσότερο την επιλογή. Στη M2 προέχουν οι συνθήκες τοπικής ροής. Στην HM13 προέχουν οι αποθέσεις και η δυνατότητα μετακίνησής τους. Στην HM14 χρειάζεται να μελετηθούν οι δύο κύριοι κλάδοι και οι μεταξύ τους ανταλλαγές. Στην HM15 χρειάζεται η συνέχεια της κοίτης μέχρι τη λίμνη.

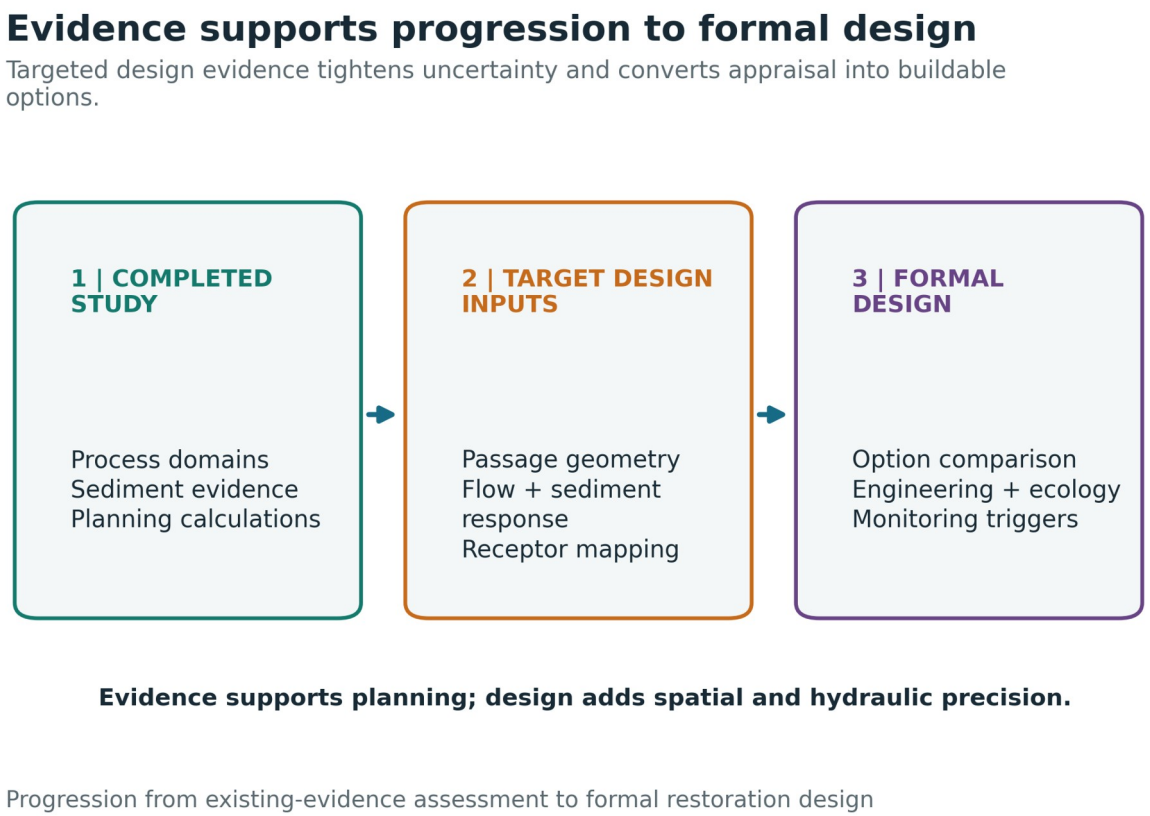


Figure 19: MR13. Progression from the completed study to formal restoration design. New information targets the assumptions with greatest design influence, converting the current bounded planning basis into selected, sized and monitored works.

Για κάθε υποψήφια επέμβαση αποκατάστασης χρειάζονται ελεγμένες διατομές και στάθμες της διάβασης, της κοίτης, των οχθών και των αποθέσεων. Αυτές θα συνδεθούν με τις παροχές στον Λαιμό, ώστε να εκτιμηθούν το βάθος και η ταχύτητα του νερού, η πιθανή άνοδος της στάθμης πριν από μια κατασκευή, η υποσκαφή και η σταθερότητα των έργων.

Παράλληλα, πρέπει να προσδιοριστούν τα υλικά που μπορούν να κινηθούν και οι θέσεις όπου μπορεί να αποτεθούν. Η ανάλυση θα εξετάσει την υφιστάμενη κατάσταση και τις προτεινόμενες διαμορφώσεις με τα ίδια κριτήρια. Οι διαθέσιμοι υπολογισμοί της μελέτης αποτελούν αφετηρία που μπορεί να βελτιώνεται καθώς προστίθενται νέες μετρήσεις.

Η επιλογή έργου αποκατάστασης χρειάζεται επίσης να συνυπολογίζει τα ενδιαιτήματα και τα είδη, τις κατάλληλες περιόδους εργασιών, την πρόσβαση, την ιδιοκτησία, τις υποδομές, τη διαχείριση των υλικών και τις απαιτούμενες άδειες. Το τελικό αποτέλεσμα για κάθε διάβαση και για το σύνολό τους πρέπει να περιλαμβάνει επιλεγμένη λύση, σχέδια, τις απαιτούμενες εργασίες και τις ποσότητές τους, όπως όγκους εκσκαφής ή υλικών που θα απομακρυνθούν, τρόπο κατασκευής, πρόγραμμα παρακολούθησης και προβλεπόμενες διορθωτικές ενέργειες με εξασφαλισμένους πόρους.

6.2 Πώς θα παρακολουθούνται οι αλλαγές

Η παρακολούθηση πρέπει να ξεκινήσει πριν από τα έργα. Έτσι η κατάσταση μετά από μια επέμβαση μπορεί να συγκριθεί με συγκεκριμένες καταγραφές της προηγούμενης κατάστασης. Χρειάζονται σταθερές θέσεις φωτογράφησης και επαναλαμβανόμενες διατομές στις διαβάσεις, στις σημαντικές αποθέσεις και στα χαμηλότερα σημεία που μπορεί να επηρεαστούν.

Το πρόγραμμα παρακολούθησης πρέπει να συνδέει τις αλλαγές της κοίτης με τις στάθμες και τις παροχές. Μετά από προκαθορισμένα επεισόδια ροής, θα καταγράφονται η διάβρωση, οι νέες αποθέσεις, η μεταβολή των νησίδων και το μέγεθος των υλικών. Στο ίδιο αρχείο θα παρακολουθούνται οι σημαντικοί κορμοί, η κατάσταση των ενδιαιτημάτων και η διέλευση των ψαριών. Μια σταθερή θέση μέτρησης χαμηλότερα στον ποταμό θα βοηθήσει στον έλεγχο της πραγματικής μεταφοράς φερτών υλικών.

Η οικολογική και γεωμορφολογική λειτουργία του ξύλου πρέπει να συνεκτιμάται με την ασφάλεια, τις υποδομές και τη ροή. Η υπέρβαση ενός ορίου παρακολούθησης ενεργοποιεί αξιολόγηση και δεν αποτελεί αυτόματη εντολή καθαρισμού της κοίτης. Πριν προταθεί απομάκρυνση ξύλων, απαιτείται μελέτη από ερευνητή με σχετική εμπειρία σε ποτάμια προστατευόμενων περιοχών. Η τελική αντιμετώπιση και η αιτιολόγησή της καταγράφονται.

6.3 Η σειρά εφαρμογής

1. Επιβεβαιώνεται η αρχική εικόνα του ποταμού, οι ρόλοι των διαβάσεων και η σωστή χρήση των ποσοτικών εκτιμήσεων. Κάθε θέση τεκμηριώνεται με τις αντίστοιχες μετρήσεις, φωτογραφίες και χάρτες.

2. Συγκρίνονται οι επιλογές διατήρησης, τροποποίησης, σταδιακής και πλήρους απομάκρυνσης με κοινά κριτήρια.

3. Συμπληρώνονται οι στοχευμένες μετρήσεις που χρειάζονται για την επιλογή και τη διαστασιολόγηση των καταλληλότερων λύσεων αποκατάστασης.

4. Καταγράφεται η κατάσταση πριν από τα έργα, εφαρμόζεται η πρώτη ενέργεια και αξιολογείται η απόκριση. Τα συμφωνημένα όρια παρακολούθησης καθορίζουν αν η συνέχεια θα προχωρήσει όπως σχεδιάστηκε ή αν χρειάζεται προσαρμογή.

Με αυτόν τον τρόπο, κάθε νέο στοιχείο βελτιώνει το αντίστοιχο τμήμα της ανάλυσης. Η μελέτη παραμένει το κοινό σημείο αναφοράς για τις αποφάσεις, ενώ ο σχεδιασμός γίνεται σταδιακά πιο συγκεκριμένος.

7 Συμπεράσματα

Ο ποταμός του Αγίου Γερμανού συνδέει πηγές φερτών υλικών με διαδοχικές θέσεις προσωρινής απόθεσης. Οι παρατηρήσεις δείχνουν σαφή μετάβαση από τον βράχο και τους ογκόλιθους των ορεινών τμημάτων στις αποθέσεις, στις όχθες, στους κορμούς και στα τεχνικά έργα της χαμηλότερης κοίτης. Υλικό που συγκρατείται σήμερα σε μία θέση μπορεί να κινηθεί ξανά και να επηρεάσει χαμηλότερα τμήματα. Κάθε επέμβαση χρειάζεται επομένως να εξετάζεται και ως μέρος αυτής της ακολουθίας.

Οι καταγραφές ροής δείχνουν ότι δύο έτη με ίδιο αριθμό επεισοδίων υψηλής παροχής μπορούν να προσφέρουν πολύ διαφορετικές συνθήκες για την κίνηση των υλικών. Το 2022 είχε υπερδιπλάσια συνολική διάρκεια υψηλών παροχών από το 2021. Η χρονική αυτή διάσταση χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψη στην ερμηνεία των αλλαγών του ποταμού και στην παρακολούθηση των έργων. Η μεγαλύτερη διάρκεια της ισχυρής ροής δεν αποτελεί από μόνη της μέτρηση της ποσότητας που μεταφέρθηκε.

Οι ποσοτικές εκτιμήσεις απαντούν σε διαφορετικά ερωτήματα. Ο υπολογισμός στη δειγματισμένη ενεργή επιφάνεια της ενότητας M2 εξαρτάται έντονα από τη μέθοδο και τις παραδοχές για την τοπική ροή. Η τοπική είσοδος υλικών από όχθες και συρματοκιβώτια αφορά το κατώτερο δίκτυο M1 έως M20, μήκους περίπου 1,54 χιλιομέτρων μαζί με τους κύριους κλάδους, με διαμέσους 4,4 και 6,6 τόνων τον χρόνο για τα υδρολογικά έτη 2021 και 2022. Η εκτίμηση των 29,1 χιλιάδων τόνων τον χρόνο αφορά την περιοχή αναφοράς των 73,374 τετραγωνικών χιλιομέτρων και προκύπτει από σύγκριση με λεκάνες της Πρέσπας. Η δυνατότητα μεταφοράς σε μία θέση, η τοπική εισροή και η εκτίμηση στην κλίμακα της λεκάνης περιγράφουν διαφορετικά μεγέθη και δεν προστίθενται μεταξύ τους.

Κάτω από την HM13 καταγράφεται διαδοχή αποθέσεων, με πιο χονδρόκοκκο υλικό κοντά στη διάβαση και πιο ανάμικτο, γενικά λεπτότερο υλικό χαμηλότερα. Στην HM14, το βασικό ζήτημα είναι η κατανομή νερού και υλικών στους κλάδους, μαζί με την αξιολόγηση της διέλευσης των ψαριών και των γειτονικών υποδομών. Η υφιστάμενη ιχθυόσκαλα έχει κριθεί ανεπαρκής και χρειάζεται ειδικό έλεγχο αποτελεσματικότητας. Στην HM15, η αξιολόγηση πρέπει να περιλαμβάνει τη συνέχεια μέχρι τη λίμνη. Η υπάρχουσα τοπογραφική αποτύπωση αποτελεί τη βάση του επόμενου σχεδιασμού, με τους ελέγχους και τις στοχευμένες συμπληρώσεις που περιγράφονται στην ενότητα 5.2.

Η μελέτη ολοκληρώνει τη γεωμορφολογική αξιολόγηση που απαιτείται για τον καθορισμό και τη σύγκριση των επιλογών αποκατάστασης. Οι δύο καταστροφές των παγίδων περιόρισαν τη δυνατότητα άμεσου ελέγχου της μεταφοράς. Η αναγνώριση πηγών, η αναλυτική κοκκομετρία και οι εκτιμήσεις με εύρη αβεβαιότητας τεκμηριώνουν όμως πώς τροφοδοτείται ο ποταμός και πού μπορεί να μετακινηθεί ή να συγκεντρωθεί υλικό. Αυτή η εικόνα της λεκάνης και των συνδεδεμένων τμημάτων είναι ουσιαστική για τις διαβάσεις. Πρόσθετες μετρήσεις παγίδων θα ενίσχυαν την τοπική βαθμονόμηση και, μαζί με επαναλαμβανόμενες αποτυπώσεις, την ποσοτική τεκμηρίωση του επόμενου σχεδιασμού. Τα σημερινά αποτελέσματα επαρκούν για το γεωμορφολογικό σκέλος της παρούσας αξιολόγησης, με τα όρια της ενότητας 1.3.

Το επόμενο βήμα είναι να συγκριθούν οι τέσσερις επιλογές με κοινά κριτήρια, να αξιοποιηθούν οι ελεγμένες τοπογραφικές μετρήσεις και να συμπληρωθούν μόνο συγκεκριμένα κενά. Η παρακολούθηση πρέπει να προηγείται των έργων και να επιτρέπει αλλαγή της σειράς ή του τρόπου επέμβασης. Η απομάκρυνση ξύλων προϋποθέτει την ειδική οικολογική και γεωμορφολογική αξιολόγηση που περιγράφεται στην ενότητα 6. Η παρουσία τους και μόνο δεν αποτελεί λόγο απομάκρυνσης.

Βασικοί όροι και συνοδευτική τεκμηρίωση

Ανάντη και κατάντη. Ανάντη είναι η κατεύθυνση προς τις πηγές του ποταμού. Κατάντη είναι η κατεύθυνση προς την εκβολή, δηλαδή προς τη φορά της ροής.

Κοίτη. Ο χώρος μέσα στον οποίο ρέει το νερό του ποταμού. Η ενεργή κοίτη είναι το τμήμα όπου εξετάζονται η ροή και η μετακίνηση των υλικών.

Φερτά υλικά ή ιζήματα. Άμμος, χαλίκια και μεγαλύτερες πέτρες που μπορούν να μεταφερθούν ή να αποτεθούν από το νερό.

Απόθεση. Συγκέντρωση υλικού σε μια θέση. Στη μελέτη μπορεί να αναφέρεται και ως προσωρινή αποθήκευση, επειδή μέρος του υλικού μπορεί να κινηθεί ξανά.

Συνδεσιμότητα. Η δυνατότητα συνέχισης της κίνησης νερού ή υλικών ανάμεσα σε διαδοχικά τμήματα του ποταμού.

Παροχή. Ο όγκος νερού που περνά από μια θέση ανά δευτερόλεπτο. Στα γραφήματα αναγράφεται συνήθως σε m³/s.

Διάμεσος και q05–q95. Η διάμεσος, ή q50, χωρίζει τα αποτελέσματα στη μέση. Τα q05 και q95 ορίζουν το μεσαίο 90% των αποτελεσμάτων μέσα στο συγκεκριμένο μοντέλο και στις παραδοχές του.

t/yr και kt/yr. Τόνοι ανά έτος και χιλιάδες τόνοι ανά έτος, αντίστοιχα.

WY. Υδρολογικό έτος.

RTK. Μέθοδος δορυφορικής τοπογραφικής αποτύπωσης. Οι προϋποθέσεις χρήσης των μετρήσεων εξηγούνται στην ενότητα 5.2.

M1–M25 και HM13–HM15. Οι πρώτοι κωδικοί αφορούν ενότητες παρατήρησης πεδίου και οι δεύτεροι τις τρεις ιρλανδικές διαβάσεις, με τη σειρά από την ανώτερη προς την κατώτερη.

Το συνοδευτικό αρχείο

Η κύρια έκθεση συνοδεύεται από χωριστό τόμο τεχνικών παραρτημάτων, υπολογισμών και τεκμηρίωσης. Εκεί ο αναγνώστης μπορεί να αναζητήσει τις μεθόδους, τις παραδοχές, τους αναλυτικούς πίνακες και την προέλευση κάθε αριθμητικού αποτελέσματος.

Το πακέτο τελικής έκδοσης της 30ής Σεπτεμβρίου 2026 συγκεντρώνει την αγγλική μελέτη, τα τεχνικά παραρτήματα, την ελληνική έκδοση, την τρίσελιδη σύνοψη και το οργανωμένο φωτογραφικό αρχείο του Ιουλίου. Περιλαμβάνει επίσης ευρετήριο, μητρώο αντιμετώπισης σχολίων, επεξεργάσιμες πηγές και καταλόγους προέλευσης και ελέγχου των αρχείων. Η αναθεώρηση διευκρινίζει την παρουσίαση των αποτελεσμάτων χωρίς να αλλάζει τις τιμές των ελεγμένων δεδομένων και παραδοχών των υπολογισμών.

Κάθε αποτέλεσμα πρέπει να συνοδεύεται από τη μονάδα μέτρησης, την περιοχή που αφορά, τις παραδοχές και το εύρος αβεβαιότητάς του. Οι εκδόσεις των δεδομένων καταγράφονται στο τεχνικό αρχείο.

Πρόσβαση στις φωτογραφίες και στα γεωγραφικά αρχεία

Διατηρήστε μαζί όλους τους φακέλους και ανοίξτε το index.html στην αρχή του πακέτου. Στον φάκελο 04_July_Survey_Photographs, το index.html ανοίγει τις φωτογραφίες. Ο υποφάκελος 03_Source_Registers περιέχει τα master_photos.csv και master_reconciled.gpkg. Το Photo_Manifest.csv στον υποφάκελο 02_Registers συνδέει τις αρχικές εγγραφές με τις φωτογραφίες του πακέτου. Τα σχήματα σε πλήρες μέγεθος βρίσκονται στον φάκελο 08_Full_Size_Figures: οι χάρτες και τα γραφήματα της κύριας έκθεσης στον υποφάκελο Main_Figures και τα αναλυτικά σχήματα στον συγκεντρωτικό άτλαντα PDF.

Φωτογραφικό αρχείο · master_photos.csv · master_reconciled.gpkg · Photo_Manifest.csv

Το GeoPackage ανοίγει σε πρόγραμμα GIS. Οι αρχικές διαδρομές αρχείων έχουν διατηρηθεί ως τεκμηρίωση· για τις φωτογραφίες του πακέτου χρησιμοποιήστε τον νέο πίνακα αντιστοίχισης. Οι θέσεις ενότητας ή σημείου GPS δεν δηλώνουν ακριβές τοπογραφικό αποτύπωμα της φωτογραφίας. Υπάρχουν 213 διαφορετικές φωτογραφίες σε 214 αρχικά αρχεία, επειδή μία έχει δύο εκδοχές μεταδεδομένων. Η εγγραφή M15/Garmin 058 εξακολουθεί να μην έχει διαθέσιμη εικόνα.

Βιβλιογραφία

Borselli, L., Cassi, P. and Torri, D. (2008). Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape. Catena, 75(3), 268–277. https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.006.

Bunte, K. and Abt, S.R. (2001). Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams. USDA Forest Service, RMRS-GTR-74.

Caudron, A. and Vigier, L. (2025). Assessment of the Prespa Trout Population in Relation to the Habitat Quality of the Agios Germanos River. SCIMABIO report for SPP and WWF.

Cavalli, M., Trevisani, S., Comiti, F. and Marchi, L. (2013). Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. Geomorphology, 188, 31–41.

Δεμερτζή, Α. και συν. [Demertzi, A. et al.] (2025). Preliminary Feasibility Study for the Hydromorphological Restoration of the Agios Germanos River. Society for the Protection of Prespa, October 2025.

Fryirs, K.A., Brierley, G.J., Preston, N.J. and Kasai, M. (2007). Buffers, barriers and blankets: the (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. Catena, 70(1), 49–67.

Gurnell, A. and Shuker, L. (2022). The MoRPh Survey Technical Reference Manual, version 14. Modular River Survey.

Hellenic Centre for Marine Research (2024). Hydromorphological Assessment of the Agios Germanos River—River Habitat Survey and Morphological Quality Assessment. Report for SPP and WWF.

Heckmann, T. et al. (2018). Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. Earth-Science Reviews, 187, 77–108.

Joint Committee for Guides in Metrology (2008). Evaluation of Measurement Data—Propagation of Distributions Using a Monte Carlo Method. JCGM 101:2008.

Karalis, S., Karymbalis, E. and Mamassis, N. (2018). Models for sediment yield in mountainous Greek catchments. Geomorphology, 322, 76–88.

Kastridis, A., Theodosiou, G. and Fotiadis, G. (2021). Investigation of flood management and mitigation measures in ungauged NATURA protected watersheds. Hydrology, 8(4), 170.

Natural Highways Ltd (2026). Revised Work Plan for the Assessment of Geomorphological Behaviour, Agios Germanos. Submitted to SPP, 24 April 2026.

Panagiotou, A. et al. (2022). Anthropogenic barriers to longitudinal river connectivity in Greece. Ecohydrology & Hydrobiology, 22(2), 295–309.

Pitlick, J. et al. (2021). Sediment production in French Alpine rivers. Water Resources Research, 57, e2021WR030470.

Recking, A. (2013). Simple method for calculating reach-averaged bed-load transport. Journal of Hydraulic Engineering, 139(1), 70–75.

Rickenmann, D. and Recking, A. (2011). Evaluation of flow resistance in gravel-bed rivers through a large field data set. Water Resources Research, 47, W07538.

Rindler, R. et al. (2024). Integrative monitored bedload transport yield in different catchment areas in Austria. INTERPRAEVENT 2024 Proceedings, 357–360.

Wong, M. and Parker, G. (2006). Reanalysis and correction of the bed-load relation of Meyer-Peter and Müller using their own database. Journal of Hydraulic Engineering, 132(11), 1159–1168.