

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΠΡΟΓΡ. ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ»

Μοντελοποίηση, Πρόβλεψη και
Διαχείριση Κινδύνων Πλημμυρών

Αγγελίδης Π., Καθηγητής

Ανάλυση και αξιολόγηση τεχνικών αντιπλημμυρικών έργων

- ❑ Οι πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμούς και απώλειες ζωών, σημαντικό οικονομικό κόστος και ζημίες στο περιβάλλον και στην πολιτιστική κληρονομιά.
- ❑ Στην Ευρώπη παρατηρούνται ολοένα συχνότερα σφοδρές πλημμύρες. Τα τελευταία χρόνια, οι αστραπιαίες πλημμύρες μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους που καταγράφονται έχουν υπερδιπλασιαστεί σε σχέση με τα τέλη της δεκαετίας του '80.
- ❑ Η αλλαγή του κλίματος αποτελεί επιβαρυντικό παράγοντα, ο οποίος προκαλεί μεταβολές στις βροχοπτώσεις και τα καιρικά πρότυπα, άνοδο της στάθμης της θάλασσας και, κατά συνέπεια, συχνότερες και μεγαλύτερης κλίμακας πλημμύρες.
- ❑ Διάφορα φαινόμενα, όπως η παράκτια διάβρωση, οι καταιγίδες στη θάλασσα, οι πλημμυρίδες και οι άνεμοι που ωθούν τις παλίρροιες προς την ξηρά, αυξάνουν τον κίνδυνο πλημμύρας στις παράκτιες περιοχές.

- ❑ Οι πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμό, απώλειες ζωής, σημαντικό οικονομικό κόστος, ζημιές στο περιβάλλον και στην πολιτιστική κληρονομιά, όπως και επανεγκατάσταση των πολιτών.
- ❑ Παραδείγματος χάριν, σε λιγότερο από δύο εβδομάδες τον Μάιο και τον Ιούνιο του 2016, σκοτώθηκαν σε πλημμύρες τουλάχιστον 18 άτομα και προκλήθηκαν ζημιές άνω των 3,7 δισεκατομμυρίων ευρώ σε εννέα κράτη μέλη. Τον Μάιο και τον Ιούνιο του 2013, σε παρόμοια συμβάντα σκοτώθηκαν τουλάχιστον 26 άτομα και προκλήθηκαν ζημιές άνω των 13 δισεκατομμυρίων ευρώ σε επτά κράτη μέλη.
- ❑ Η συχνότητα των πλημμυρικών συμβάντων στην Ευρώπη έχει ενταθεί από το 1985 και έπειτα. Τα τελευταία χρόνια η τάση καταδεικνύει ότι έχουν καταγραφεί υπερδιπλάσιες αστραπιαίες πλημμύρες μεσαίας έως μεγάλης έντασης σε σχέση με τα τέλη της δεκαετίας του '80.

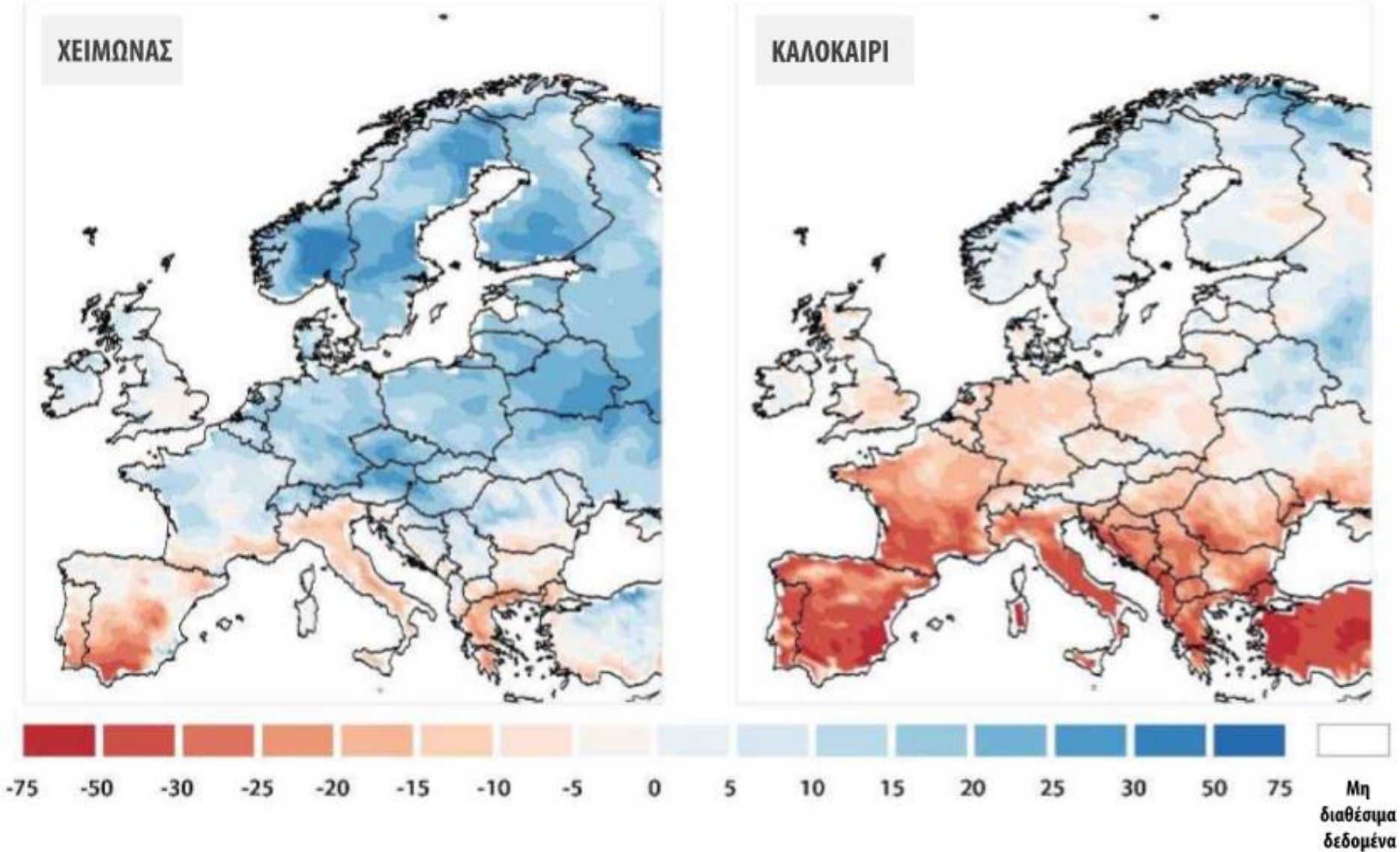
- ❑ Το οικονομικό κόστος που συνεπέφεραν τα υδρολογικά συμβάντα στην ΕΕ μεταξύ 1980 και 2017 ανήλθε σε περίπου 166 δισεκατομμύρια ευρώ.
- ❑ Πρόκειται για το ένα τρίτο περίπου των ζημιών που έχουν προκληθεί από συμβάντα που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή.
- ❑ Βάσει ενός σεναρίου εξακολούθησης της υφιστάμενης κατάστασης, οι ζημίες σε ολόκληρη την ΕΕ που θα προκληθούν από πλημμύρες λόγω της συνδυασμένης επίδρασης κλιματικών και οικονομικών αλλαγών αναμένεται να αυξηθούν από 7 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως ως έχουν την περίοδο ελέγχου 1981-2010, σε 20 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως έως τη δεκαετία του 2020, σε 46 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως έως τη δεκαετία του 2050 και σε 98 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως έως τη δεκαετία του 2080.

Η σημασία της κλιματικής αλλαγής

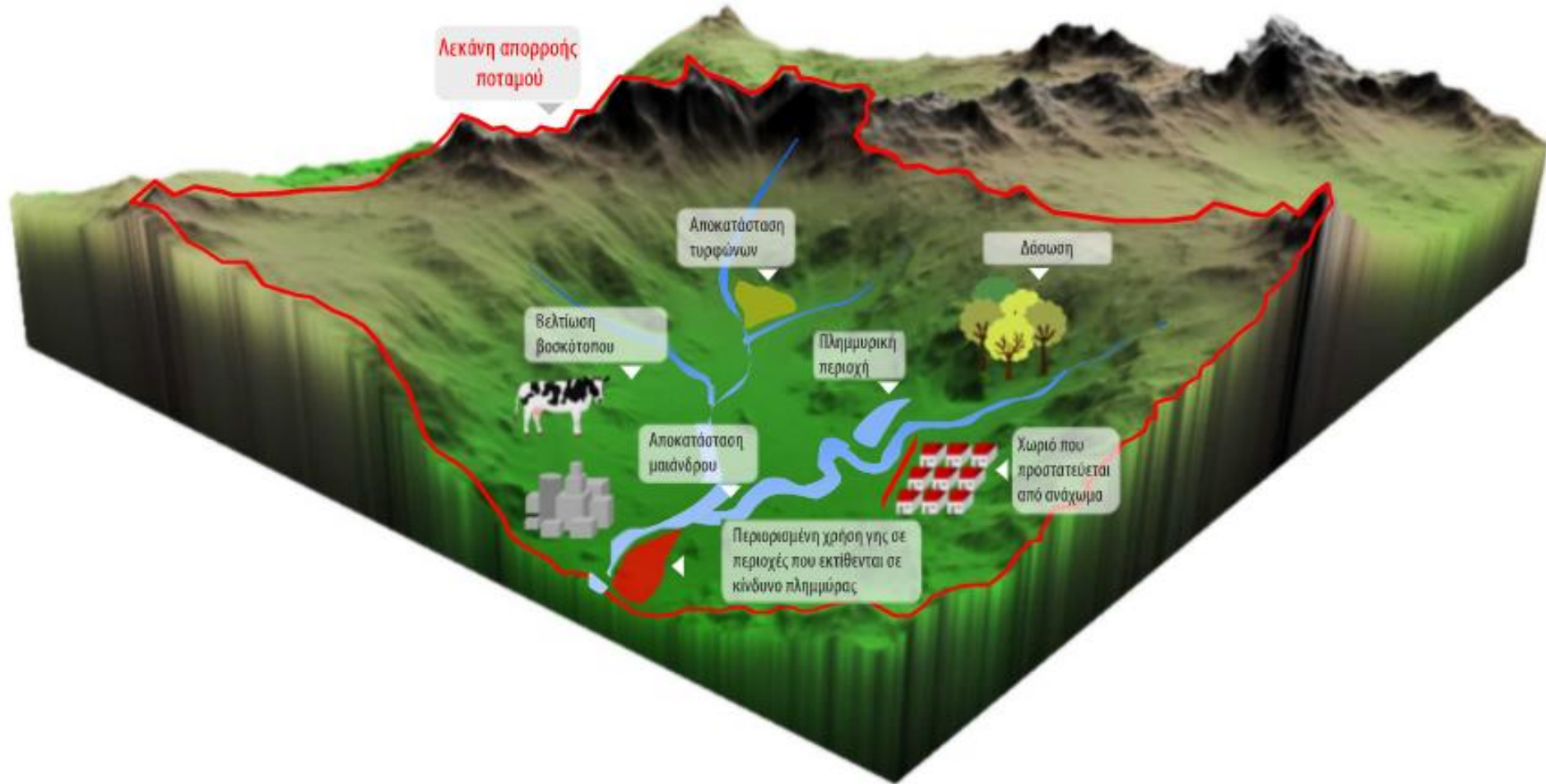
- Όσο το κλίμα αλλάζει, η ΕΕ βιώνει εντονότερες βροχοπτώσεις και καταιγίδες και άνοδο της στάθμης της θάλασσας.
- Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, πρόκειται να επιδεινωθούν συνολικά οι συνέπειες από τις πλημμύρες ποταμών, τις πλημμύρες από βροχή και τις παράκτιες πλημμύρες στην Ευρώπη, λόγω της αύξησης της έντασης και της συχνότητας των πλημμυρών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.
- Οι παρατηρηθείσες κλιματικές τάσεις και οι μελλοντικές προβολές για το κλίμα καταδεικνύουν σημαντικές διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων στην Ευρώπη.
- Οι προβλέψεις δείχνουν αύξηση της ετήσιας βροχόπτωσης στη Βόρεια Ευρώπη. Οι χειμερινές βροχοπτώσεις ενδέχεται να αυξηθούν κατά περισσότερο από 25 % τα τελευταία 20 χρόνια του παρόντος αιώνα σε ορισμένα μέρη της Ευρώπης

Η σημασία της κλιματικής αλλαγής

Αλλαγή της εποχικής βροχόπτωσης, σε %, για την περίοδο 2071-2100, σε σύγκριση με την περίοδο 1961-1990 (σενάριο παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2°C)



Παράδειγμα συντονισμένης διαχείρισης πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού



Οι πράσινες και γκρίζες υποδομές μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά για την επίλυση προβλημάτων πλημμυρών σε κλίμακα λεκάνης απορροής ποταμού:

Οι παραδοσιακές λύσεις προστασίας από τις πλημμύρες περιλαμβάνουν φράγματα, αναχώματα, κανάλια, μέτρα προστασίας από κύματα θυέλλης και, εν γένει, φραγμούς. Λόγω του ότι συνήθως κατασκευάζονται από σκυρόδεμα, οι εν λόγω τεχνικές ονομάζονται γκρίζες υποδομές.

Οι πλημμυρικές περιοχές, οι υγρότοποι ή η επαναδιάνοιξη των μαιάνδρων των ποταμών μπορούν να μειώσουν τον αντίκτυπο των πλημμυρών. Οι λύσεις αυτού του είδους ονομάζονται πράσινες υποδομές. Σύμφωνα με το άρθρο 7 της οδηγίας για τις πλημμύρες, τα ΣΔΚΠ πρέπει να λαμβάνουν υπόψη περιοχές με δυνατότητα συγκράτησης των πλημμυρών, όπως οι φυσικές πλημμυρικές περιοχές.

Εκτός από τις γκρίζες και **πράσινες** δομικές υποδομές υπάρχουν και άλλες λύσεις που μπορούν να μειώσουν την έκθεση των ανθρώπων και των περιουσιακών στοιχείων στις πλημμύρες.

Σε αυτές περιλαμβάνονται ο προγραμματισμός της χρήσης γης, δραστηριότητες ευαισθητοποίησης και η ασφάλιση, τα οποία αποκαλούνται μη δομικά μέτρα.

Απεικόνιση προσέγγισης για την αποφυγή πλημμύρας κατάντη

Αρχική κατάσταση:
Πλημμύρα του
χωριού ανάντη



Νέα αναχώματα
που προστατεύουν
το χωριό ανάντη,
αλλά δημιουργούν
πλημμύρα του
χωριού κατάντη



Αρχική κατάσταση:
Πλημμύρα του
χωριού ανάντη



Νέα αναχώματα
που προστατεύουν
το χωριό ανάντη,
αλλά δημιουργούν
πλημμύρα του
χωριού κατάντη



Νέο ανάχωμα που
συμπληρώνεται με
πόλντες, το οποίο
προστατεύει
αμφότερα τα χωριά,
ανάντη και κατάντη



Διάφοροι τύποι αντιπλημμυρικών έργων



Πεδιάδα επέκτασης πλημμυρών που χρησιμοποιείται επίσης ως βοσκότοπος για βιολογικό αγρόκτημα αγελάδων γάλακτος (Κάτω Χώρες)

Διάφοροι τύποι αντιπλημμυρικών έργων



Ανάχωμα ποταμού με αφαιρούμενα τοιχώματα που επιτρέπουν την ελεγχόμενη πλημμύρα μίας όχθης του ποταμού προκειμένου να προστατευθεί η αντίθετη πυκνοκατοικημένη όχθη (Σλοβενία)

Διάφοροι τύποι αντιπλημμυρικών έργων



Στεγνή δεξαμενή που χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση νερού προς μείωση του κινδύνου πλημμύρας των πόλεων κατάντη. Τα 110 εκτάρια της δεξαμενής χρησιμοποιούνται επίσης στη γεωργία (Ιταλία)

Διάφοροι τύποι αντιπλημμυρικών έργων



Παράκτιο ανάχωμα για την πρόληψη της πλημμύρας κατοικημένης περιοχής. Το ύψος του αναχώματος μπορεί να αυξηθεί στο μέλλον εάν αυξηθεί ο κίνδυνος πλημμύρας (Βουλγαρία)

Διάφοροι τύποι αντιπλημμυρικών έργων



Τοίχος μήκους 200 μέτρων που ανεγέρθηκε στη συμβολή δύο ποταμών όπου είχαν σημειωθεί πλημμύρες στο παρελθόν (Ισπανία)

Διάφοροι τύποι αντιπλημμυρικών έργων



Τα δίκτυα μετεωρολογικής παρακολούθησης συλλέγουν στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση και την εκτίμηση των κινδύνων, συμβάλλοντας στη χάραξη πολιτικών βάσει στοιχείων (Πορτογαλία)

Αντιπλημμυρικά Έργα

Αντιπλημμυρική προστασία

Για την ομοιόμορφη ροή η παροχή δίδεται από τη γνωστή εξίσωση Manning

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2}$$

όπου A = εμβαδόν της υγρής διατομής, $R = A/P$ = υδραυλική ακτίνα, P = βρεχόμενη περίμετρος n = συντελεστής τραχύτητας και S_0 = η κλίση πυθμένα.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2}$$

Στην περίπτωση της πλημμυρικής παροχής η ροή απέχει πολύ από την ομοιόμορφη, ωστόσο από την εξίσωση του Manning μπορεί να προκύψει πως είναι δυνατόν να επιτευχθεί η αντιπλημμυρική προστασία μιας περιοχής με επέμβαση στους όρους που επιδρούν στην επιδείνωση της πλημμύρας. Η επέμβαση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

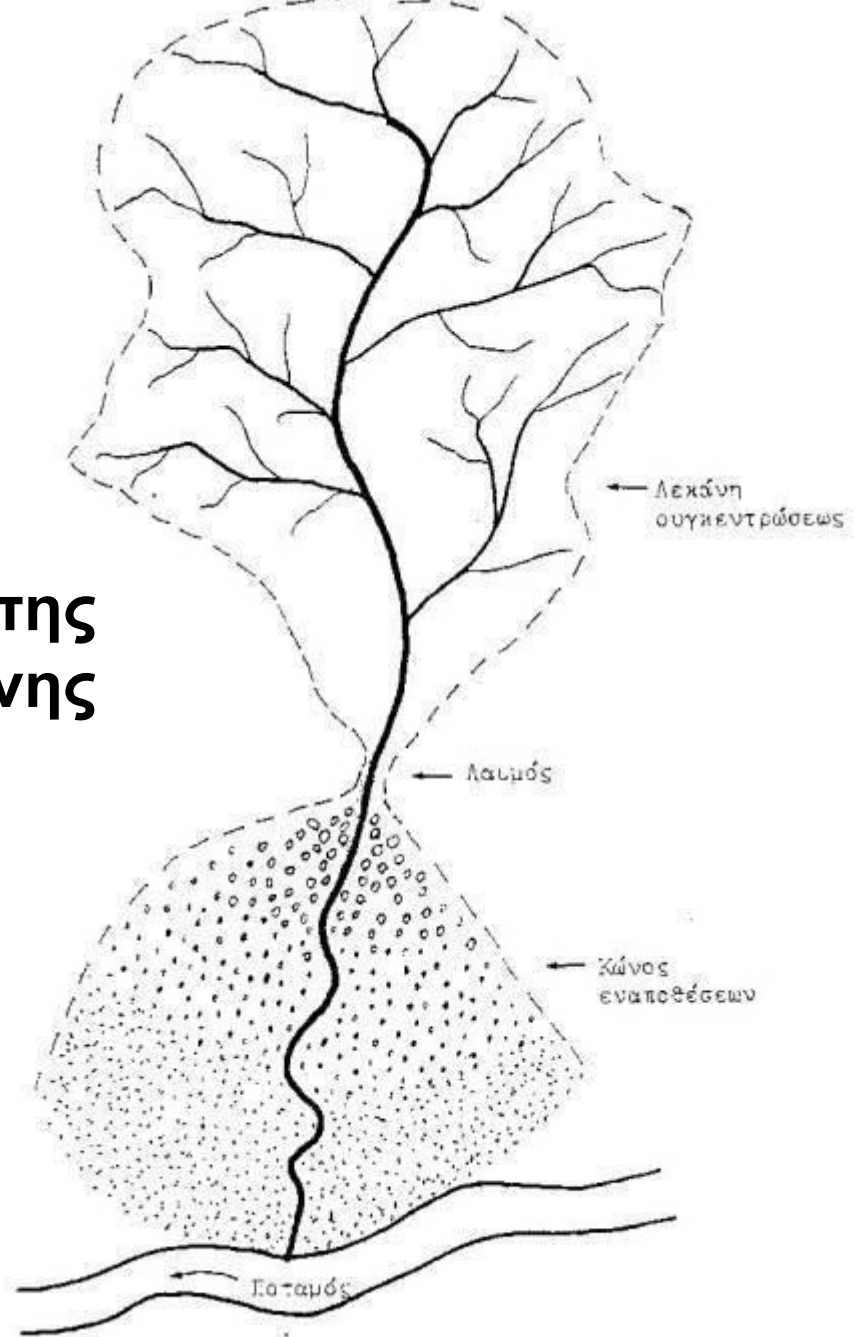
1) **Μείωση της παροχής αιχμής της πλημμύρας** η οποία επιτυγχάνεται:

α) Με τη διαχείριση της ορεινής ζώνης της λεκάνης απορροής

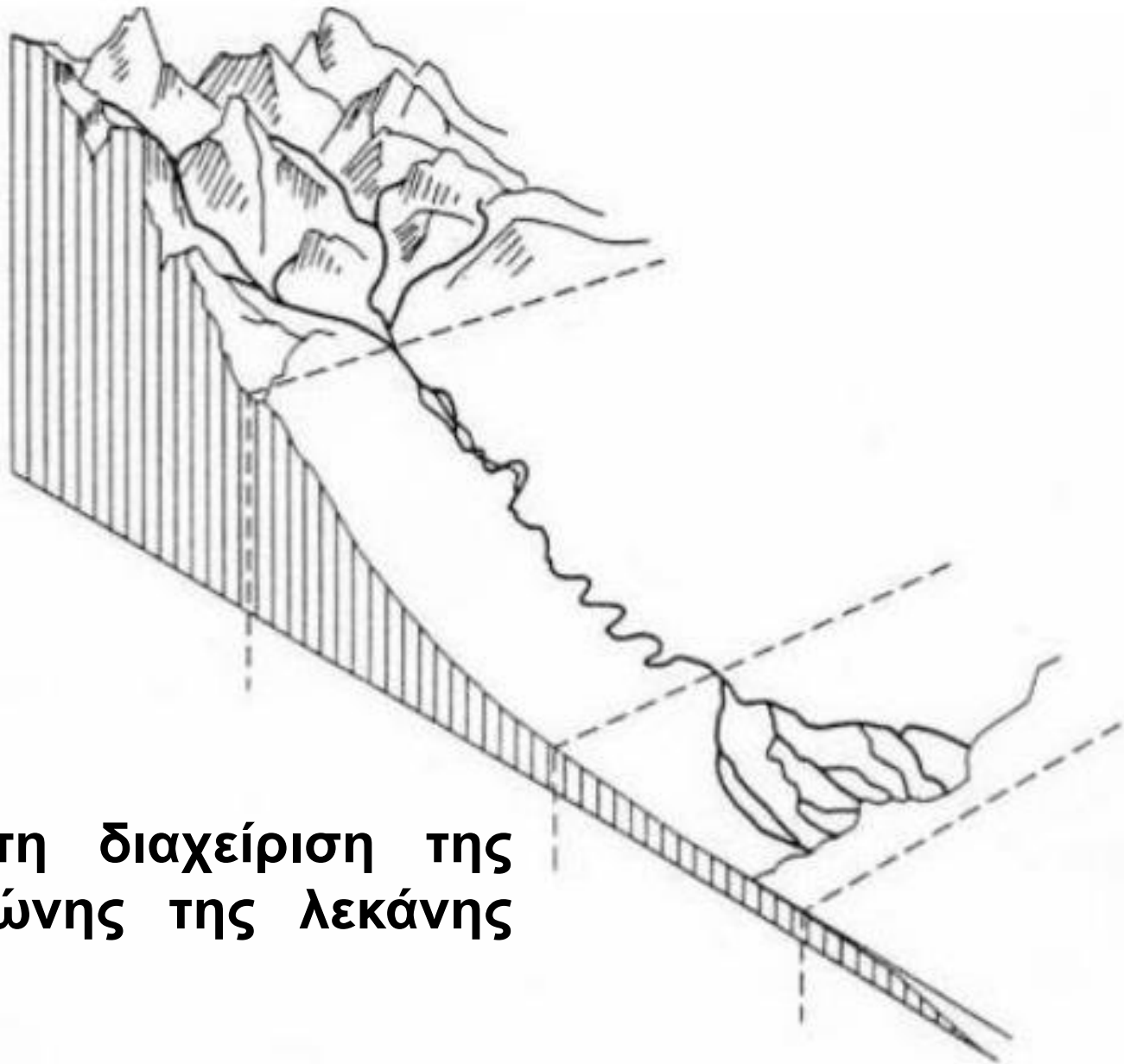
β) Με την κατασκευή ταμιευτήρων ανασχέσεως ή αποθηκεύσεως

γ) Με την κατασκευή παραλλήλων προς την κυρία κοίτη διόδων ανακούφισης πλημμυρών

α) Με τη διαχείριση της ορεινής ζώνης της λεκάνης απορροής



Σχ. 9.1 Μέρη ενός τοπικού χειμάρρου.



α) Με τη διαχείριση της ορεινής ζώνης της λεκάνης απορροής

Σχήμα 2. Σχηματική αναπαράσταση ποτάμιας ροής (Πηγή: Μοντεσάντου, 1999)

Καταπολέμηση της διάβρωσης της ορεινής ζώνης η οποία επιτυγχάνεται:

i) Με τη φυτοκάλυψη

ii) Με την κατάλληλη χρήση των καλλιεργήσιμων εδαφών.

• Η ασφαλής καλλιέργεια επιτυγχάνεται σε κλίσεις μικρότερες του 2%.

• Για κλίσεις μεταξύ 2% και 25% η καλλιέργεια θεωρείται επικίνδυνη.

• Για κλίσεις άνω του 25% τα εδάφη πρέπει να θεωρούνται ακατάλληλα για καλλιέργεια.



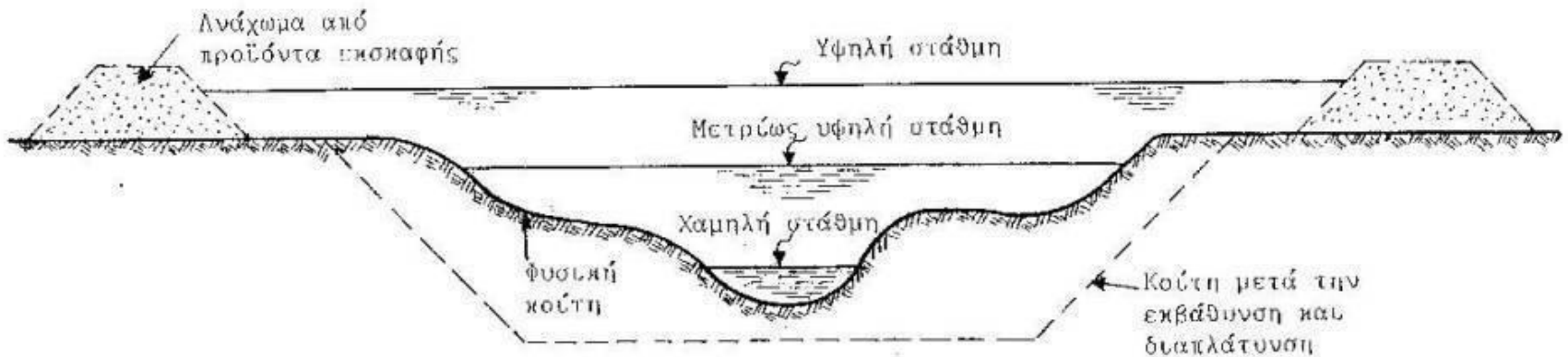
**β) Με την κατασκευή
ταμιευτήρων ανασχέσεως
ή αποθηκεύσεως**

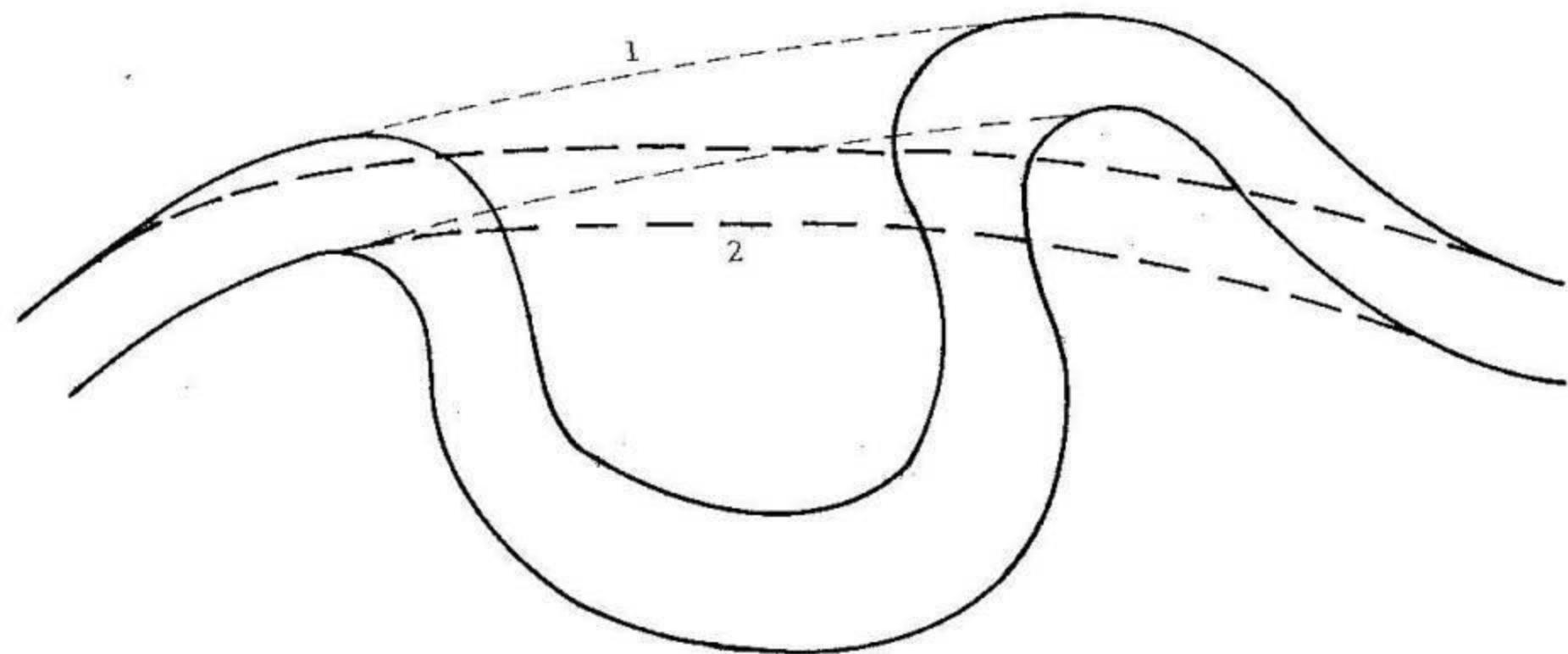
2) **Αύξηση της διοχετευτικής ικανότητας** της κοίτης του ποταμού η οποία μπορεί να επιτευχθεί:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2}$$

α) Με την αύξηση της διατομής της κυρίας με κατάλληλες εκσκαφές ή της πλημμυρικής κοίτης με την κατασκευή αναχωμάτων

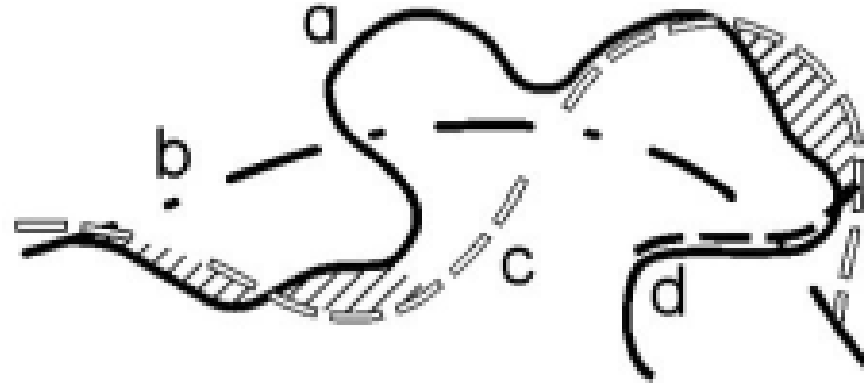
β) Με την αύξηση της ταχύτητας ροής η οποία επιτυγχάνεται με τη μείωση του συντελεστή τραχύτητας ή την αύξηση της κλίσης πυθμένα





Σχ. 9.10 Αύξηση της κλίσης του πυθμένα μαιωνδρίζοντα ποταμού: (1) με σύντηξη κατά τον λαιμό ενός μαιάνδρου ή (2) με δραστικότερη διευθέτηση κατά ελαφρώς καμπυλόγραμμη διαδρομή.

Κατά τη μελέτη της διευθέτησης ενός ποταμού θα πρέπει η χάραξη της οριζοντιογραφίας του να ακολουθεί, όσο γίνεται περισσότερο, τη φυσική ροή του ποταμού. Επίσης, θα πρέπει να διατηρούνται οι βιότοποι και οι θάμνοι, και τυχόν υπάρχοντα παρακείμενα στάσιμα νερά να συνδέονται, υπό μορφή κόλπων ή βρόχων, με τον ποταμό.



Χάραξη οριζοντιογραφίας ποταμού, παραπλήσιας της φυσικής ροής (Lange & Lecher, 1989):

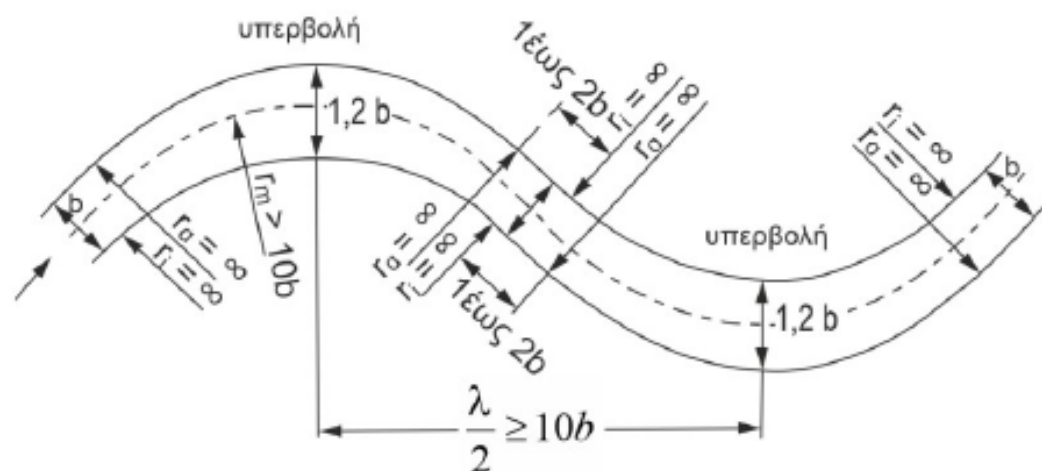
a) αρχικός ρους,

b) χάραξη απομακρυσμένη από τη φυσική ροή,

c) χάραξη παραπλήσια της φυσικής ροής,

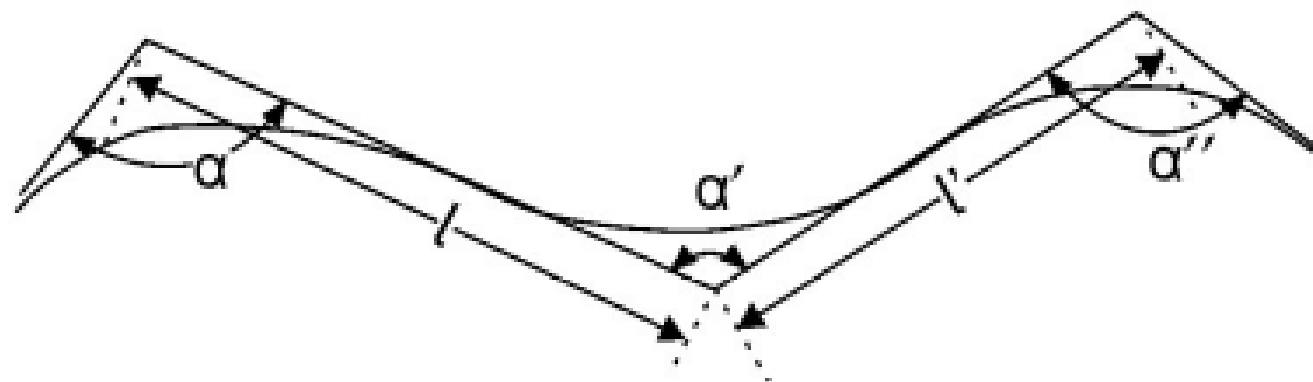
d) διατήρηση εν μέρει του αρχικού ρου.

1. Η όχθη ενός ποταμού πρέπει να αποτελείται από μια σειρά εναλλασσόμενων κοίλων και κυρτών τόξων (Σχήμα 2.2). Κατ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η μετακίνηση των νησίδων (αβαθών περιοχών), οι οποίες αποτελούνται από χονδρόκοκκο υλικό (χαλίκι).
2. Οι εφαπτόμενες των μεμονωμένων τόξων δεν πρέπει να έχουν ούτε πολύ μεγάλο, αλλά ούτε και πολύ μικρό μήκος. Ομοίως, οι γωνίες μεταξύ των εφαπτομένων δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλες ούτε πολύ μικρές (Σχήμα 2.3).
3. Τα ανωτέρω τόξα δεν πρέπει να είναι κυκλικά, αλλά να αρχίζουν από το σημείο καμπής με μια απείρως μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας, η οποία να γίνεται διαρκώς μικρότερη και στο μέσο (κορυφή) του τόξου να αποκτά την ελάχιστη τιμή. Κατόπιν, η ακτίνα καμπυλότητας θα πρέπει πάλι να μεγαλώνει προς την κατεύθυνση του επόμενου σημείου καμπής. Τα σημεία καμπής στην αριστερή και δεξιά όχθη δεν πρέπει να ανήκουν στην ίδια διατομή (Σχήμα 2.2). Ο εν λόγω κανόνας αποσκοπεί στην εξασφάλιση ενός σταθερού μεταβατικού τμήματος ανάμεσα στα καμπύλα τμήματα ή ενός «καλού περάσματος» (Σχήμα 2.4).

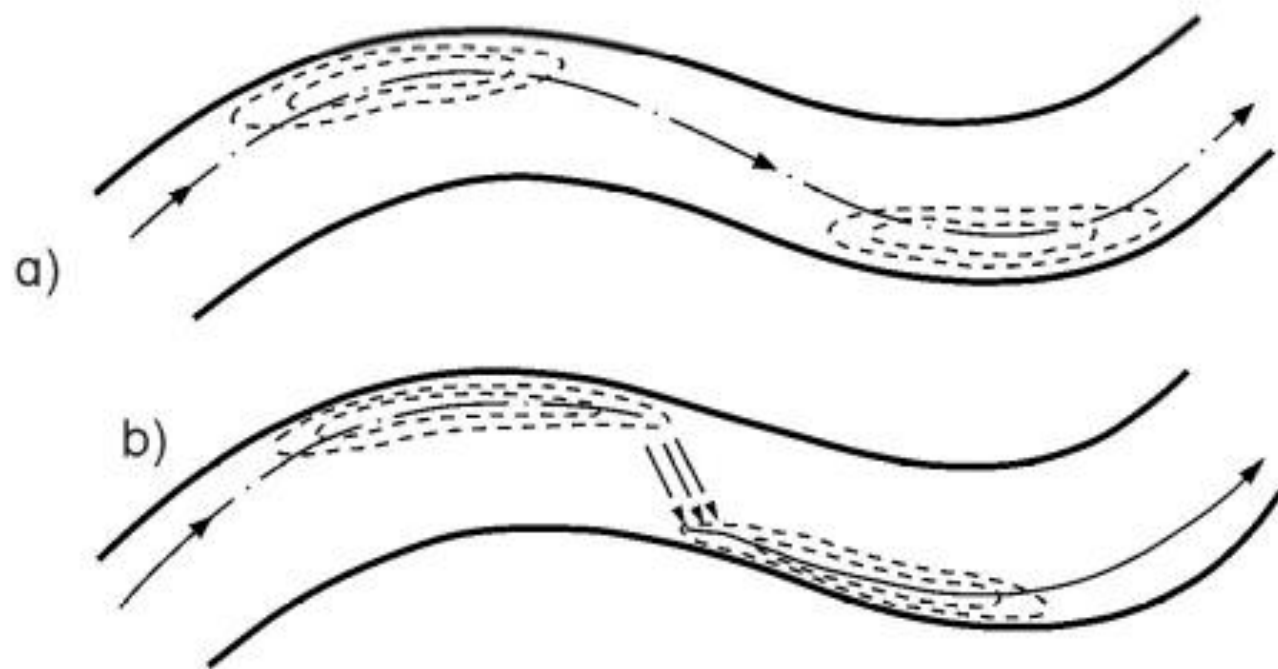


Σχήμα 2.2 Πρώτος και τρίτος κανόνας του Fargue (Lange & Lecher, 1989).

1. Η όχθη ενός ποταμού πρέπει να αποτελείται από μια σειρά εναλλασσόμενων κοίλων και κυρτών τόξων (Σχήμα 2.2). Κατ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η μετακίνηση των νησίδων (αβαθών περιοχών), οι οποίες αποτελούνται από χονδρόκοκκο υλικό (χαλίκι).
2. Οι εφαπτόμενες των μεμονωμένων τόξων δεν πρέπει να έχουν ούτε πολύ μεγάλο, αλλά ούτε και πολύ μικρό μήκος. Ομοίως, οι γωνίες μεταξύ των εφαπτομένων δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλες ούτε πολύ μικρές (Σχήμα 2.3).
3. Τα ανωτέρω τόξα δεν πρέπει να είναι κυκλικά, αλλά να αρχίζουν από το σημείο καμπής με μια απείρως μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας, η οποία να γίνεται διαρκώς μικρότερη και στο μέσο (κορυφή) του τόξου να αποκτά την ελάχιστη τιμή. Κατόπιν, η ακτίνα καμπυλότητας θα πρέπει πάλι να μεγαλώνει προς την κατεύθυνση του επόμενου σημείου καμπής. Τα σημεία καμπής στην αριστερή και δεξιά όχθη δεν πρέπει να ανήκουν στην ίδια διατομή (Σχήμα 2.2). Ο εν λόγω κανόνας αποσκοπεί στην εξασφάλιση ενός σταθερού μεταβατικού τμήματος ανάμεσα στα καμπύλα τμήματα ή ενός «καλού περάσματος» (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.3 Δεύτερος κανόνας του *Fargue* (1868).



4 Χάραξη οριζοντιογραφίας ποταμού (a) με «καλό» και (b) με «άσχημο πέρασμα» (Lange & Lecher, 1989).

Έργα διευθέτησης των ποταμών

1) Έργα προστασίας πρανών:

Αποσκοπούν στην προστασία από τη διάβρωση τόσο των φυσικών πρανών όσο και των νέων πρανών, τα οποία κατασκευάζονται προς διευθέτηση της κοίτης.

Στα ευθύγραμμα τμήματα απαιτείται προστασία και των δύο όχθων, ενώ στα καμπυλόγραμμα τμήματα προστατεύεται μόνο η εξωτερική (κοίλη) όχθη, καθόσον μόνο η εξωτερική όχθη υπόκειται σε διάβρωση, ενώ στην εσωτερική (κυρτή) όχθη λαμβάνουν χώρα μόνο εναποθέσεις.

Έργα διευθέτησης των ποταμών

1) Έργα προστασίας πρανών:

Οι διατμητικές τάσεις, οι οποίες ασκούνται από το υδατόρευμα, λαμβάνουν τη μέγιστη τιμή τους στο «πόδι» (βάση) του πρανούς.

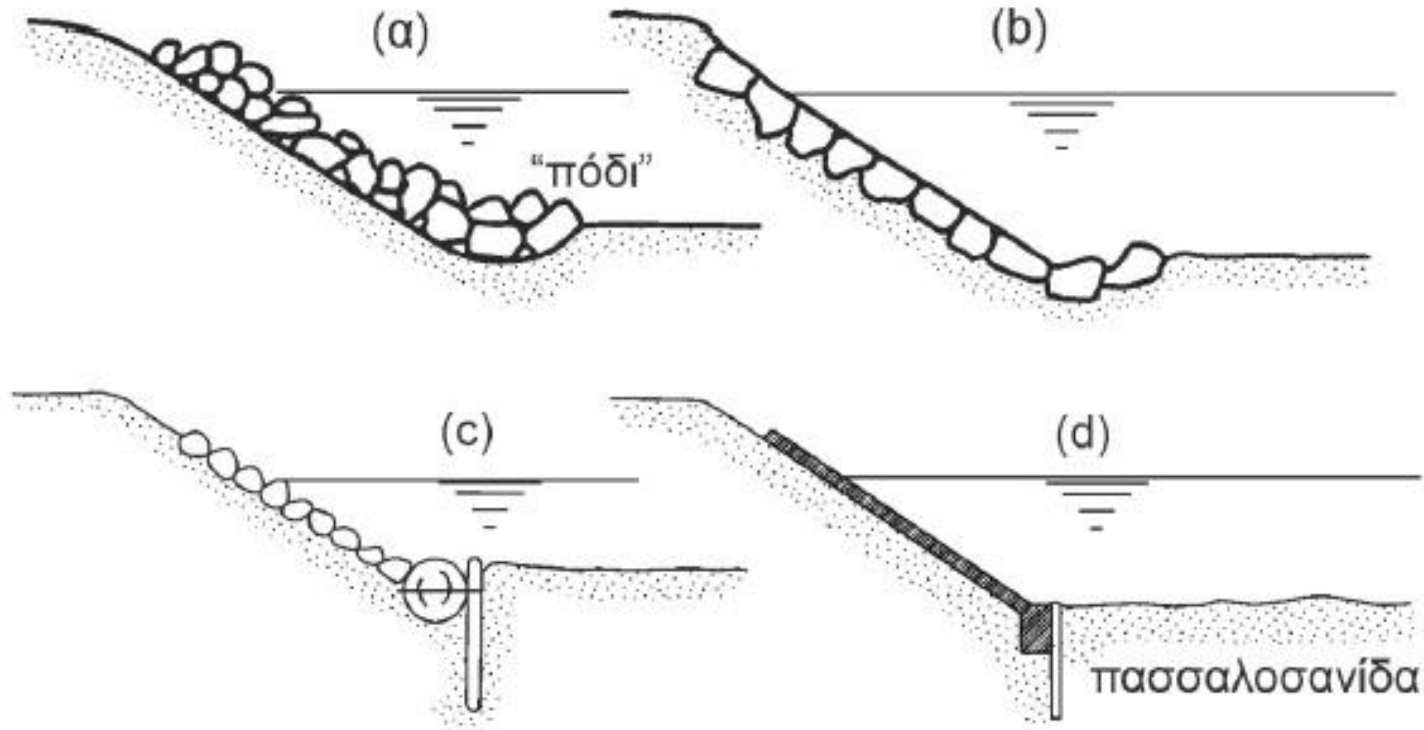
Το σημείο αυτό, συνεπώς, υπόκειται στον μέγιστο κίνδυνο διάβρωσης, ενώ ο κίνδυνος αυτός μειώνεται, όσο αυξάνει το υψόμετρο της όχθης.

Γι' αυτόν τον λόγο, το μέγεθος, η ποιότητα και η αντίσταση των προστατευτικών έργων μειώνονται από την κοίτη προς τα πάνω.

Το έργο στη βάση του πρανούς μπορεί να λειτουργεί επιπρόσθετα ως θεμελίωση της λιθορριπής πάνω από τη βάση. Ένεκα τούτου, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην εξασφάλιση της βάσης του πρανούς είτε από πιθανή παράσυρση από το υδατόρευμα είτε από ολίσθηση ή βύθιση μέσα στο έδαφος της κοίτης.

Έργα διευθέτησης των ποταμών

1) Έργα προστασίας πρανών:



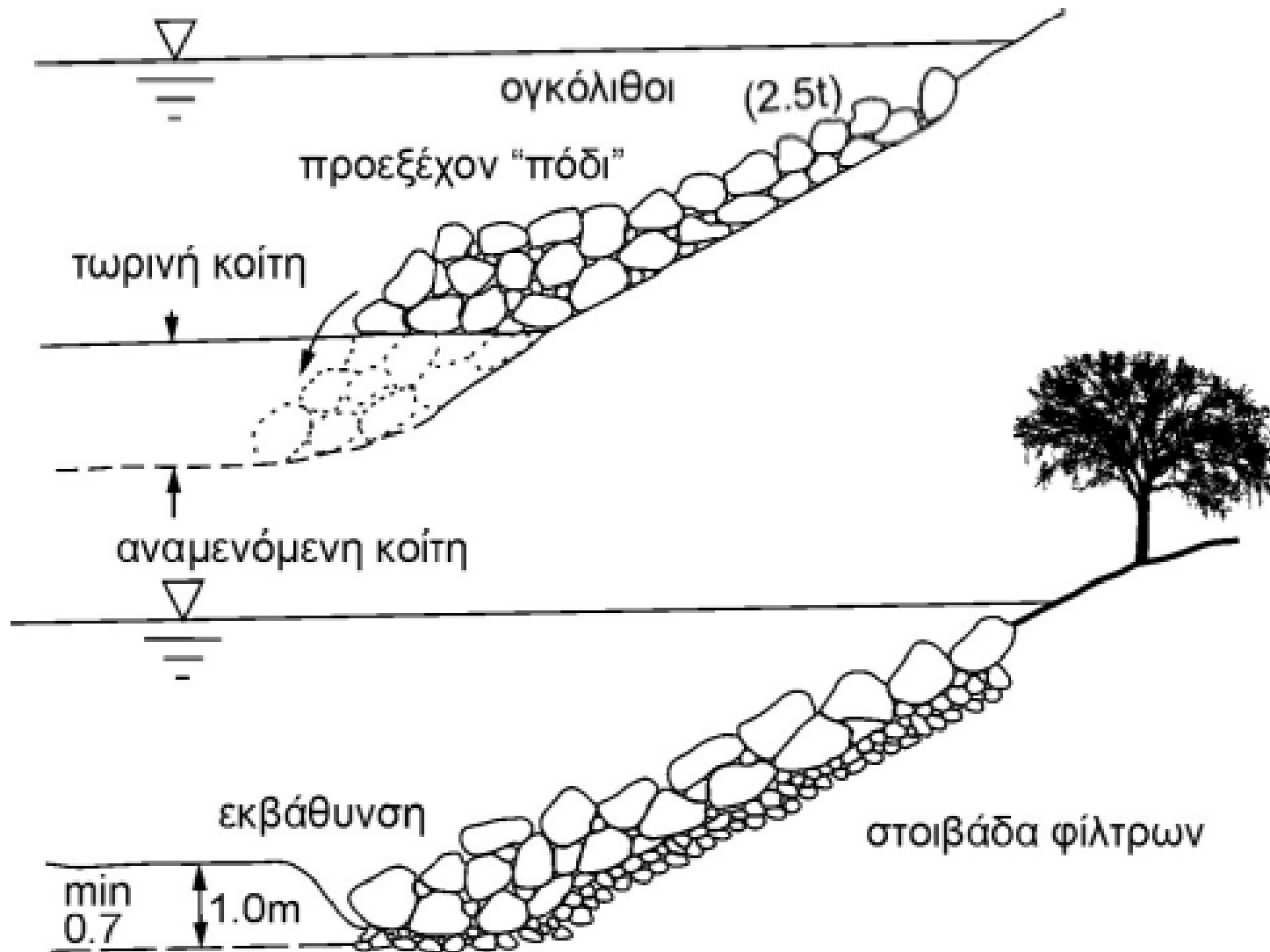
Σχήμα 3.1 Προστασία πρανών σε τραπεζοειδείς διατομές: (α) λιθορριπή, (β) λιθοδομή (με ή χωρίς έκχυση σιμεντοκονίας), (γ) λιθοδομή, προστασία του «ποδιού» με επιμήκη κορμό δένδρου και πασσάλους, (δ) πλάκες από σκυρόδεμα με ενίσχυση του «ποδιού» (ενδεχομένως πασσαλοσανίδες), (Vollmers, 1990).



Εικόνα 7 . Συρματοκιβώτια στα πρανή χειμάρρου (Πηγή: Κουλουκούρας, 2011)

Έργα διευθέτησης των ποταμών

1) Έργα προστασίας πρανών:



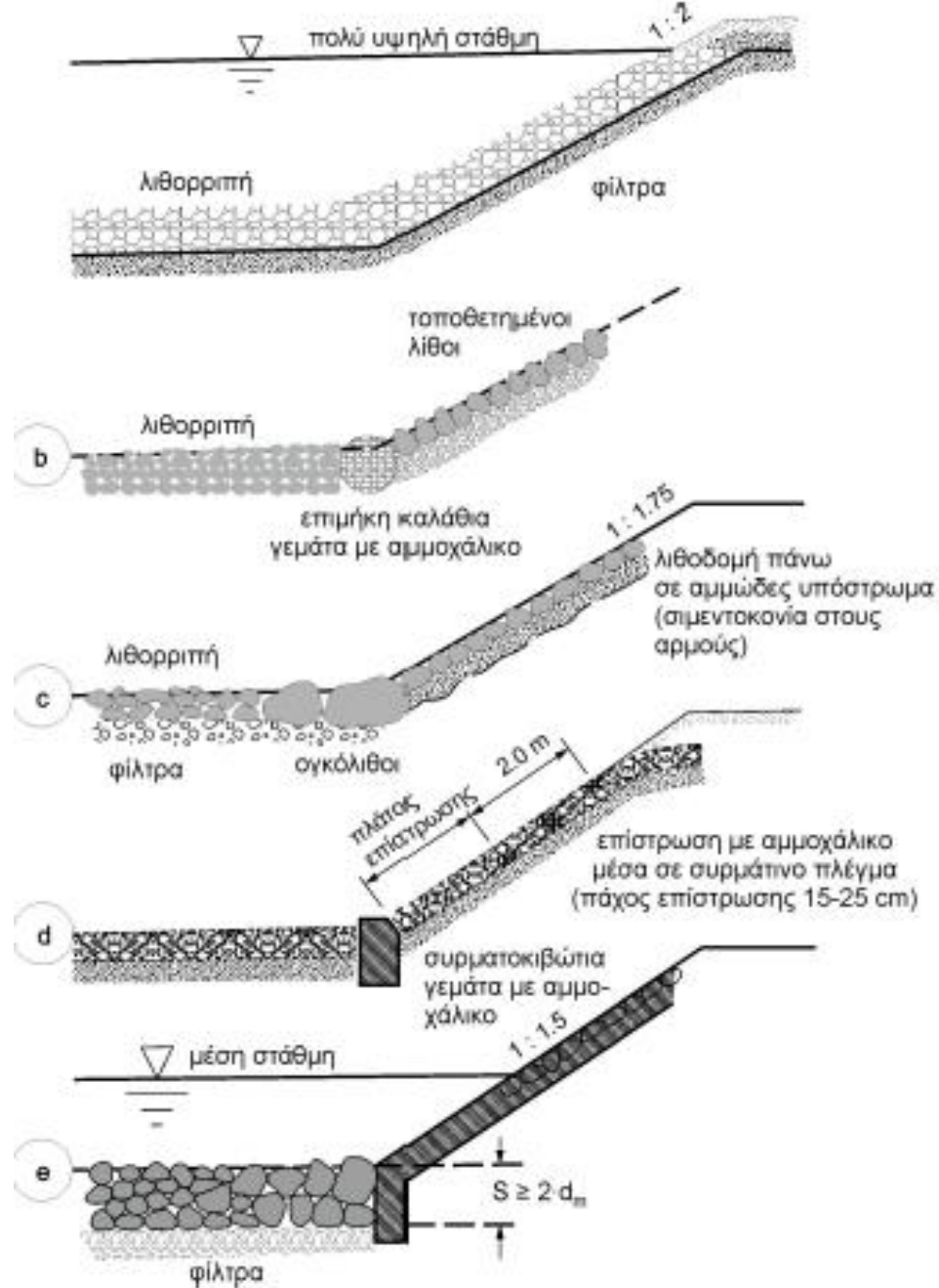
Σχήμα 3.2 Προστασία πρανών μεγάλου ποταμού με λιθορριπή (Vischer & Huber, 1985).



Εικόνα 2.4α) Ποταμός Big Sioux με διαβρωμένη παρόχθια ζώνη, Ιούνιος 2009 β) Παρόχθια ζώνη ποταμού Big Sioux με τοποθέτηση πετρών και βλάστησης στην παρόχθια περιοχή για την αντιμετώπιση της διάβρωσης, Ιούλιος 2010 (Πηγή: East Dakota Water Development District)

Έργα διευθέτησης των ποταμών

1) Έργα προστασίας πρανών:



Σχήμα 3.3 Προστασία πρανών - Παρακείμενο δυνατότητα διαμόρφωσης (Vallinara, 1996).



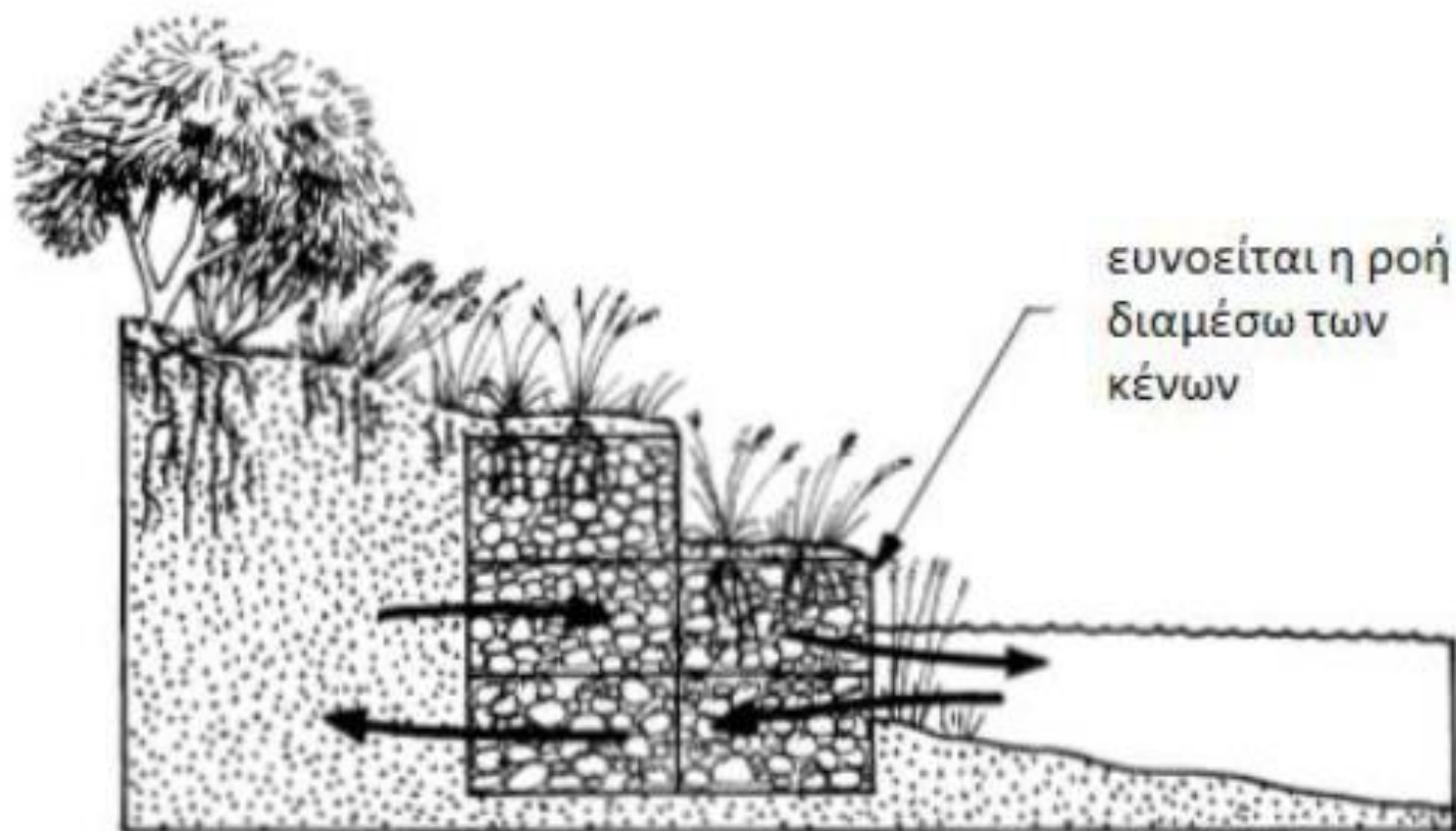
Εικόνα 2.11: α) Εφαρμογή συρμάτινων κιβωτίων σε ρυάκι στο Torrens Park, Αυστραλία



β) Εφαρμογή συρμάτινων κιβωτίων σε ρυάκι στο Steerney, Αυστραλία (Πηγή: Prospect Contactors PTY LTD)

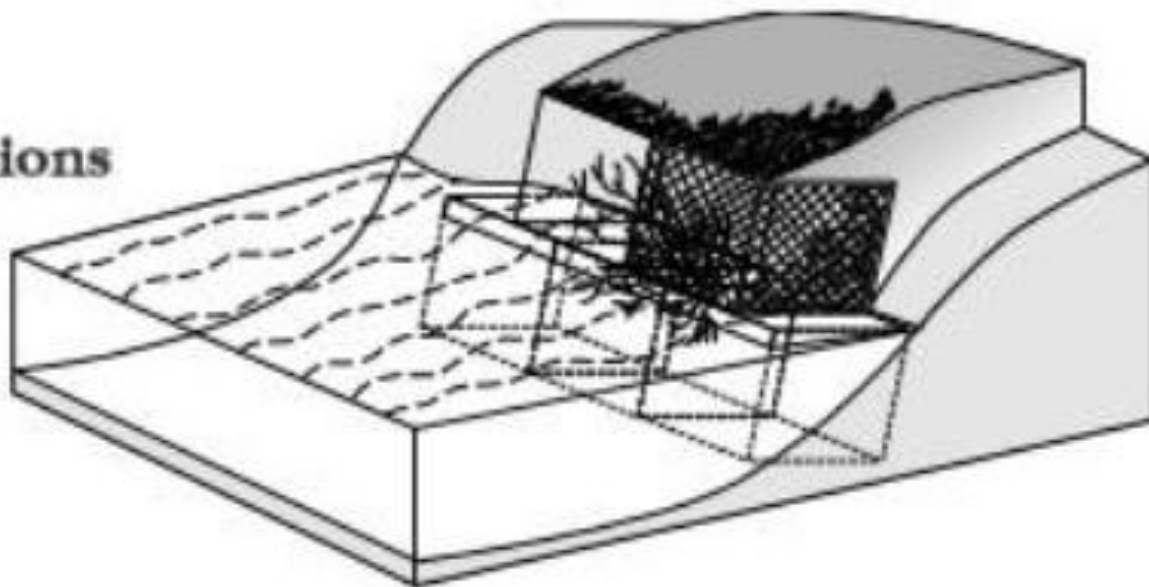


Εικόνα 2.8: Λιθοπληρωμένα συρμάτινα κιβώτια (Πηγή: “SEPT”, <http://natural-stone.setp.fr>)



Εικόνα 2.10: Απεικόνιση του προφίλ της παρόχθιας ζώνης μετά την εφαρμογή των συρμάτινων κιβωτίων (Πηγή: "Stream stabilization", Waters and Rivers Commission, February 2011, Report

Gabions



Εικόνα 2.9: Απεικόνιση εφαρμογής συρμάτων κιβωτίων στην παρόχθια ζώνη για την αντιμετώπιση της διάβρωσης (Πηγή: “Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices”, Federal Interagency Stream Restoration Working Group)

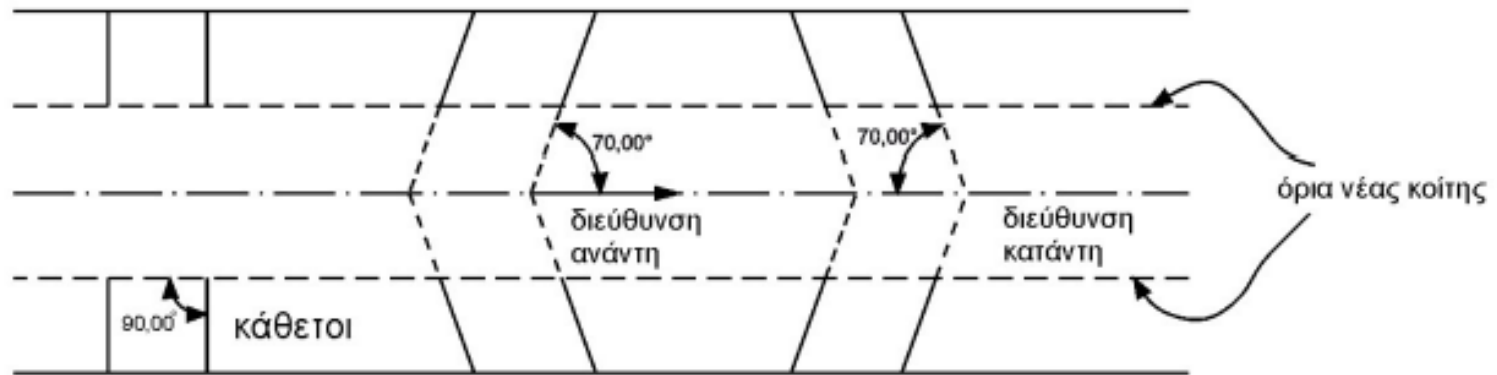


Εικόνα 8. Χείμαρρος μετά από έργα διευθέτησης και την τοποθέτηση συρματοκιβωτίων στα πρανή (Πηγή: Κουλουκούρας, 2011)

Έργα διευθέτησης των ποταμών

2) Εγκάρσια έργα ή πρόβολοι

Οι πρόβολοι είναι έργα διευθέτησης, τα οποία αρχίζουν από τη φυσική όχθη με γωνία προς αυτήν περίπου μεταξύ 70° και 110° και εκτείνονται μέχρι τη γραμμή της νέας κοίτης.



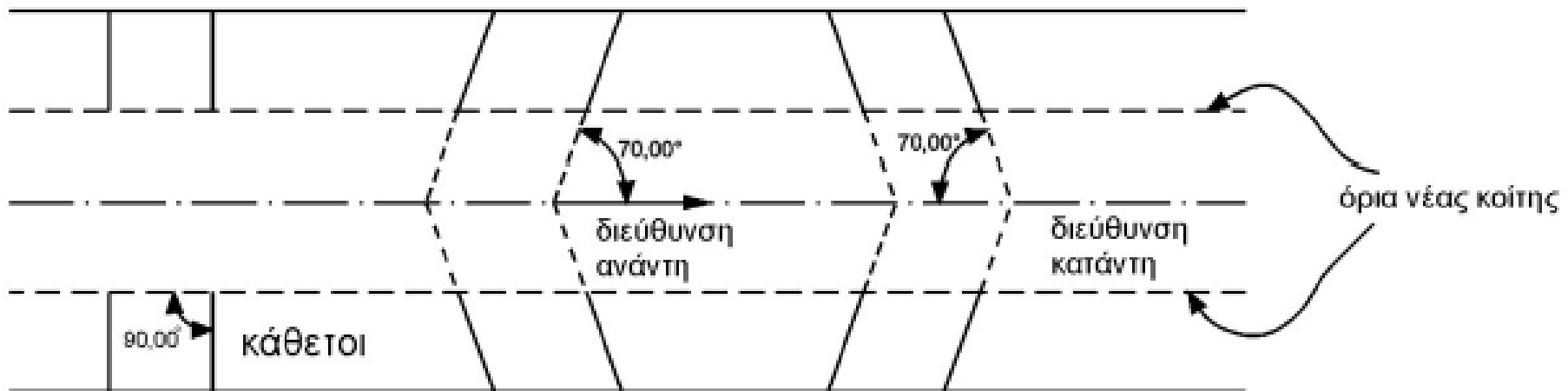
Σχήμα 3.5 Διατάξεις προβόλων ως προς το ρεύμα (Παρθενιάδης, 1977).

Η σπουδαιότερη διαφορά τους από τα παράλληλα έργα έγκειται στο μέγεθος της γωνίας τους με το φυσικό ρεύμα, καθόσον ούτε τα παράλληλα έργα είναι τελείως παράλληλα ούτε τα εγκάρσια τελείως κάθετα προς το ρεύμα.

Έργα διευθέτησης των ποταμών

2) Εγκάρσια έργα ή πρόβολοι

Ως προς τη διάταξή τους σε σχέση προς το ρεύμα, οι πρόβολοι διακρίνονται σε κάθετους, κατευθυνόμενους ανάντη ή συγκλίνοντες και κατευθυνόμενους κατάντη ή αποκλίνοντες.



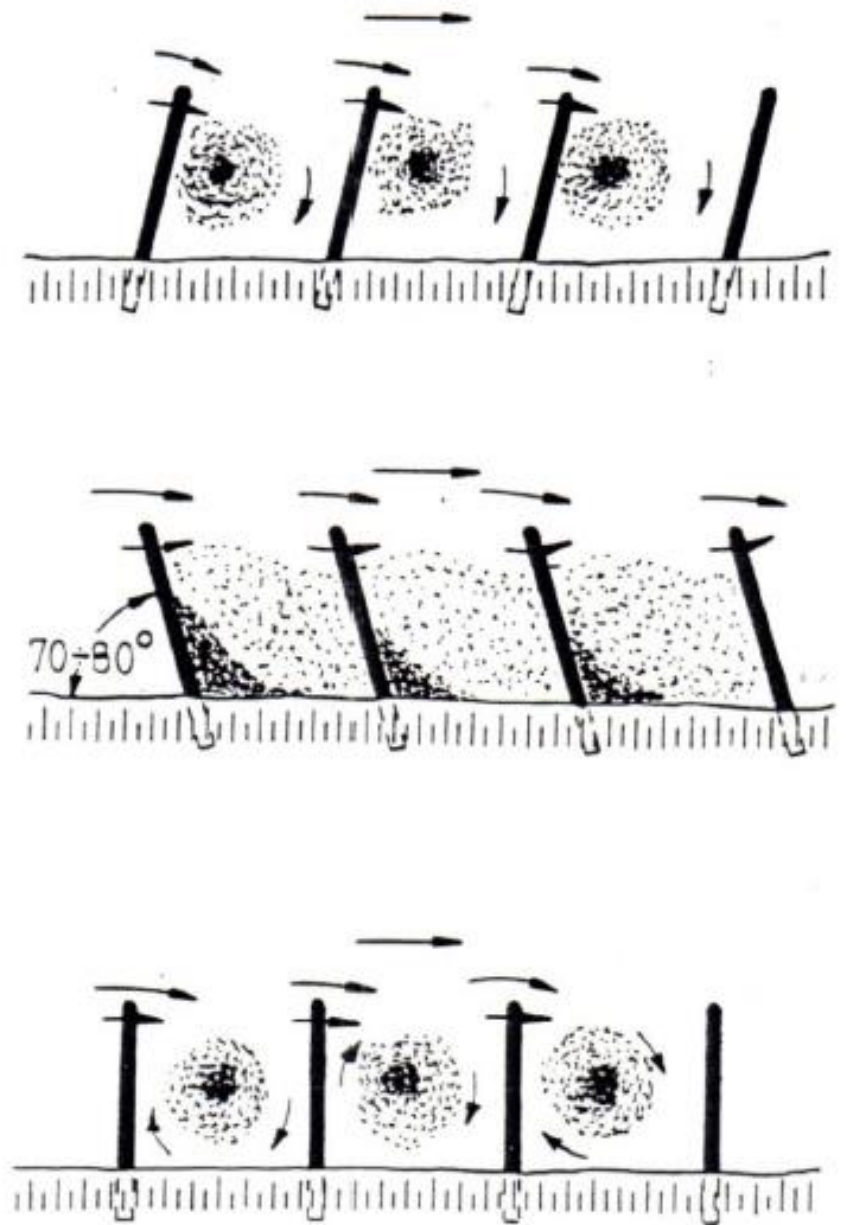
Σχήμα 3.5 Διατάξεις προβόλων ως προς το ρεύμα (Παρθενιάδης, 1977).

Έργα διευθέτησης των ποταμών

2) Εγκάρσια έργα ή πρόβολοι

Η παγίδευση των μεταφερόμενων από το κύριο ρεύμα φερτών υλών λαμβάνει χώρα στη δημιουργούμενη ζώνη βραδείας κυκλοφορίας ανάμεσα στους πρόβλους.

Η εμπειρία έχει αποδείξει ότι οι ανάντη διευθυνόμενοι πρόβολοι είναι και οι πιο αποτελεσματικοί ως προς την ταχύτητα και τον βαθμό πρόσχωσης.

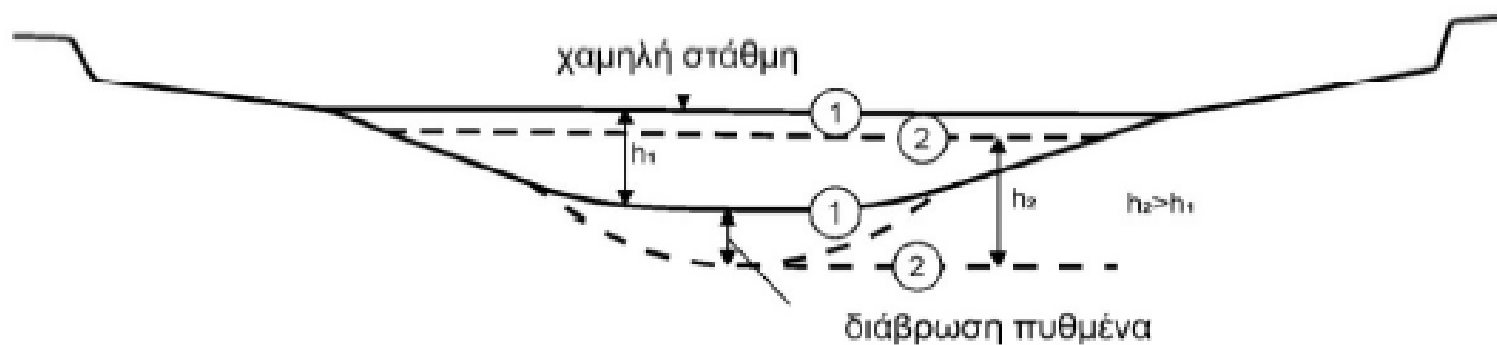


Σχήμα 3.6 Προσχώσεις ανάμεσα στους πρόβλους (Piirschel, 1967).

Έργα διευθέτησης των ποταμών

2) Εγκάρσια έργα ή πρόβολοι

Ο περιορισμός του πλάτους του υδατορεύματος μέσω των προβόλων προκαλεί διάβρωση της κοίτης.



Σχήμα 3.7 Επίδραση των προβόλων στον πυθμένα και στην ελεύθερη επιφάνεια του ποταμού: (1) αμέσως μετά την κατασκευή των προβόλων, (2) αρκετό χρόνο μετά την κατασκευή των προβόλων (Vollmers, 1990).

Έργα διευθέτησης των ποταμών

2) Εγκάρσια έργα ή πρόβολοι

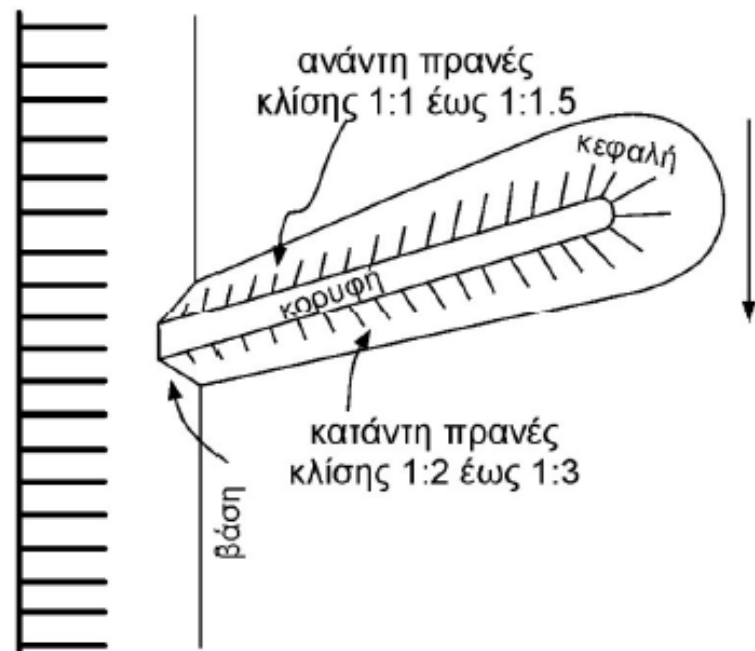
Ο πρόβολος αποτελείται από: (α) την κεφαλή (δηλ. το άκρο του), (β) το κύριο σώμα, το οποίο αποτελείται περαιτέρω από τα πρανή (πλευρές) και την κορυφή (στέψη) και (γ) τη βάση (ρίζα), δηλ. τη σύνδεση με τη φυσική κοίτη.

Ως προς τη στάθμη της κορυφής τους, οι πρόβολοι διακρίνονται σε:

(α) μερικώς βυθισμένους, όταν μόνο η κεφαλή βρίσκεται κάτω από τη χαμηλή στάθμη,

(β) πλήρως βυθισμένους, όταν η κορυφή ολόκληρου του προβόλου βρίσκεται κάτω από τη χαμηλή στάθμη και

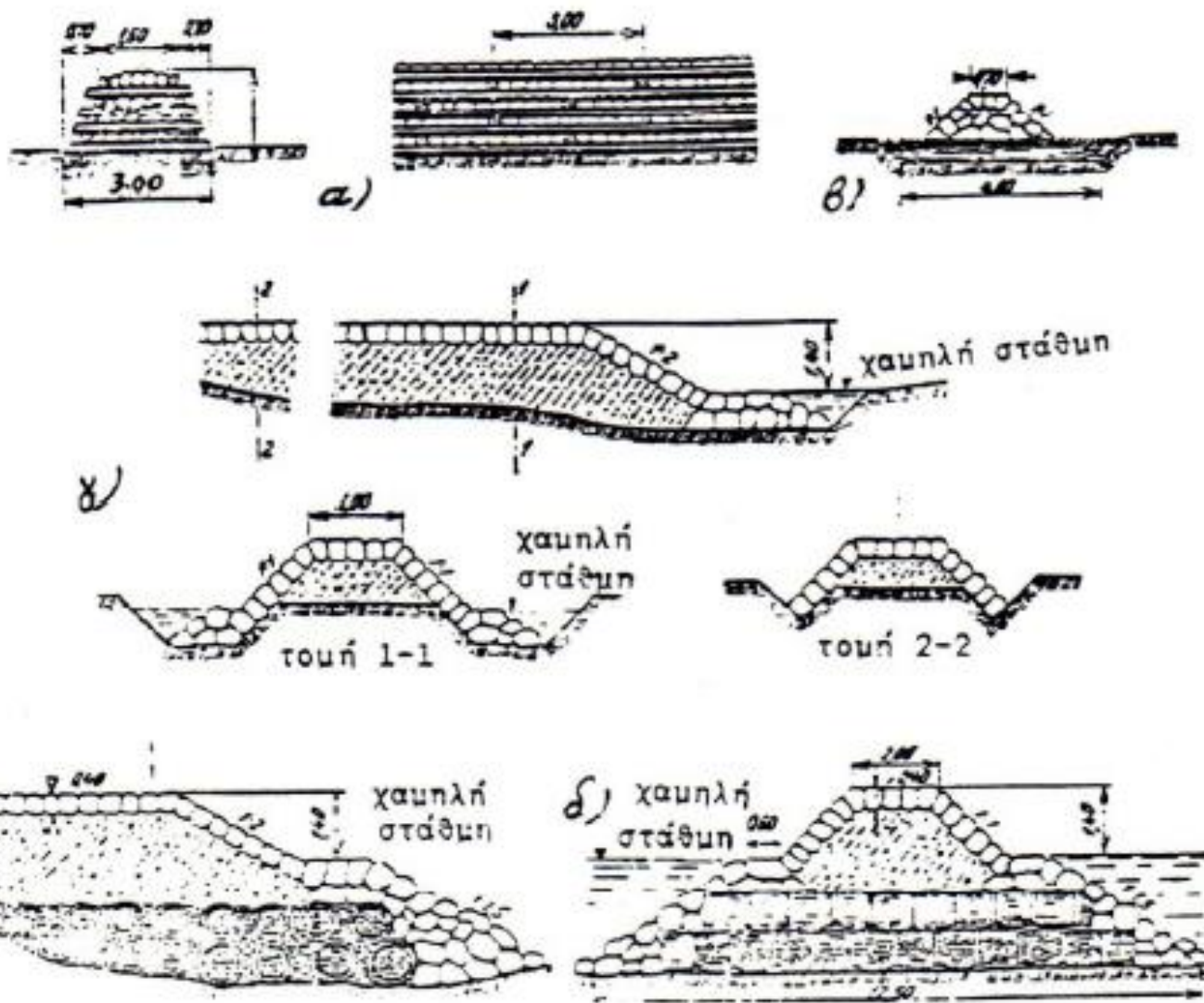
(γ) μη βυθισμένους, όταν η κορυφή βρίσκεται πάνω από τη χαμηλή στάθμη



χρήμα 3.8 Κύρια τμήματα προβόλου (Παρθενιάδης, 1977).

Έργα διευθέτησης των ποταμών

2) Εγκάρσια έργα ή πρόβολοι



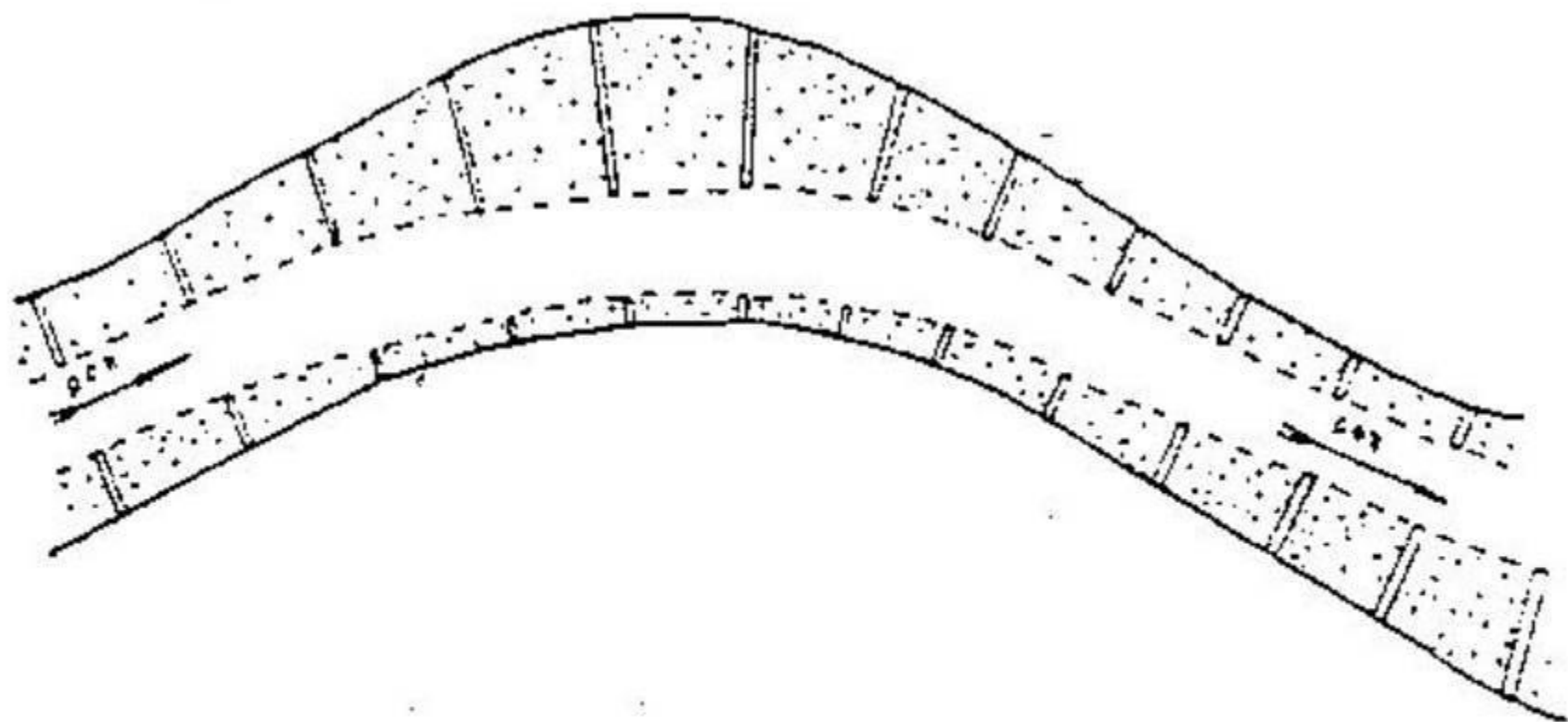
Σχήμα 3.9 Τύποι προβόλων από χαλίκια, λιθορριπή, επιμήκη καλάθια γεμάτα με αμμοχάλικο και τοιχοποιία (Παρθενιάδης, 1977)

Έργα διευθέτησης των ποταμών

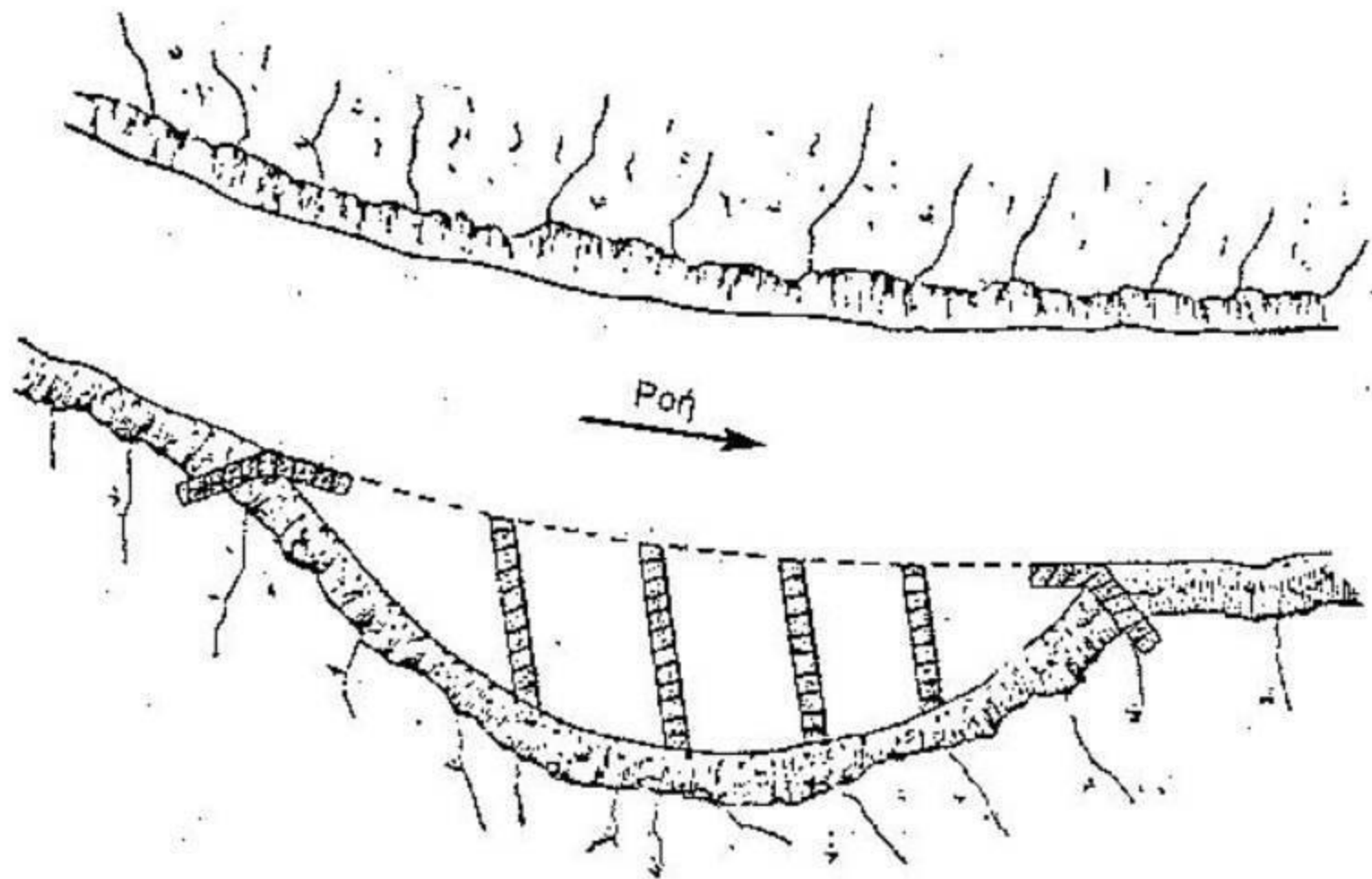
2) Εγκάρσια έργα ή πρόβολοι



Εικόνα 4. Πρόβολος κατασκευασμένος από κροκάλες (Πηγή: Κουλουκούρας, 2011)



Σχ. 7.3 Διάταξη προβόλων για την προστασία των πρανών από τη διάβρωση



Σχ. 9.7 Διάταξη προβόλων για την αποτροπή διαβρώσεως της όχθης χειμάρρου ή ποταμού.

Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Έργα σταθεροποίησης του πυθμένα

Για τη σταθεροποίηση, υπερύψωση και αλλαγή της φυσικής κλίσης της κοίτης χρησιμοποιούνται κατώφλια, εγκάρσιοι αναβαθμοί και φραγμάτια. Και τα τρία είδη έργων επιτελούν την ίδια λειτουργία και διαφέρουν μόνο ως προς την τάξη μεγέθους.

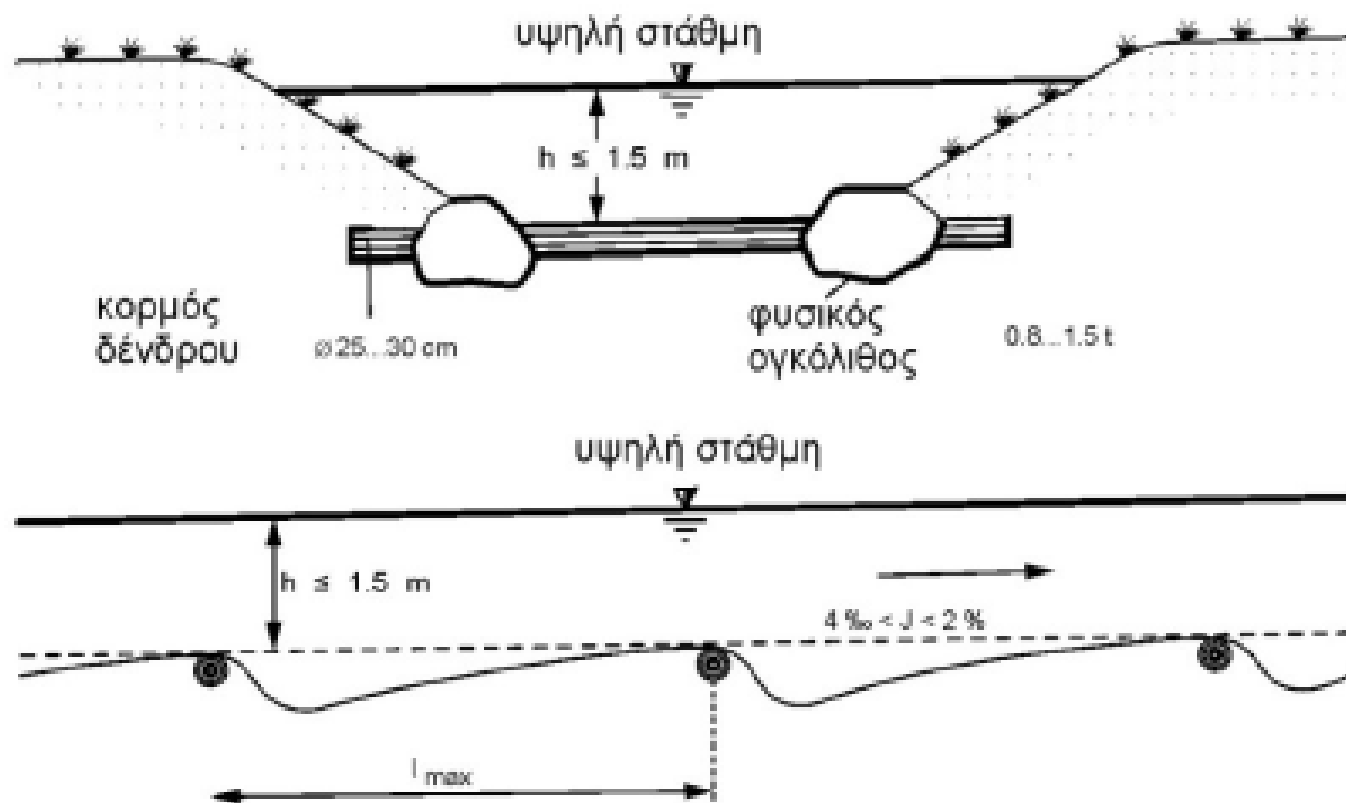
Τα κατώφλια, τα οποία κατά κύριο λόγο χρησιμεύουν στη σταθεροποίηση της κοίτης, διακρίνονται επίσης σε δύο κατηγορίες:

- (α) σ' αυτά, τα οποία προεξέχουν του εδάφους της κοίτης και έχουν ύψος μέχρι 2 m και
- (β) σ' εκείνα που δεν προεξέχουν.

Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Έργα σταθεροποίησης του πυθμένα

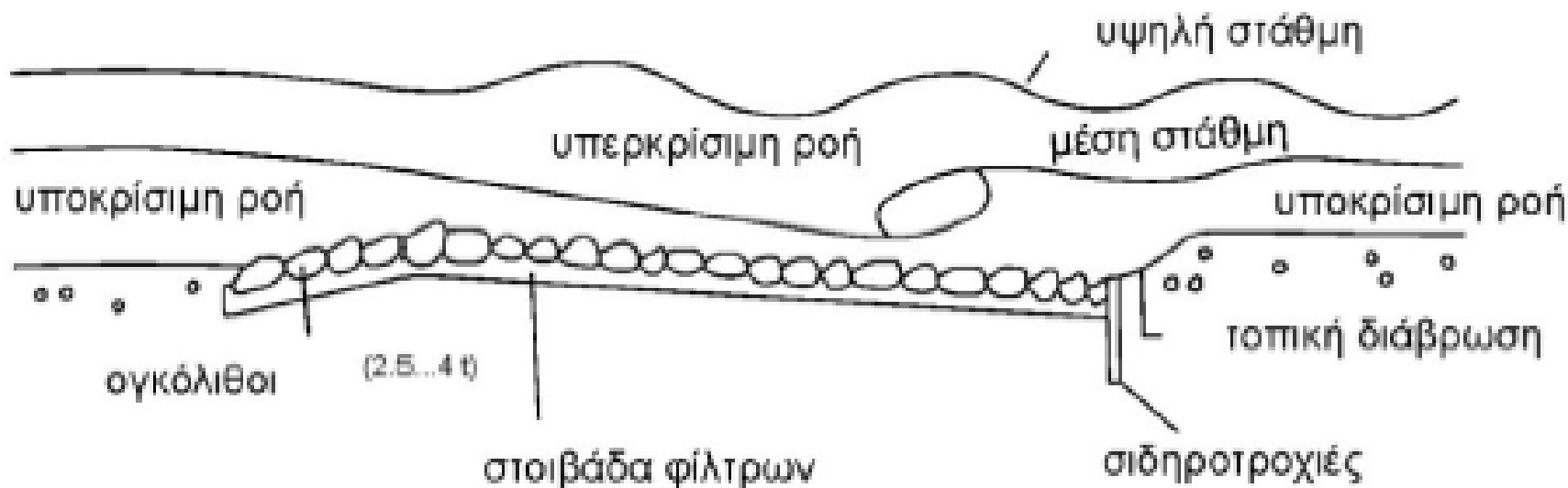
(α) σ' αυτά, τα οποία προεξέχουν του εδάφους της κοίτης και έχουν ύψος μέχρι 2 m



Σχήμα 3.10 Κατώφλι από κορμό δένδρου σε υδατόρευμα (Vischer & Huber, 1985).

Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Έργα σταθεροποίησης του πυθμένα (β) σ' εκείνα που δεν προεξέχουν.



Σχήμα 3.11 Κατώφλι από ογκόλιθους σε μορφή ράμπας (Vischer & Huber, 1985).

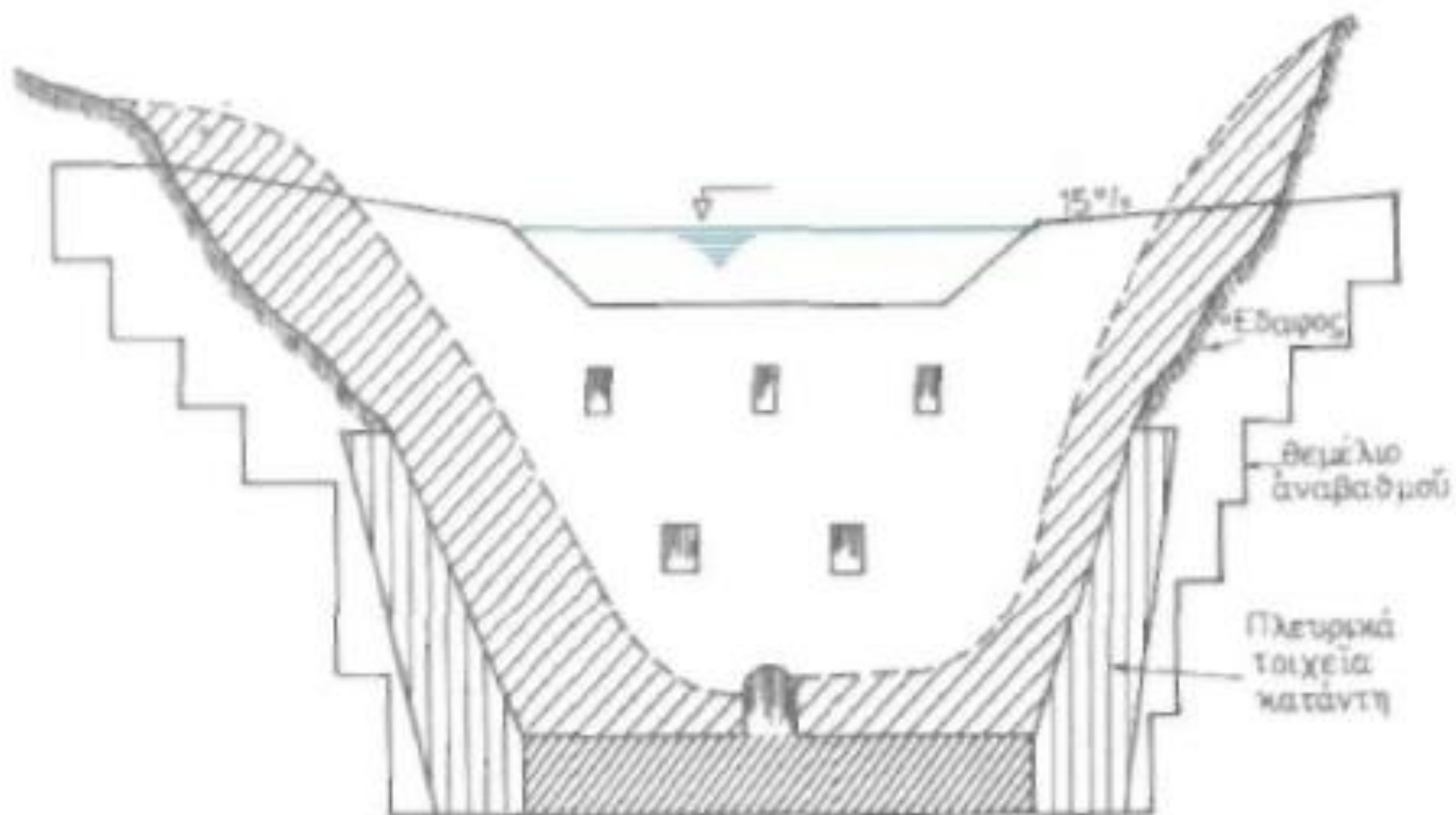
Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Έργα σταθεροποίησης του πυθμένα

Οι αναβαθμοί είναι ουσιαστικά μόνιμοι υπερχειλιστές για τη διατήρηση ή ανύψωση της κοίτης. Κατά κανόνα εκτείνονται από τη μια όχθη στην άλλη, με υψηλότερη στάθμη προς τις όχθες.

Σε ειδικές περιπτώσεις, ιδίως σε πλωτά ποτάμια, παραλείπεται το τμήμα του υπερχειλιστή, το οποίο βρίσκεται στο μέσο του ποταμού, και σε κάποιες περιπτώσεις, καθίσταται χαμηλότερη η στέψη του για τη δημιουργία ζώνης μεγαλύτερου βάθους για την ποταμοπλοΐα.

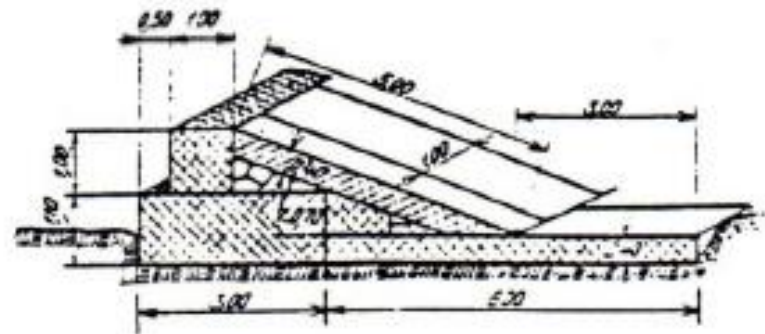
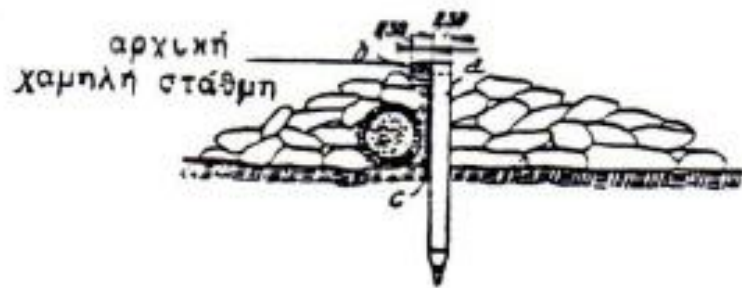
Το ύψος των αναβαθμών κυμαίνεται από 2 έως 6 m.



Σχήμα 14. Τομή αναβαθμού (Πηγή : Μπελάη , 2010)

Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Έργα σταθεροποίησης του πυθμένα

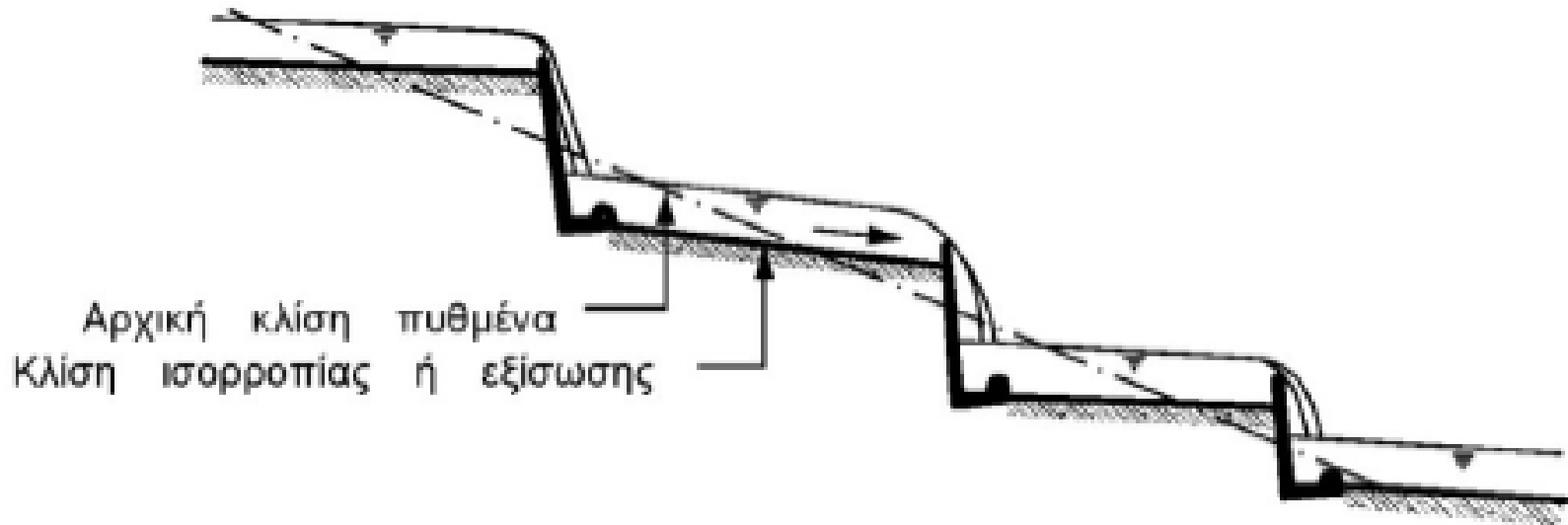


Σχήμα 3.12 α) Αναβαθμός με μόνιμο υπερχειλιστή, β) Αναβαθμός από συρμάτινα κιβώτια από ξύλο, επίμηκες γεμιστό καλάθι γεμάτα με λίθους (zarzanettes) και λιθορριπή (Παρθενιάδης, 1977)

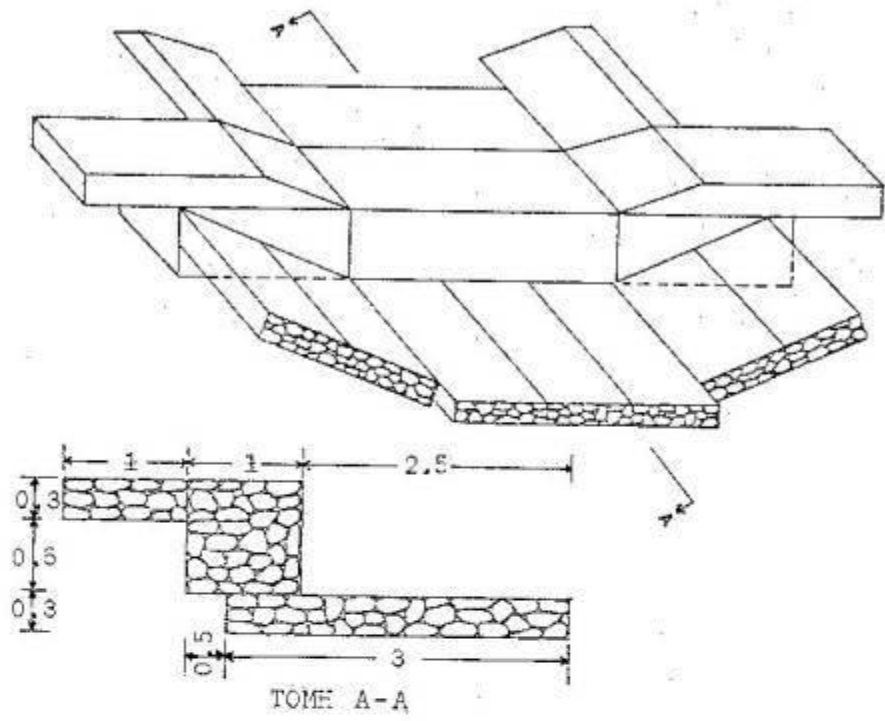
Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Έργα σταθεροποίησης του πυθμένα

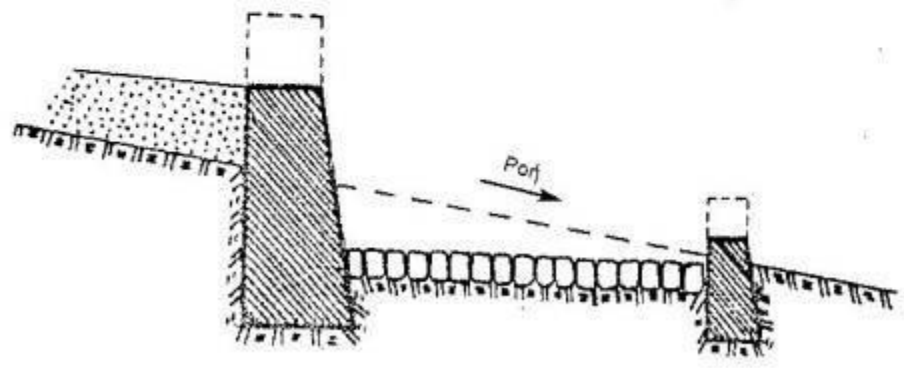
Με μια σειρά αναβαθμών επιτυγχάνεται η μείωση της κλίσης της κοίτης, καθόσον ανάμεσα στους αναβαθμούς λαμβάνουν χώρα προσχώσεις, οπότε η κοίτη αποκτά κλιμακωτό σχήμα. Το «πόδι» (η βάση) του αναβαθμού πρέπει να προστατεύεται με λιθορριπή λόγω της πτώσης του νερού αμέσως κατάντη του αναβαθμού.



Σχήμα 3.13 Σειρά αναβαθμών για μείωση της κλίσης ενός χειμάρρου (Σακκάς, 1985).



Σχ. 9.4 Αναβαθμός από σιματοκιβώτια.



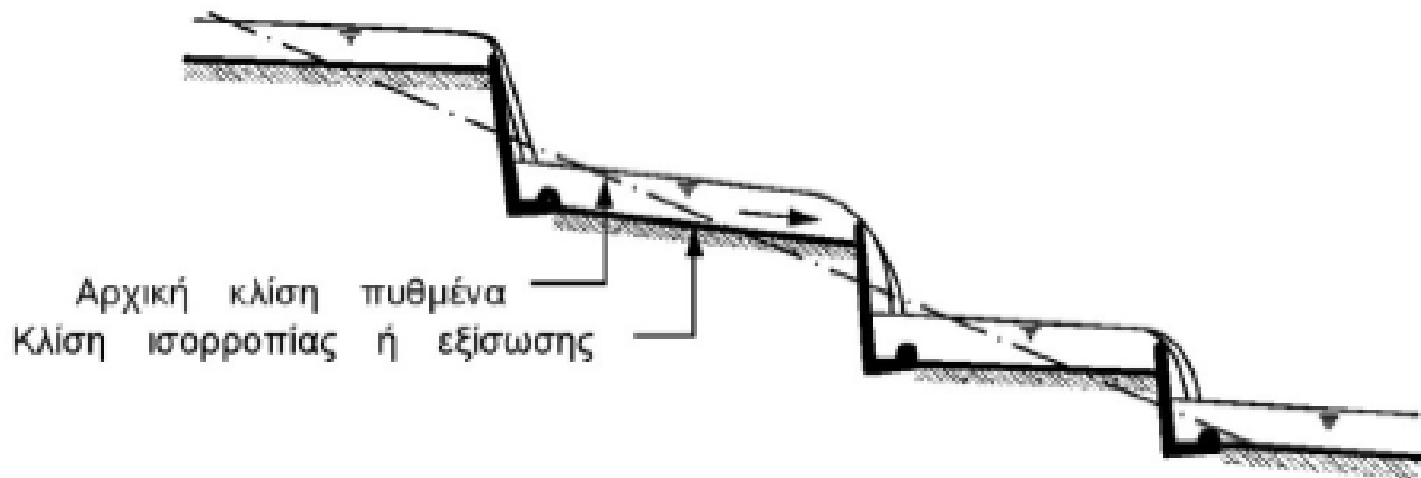
Σχ. 9.5 Αναβαθμός από σκυρόδεμα με λίθινη κοιτόστρωση και προστατευτικό μετάφραγμα.

Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Έργα σταθεροποίησης του πυθμένα

Τα φραγμάτια, είναι φράγματα μικρής κλίμακας και μπορούν να θεωρηθούν ως αναβαθμοί μεγαλύτερου ύψους. Το ύψος τους υπερβαίνει συνήθως τα 8 m.

Χρησιμοποιούνται σε ορεινούς ποταμούς μεγάλης κλίσης και μεγάλης ταχύτητας ροής με σκοπό τη μείωσή τους, την αποφυγή διάβρωσης και τη σταθεροποίηση των πρανών μέσω της υπερύψωσης της κοίτης.



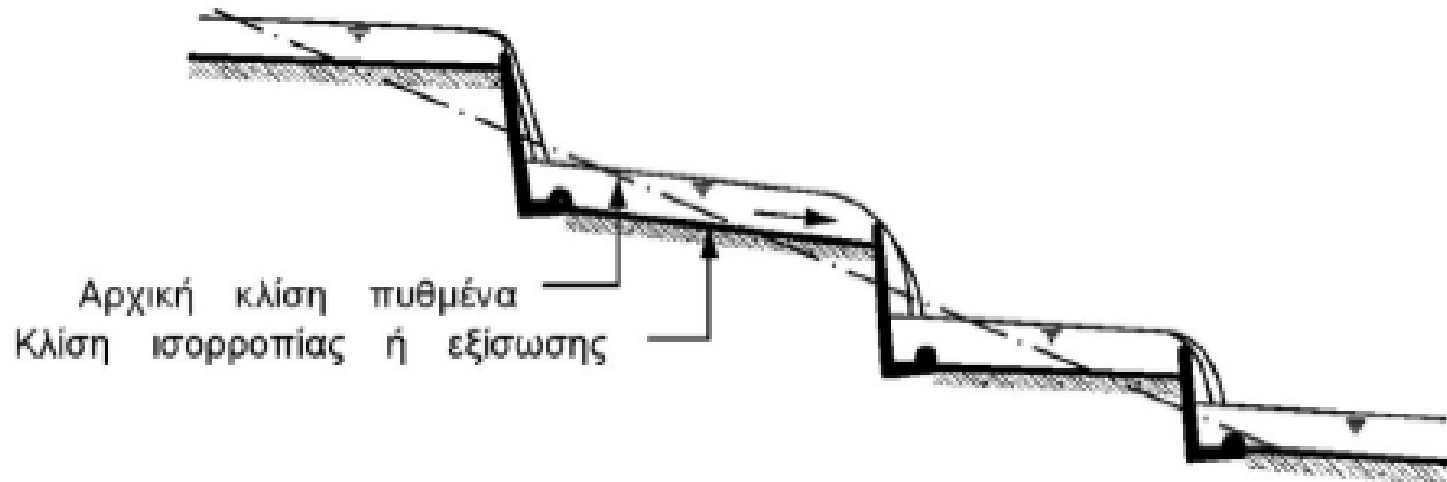
Σχήμα 3.13 Σειρά αναβαθμών για μείωση της κλίσης ενός χειμάρρου (Σακκάς, 1985).

Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Έργα σταθεροποίησης του πυθμένα

Στη βάση του φραγματίου κατασκευάζεται προστατευτικό επίστρωμα από λιθορριπή μήκους 1.5 έως 2 φορές την υψομετρική διαφορά των σταθμών του νερού πριν και μετά την πτώση.

Συνήθως, το υψόμετρο της στέψης του φραγματίου μειώνεται προς τον άξονα του ποταμού με σκοπό τη συγκέντρωση της παροχής προς την περιοχή αυτή.



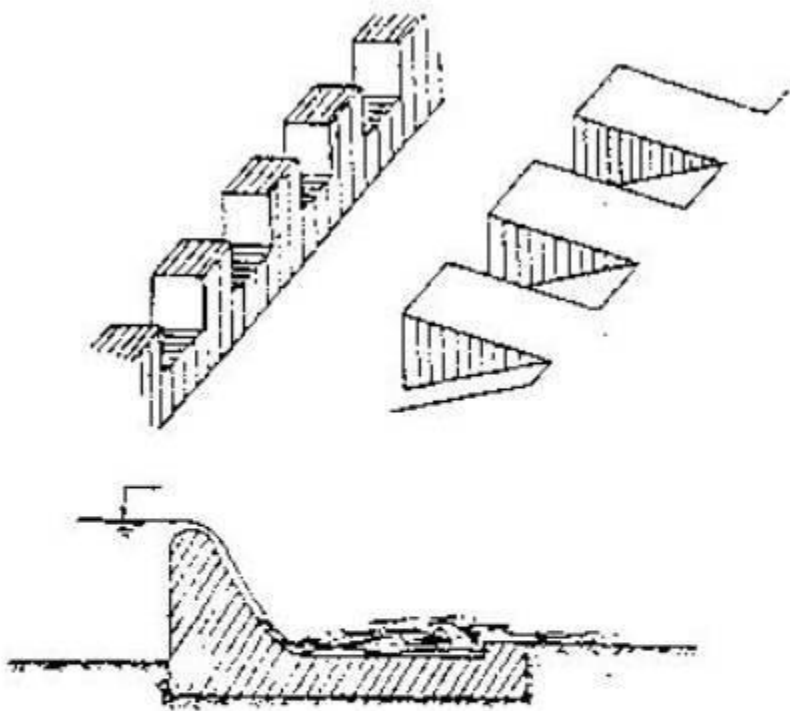
Σχήμα 3.13 Σειρά αναβαθμίσεων για μείωση της κλίσης ενός χειμάρρου (Σακιάς, 1985).



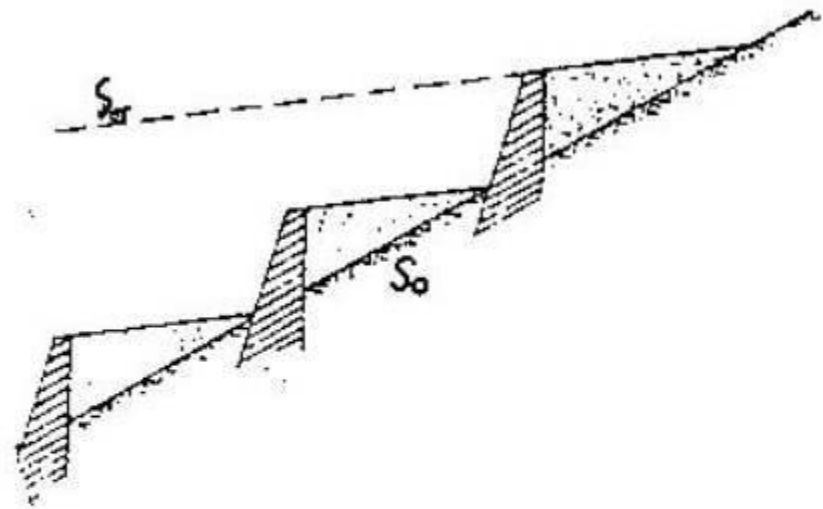
Εικόνα 5. Αναβαθμός από οπλισμένο σκυρόδεμα (Πηγή: Κουλουκούρας, 2011)



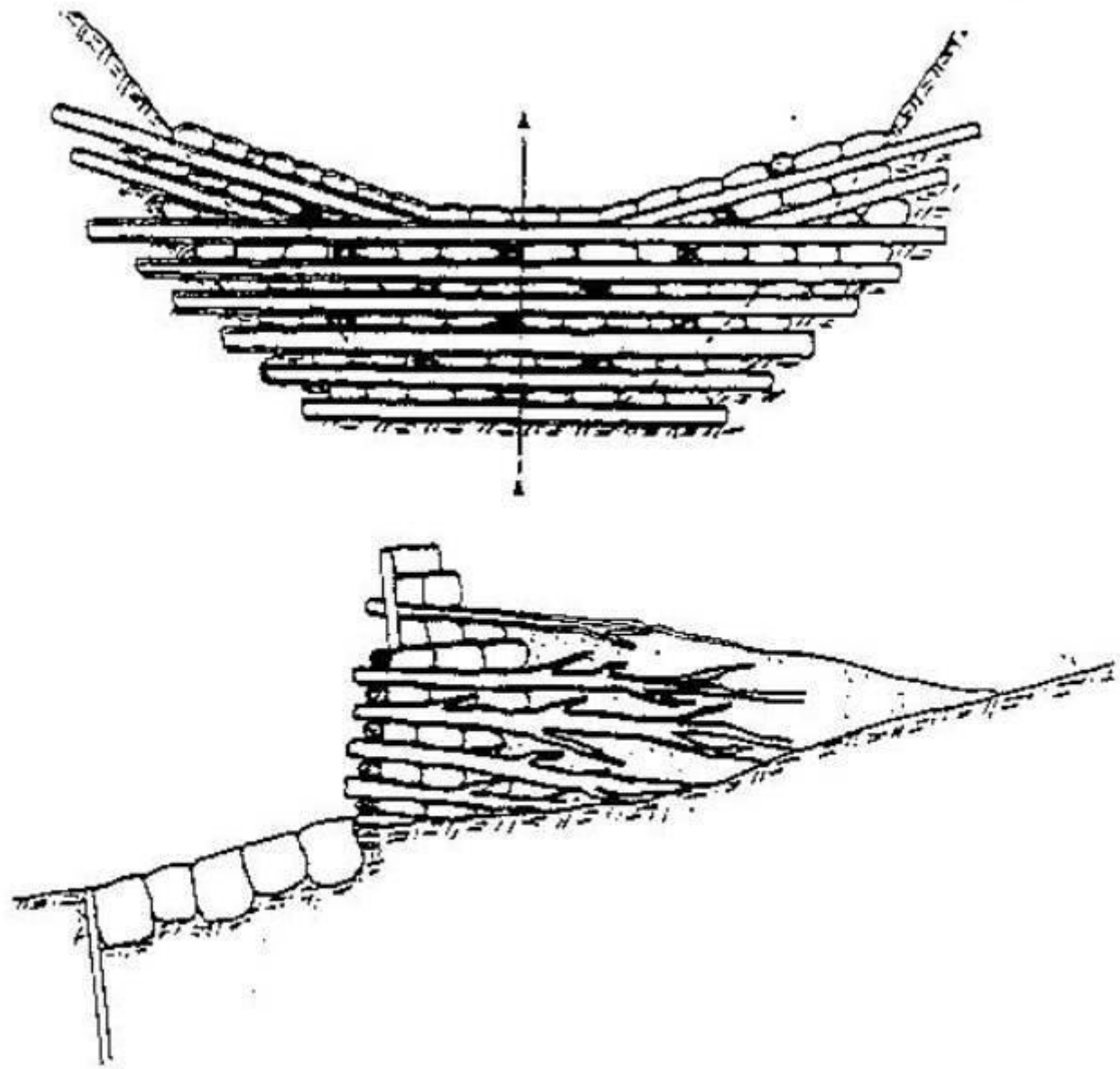
Εικόνα 6 . Επαναλαμβανόμενοι αναβαθμοί (Πηγή: Κουλουκούρας, 2011)



Σχ. 7.1 Αναβαθμός με σύστημα καταστροφής ενέργειας



Σχ. 7.2 Σύστημα διαδοχικών αναβαθμών



Σχ. 7.5 Πρόσοψη και τομή ξύλινου αναβαθμού

Έργα διευθέτησης των ποταμών

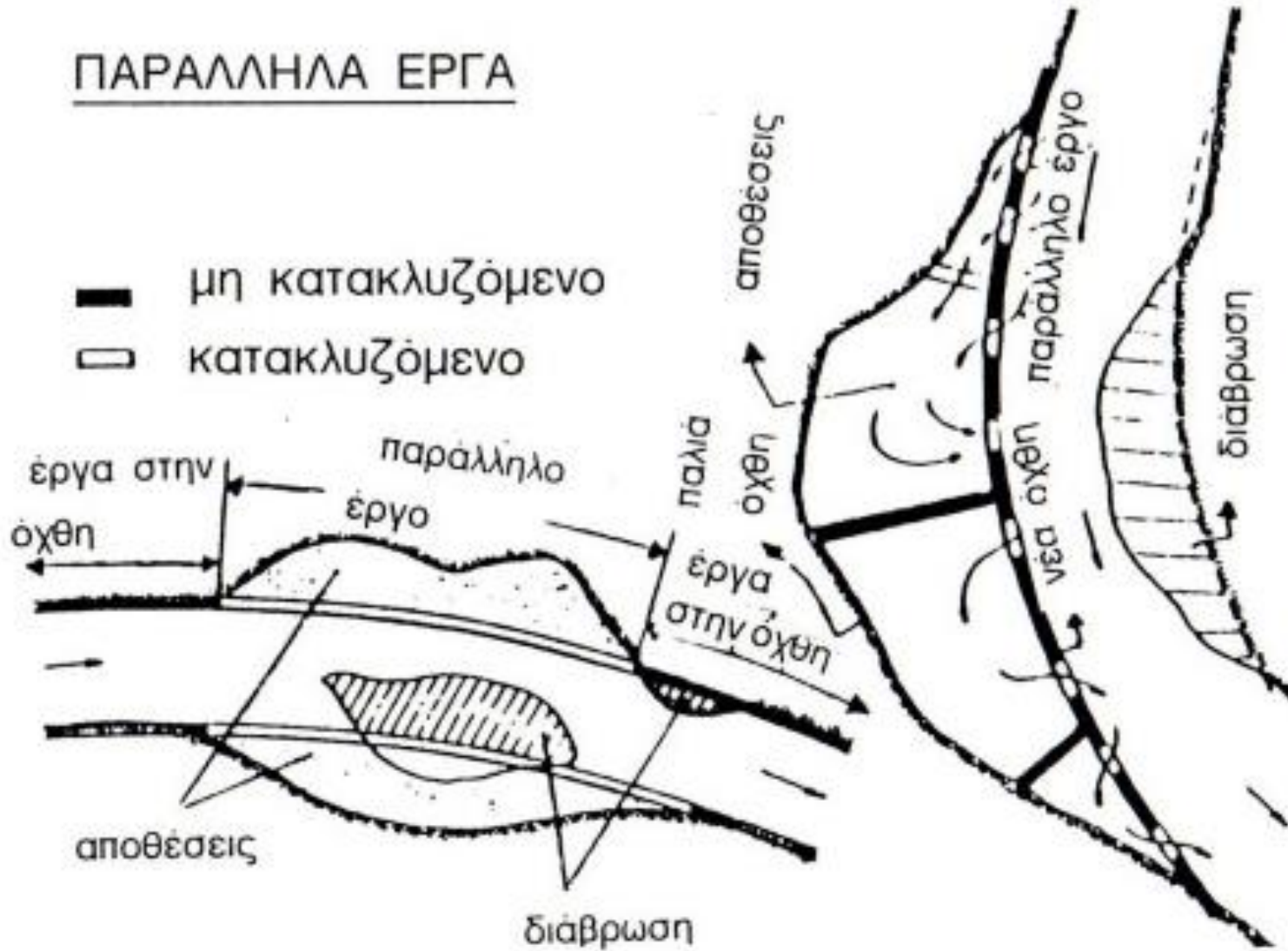
3) Παράλληλα έργα:

Τα παράλληλα έργα κατασκευάζονται με βάση τη χάραξη των νέων οχθών και αποσκοπούν στην άμεση καθοδήγηση της κύριας ροής του ποταμού μέσα στη νέα κοίτη, καθώς και στη διατήρησή της.

1. Κατασκευή του αρχικού κατά μήκος έργου.
2. Πρόσχωση του χώρου ανάμεσα στην αρχική όχθη και στο έργο: Η επίχωση αυτή λαμβάνει χώρα κατά τον σχηματισμό της νέας κοίτης του ποταμού. Ένα από τα κύρια κριτήρια επιτυχίας της μελέτης των έργων διευθέτησης είναι ο βαθμός πρόσχωσης από τον ίδιο τον ποταμό. Για τον σκοπό αυτόν, η διάταξη των έργων πρέπει να είναι τέτοια, ώστε αφενός να ευνοείται η είσοδος του φορτισμένου με φερτές ύλες νερού πίσω από τα έργα και αφετέρου να παρεμποδίζεται στις εν λόγω περιοχές η ανάπτυξη ισχυρών ρευμάτων, τα οποία, ενδεχομένως, θα διέβρωναν και θα παρέσυραν τις προηγούμενες ύλες. Αυτό επιτυγχάνεται αφενός με το κατάλληλο αρχικό ύψος των έργων και αφετέρου με εγκάρσιες συνδέσεις με τη φυσική όχθη (Σχήμα 3.4).
3. Περάτωση της διευθέτησης: Η τελευταία αυτή φάση συνίσταται στην τεχνητή επιχωμάτωση του υπολειπόμενου χώρου ανάμεσα στο κατά μήκος έργο και στη φυσική όχθη, στην προστατευτική επένδυση της νέας όχθης και τέλος στη δειροφύτευση της νέας περιοχής που δημιουργήθηκε.

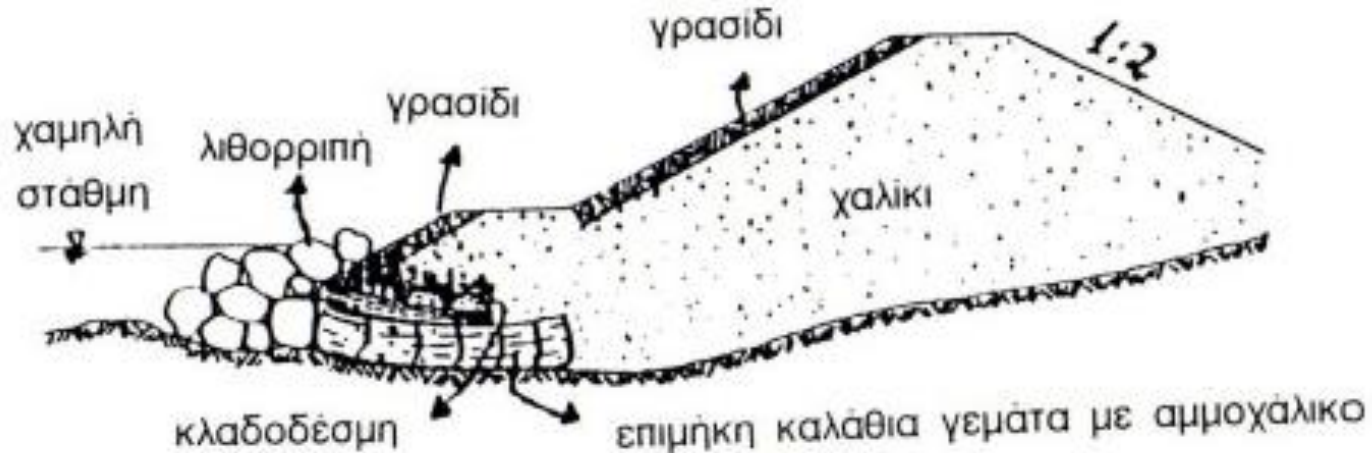
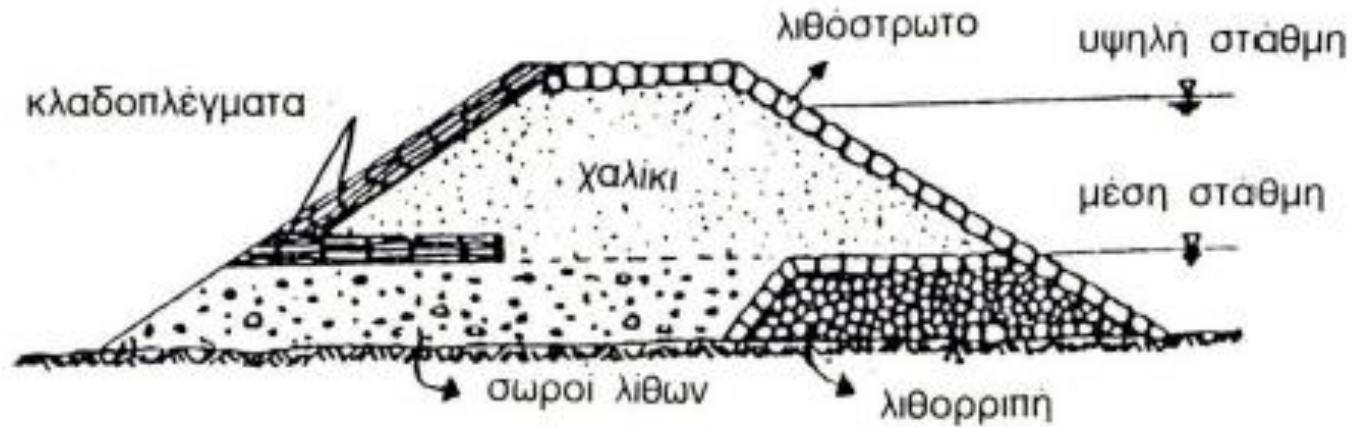
Έργα διευθέτησης των ποταμών

4) Παράλληλα έργα τα οποία μπορεί να είναι:



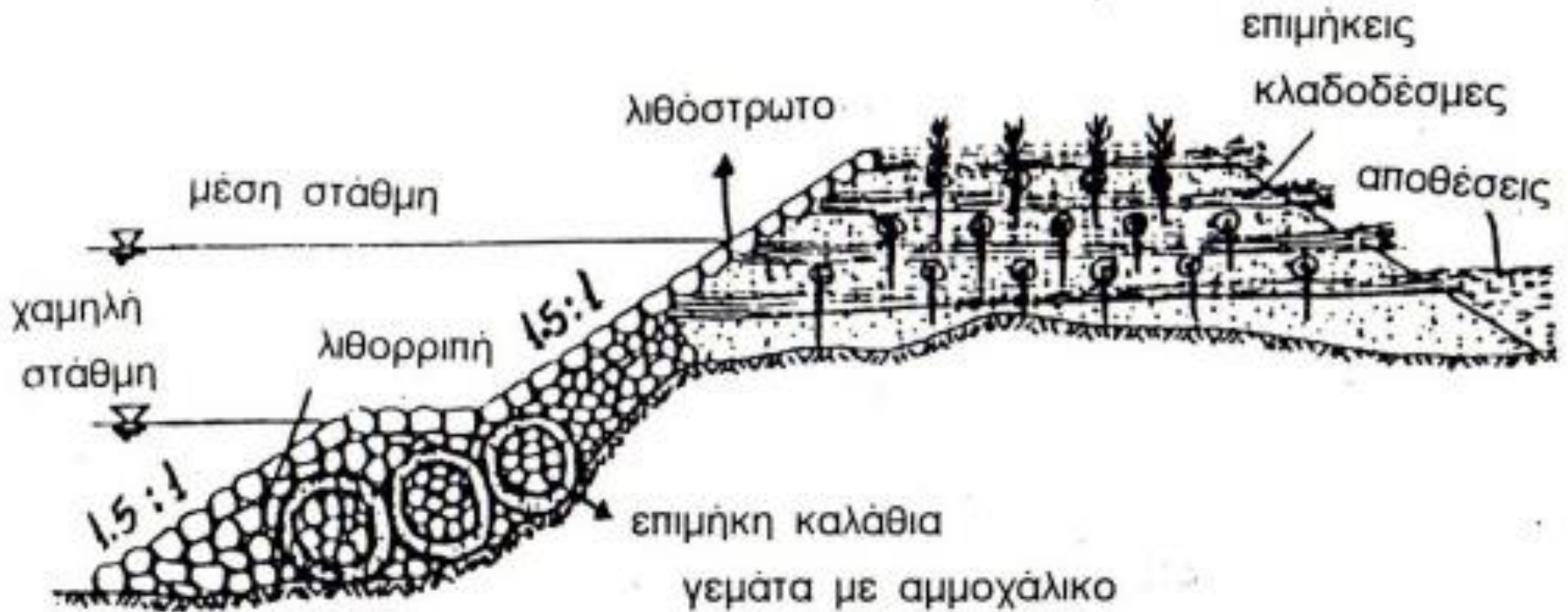
Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Παράλληλα έργα τα οποία μπορεί να είναι:



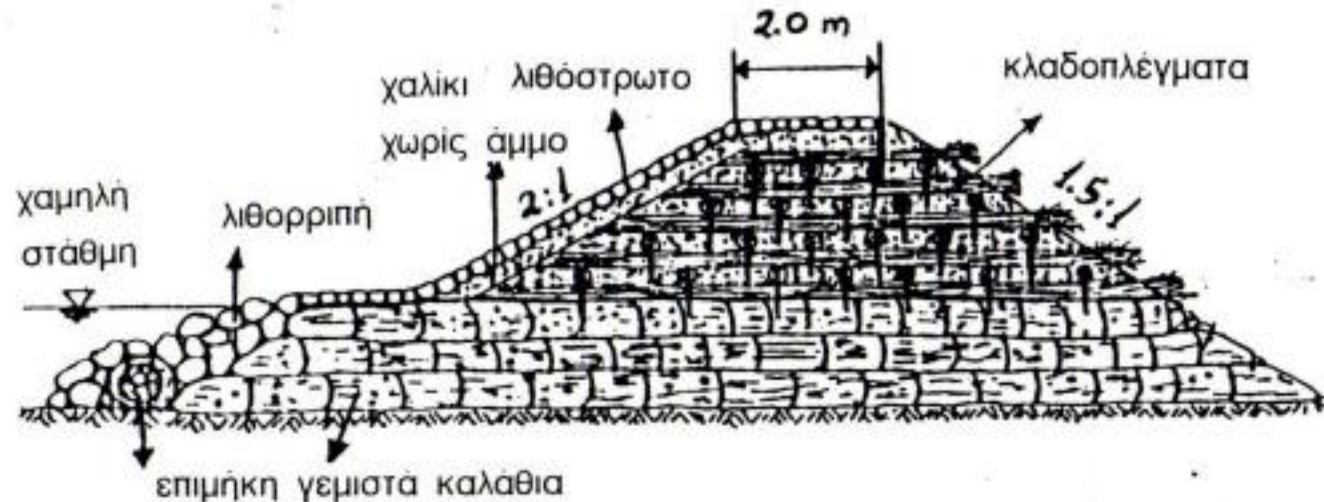
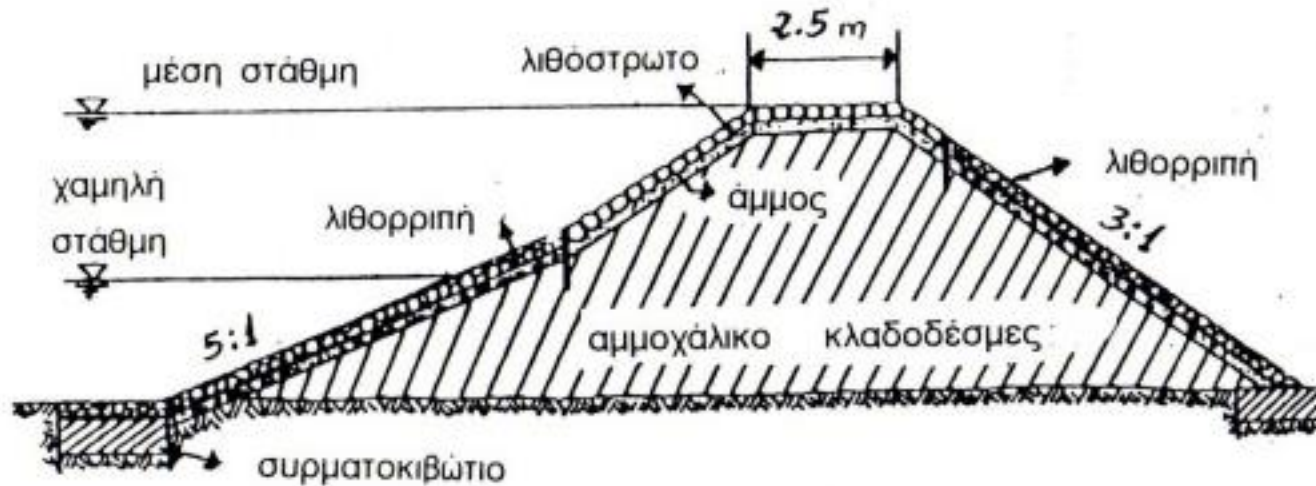
Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Παράλληλα έργα τα οποία μπορεί να είναι:



Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Παράλληλα έργα τα οποία μπορεί να είναι:



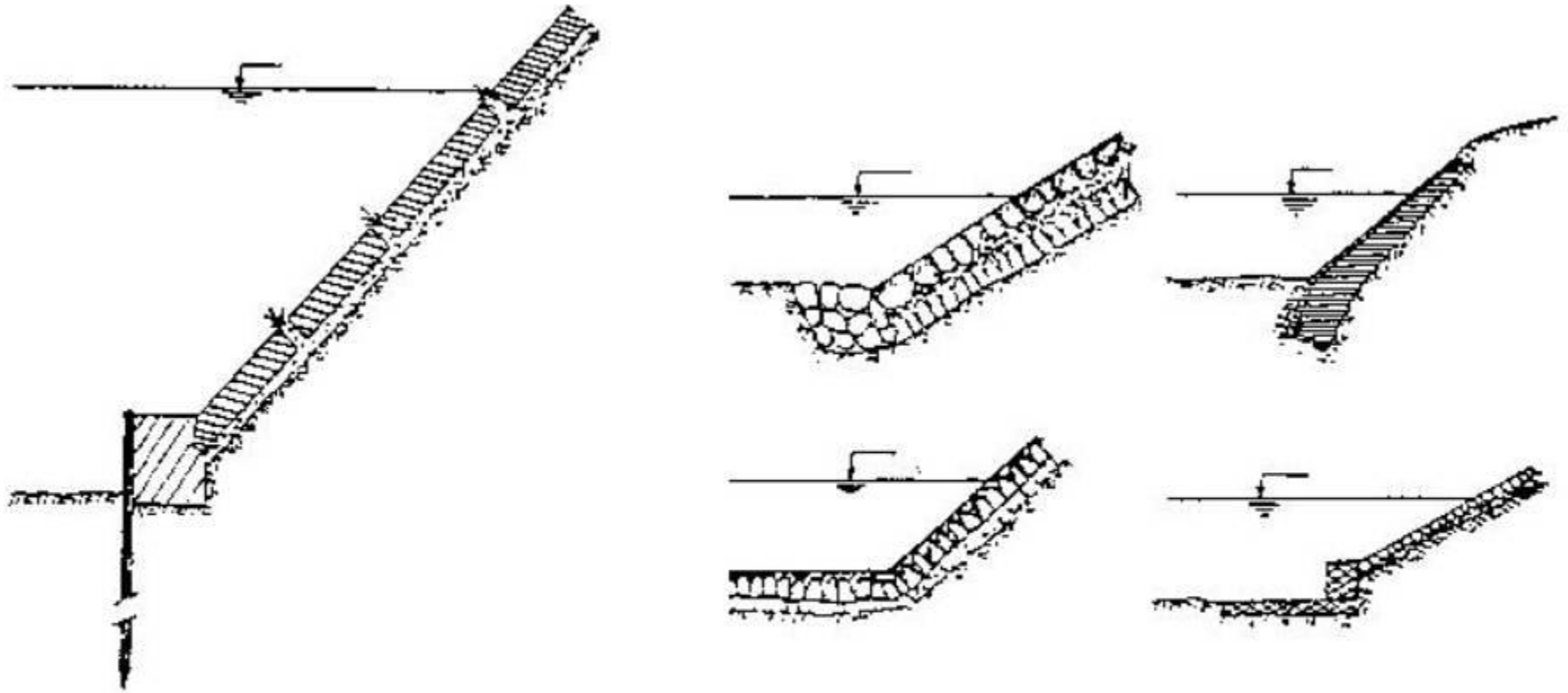
Έργα διευθέτησης των ποταμών

3) Παράλληλα έργα τα οποία μπορεί να είναι:

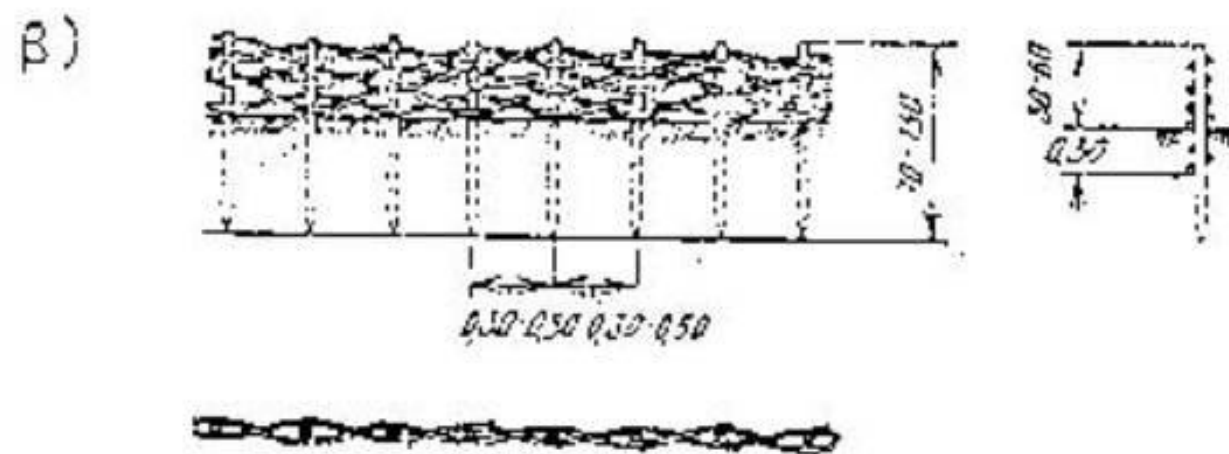
Μονολιθικά όπως τοίχοι από λιθοδομή ή σκυρόδεμα ή

Παραμορφούμενα όπως συρματοκιβώτια ή

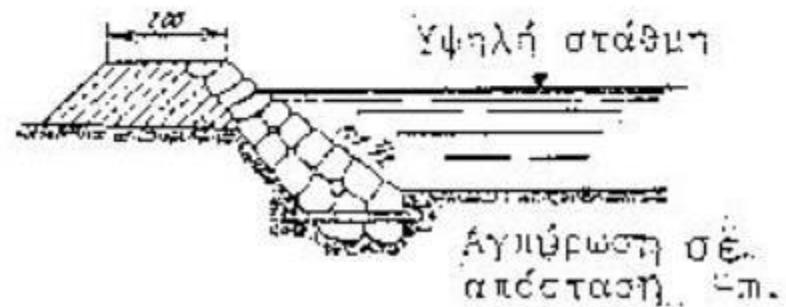
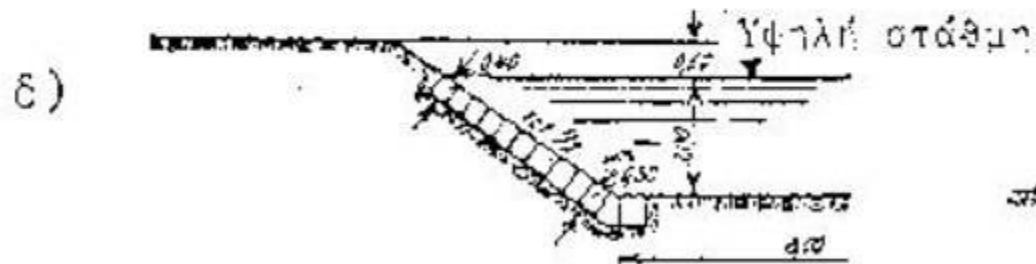
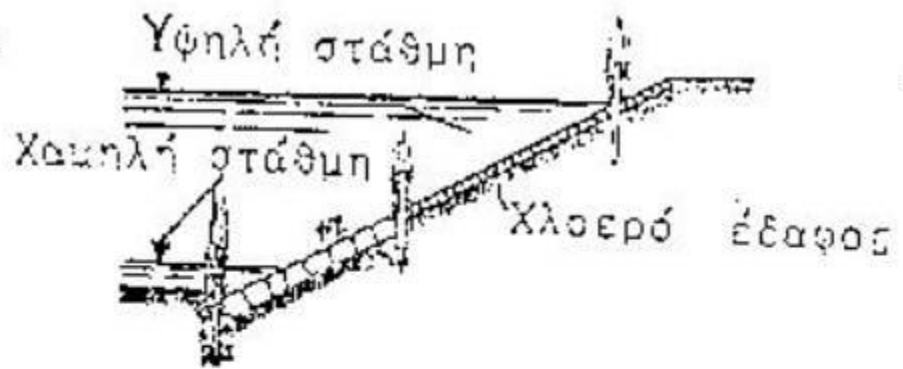
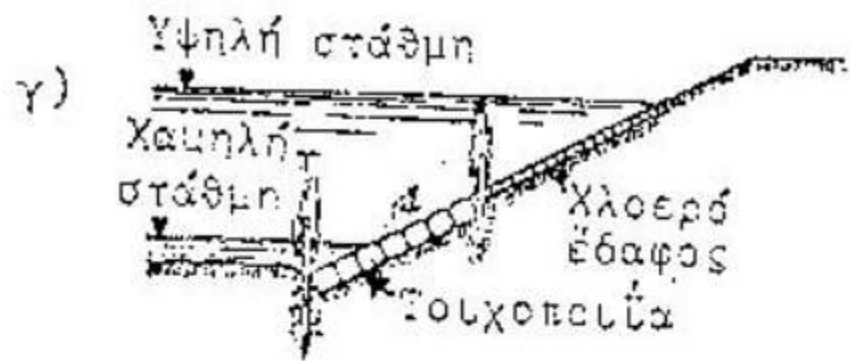
προκατασκευασμένες πλάκες



Σχ. 7.4 Διάφοροι τρόποι προστασίας των πρανών ενός ποταμού

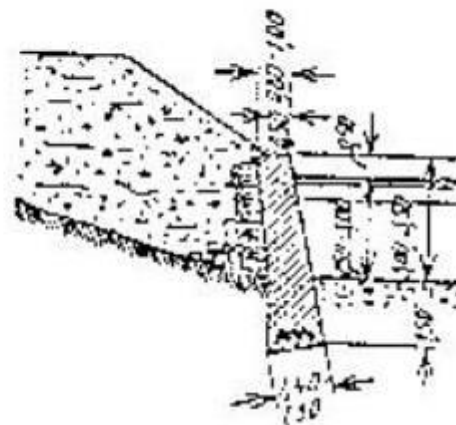
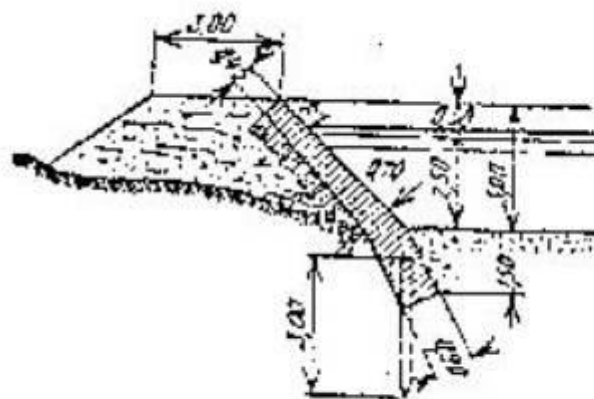


Σχ. 9.6 Τυπικές μορφές παραλήλων έργων για την προστασία των οχθών α) Τυπική μορφή ξύλοδέσμης β) Τυπική μορφή φράκτη από κλαδοπέγμα



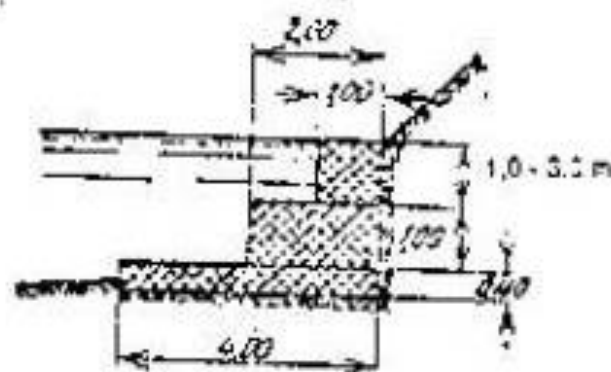
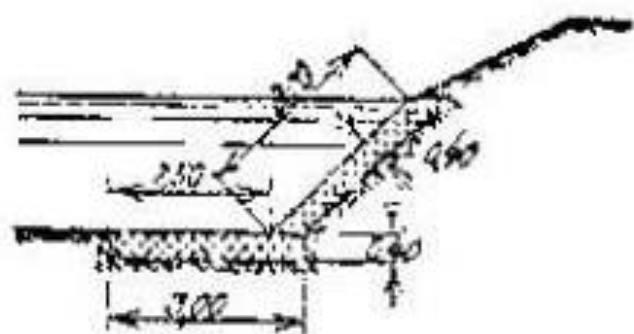
γ) Προστασία πρανούς με φράκτες από κιάδοπλεγμα, λιθοδομή και χλοερό έδαφος δ) Προστασία πρανούς με λιθοδομή και λιθορριπή ε)

ii)



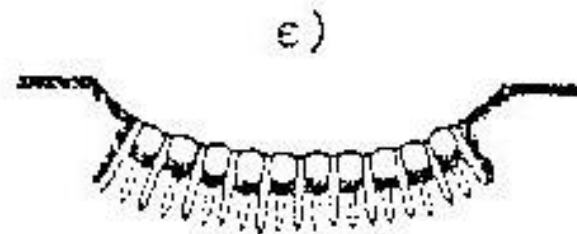
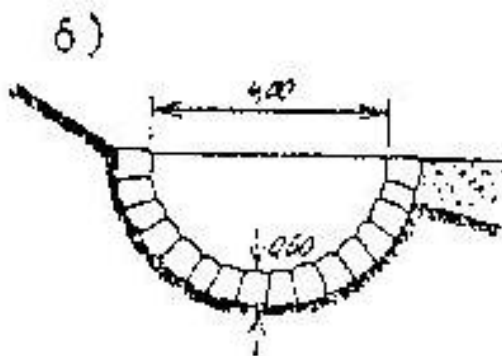
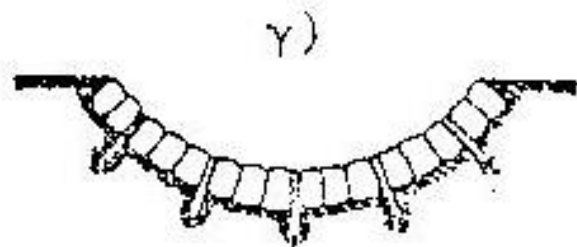
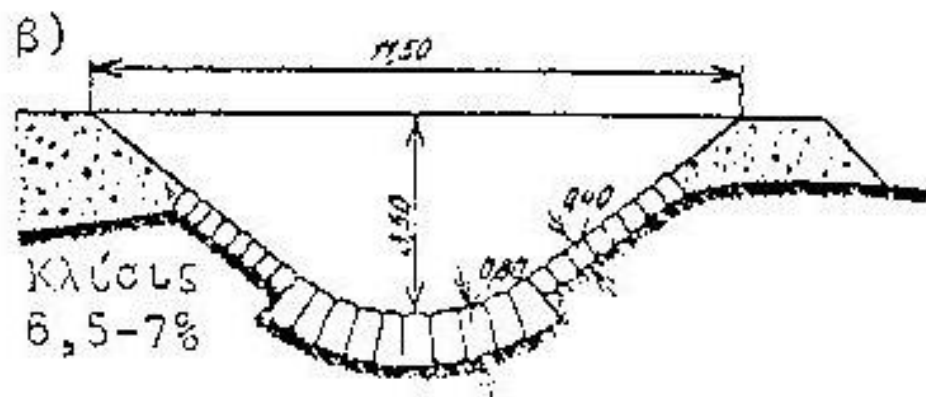
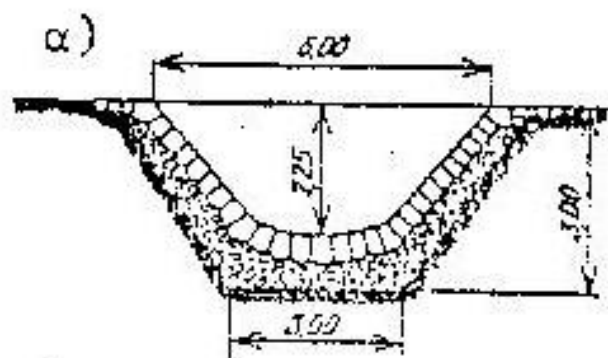
Προστασία πρανούς με τοιχοποιία από σκυρόδεμα. στ) Προστασία
πρανούς με συρματοκιβώτια

στ)



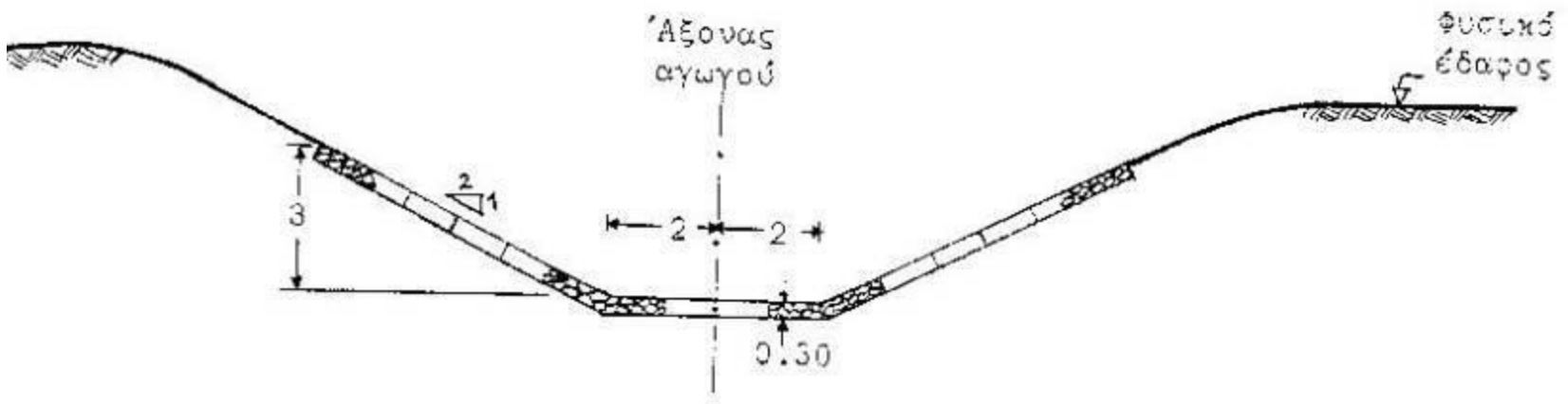
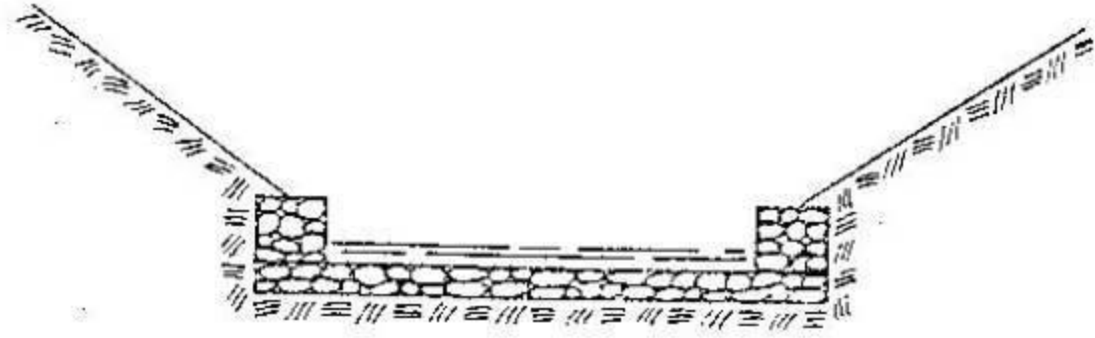
Προστασία πρανούς με τοιχοποιία από σκυρόδεμα
προνούς με συρματοκιβώτια

σι) Προστασία



Προστατευτικές επενδύσεις

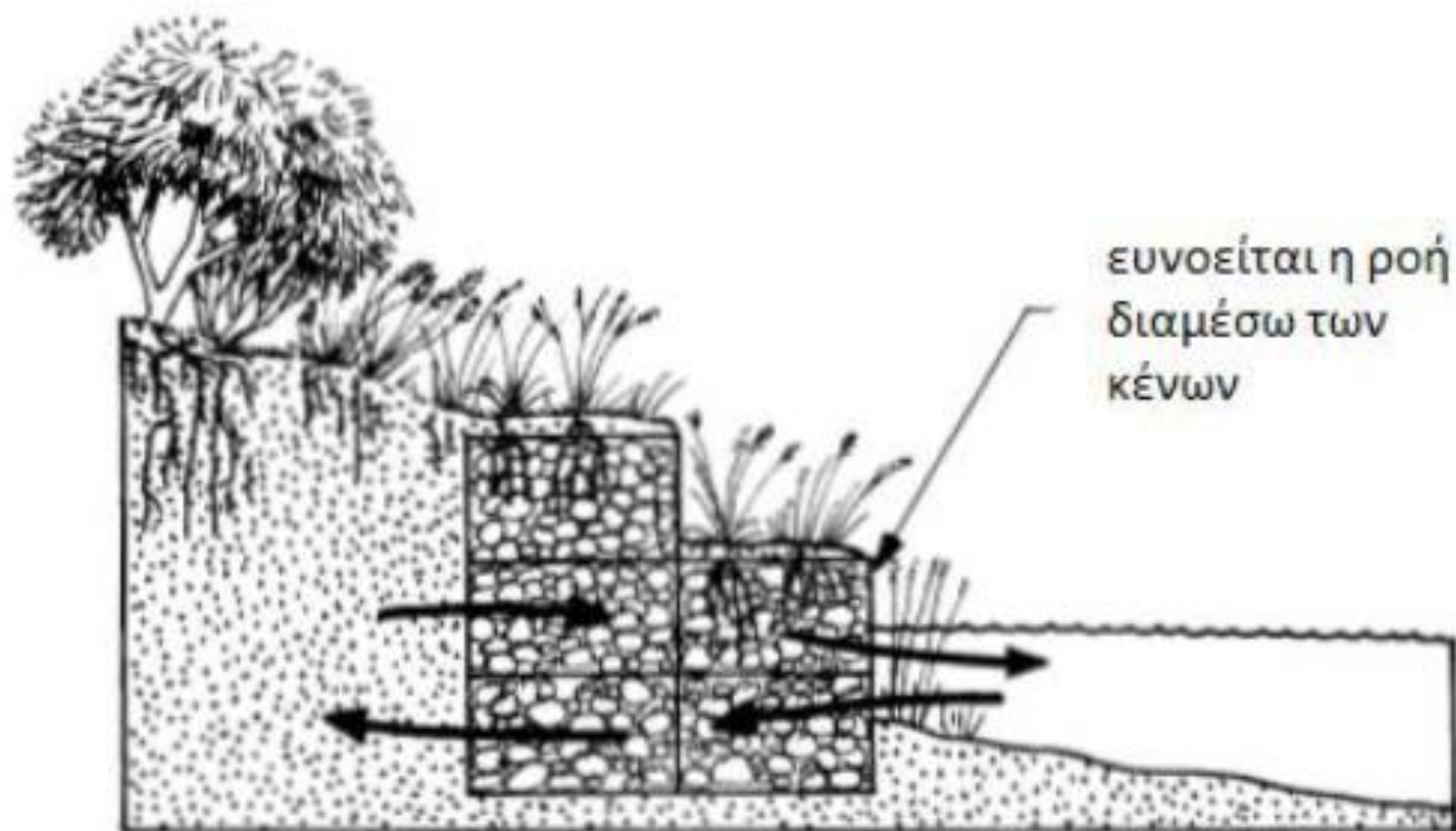
στ)



Σχ. 9.8 Προστατευτικές επενδύσεις της κοίτης χειμάρρου.
(α) - (ε) με λιθοδομή, (στ) - (ζ) με συρματοκιβώτια.

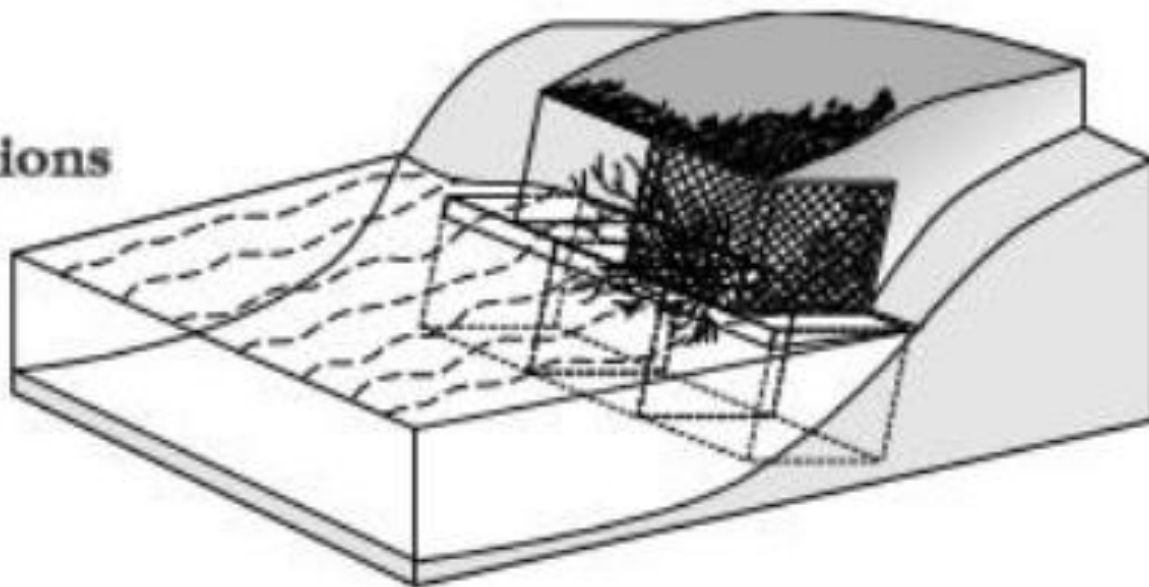


Εικόνα 2.8: Λιθοπληρωμένα συρμάτινα κιβώτια (Πηγή: “SEPT”, <http://natural-stone.setp.fr>)



Εικόνα 2.10: Απεικόνιση του προφίλ της παρόχθιας ζώνης μετά την εφαρμογή των συρμάτινων κιβωτίων (Πηγή: “Stream stabilization” , Waters and Rivers Commission, February 2011, Report

Gabions



Εικόνα 2.9: Απεικόνιση εφαρμογής συρμάτων κιβωτίων στην παρόχθια ζώνη για την αντιμετώπιση της διάβρωσης (Πηγή: “Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices”, Federal Interagency Stream Restoration Working Group)