



Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε το σύνδεσμο: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ

Υδραυλικά Έργα

Δρ. Βασίλης Μπέλλος

Ορισμός

- Έργα που σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους
- Έργα αξιοποίησης
 - μεταφορά νερού
 - ρύθμιση υδατικών πόρων
 - επεξεργασία νερού
 - παραγωγή ενέργειας
- Προστασία πόρων και περιβάλλοντος
 - αντιπλημμυρικά έργα
 - διευθετήσεις ποταμών
 - αποχετευτικά έργα
 - επεξεργασία λυμάτων

Αρχές σχεδιασμού έργων

- **Πιθανοτικός σχεδιασμός**
- **Προσομοίωση/Πρόβλεψη μεταβλητών**
 - Πείραμα
 - Αριθμητικό μοντέλο
- **Χρήση αριθμητικών μοντέλων**
 - Μικρό κόστος
 - Ασφαλή αποτελέσματα
- **Πείραμα**
 - Σημαντικό κόστος
 - Εγκυρότερα αποτελέσματα;

Σχεδιασμός

- **Υπολογισμός μεγεθών → πρόβλεψη**
 - Ποσότητα
 - Ποιότητα
- **Χρονική κλίμακα**
 - Μη μόνιμα μεγέθη → μεταβολή στο χρόνο
 - Μόνιμα μεγέθη → μέγιστη τιμή
- **Μπορεί να απαιτείται πάνω από ένα μέγεθος**
 - Πολυκριτηριακό πρόβλημα
 - Αντικρουόμενα κριτήρια

Ομάδα 2η

1. Φράγματα και αναβαθμοί
2. Ταμιευτήρες
3. Υδροληψία ή εκτροπή
4. Υδροληψία από λίμνες
5. Υδρομαστεύσεις πηγών
6. Υδρογεωτρήσεις
7. Αγωγοί μεταφοράς

Ομάδα 2η

8. Σύστημα ύδρευσης πρωτεύουσας
9. Αρδευτικά και αποστραγγιστικά έργα
10. Αποξηραντικά έργα
11. Έργα για τη χρησιμοποίηση της ακαλλιέργητης γης
12. Έργα τεχνητού εμπλουτισμού υδάτων
13. Έργα πρόληψης ή αντιμετώπισης υφαλμύρισης
14. Έργα επαναπλημμυρισμού εδαφών

Ομάδα 2η

15. Αντιπλημμυρικά έργα και έργα διευθέτησης

16. Έργα εκβολής εισερχόμενα εντός της θάλασσας

17. Έργα εκβολής τάφρων εισερχόμενα εντός της θάλασσας

18. Αναχώματα σε λίμνες και υγρότοπους

19. Έργα αντιμετώπισης διάβρωσης

20. Πρόβολοι στο υδατόρεμα

21. Εγκαταστάσεις για την επεξεργασία νερού

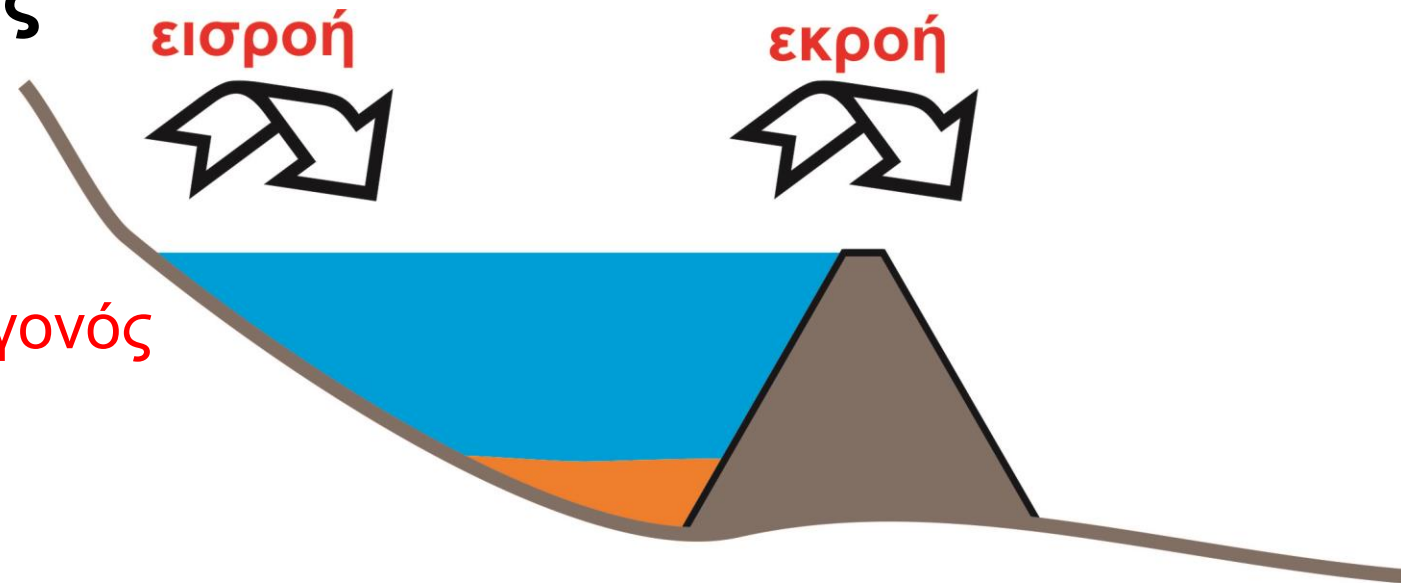
22. Επένδυση εδαφών προς στεγανοποίηση

Φράγματα και ταμιευτήρες

Ρύθμιση υδατικών πόρων

Φράγμα

- Το πιο σημαντικό έργο αποθήκευσης!
- Πολλαπλής σκοπιμότητας
- Σχεδιασμός
 - Υδατικό ισοζύγιο
 - Όγκος → **υπερετήσια βάση**
 - Υπερχειλιστής → **ακραίο γεγονός**



- **Κανονισμός ασφαλείας φραγμάτων**
 - Υπουργική Απόφαση ΔΑΕΕ/οικ.2287/2016 - ΦΕΚ 4420/Β/30-12-2016

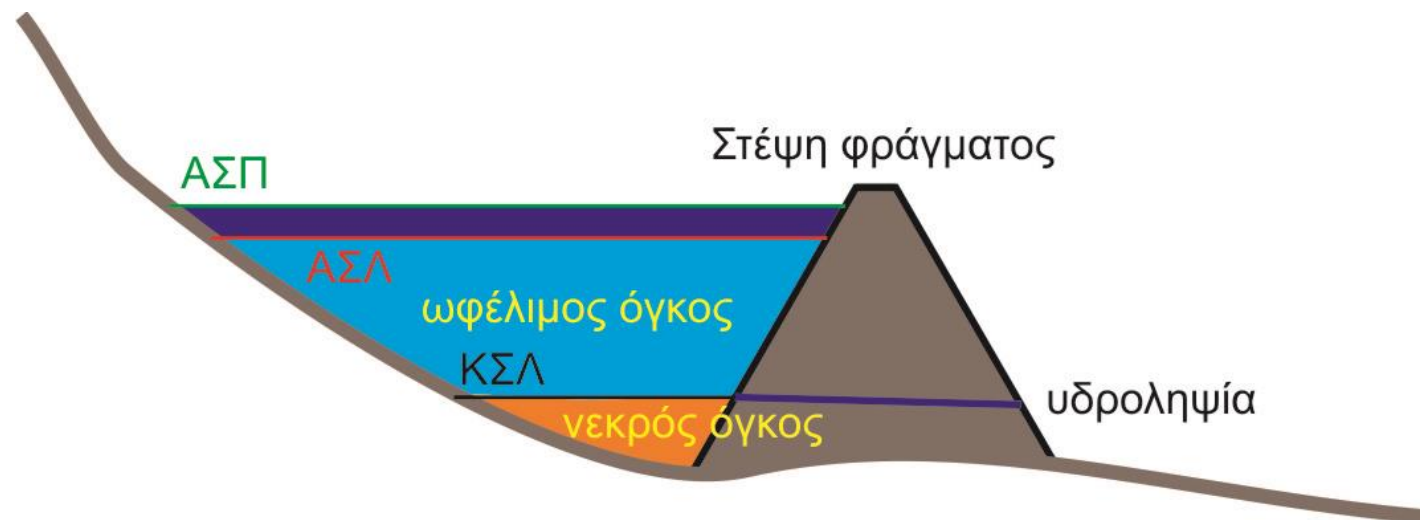
Ταμιευτήρας

- Η τεχνητή λίμνη που δημιουργείται με την κατασκευή φράγματος
- Φράγμα → το τεχνικό έργο κάθετο στη ροή του ποταμού



Στάθμες

- Κατώτερη στάθμη Λειτουργίας (ΚΣΛ)
- Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας (ΑΣΛ)
- Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας (ΑΣΠ)
- Στέψη φράγματος



Χαρακτηριστικά μεγέθη

- Ύψος
- Μήκος
- Όγκος σώματος
- Όγκος ταμειυτήρα
- Κλίσεις πρανών

Σώμα φράγματος

υλικό

- Άκαμπτα φράγματα

- σκυρόδεμα
- RCC

- μεγάλες κλίσεις πρανών
- μικρός όγκος έργου

- Εύκαμπτα φράγματα

- χωμάτινα
- λιθόρριπτα
- γεώδη υλικά

- ήπιες κλίσεις πρανών
- μεγάλος όγκος έργου

Σώμα φράγματος

δομή

- Βαρύτητας
- Τοξωτά
- Γεωφράγματα

Σώμα φράγματος

δομή

- Βα
- Τοδ
- Γεο



Σώμα φράγματος

δομή

- Βα
- Το
- Γε



Σώμα φράγματος

δομή

- Βα
- Τοδ
- Γεο



Σώμα φράγματος

μέγεθος

- **Κατηγορία I**

- ορατό ύψος φράγματος → $H > 40 \text{ m}$
- όγκος ταμιευτήρα → $V > 10\,000\,000 \text{ m}^3$

- **Κατηγορία II**

- ορατό ύψος φράγματος → $20 < H < 40 \text{ m}$
- όγκος ταμιευτήρα → $> 1\,000\,000 \text{ m}^3$

- **Κατηγορία III**

- ό,τι δεν εντάσσεται στις κατηγορίες I, II

Υπερχειλιστές

σχεδιασμός

- Έργα στη στέψη του φράγματος για την ασφαλή διοχέτευση του πλημμυρικού όγκου που δεν αποθηκεύεται
- Σχεδιασμός
 - Κατηγορία 1 (υψηλές συνέπειες) → $T=10000$ έτη
 - Κατηγορία 2 (σημαντικές συνέπειες) → $T=1000$ έτη (βαρύτητας), $T=5000$ έτη (γεωφράγματα)
 - Κατηγορία 3 (χαμηλές συνέπειες) → $T=200$ έτη (βαρύτητας), $T=500$ έτη (γεωφράγματα)

Υπερχειλιστές

σχεδιασμός

- Έργα διοχέυσης
- Σχεδιασμός
 - Κατασκευαστικές (σεισμικές) → $T=10000$ έτη
 - Κατασκευαστικές (πυρηνικές) → $T=1000$ (βαρύτητας), $T=5000$ (ελαφύτητας)
 - Κατασκευαστικές (αεροπορικές) → $T=200$ (βαρύτητας), $T=500$ έτη



Υπερχειλιστές

ΤΥΠΟΙ

- Ελεύθερη υπερχείλιση
- Ακολουθώντας το σχήμα της υδατόπτωσης (ogee)
- Φρεατοειδής (morning glory)
- Θυροφράγματα
- Σιφωνοειδής
- Λαβυρίνθου
- Βαθμιδωτός

Ogee



Φρεατοειδής



Θυροφράγματα



Διώρυγα απαγωγής/πτώσης

- **Σώμα φράγματος**
 - Επάνω (φράγματα βαρύτητας)
 - Παραπλεύρως
 - Μακριά από το σώμα του φράγματος
- **Βαθμιδωτή**
 - Καταστροφή ενέργειας

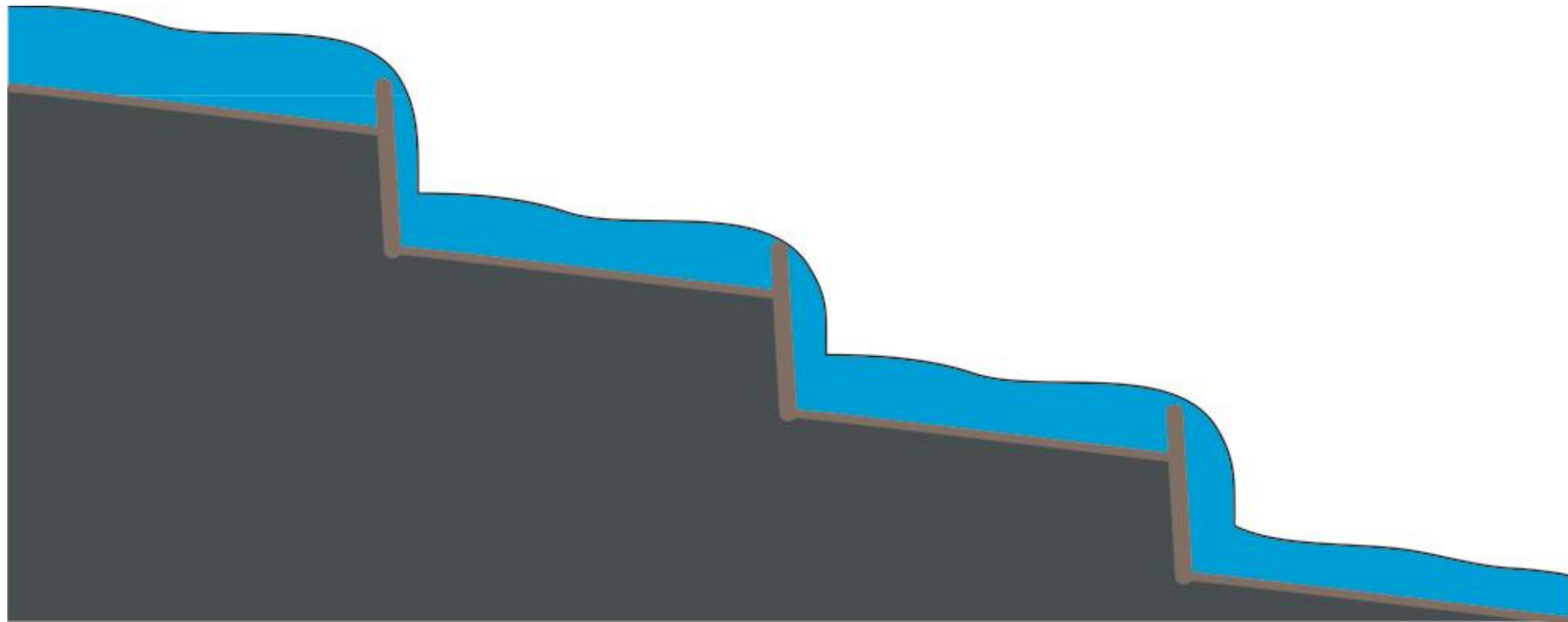
Βαθμιδωτή



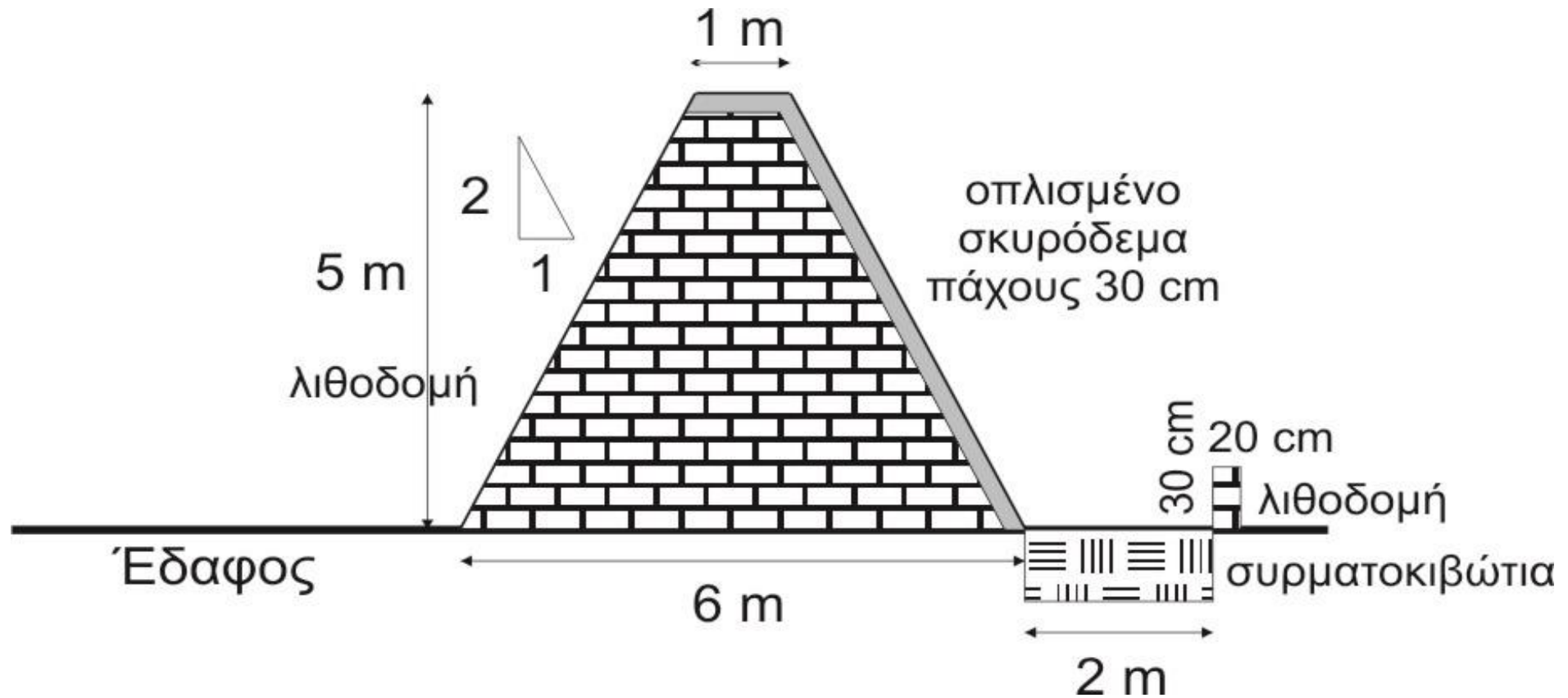
Έργα καταστροφής ενέργειας

- Λεκάνη καταστροφής ενέργειας (πόδι φράγματος)
- Εκτόξευση πίδακα νερού σε λεκάνη αποτόνωσης ενέργειας (flip bucket)
- Εμπόδια στη ροή
- Βαθμίδες

Αναβαθμοί



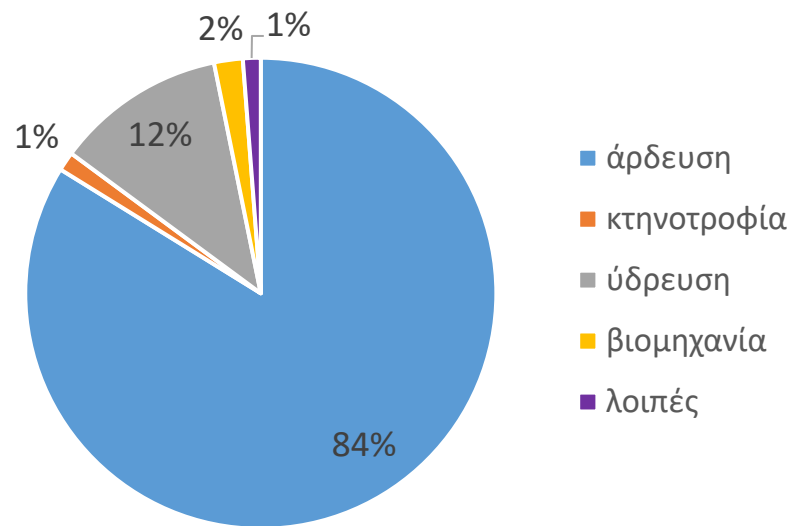
Μικρά φράγματα



Αγωγοί μεταφοράς

Μεταφορά νερού

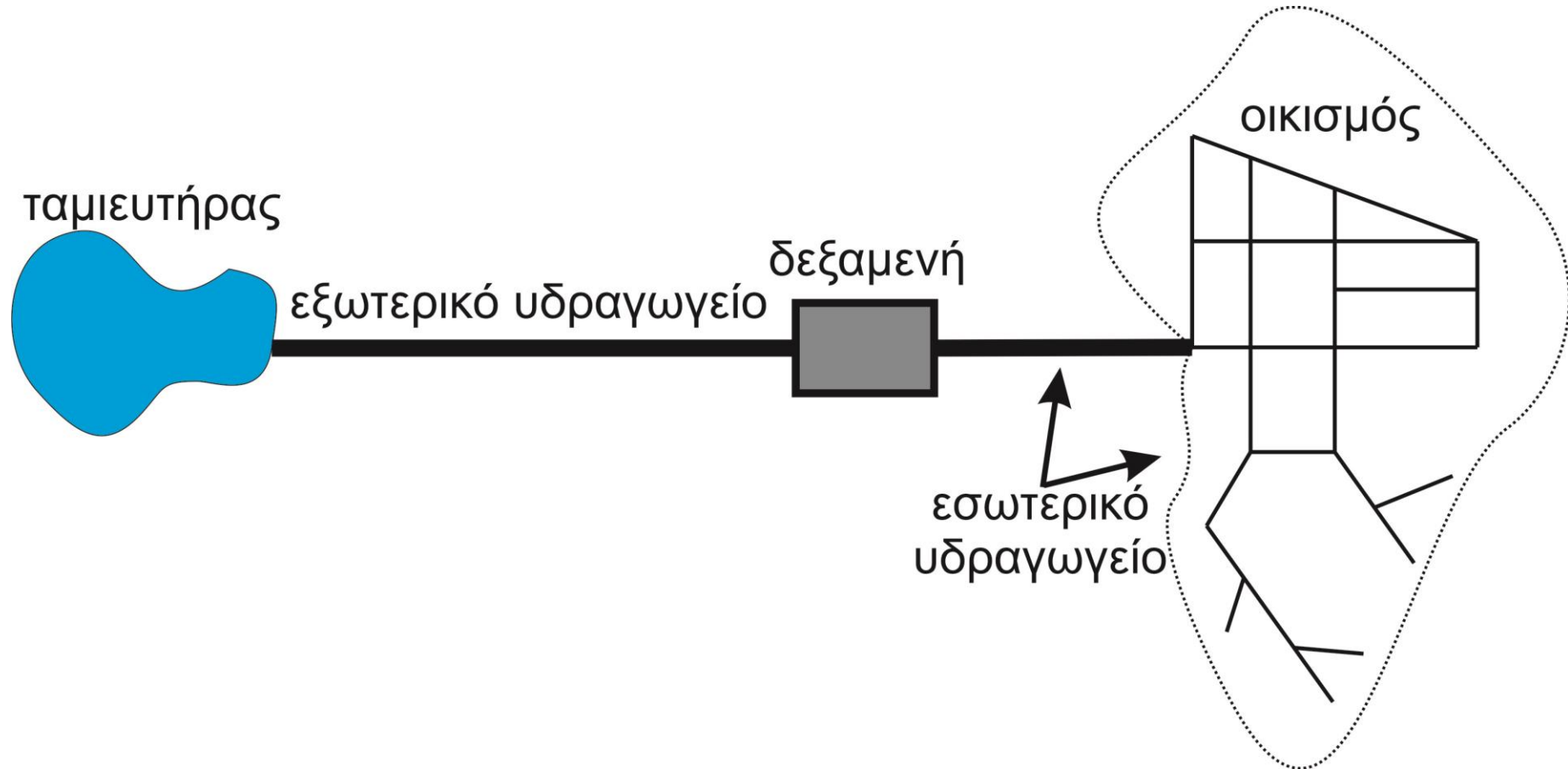
- Υδραυλικά έργα για τη μεταφορά νερού στους χρήστες
- Πολλαπλές χρήσεις
- Σημαντικό βάρος έχει η αρδευτική χρήση



Πηγή: Κουτσογιάννης, Δ., Ανδρεαδάκης, Α., Μαυροδήμου, Ρ., Χριστοφίδης, Α., Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α., Κουκουβίνος, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κοζάνης, Σ., Μαμάης, Δ., Νουτσόπουλος, Κ. (2008). Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΕΜΠ, Αθήνα

Μεταφορά νερού

Υδρευση



Μεταφορά νερού

Υδρευση

- **Ζήτηση σε νερό**
 - Ημερήσια παροχή ανά κάτοικο
- **Ελαστικότητα της ζήτησης**
 - Το νερό ως οικονομικό μέγεθος → **αντίλογος!**
 - Το παράδειγμα της Αθήνας κατά την περίοδο λειψυδρίας
- **Μεταβλητότητα της ζήτησης → ημέρα, εποχή, έτος**
 - Πιθανότητα αστοχίας 1%

Μεταφορά νερού

Αποχέτευση

- **Όμβρια**
 - Δίκτυο υπόγειων αγωγών οι οποίοι οδηγούν το νερό της επιφανειακής απορροής εκτός οικισμού
- **Ακάθαρτα**
 - Δίκτυο υπόγειων αγωγών για τη συλλογή, μεταφορά και διάθεση υγρών αποβλήτων
- **Παντοροϊκά**

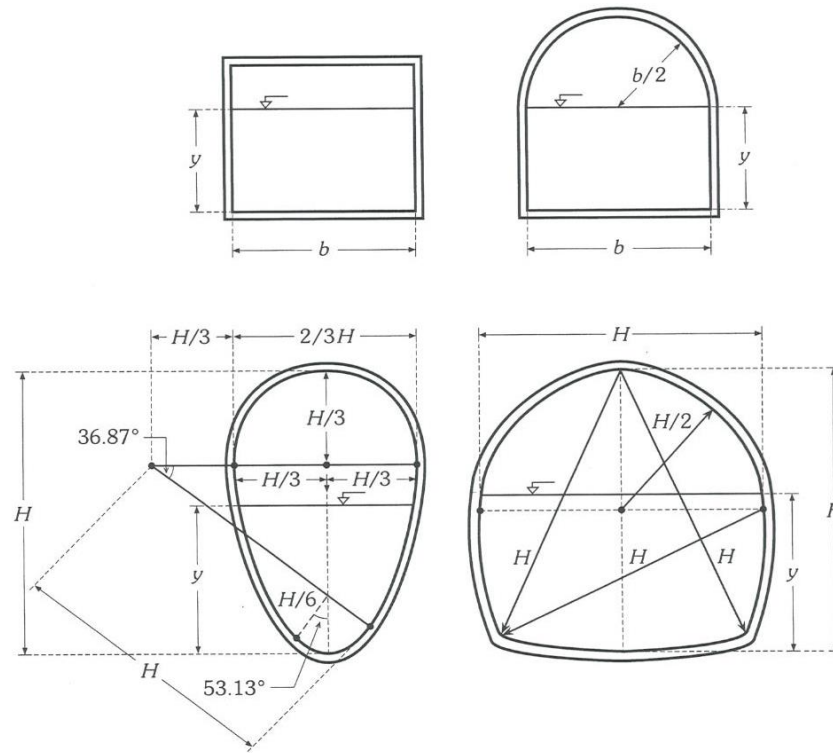
Μεταφορά νερού

Αποχέτευση

- **Όμβρια**
 - Δίκτυο υπόγειων αγωγών οι οποίοι οδηγούν το νερό της επιφανειακής απορροής εκτός οικισμού
- **Ακάθαρτα**
 - Δίκτυο υπόγειων αγωγών για τη συλλογή, μεταφορά και διάθεση υγρών αποβλήτων
- **Παντοροϊκά**

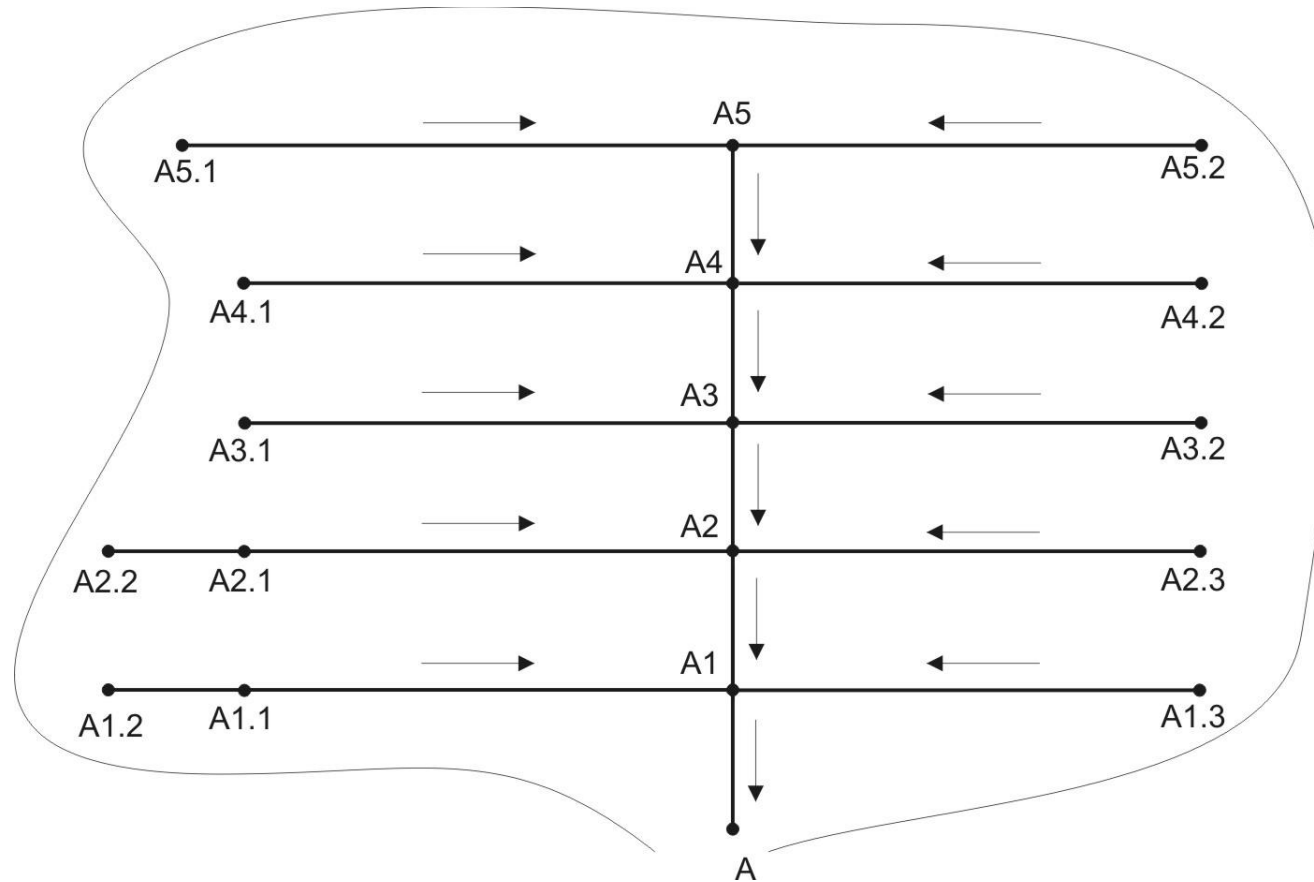
Μεταφορά νερού

Αποχέτευση



Μεταφορά νερού

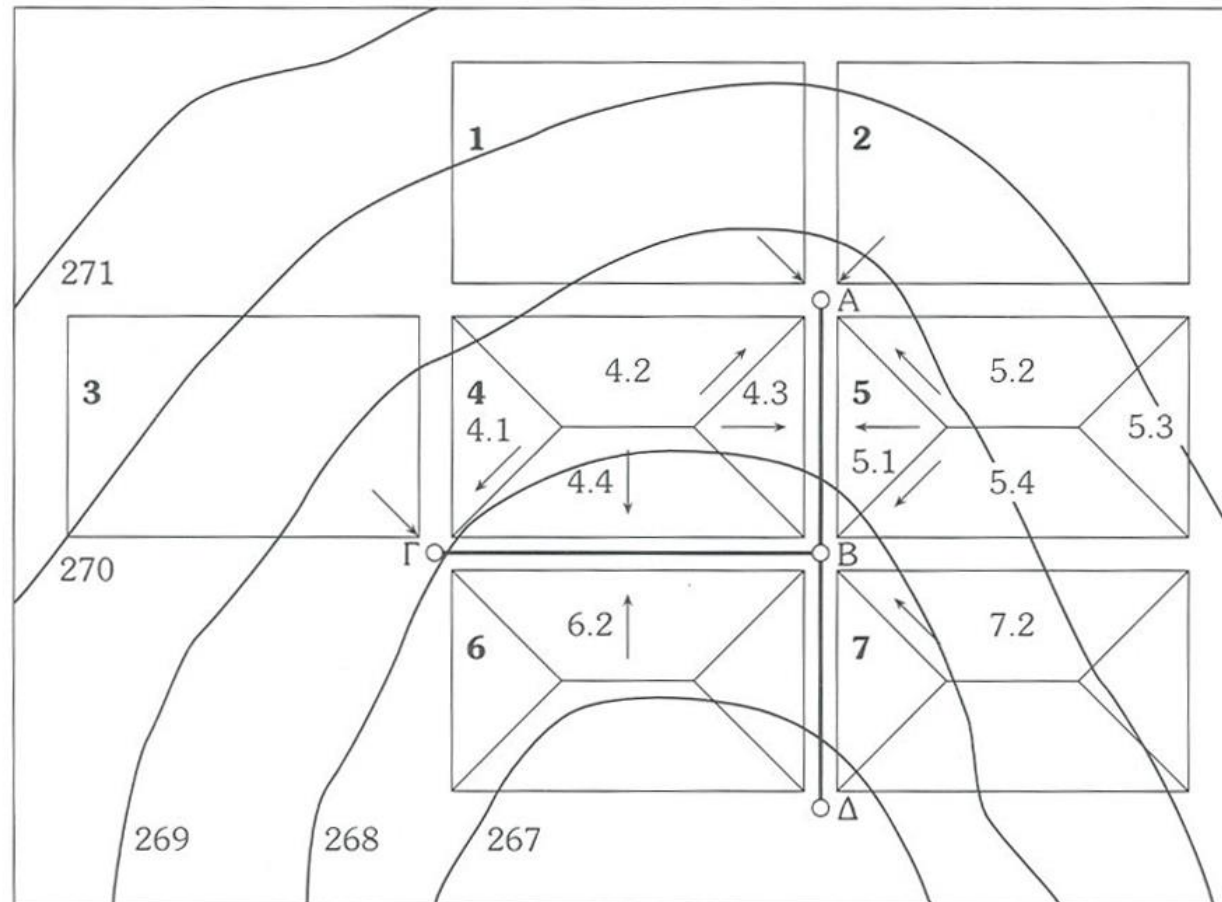
Αποχέτευση



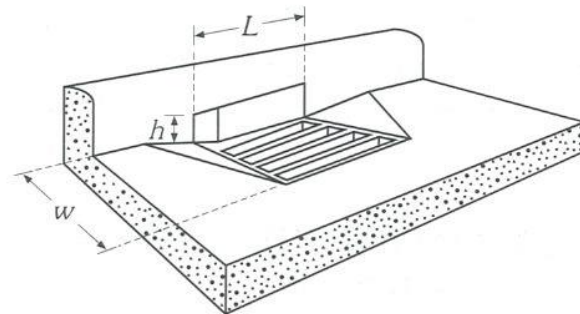
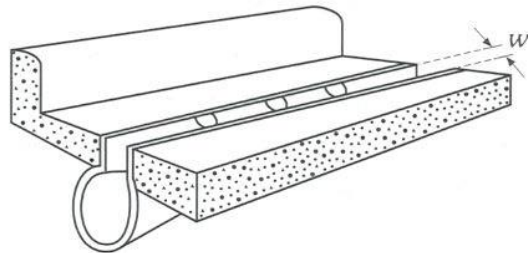
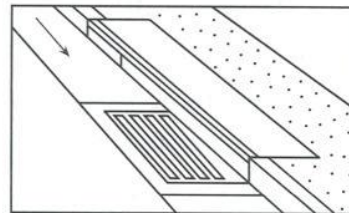
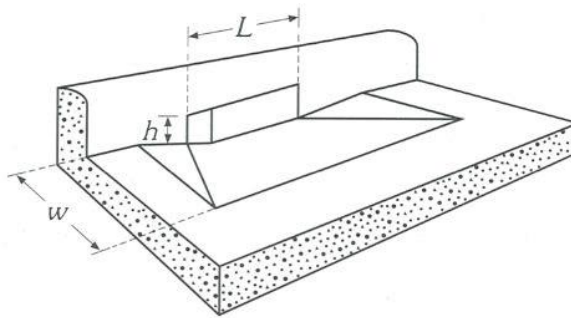
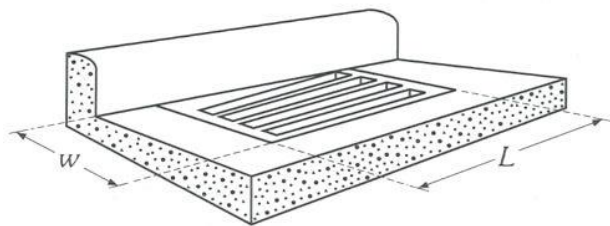
Δίκτυα ομβρίων

- Λειτουργούν ως ανοικτοί αγωγοί
- Μη συνεχής λειτουργία
- Μεγάλες διατομές
- Αποκεντρωτικός Σχεδιασμός
- Αποφυγή ενσωμάτωσης φυσικών λεκανών στα αστικά δίκτυα

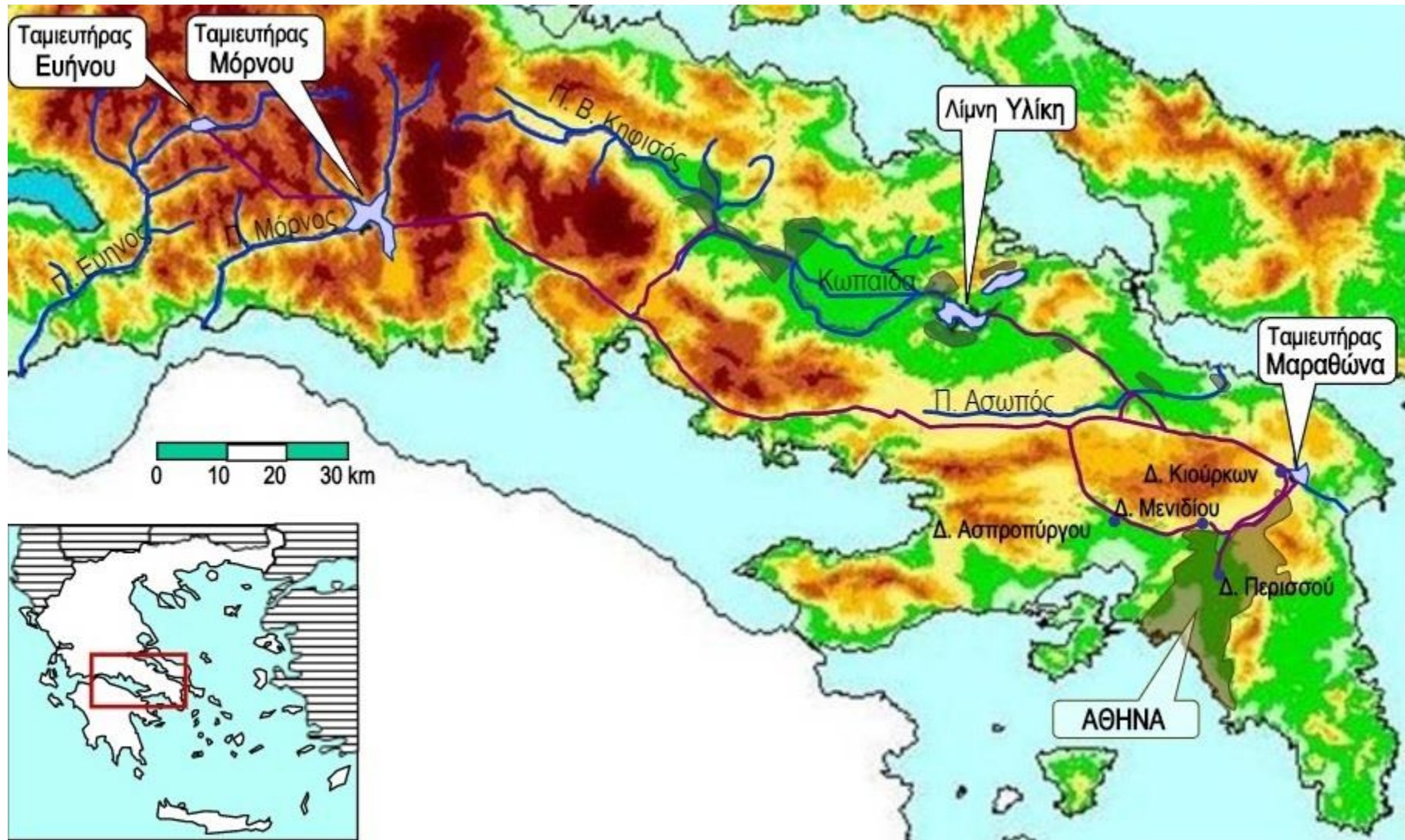
Δίκτυα ομβρίων



Φρεάτια εισόδου



Σύστημα ύδρευσης πρωτεύουσας



Κανάλι Μόρνου



Υδραυλικές κατασκευές

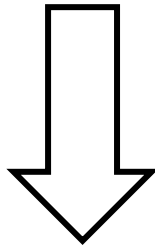


Έργα άρδευσης

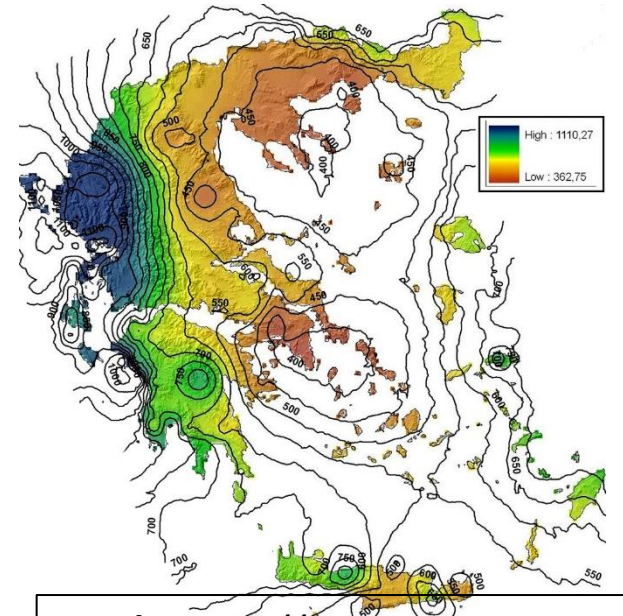
Μεταφορά νερού

Άρδευση

- Μεγαλύτερο μέρος των υδατικών πόρων → άρδευση
- Μεγαλύτερη αρδευόμενη έκταση → Αν. Ελλάδα
- Μεγαλύτερο μέρος των υδατικών πόρων → Δ. Ελλάδα



Σχεδιασμός σε εθνικό επίπεδο



Πηγή: <https://www.geogreece.gr>

Μεταφορά νερού

Άρδευση

Κατάκλυση



Καταιονισμός

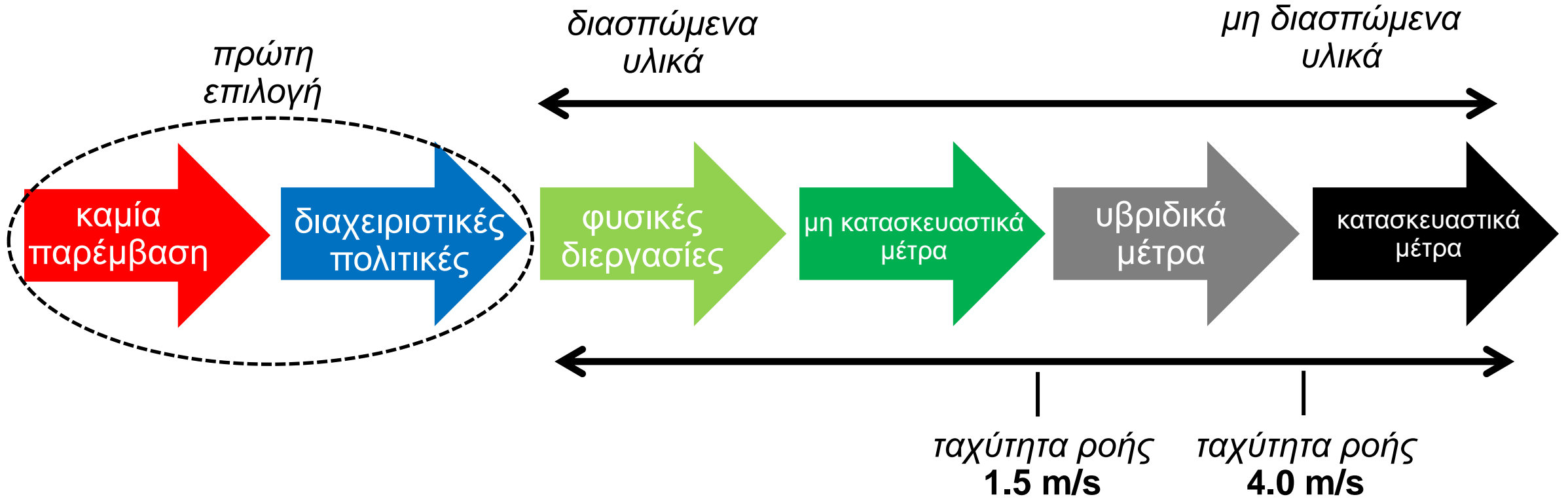


Στάγδην



Αντιπλημμυρικά έργα και έργα διευθέτησης

Περιβαλλοντική διάσταση



Υλικά διευθέτησης

- Σκυρόδεμα
- Λίθοι
- Ξύλο
- Σίδηρος
- Λοιπά

Σκυρόδεμα

- Άκαμπτες διατομές
- Σημαντικό κόστος
- Επί τόπου κατασκευή → εναλλακτικά κυβόλιθοι
- Οπλισμένο ή όχι

Σκυρόδεμα

- Άκαμπτες διατομές
- Σημαντικό κόστος
- Επί τόπου κατασκευή → ενδο
- Οπλισμένο ή όχι



Λίθοι

- **Λιθορριπές**
 - συρματοκιβώτια
 - συρματοσακοί
 - ακανόνιστες
- **Επένδυση**
- **Τοιχοποιία**

Λίθοι

- Λιθορριπές

- συρμα
- συρμα
- ακανό

- Επένδυ

- Τοιχοπο



Λοιπά

- Τάπητας από χόρτο
- Γεωυφάσματα
- Συστήματα οπλισμένης γης

Λοιπά

- Τάπητας από χόρτο
- Γεω
- Συμ



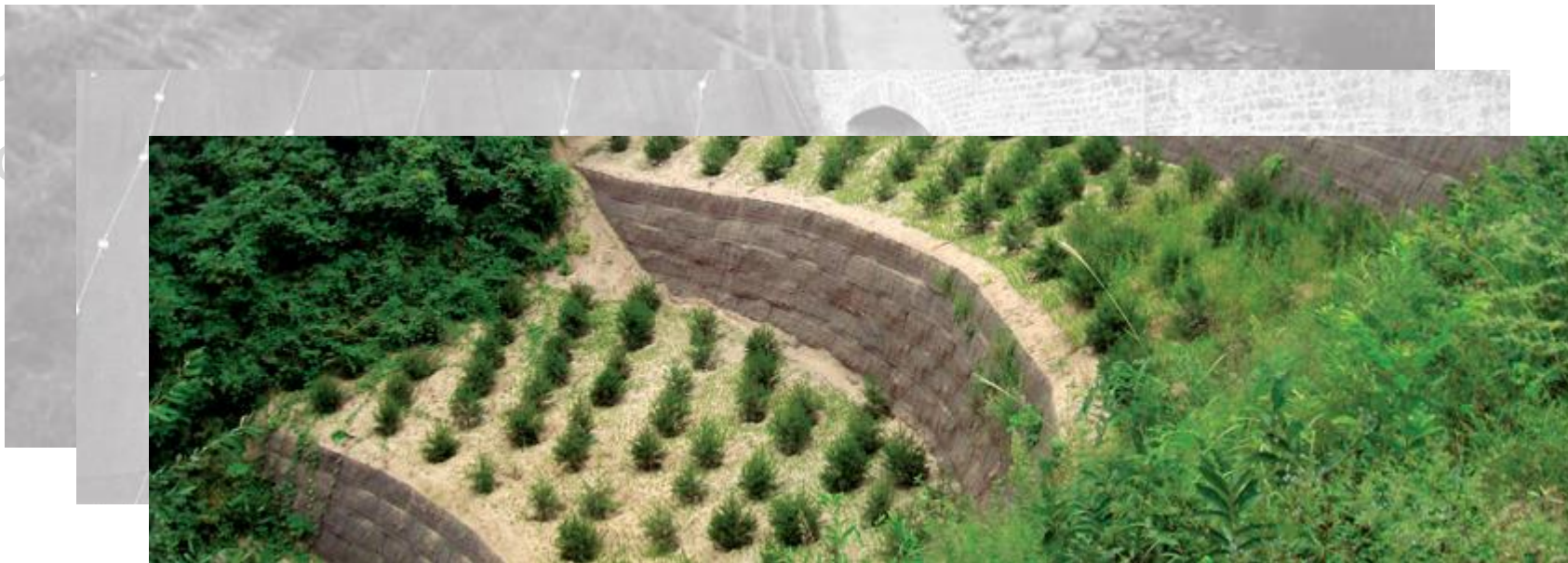
Λοιπά

- Τάπητας από χόρτο
- Γεω
- Συσ



Λοιπά

- Τάπητας από χόρτο
- Γεω
- Συμ



Προστασία πρανών

- **Προστασία από διάβρωση**
 - νέα
 - παλιά
- **Ευθύγραμμα τμήματα**
 - και οι δύο πλευρές
- **Καμπύλα τμήματα**
 - εξωτερική κοίτη (διάβρωση)
 - εσωτερική κοίτη (απόθεση)

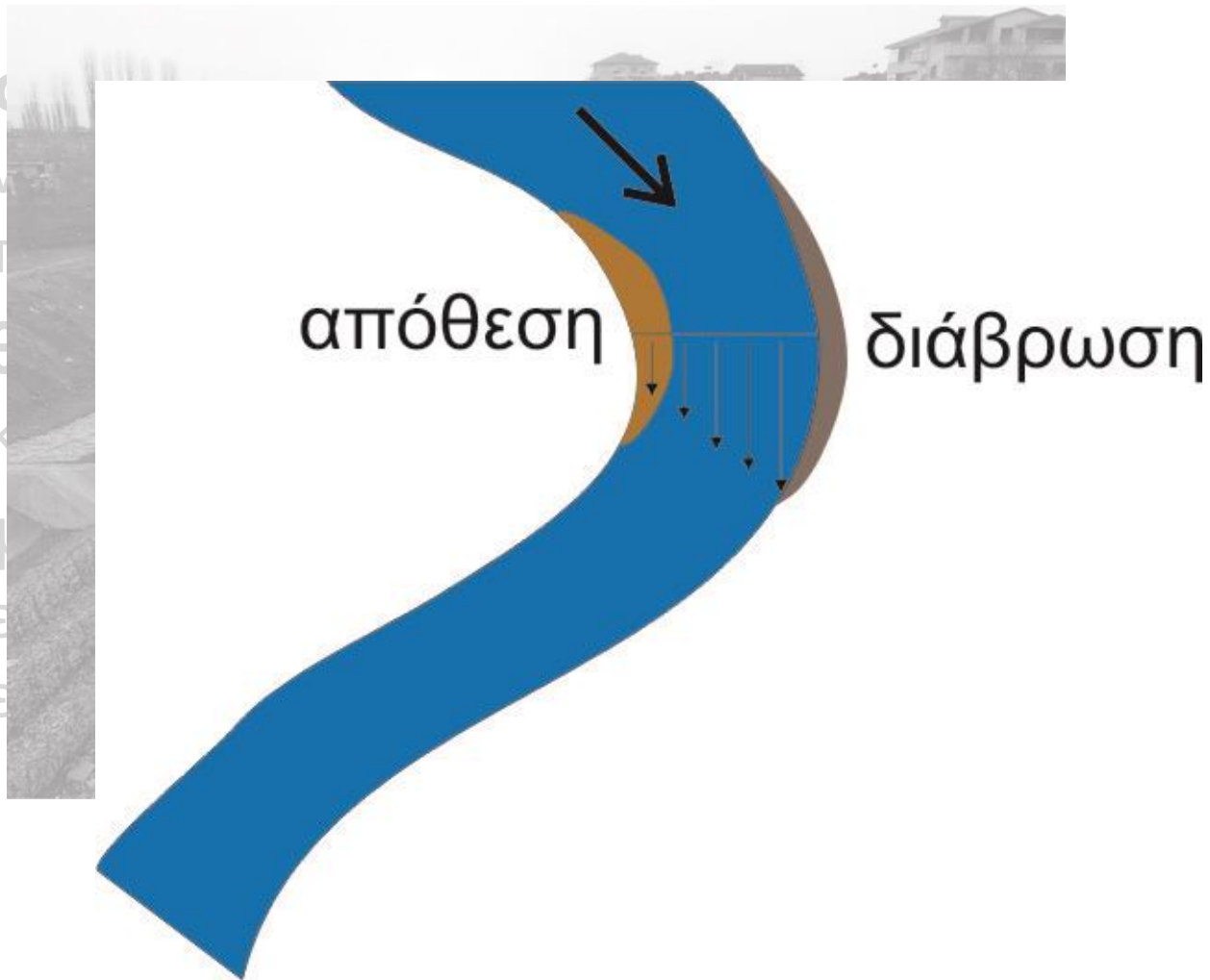
Προστασία πρανών



- Προ
- ν
- τ
- Ευθ
- κ
- Καρ
- ε
- ε

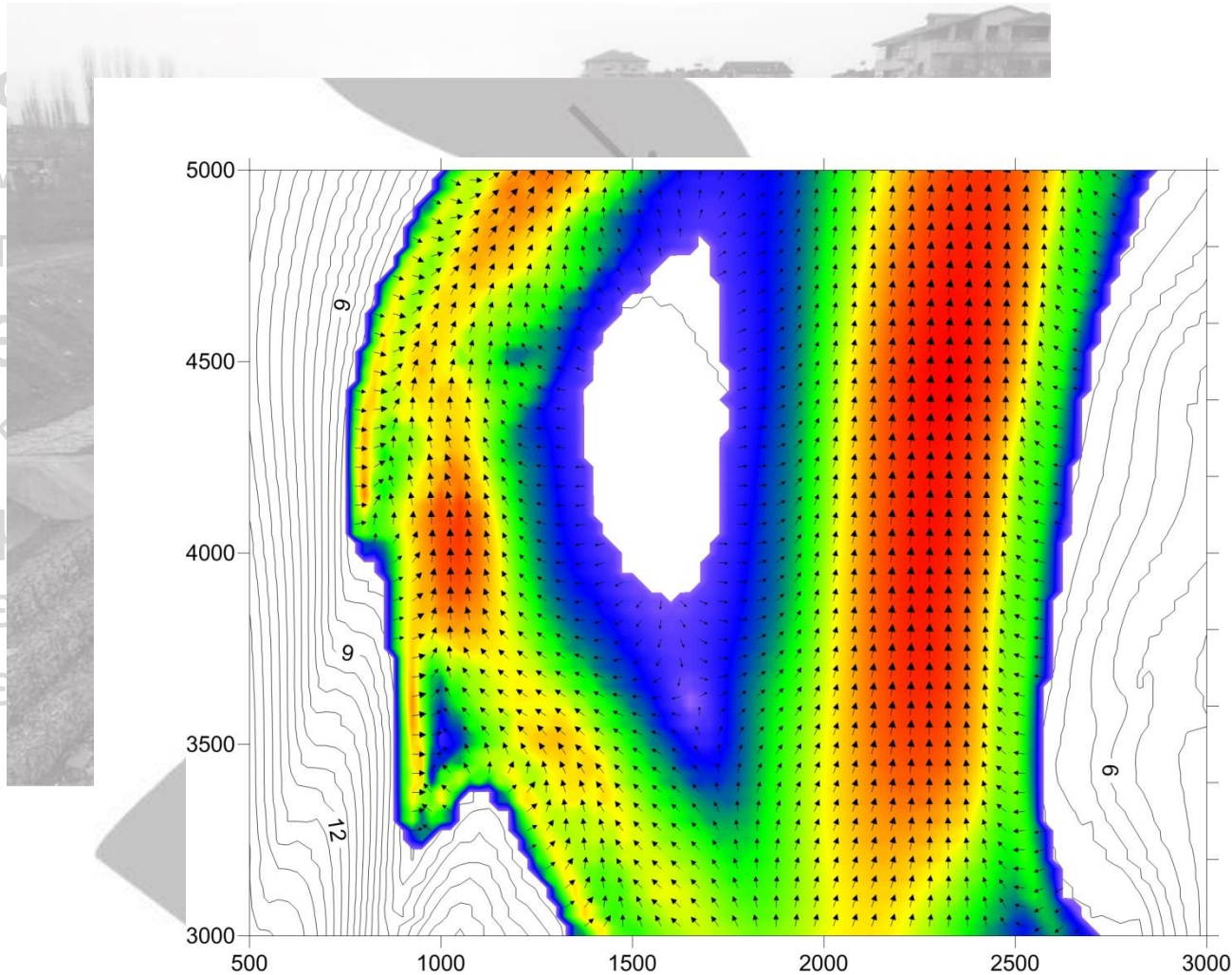
Προστασία πρανών

- Προ
- ν
- τ
- Ευθ
- κ
- Καρ
- ε
- ε



Προστασία πρανών

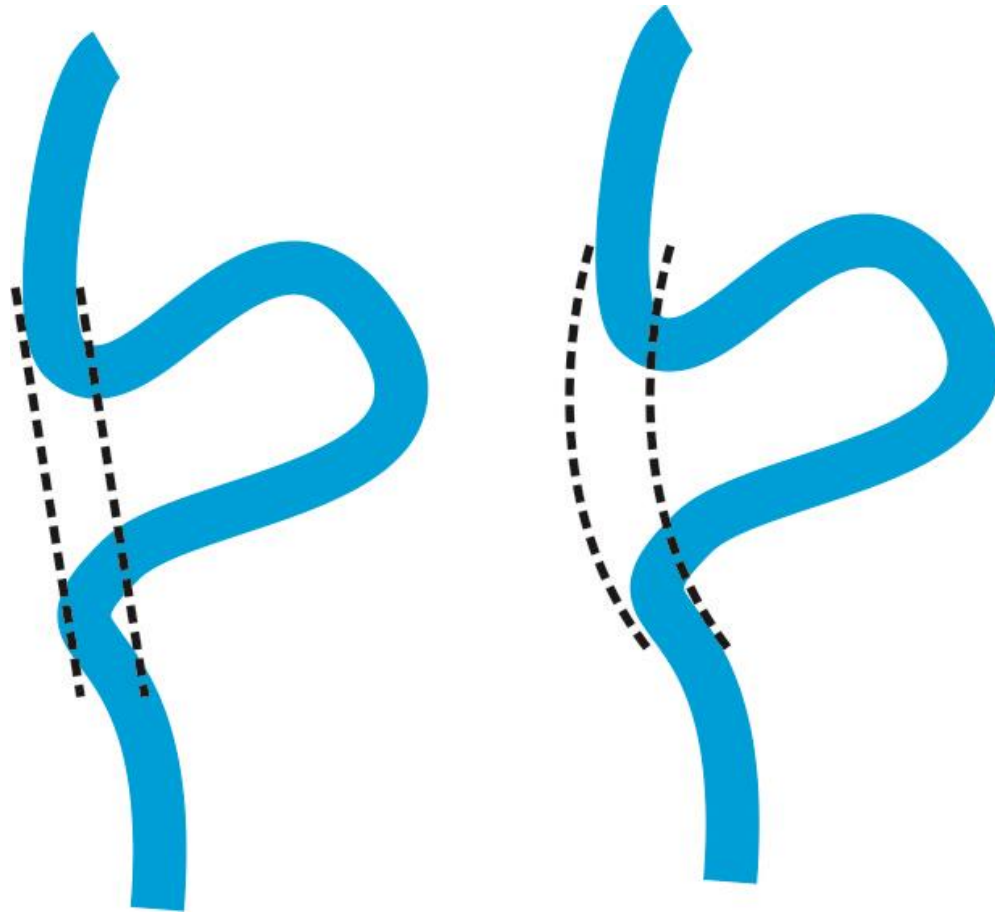
- Προ
- ν
- τ
- Ευθ
- κ
- Καρ
- ε
- ε



Συντμήσεις

- Εξάλειψη των μαιάνδρων μικρής ακτίνας καμπυλότητας
- Μείωση του μήκους του ποταμού
- Η νοητή προέκταση ποταμού διέρχεται από έδαφος το οποίο δε διασχίζεται από υδάτινο ρέμα
- Εκμετάλλευση διαβρωτικής ικανότητας του νερού → εκσκαφή νέας κοίτης
- Κατά τη διάρκεια της εκσκαφής της νέας κοίτης → πρόσχωση της παλιάς

Συντμήσεις



Αντιπλημμυρική προστασία

- **Πολλαπλά επίπεδα**
 - Ποτάμιο σύστημα
 - Αποχετευτικό σύστημα
 - Αστικό περιβάλλον
- **Κατασκευαστικά μέτρα**
 - Έργα ανάσχεσης
 - Έργα διοχέτευσης
 - Ήπιες παρεμβάσεις
- **Μη κατασκευαστικά μέτρα**

Κατασκευαστικά μέτρα

- Έργα ανάσχεσης

- φράγματα
- ελεγχόμενη ανάσχεση

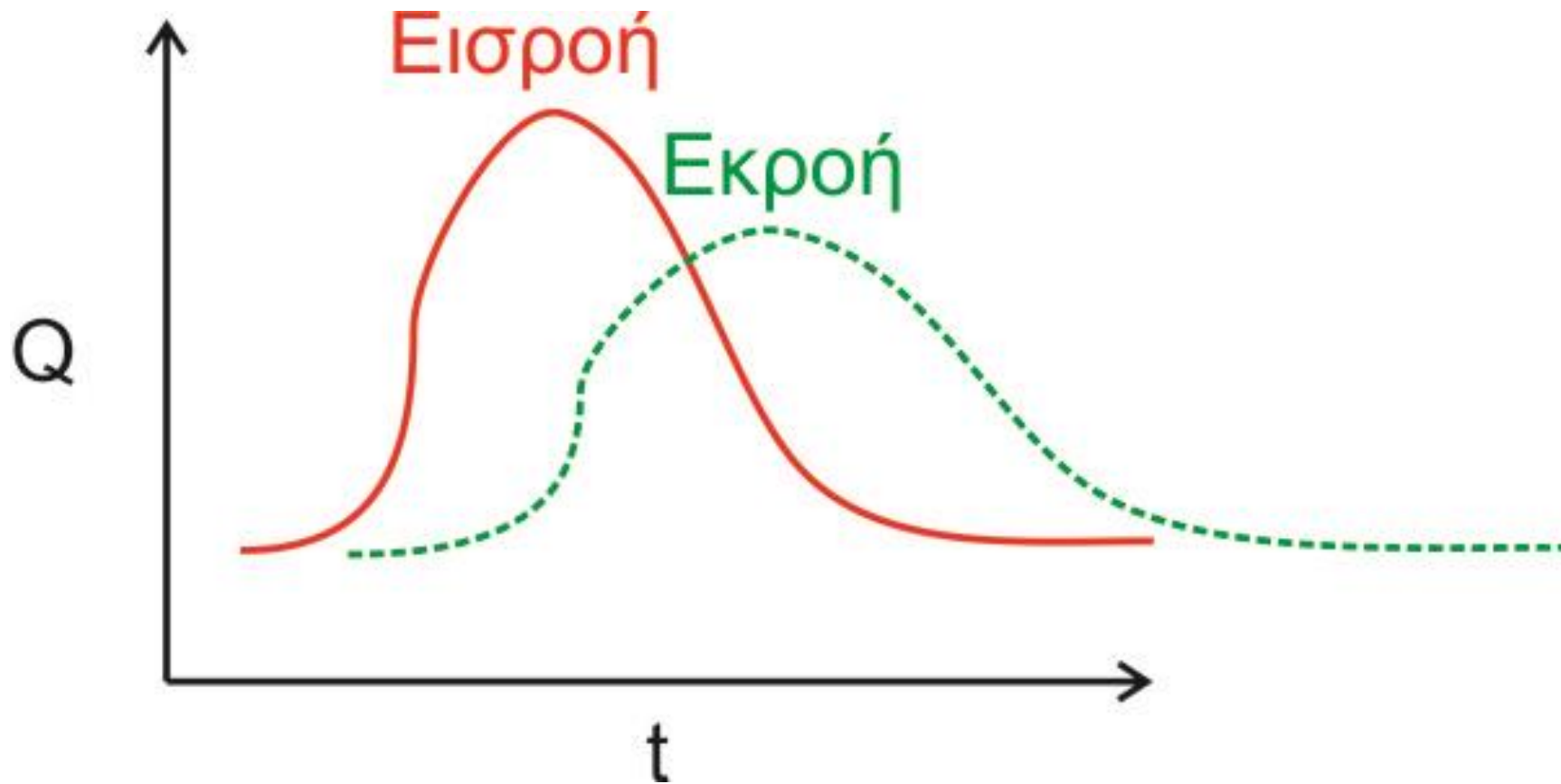


- Έργα διοχέτευσης

- αναχώματα
- μερική εκτροπή
- αποχετευτικό σύστημα ομβρίων



Στόχος ανάσχεσης



Διοχέτευση

- Ασφαλής διοχέτευση πλημμυρικού υδρογραφήματος
- Το νερό ρέει περιορισμένο εντός κοίτης
- Άμεση διοχέτευση → πλημμυρικά αναχώματα
- Έμμεση διοχέτευση → αγωγός μερικής εκτροπής

Αναχώματα

πλημμυρικά αναχώματα



πλημμυρικά αναχώματα

Αναχώματα



Αναχώματα



Υλικά αναχωμάτων

- Οπλισμένο σκυρόδεμα
- Συρματοκιβώτια
- Γεώδη υλικά
 - Χωμάτινα
 - Λιθόρριπτα
- Μεταλλικές κατασκευές
- Γυαλί
- Μη μόνιμες κατασκευές → **αμμόσακοι**

Πρανή

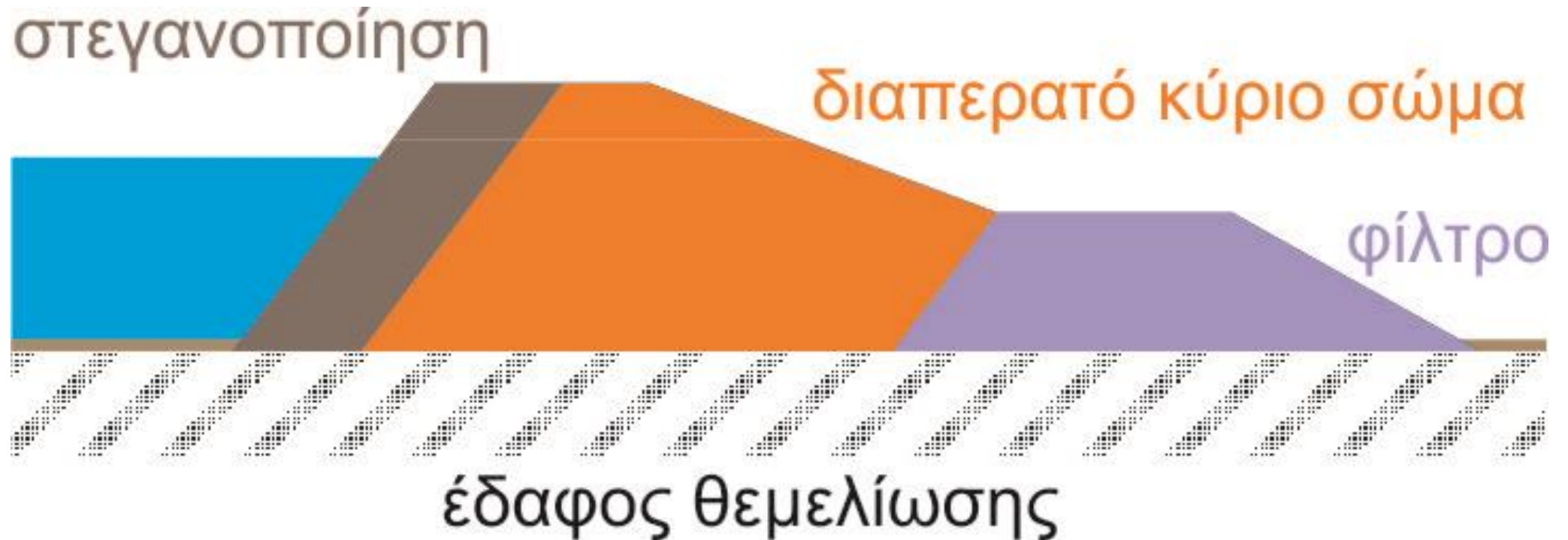
- **Κατακόρυφα**

- Οπλισμένο σκυρόδεμα
- Μεταλλικές κατασκευές
- Γυαλί

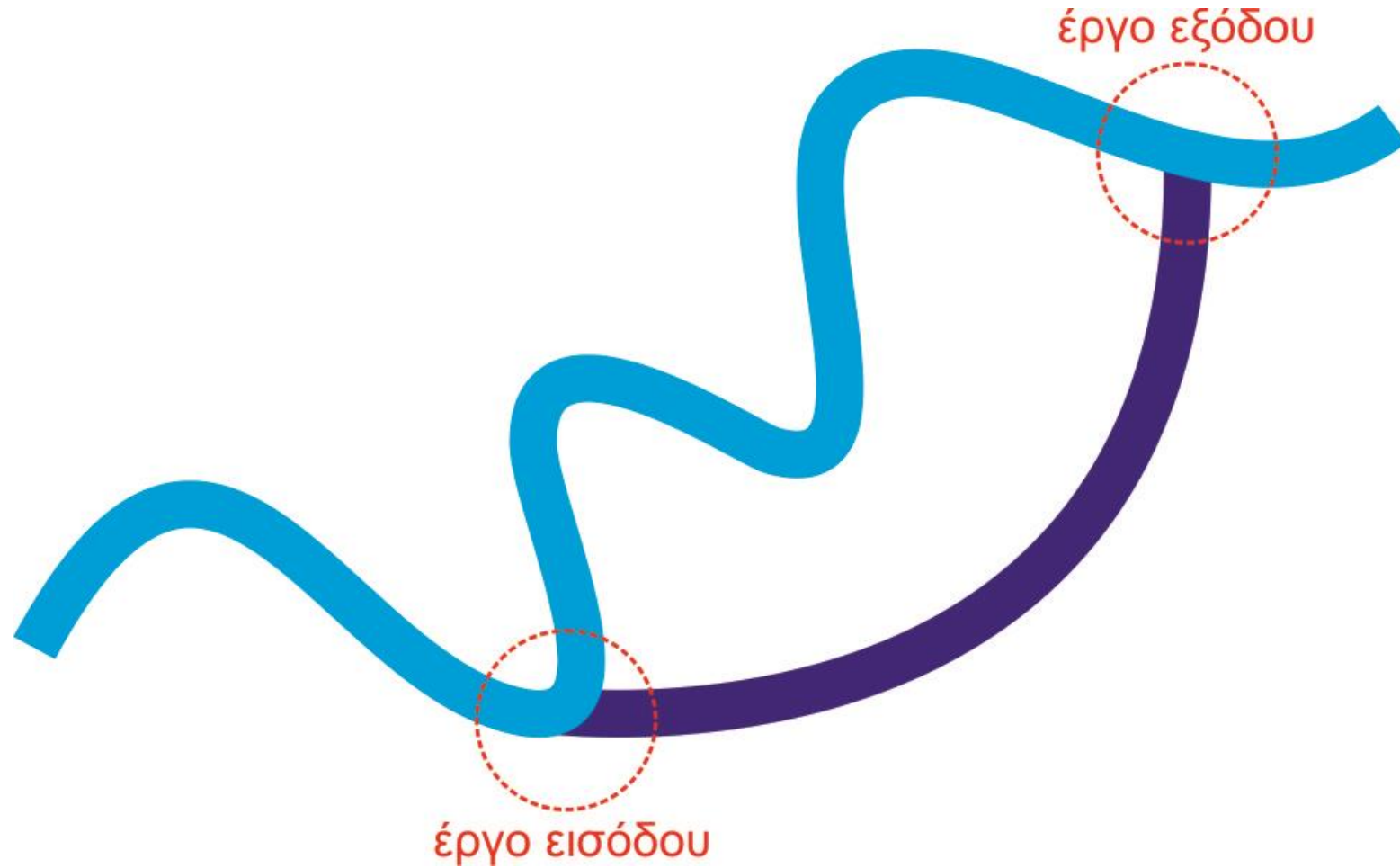
- **Κλίση**

- Οπλισμένο σκυρόδεμα
- Συρματοκιβώτια
- Γεώδη υλικά

Τυπικό ανάχωμα



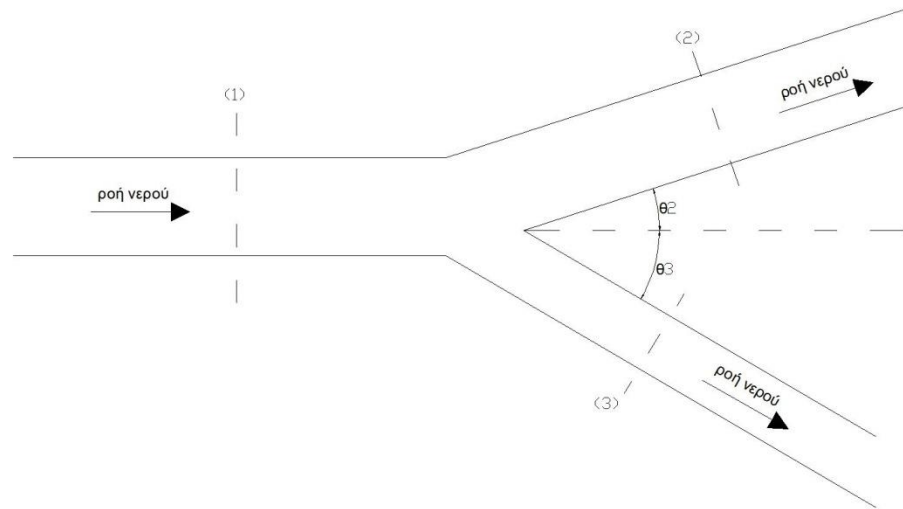
Μερική εκτροπή



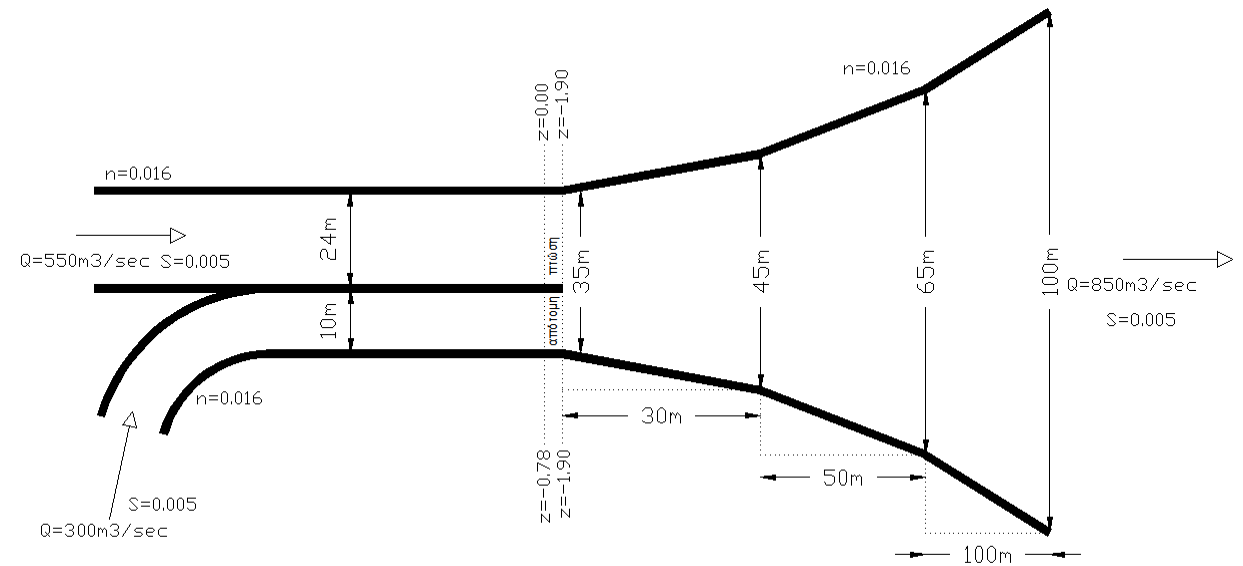
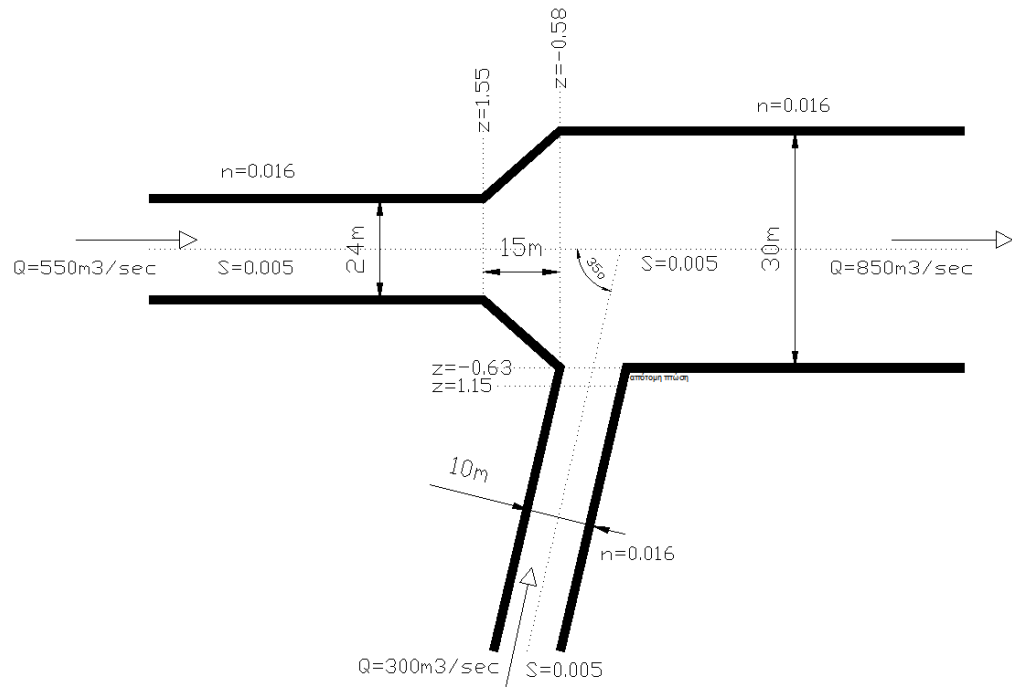
Αγωγός εκτροπής

- Παραλαμβάνει παροχή από το κυρίως υδατόρεμα
- Ανοιχτός αγωγός
- Σήραγγα
- Τυποποιημένη διατομή
 - Ορθογωνική → ανοιχτός αγωγός
 - Πεταλοειδής → σήραγγα
 - ...

Έργα εισόδου



Έργα εξόδου



Ήπιες παρεμβάσεις

- Αποκεντρωμένη αντιμετώπιση vs. «κεντρική» διαχείριση
- Μικρή κλίμακα → σπίτι
- Βελτίωση ποιότητας νερού

Ορολογία

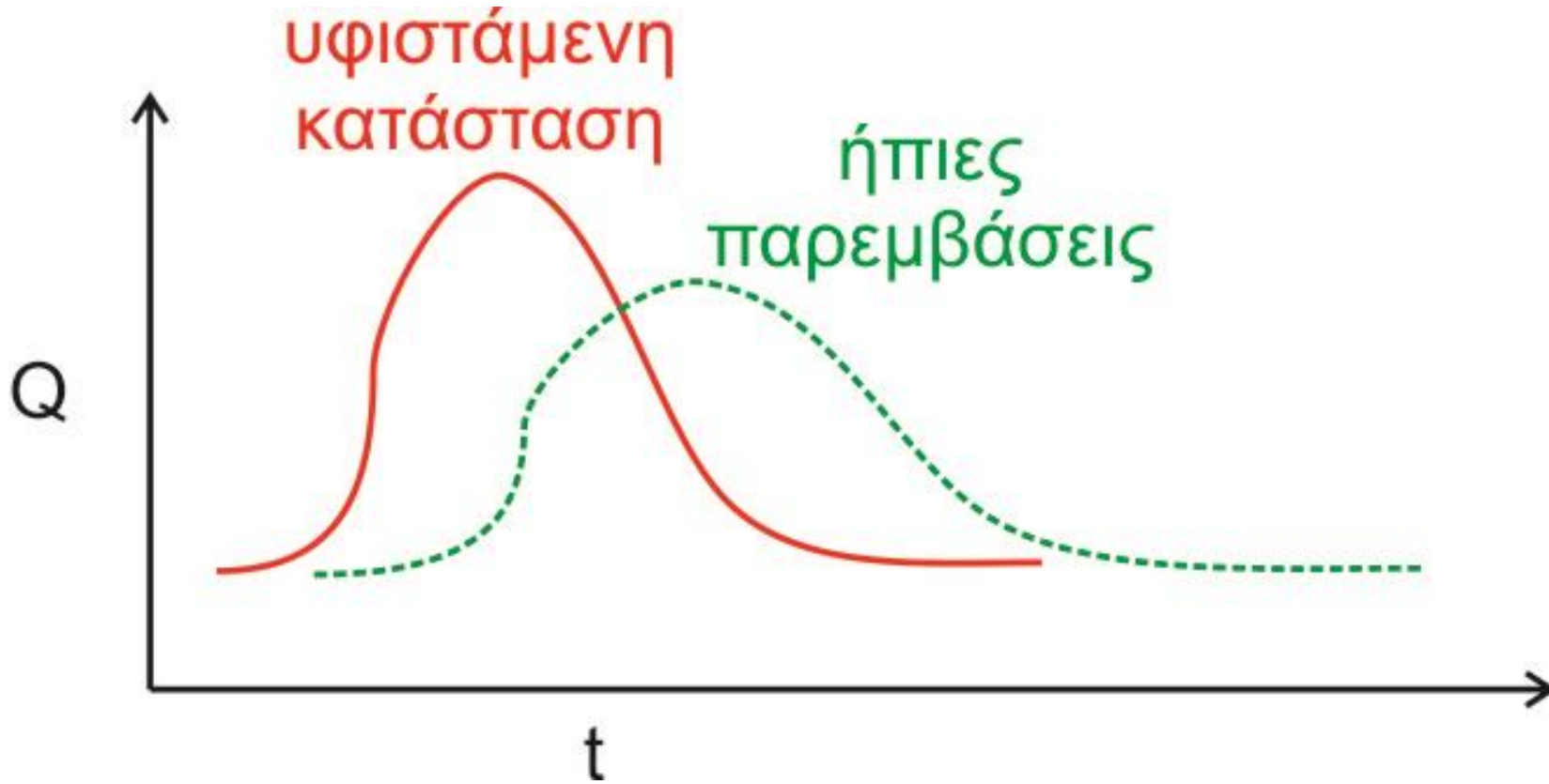
- Low Impact Development → LID
- Water Sensitive Urban Design → WSUD
- Sustainable Drainage Systems → SUDS
- Best Management Practices → BMP
- Stormwater Control Measures → SCM
- Green Infrastructure → GI

Ορολογία

- Low Impact Development → LID
- Water Sensitive Urban Design → WSUD
- Sustainable Drainage Systems → SUDS
- Best Management Practices → BMP
- Stormwater Control Measures → SCM
- Green Infrastructure → GI

παρόμοια λογική!

Στόχος



Στόχος



Πρακτικές

- Πράσινες στέγες
- Πορώδη πεζοδρόμια
- Πράσινες τάφροι
- Δεξαμενές ανακούφισης/ανάσχεσης
 - μικρή κλίμακα → στέρνα συλλογής βρόχινου νερού
 - μεγάλη κλίμακα → επίπεδο γειτονιάς/συνοικίας

Πράσινες στέγες



Πορώδη πεζοδρόμια



Πράσινες τάφροι



Δεξαμενές ανακούφισης



Πρόβολοι στο υδατόρεμα

Εγκάρσια έργα

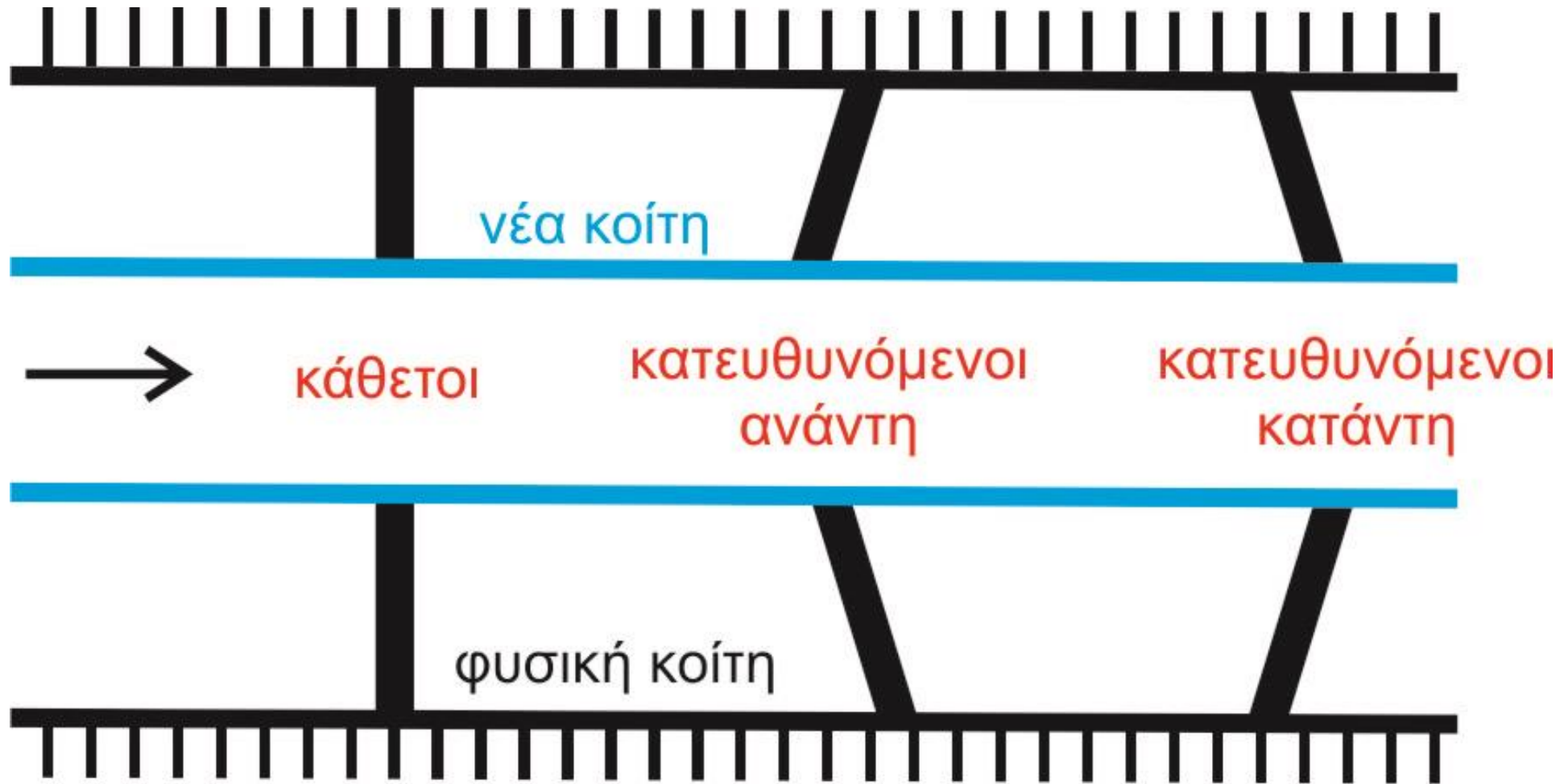
- **Πρόβολοι**

- αρχίζουν από τη φυσική όχθη → **γωνία 70°-110°**
- εκτείνονται μέχρι τη γραμμή της νέας κοίτης
- κάθετοι
- κατευθυνόμενοι ανάντη (συγκλίνοντες)
- κατευθυνόμενοι κατάντη (αποκλίνοντες)

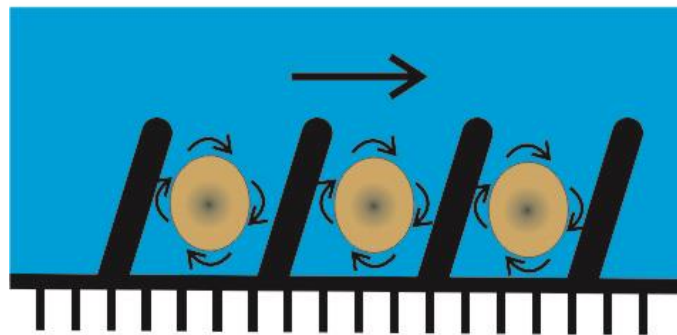
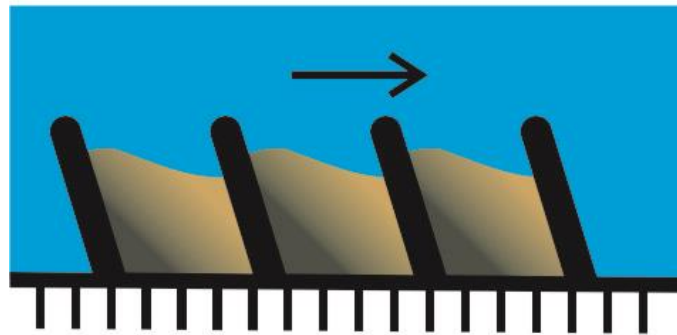
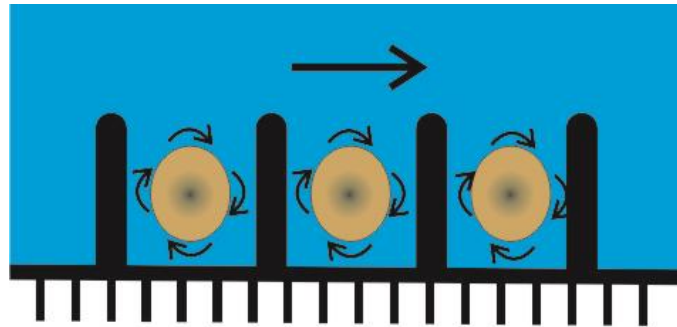
- **Υδατοπερατοί vs. μη υδατοπερατοί**

- **Μεταξύ των προβόλων συμβαίνει παγίδευση φερτών υλών**
- **Κατευθυνόμενοι ανάντη → αποτελεσματικότεροι**
- **Περιορισμός πλάτους κοίτης → διάβρωση**

Τύποι προβόλων



Σύγκριση



Υλικό κατασκευής

- Ξύλο
- Σακιά άμμου
- Βράχος
- Οπλισμένο σκυρόδεμα
- Μέταλλο

Υλικό κατασκευής

- Ξύλο
- Σακιά άμμου
- Βράχος
- Οπλισμέ
- Μέταλλο



Υλικό κατασκευής

- Ξύλο
- Σακιά άμμου
- Βράχος
- Οπλισμέ
- Μέταλλο



Υλικό κατασκευής

- Ξύλο
- Σακιά άμμου
- Βράχος
- Οπλισμέ
- Μέταλλο



Υλικό κατασκευής

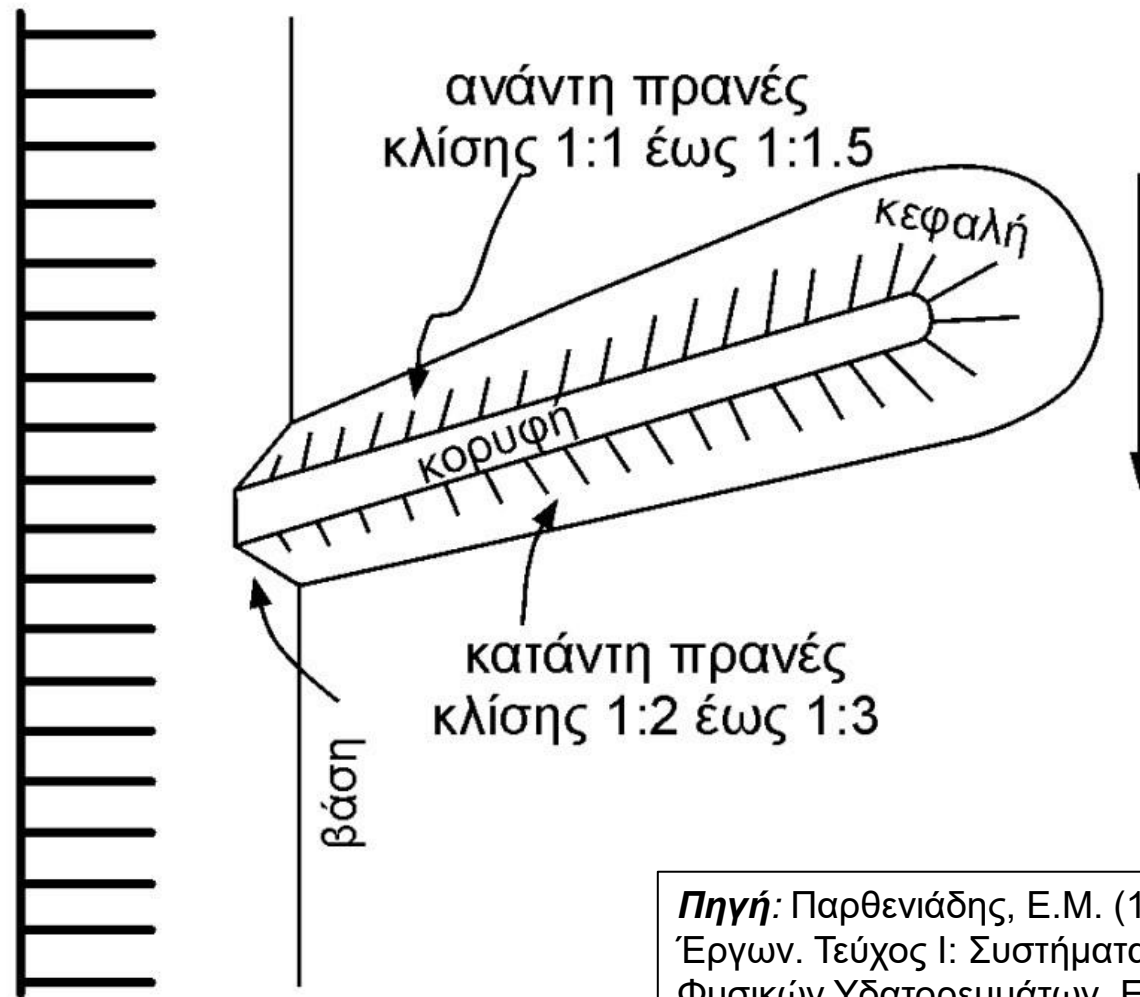
- Ξύλο
- Σακιά άμμου
- Βράχος
- Οπλισμέ
- Μέταλλο



Πρόβολος

- **Κεφαλή**
- **Κύριο σώμα**
 - πρανή
 - στέψη
- **Βάση**
- **Στάθμη κορυφής**
 - μερικώς βυθισμένοι
 - πλήρως βυθισμένοι
 - μη βυθισμένοι

Πρόβολος

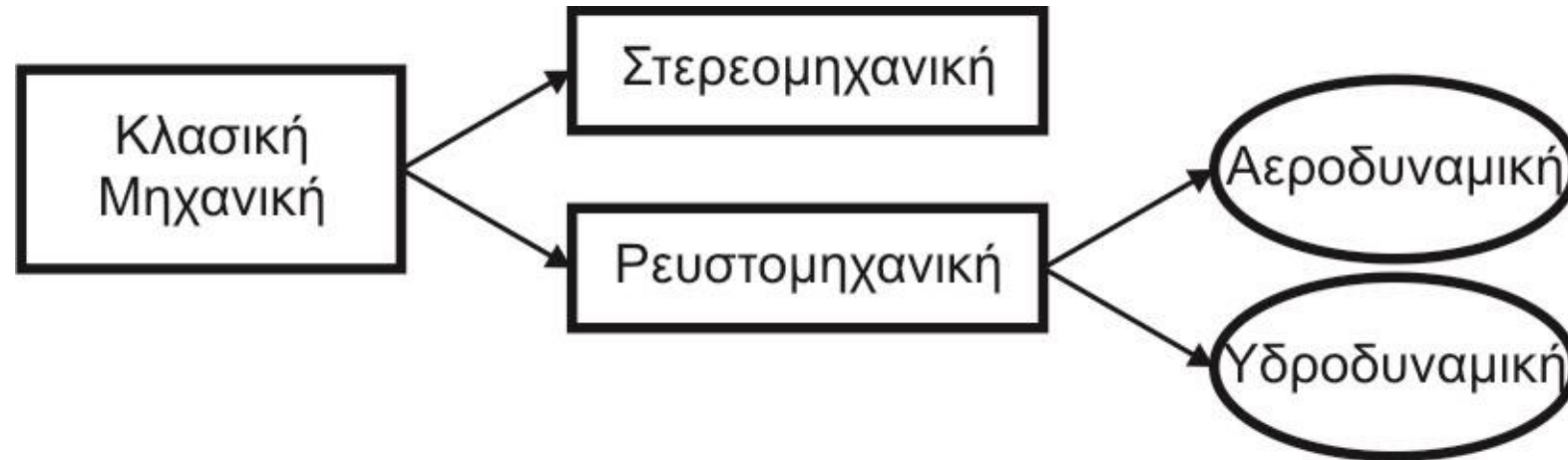


Πηγή: Παρθενιάδης, Ε.Μ. (1977). Γενικά Αρχαί Μελέτης Υδραυλικών Έργων. Τεύχος Ι: Συστήματα Ανοικτών Αγωγών και Διευθετήσεις Φυσικών Υδατορευμάτων. Ελληνικό Ίδρυμα Εξυπηρέτησης Πανεπιστημίων, Θεσσαλονίκη.

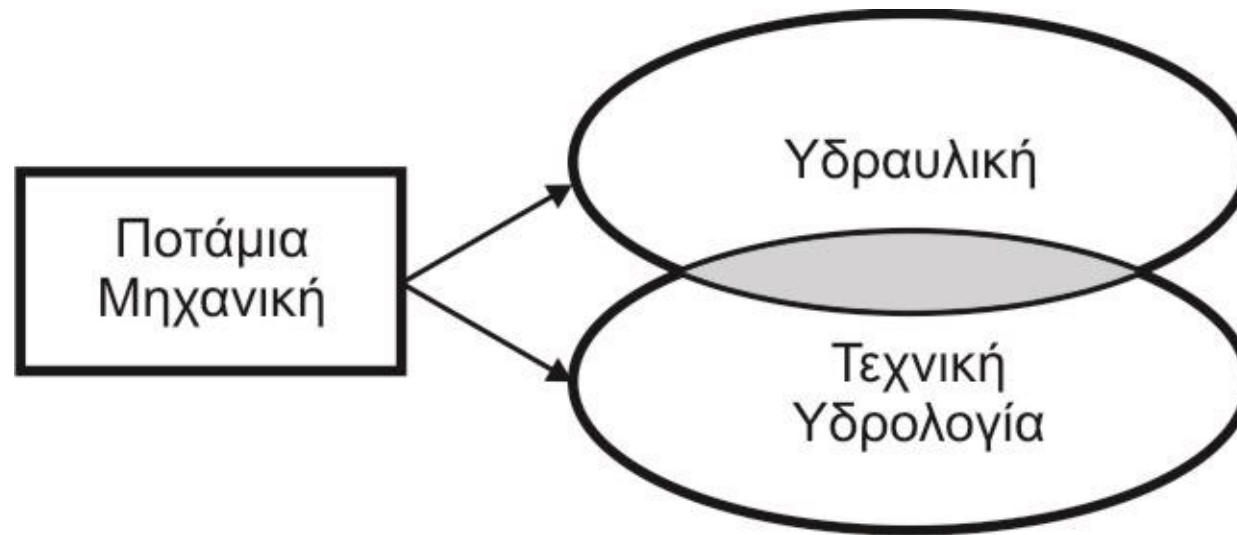
Παραδείγματα



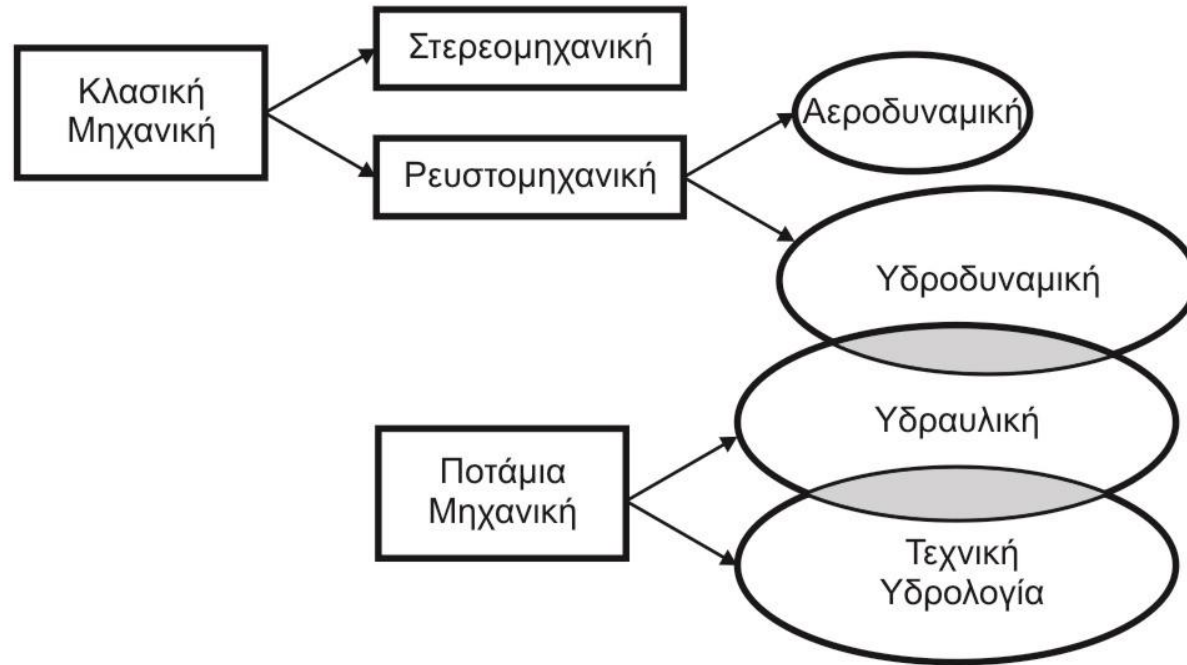
Επιστημονικά πεδία



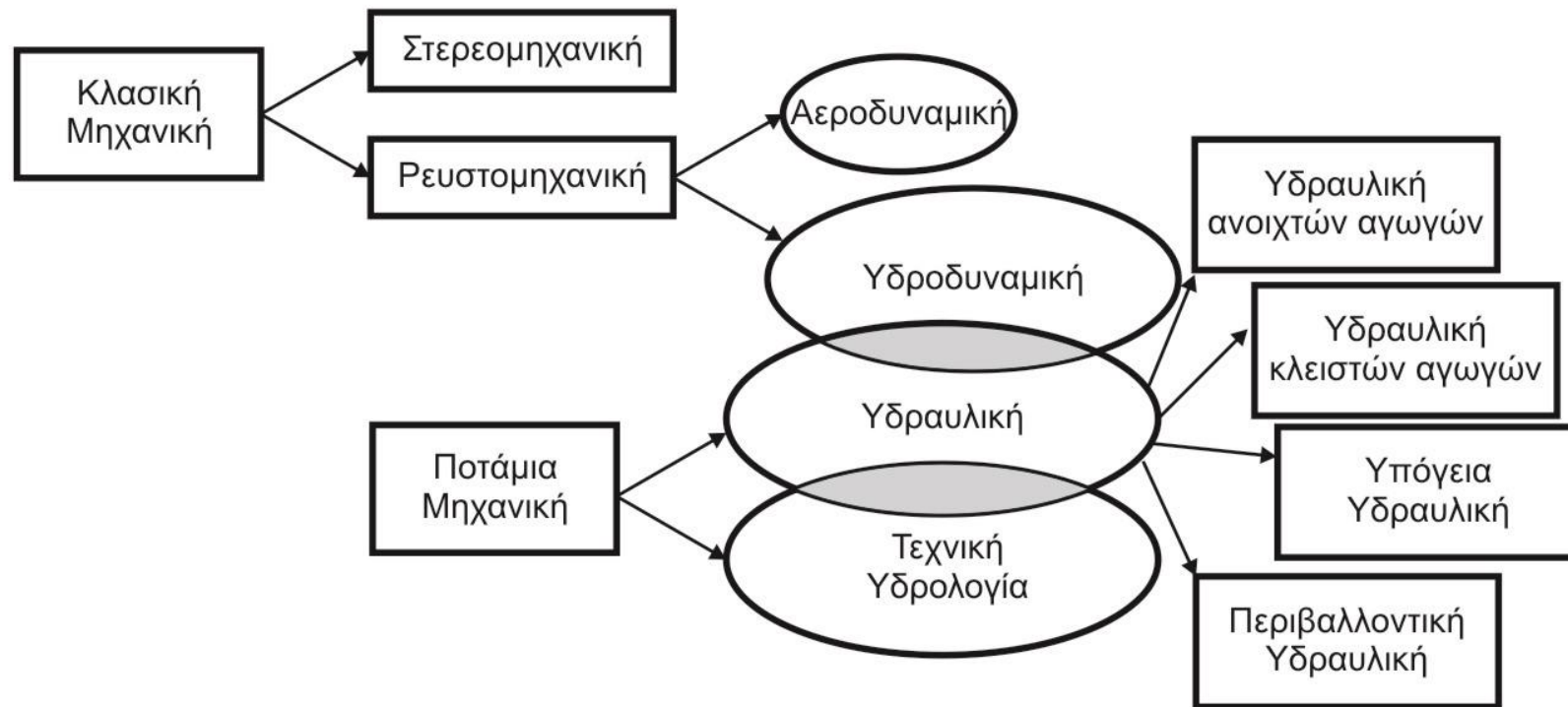
Επιστημονικά πεδία



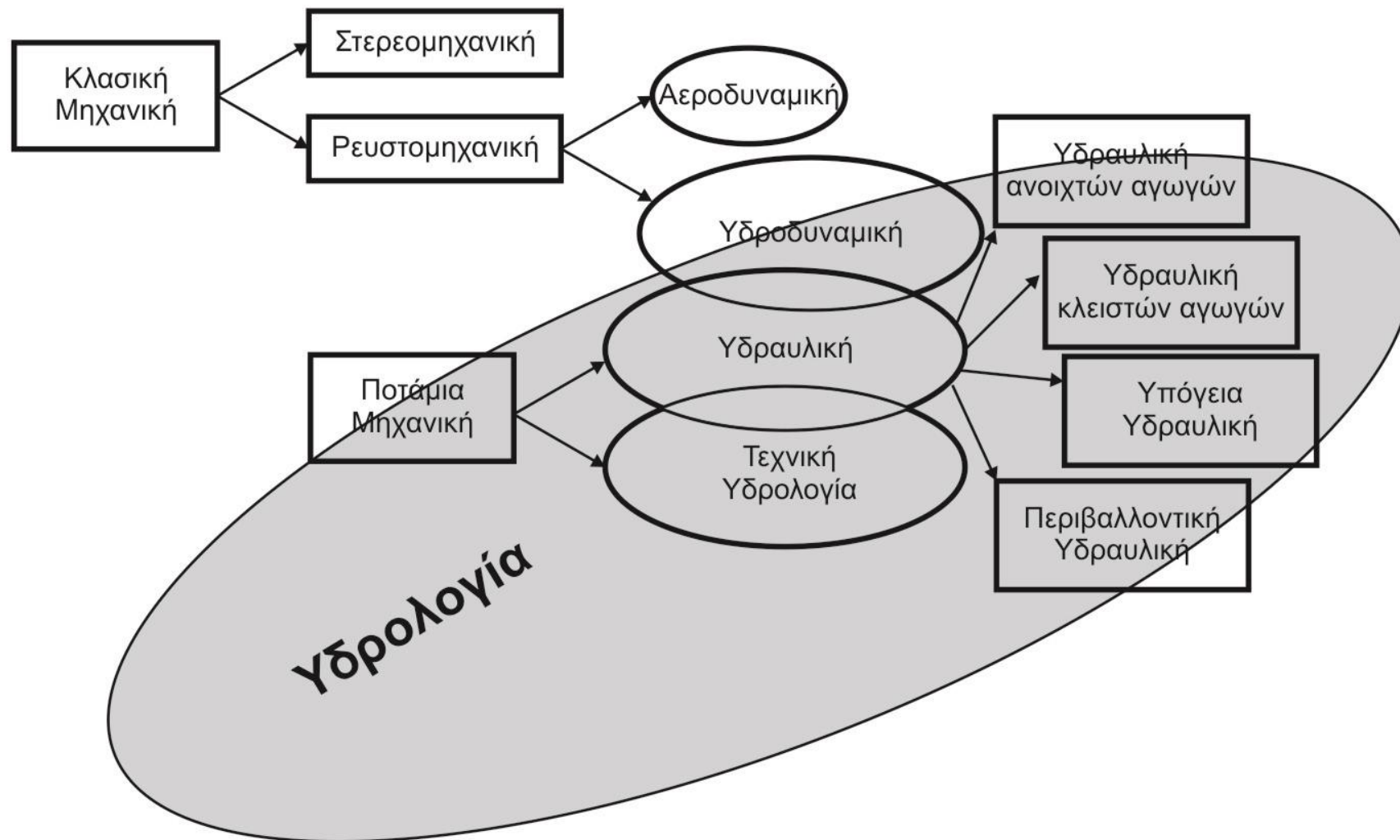
Επιστημονικά πεδία



Επιστημονικά πεδία



Επιστημονικά πεδία



Ανοιχτοί αγωγοί

- **Ροή με ελεύθερη επιφάνεια**
 - διευθέτηση ρέματος
 - αντιπλημμυρικά έργα
 - εγγειοβελτιωτικά έργα
 - φράγμα
 - αποχετευτικά δίκτυα

Ανοιχτοί αγωγοί

- Ροή με ελα

- διευθέτησ
- αντιπλημ
- εγγειοβελ
- φράγμα
- ΑΠΟΧΕΤΕΥΤΙΚΑ



Ανοιχτοί αγωγοί

- Ροή με ελευθέρη επιφανειακή
- διευθέτηση
- αντιπλημμυρικά
- εγγειοβελτιωτικά
- φράγματα
- αποχετευτικά



Ανοιχτοί αγωγοί

- Ροή με ελα
- διευθέτησ
- αντιπλημ
- εγγειοβελ
- φράγμα
- αποχετευτικά



Ανοιχτοί αγωγοί

- Ροή με ελα
- διευθέτησ
- αντιπλημ
- εγγειοβελ
- φράγμα
- αποχετευτικά



Ανοιχτοί αγωγοί

- Ροή με ελα
- διευθέτησ
- αντιπλημ
- εγγειοβελ
- φράγμα
- αποχετευτικά



Κλειστοί αγωγοί

- **Ροή υπό πίεση**
 - δίκτυο ύδρευσης
 - εγγειοβελτιωτικά έργα
 - υδροδυναμικά έργα

Κλειστοί αγωγοί

- Ροή υπό πίεση
- δίκτυο ύδρευσης
- εγγειοβελτιστισμός
- υδροδυναμική



Κλειστοί αγωγοί

- Ροή υπό πίεση
- δίκτυο ύδρευσης
- εγγειοβελτιστισμός
- υδροδυναμική



Κλειστοί αγωγοί

- Ροή υπό πίεση

- δίκτυο ύδρευσης
- εγγειοβελτιστισμός
- υδροδυναμική



Υπόγεια υδραυλική

- **Ροή σε πορώδες μέσο**
 - εγγειοβελτιωτικά έργα → διήθηση
 - διαχείριση υπόγειου υδατικού δυναμικού
 - γεωτρήσεις/πηγάδια
 - υφαλμύρυνση
 - υπόγειες διαφυγές
 - φράγματα
 - δεξαμενές

Περιβαλλοντική υδραυλική

- **Διάχυση/διασπορά ρύπου**

- ποιότητα νερού
- «καλή» κατάσταση των υδάτων
- Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα νερά 2000/60

- **Ποιοτικές παράμετροι**

- Θερμοκρασία
- pH
- Διαλυμένο Οξυγόνο (Dissolved Oxygen, DO)
- Θολότητα (turbidity)
- Βακτήρια
- Ιοί
- Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD)
- Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD)
- Μέταλλα
- Άλατα
- Φερτά υλικά