



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/>

ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

Απορροή: μικρές λεκάνες

Δρ. Βασίλης Μπέλλος

Μέγεθος λεκανών

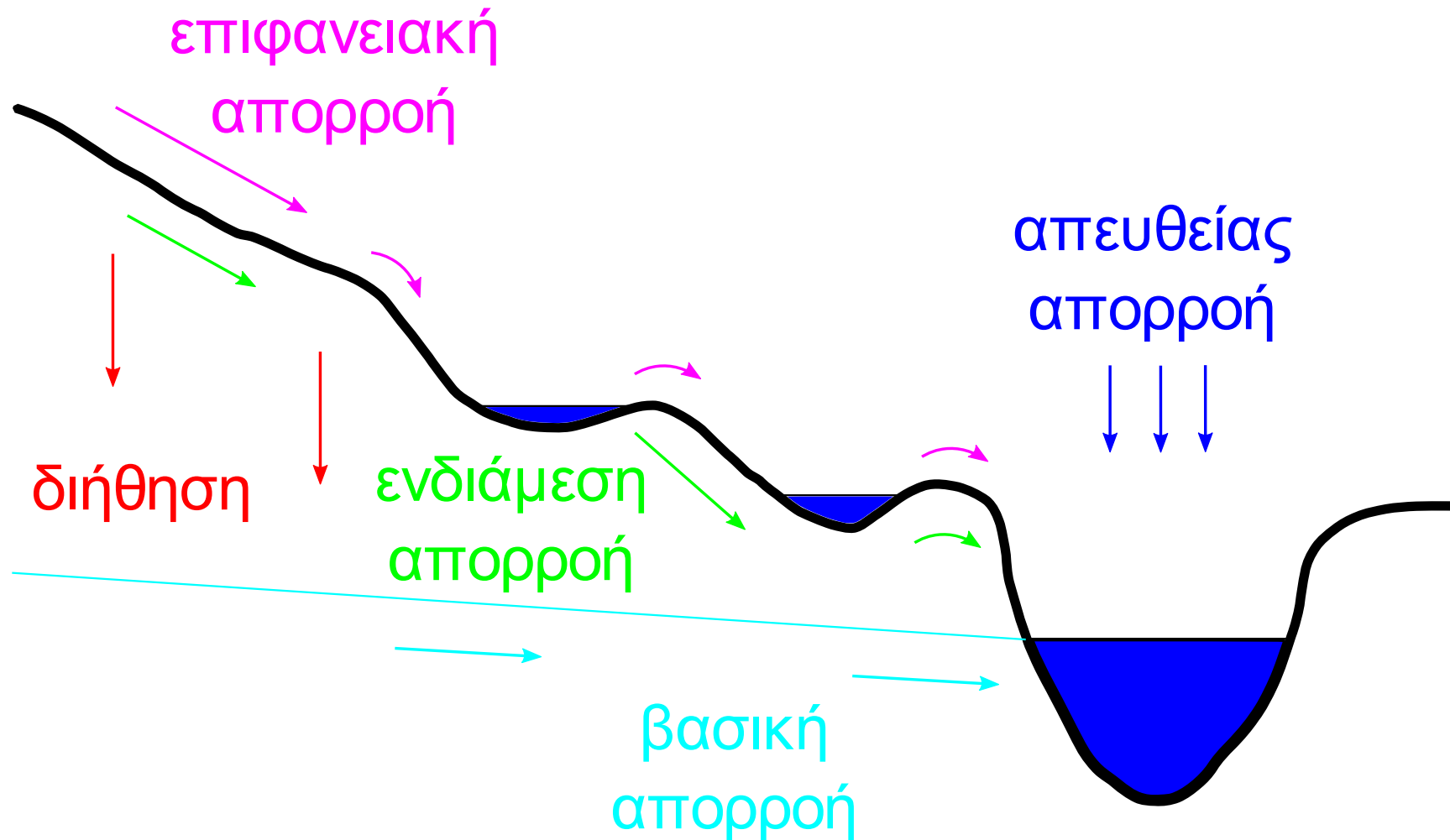
- **Μικρό μέγεθος**
 - Μέχρι 5~10 km²
- **Μεσαίο μέγεθος**
 - Μέχρι 100~5000 km²
- **Μεγάλο μέγεθος**
 - Μεγάλα ποτάμια συστήματα

Μέγεθος Λεκανών

Ευρωπαϊκή Απόφαση 2013/480/ΕΚ

Τύπος	Χαρακτηρισμός ποταμού	Λεκάνη απορροής (km ²)	Γεωλογία	Καθεστώς ροής
R-M1	Μικρά μεσογειακά ρέματα	<100	Μεικτή (εκτός από πυριτικά)	Έντονα εποχικό
R-M2	Μεσαία μεσογειακά ρέματα	100-1000	Μεικτή (εκτός από πυριτικά)	Έντονα εποχικό
R-M3	Μεγάλα μεσογειακά ρέματα	1000-10000	Μεικτή (εκτός από πυριτικά)	Έντονα εποχικό
R-M4	Ορεινά μεσογειακά ρέματα		Μη πυριτικό υπόβαθρο	Έντονα εποχικό
R-M5	Εποχικά ρέματα			Περιοδικό

Απορροή



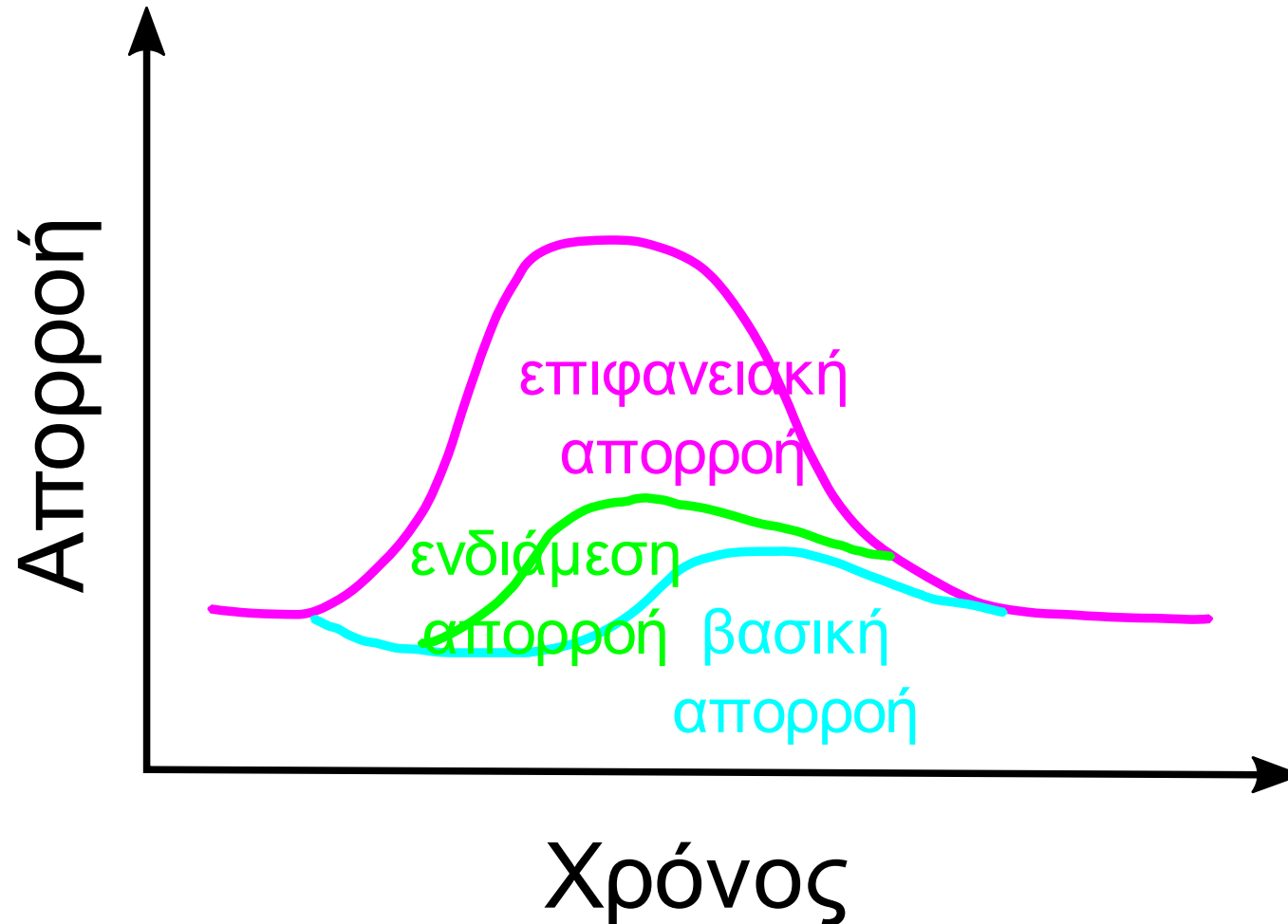
Απορροή

- Το νερό που κινείται πάνω και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους
- Απορροή = Βροχόπτωση – Απώλειες
- Επάνω στην επιφάνεια του εδάφους → επιφανειακή απορροή
- Επιφανειακή απορροή + ενδιάμεση απορροή → άμεση απορροή
- Υπόγειο νερό που συμβάλλει στην κοίτη του ποταμού → βασική απορροή

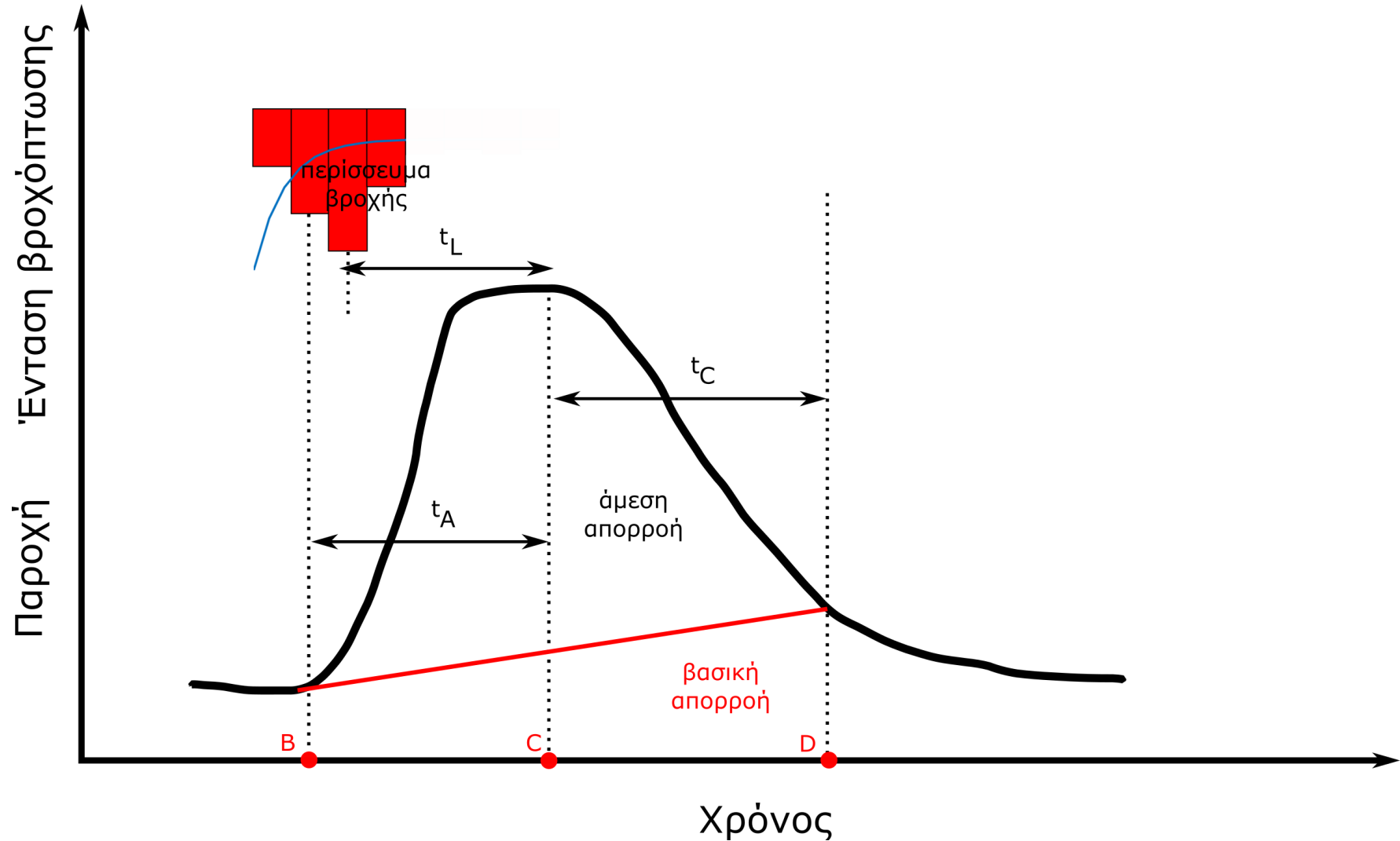
Υδρογράφημα

- Η βασική μονάδα μέτρησης της απορροής είναι η παροχή σε μία διατομή ενός υδατορέματος
- Θεμελιώδεις μονάδες $\rightarrow [L^3T^{-1}]$
- Συνήθεις μονάδες $\rightarrow m^3/s$ ή L/s
- Υδρογράφημα \rightarrow η μεταβολή της παροχής σε σχέση με το χρόνο

Συνιστώσες υδρογραφήματος

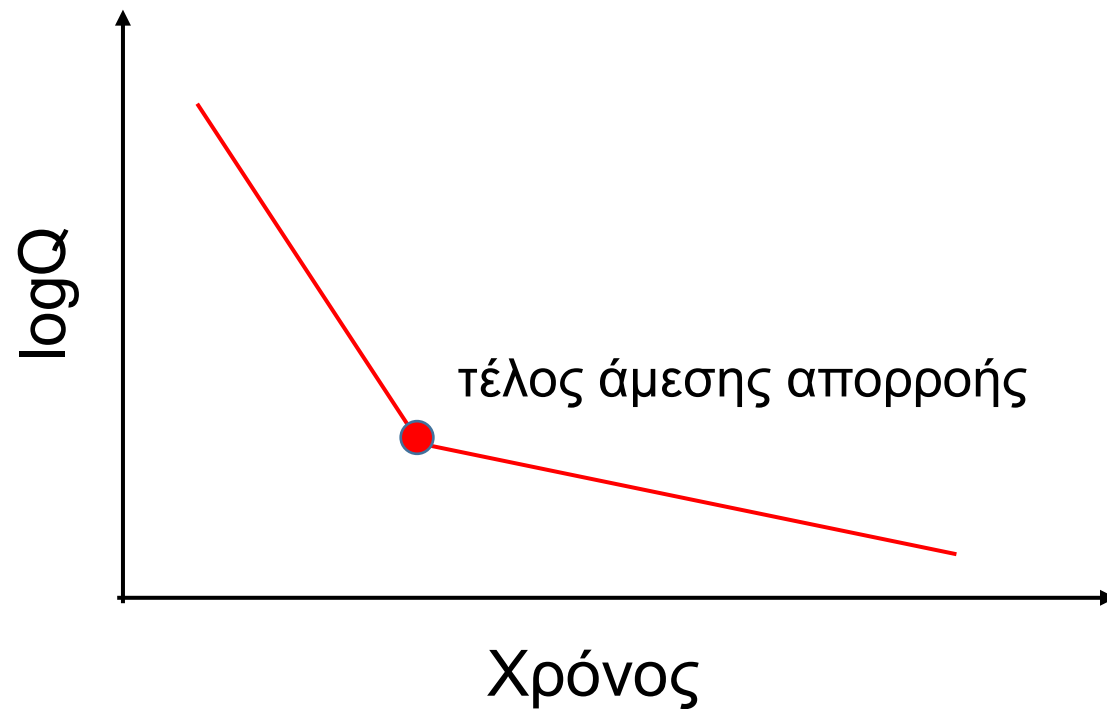


Τυπικό υδρογράφημα

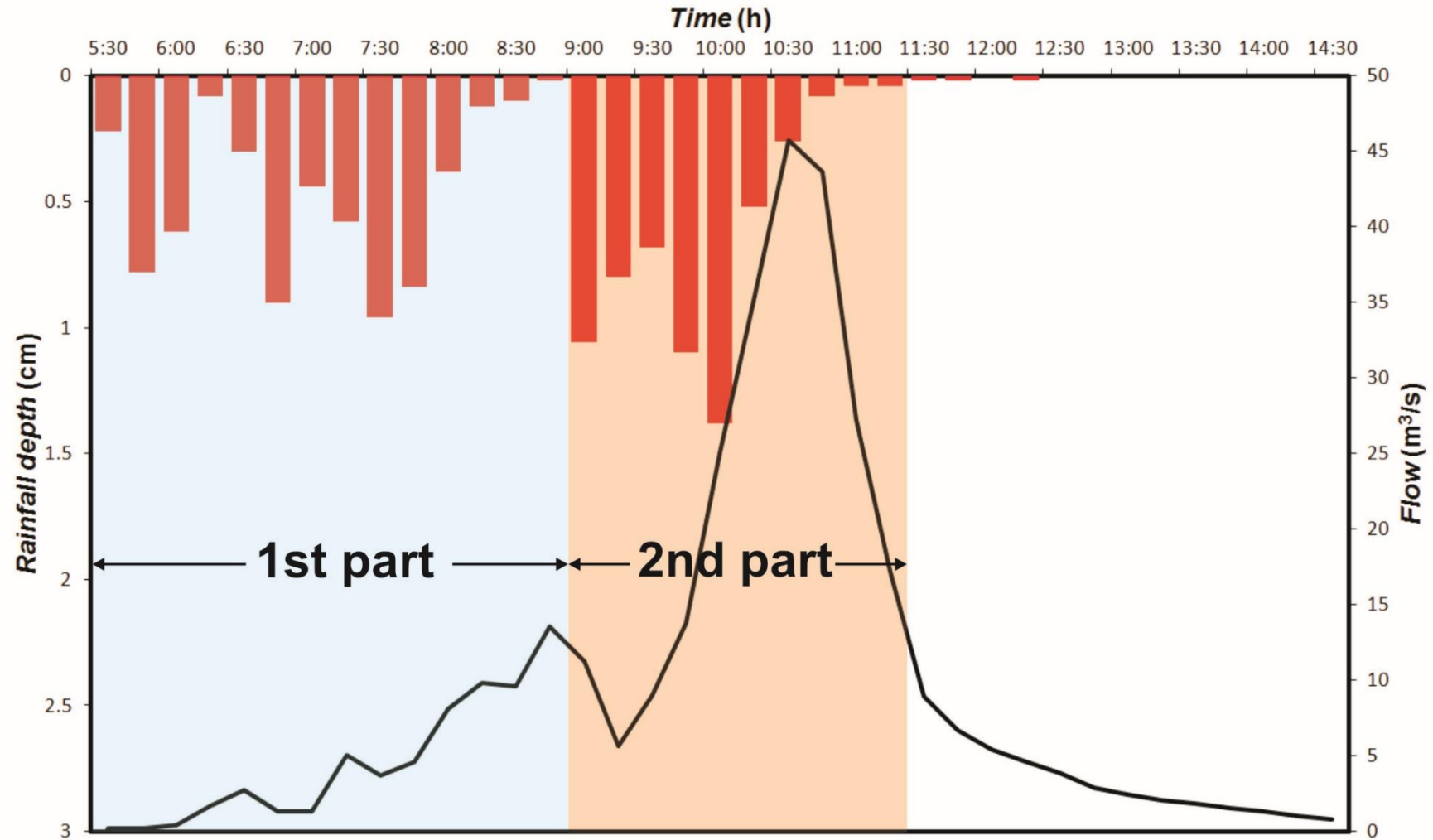


Διαχωρισμός υδρογραφήματος

- Γραφικός τρόπος
- Μέθοδος λογαρίθμων



Σύνθετο υδρογράφημα



Παράγοντες επιρροής

- **Κλιματικοί παράγοντες**
 - Χρονική κατανομή της βροχόπτωσης
 - Χωρική κατανομή της βροχόπτωσης
 - Διεύθυνση της βροχής
 - Μορφή του κατακρημνίσματος
 - Τύπος βροχής
- **Τοπογραφικοί παράγοντες**
 - Χαρακτηριστικά της λεκάνης
 - Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου
 - Κλίση λεκάνης
 - Κλίση υδατορέματος
 - Ανάγλυφη όψη λεκάνης
 - Φυτοκάλυψη
- **Γεωλογικοί παράγοντες**
 - Επιφανειακές εδαφικές στρώσεις
 - Βαθύτεροι γεωλογικοί σχηματισμοί

Χρονική κατανομή

- **Ένταση**

- Σταθερή ένταση → η διάρκεια καθορίζει την αιχμή και τη βάση του υδρογραφήματος

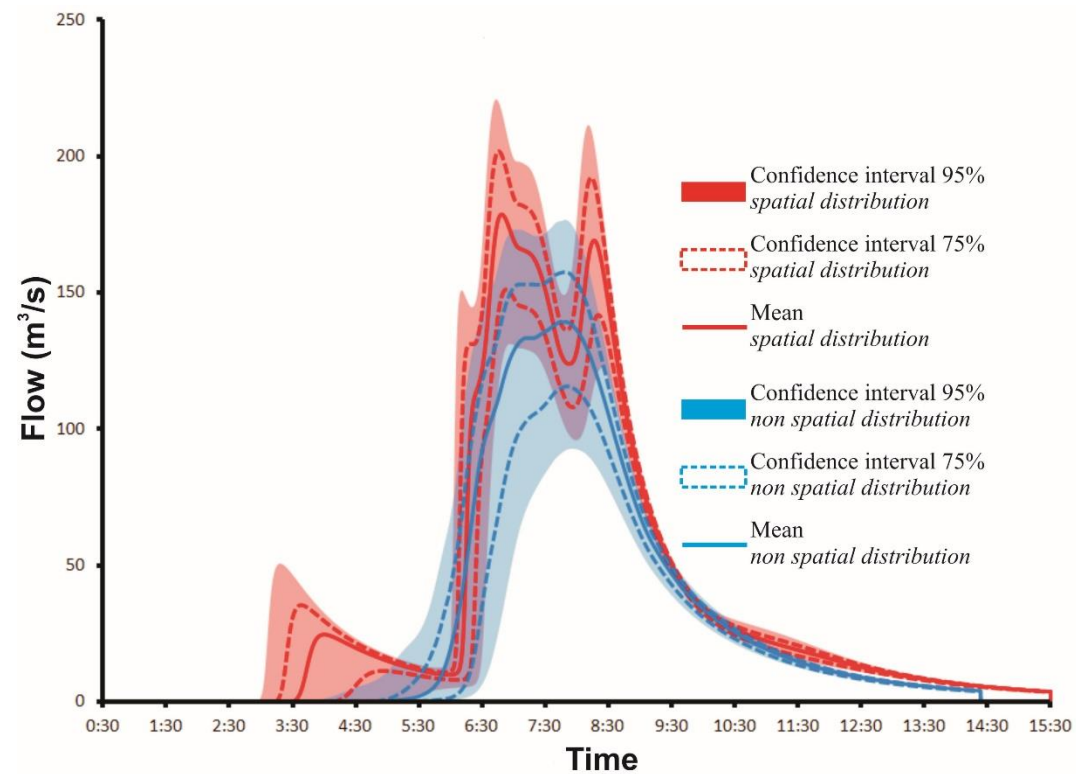
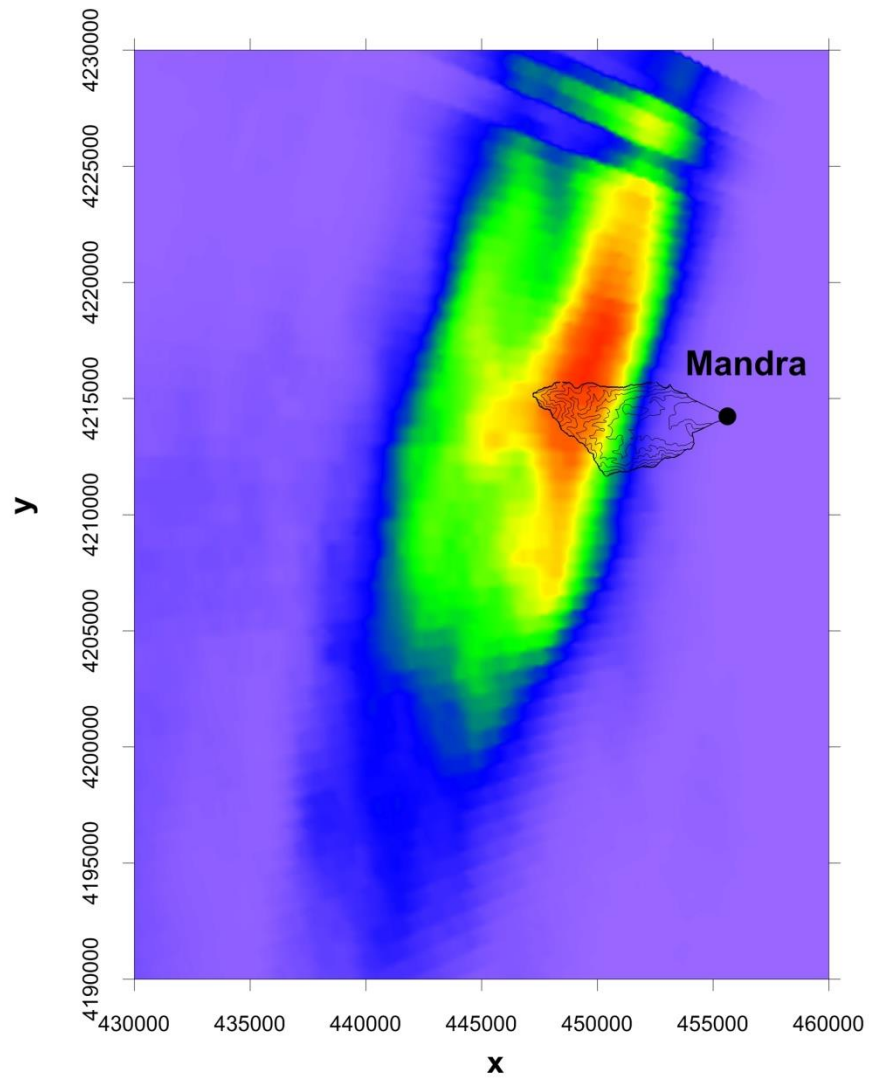
- **Διάρκεια**

- Σταθερή διάρκεια → η ένταση καθορίζει την αιχμή και τη βάση του υδρογραφήματος

- **Μεγάλη ένταση + μικρή διάρκεια**

- Μεγάλη αιχμή + καμπύλες ανόδου/καθόδου με μεγάλες κλίσεις

Χωρική κατανομή



Χωρική κατανομή

- **Αν το μεγαλύτερο ύψος βροχής πέσει στο κατάντη τμήμα της λεκάνης**
 - Μεγάλη αιχμή + καμπύλες ανόδου/καθόδου με μεγάλες κλίσεις
- **Αν το μεγαλύτερο ύψος βροχής πέσει στο ανάντη τμήμα της λεκάνης**
 - Μικρότερη αιχμή + καμπύλες ανόδου/καθόδου με ηπιότερες κλίσεις

Διεύθυνση βροχής

- Διεύθυνση βροχής σε σχέση με τον προσανατολισμό του υδρογραφικού δικτύου
- Μεγαλύτερη επιρροή → στενόμακρες λεκάνες
- Διεύθυνση: κατάντη → ανάντη
 - Μικρότερες αιχμές + μεγαλύτερη βάση
- Διεύθυνση: ανάντη → κατάντη
 - Μεγαλύτερες αιχμές + μικρότερη βάση

Μορφή κατακρημνίσματος

- **Βροχή** → άμεσο επίπτωση στο υδρογράφημα
- **Χιόνι**
 - Το υδρογράφημα δεν επηρεάζεται από το ρυθμό και τη διάρκεια χιονόπτωσης
 - Το υδρογράφημα επηρεάζεται από το χρόνο και το ρυθμό τήξεως του χιονιού στη λεκάνη
- **Λεκάνες που καλύπτονται από χιόνι που λιώνει την άνοιξη**
 - Η απορροή λόγω τήξης είναι αργή
 - Ο ρυθμός τήξης είναι \leq ρυθμό διήθησης
 - Κυρίως ενδιάμεση απορροή
- **Περιστασιακή χιονόπτωση** → υδρογράφημα αντίστοιχο της βροχόπτωσης
- **Θερμή βροχή** → τήξη χιονιού + μεγάλες πλημμύρες

Τύπος βροχής

- **Ανοδικά μέτωπα (καλοκαιρινές καταιγίδες)**
 - Μεγάλη επιρροή σε μικρές λεκάνες
 - Μικρή επιρροή σε μεγάλες λεκάνες → μικρή έκταση
- **Μεγάλα μέτωπα + ορογραφικοί παράγοντες**
 - Μεγάλες αιχμές

Χαρακτηριστικά λεκάνης

- **Μεγάλη vs. Μικρή λεκάνη**

- Στη μεγάλη λεκάνη αναμένεται μεγαλύτερη βάση του υδρογραφήματος και μικρότερες αιχμές

- **Σχήμα λεκάνης**

- Στις κυκλικές λεκάνες αναμένονται μεγαλύτερες αιχμές και μεγάλες κλίσεις ανόδου και καθόδου

Πυκνότητα δικτύου

- **Πυκνό υδρογραφικό δίκτυο**

- Μικρότερες διαδρομές νερού πάνω στο έδαφος
- Μεγαλύτερες ταχύτητες ροής
- Μικρότερος χρόνος εξόδου του νερού από τη λεκάνη
- Μεγαλύτερες αιχμές + μικρότερη βάση

- **Αραιό υδρογραφικό δίκτυο**

- Μεγαλύτερες διαδρομές νερού πάνω στο έδαφος
- Μικρότερες ταχύτητες ροής
- Μεγαλύτερος χρόνος εξόδου του νερού από τη λεκάνη
- Μικρότερες αιχμές + μεγαλύτερη βάση

Κλίσεις

- **Κλίση λεκάνης + κλίση υδατορέματος**
 - Μεγάλες κλίσεις
 - Μεγάλες ταχύτητες ροής
 - Μικρότερος χρόνος εξόδου του νερού από τη λεκάνη
 - Μεγαλύτερες αιχμές + μικρότερη βάση

Ανάγλυφο

- Επηρεάζει την κατακράτηση
- Πριν αρχίσει να κυλάει το νερό στις μισγάγγειες και στα υδατορέματα πρέπει να γεμίσει τις επιφανειακές κοιλότητες σε όλες τις κλίμακες
- Λίγες εδαφικές κοιλότητες → Μεγάλες αιχμές + μικρή βάση

Φυτοκάλυψη

- Άμεση επιρροή → παρεμπόδιση
- Μακρόχρονη επιρροή → διαπνοή
- Μεγάλη φυτοκάλυψη → ηπιότερες αιχμές + υδρογραφήματα με μεγαλύτερη βάση

Επιφανειακές στρώσεις

- **Ρυθμός διήθησης**
 - Κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους
 - Υφή υποκείμενων στρώσεων
 - Δομή υποκείμενων στρώσεων
- **Διάταξη εδαφικών στρώσεων → επιδρά στο ρυθμό της κατακόρυφης και πλευρικής κίνησης του νερού**
- **Διαπερατά εδάφη → πλευρικές μετακινήσεις → ενδιάμεση απορροή → χαμηλές αιχμές**

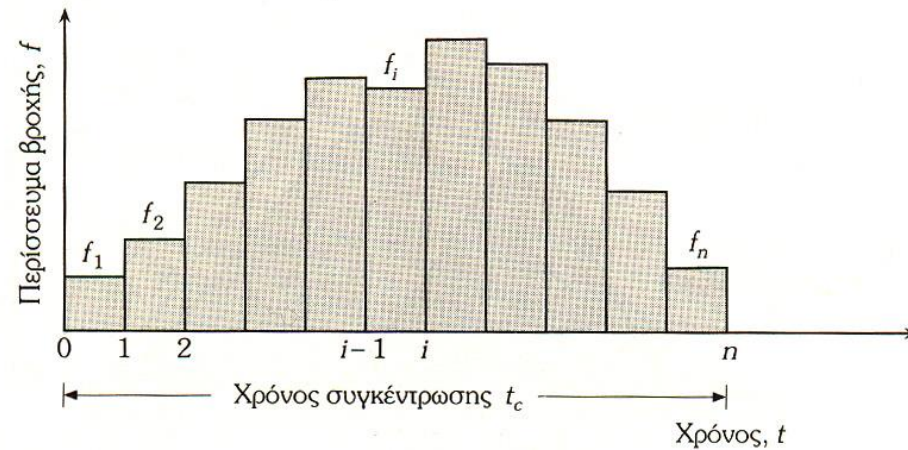
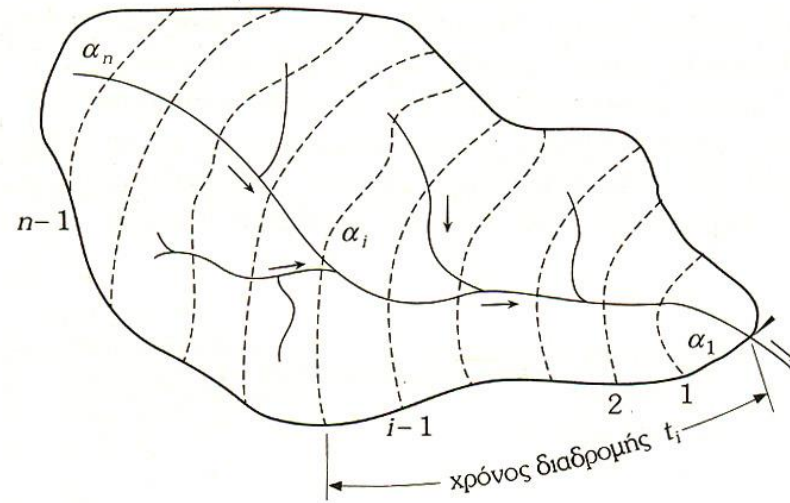
Βαθύτερα στρώματα

- Το είδος και η διάταξη των γεωλογικών σχηματισμών επιδρούν στον υπόγειο υδροφορέα → επιδρούν στη βασική απορροή
- Ανάλογα με τη διάταξη ο υπόγειος υδροφορέας μπορεί να είναι μεγαλύτερος ή μικρότερος από την επιφανειακή λεκάνη απορροής
- **Στάθμη υπόγειου υδροφορέα**
 - Σημαντική συνεισφορά σε βασική απορροή
 - Μικρή ή καθόλου συνεισφορά στη βασική απορροή

Χρόνος συγκέντρωσης

- Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η σταγόνα της βροχής από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι την έξοδο αυτής
 - Επιφάνεια εδάφους
 - Μισγάγγεια
 - Υδατόρεμα

Χρόνος συγκέντρωσης



Εμπειρικές σχέσεις

- **Kirpich (min)**

$$t_c = 0.02L^{0.77} S^{-0.385}$$

L	απόσταση κατά μήκος του κυρίου ρέματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο μέχρι την έξοδο της λεκάνης (m)
S	μέση κλίση κατά μήκος της διαδρομής (m/m)

- **Giandotti (h)**

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}}$$

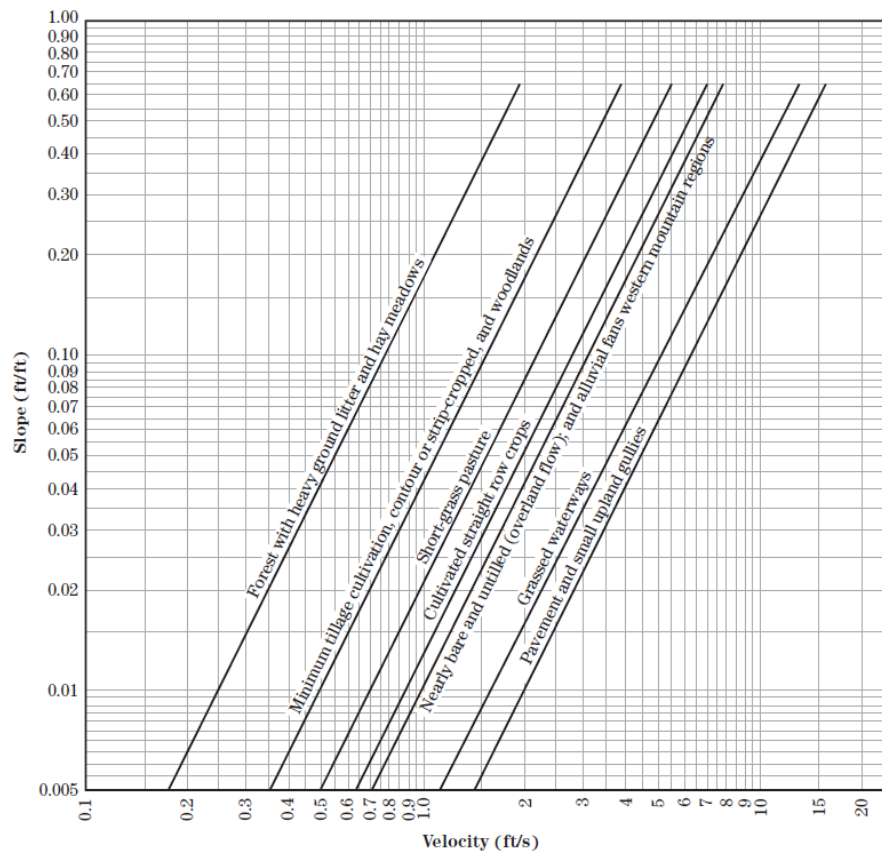
- ...

A	εμβαδόν λεκάνης απορροής (km ²)
L	μήκος κυρίου ρέματος (km)
ΔH	υψομετρική διαφορά μεταξύ μέσου υψομέτρου λεκάνης και της κοίτης του ρέματος στην έξοδο της λεκάνης (m)

Επιμερισμός σε τμήματα

- Έδαφος / Μισγάγγειες

- Υδατορέματα / Ποτάμια



Πηγή: NRCS
National
Engineering
Handbook,
Part 630,
Chapter 15

- Σχέσεις υδραυλικής

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

V	ταχύτητα ροής
R	υδραυλική ακτίνα
S	κλίση γραμμής ενέργειας
n	συντελεστής τραχύτητας

Αριθμητικά μοντέλα

- Βροχόπτωσης-απορροής
- Διόδευσης υδρογραφήματος (routing) } «Υδρολογικά» μοντέλα
- Αποχέτευσης
- Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων } Αστική Υδρολογία
- Υδατορέματος/Ποταμού
- Πλημμυρικού πεδίου } «Υδραυλικά» μοντέλα
- Υπόγεια νερά

Αριθμητικά μοντέλα

- Βροχόπτωσης-απορροής
 - Διόδευσης υδρογραφήματος (routing)
- » «Υδρολογικά» μοντέλα
- Αποχέτευσης
 - Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων
- » Αστική Υδρολογία
- Υδατορέματος/Ποταμού
 - Πλημμυρικού πεδίου
- » «Υδραυλικά» μοντέλα
- Υπόγεια νερά

Αριθμητικά μοντέλα

- Βροχόπτωσης-απορροής

- Διόδευσης υδρογραφήματος (routing)

«Υδρολογικά» μοντέλα

- Αποχέτευσης

- Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

Αστική Υδρολογία

- Υδατορέματος/Ποταμού

- Πλημμυρικού πεδίου

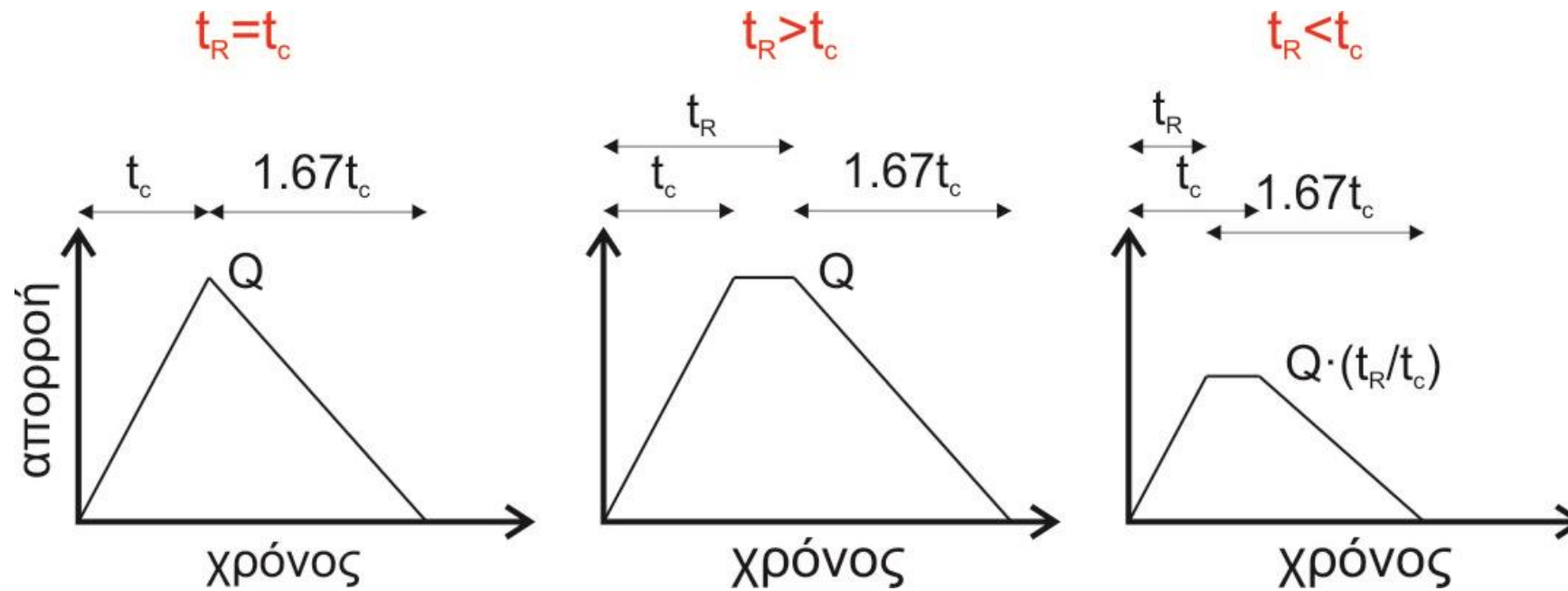
«Υδραυλικά» μοντέλα

- Υπόγεια νερά

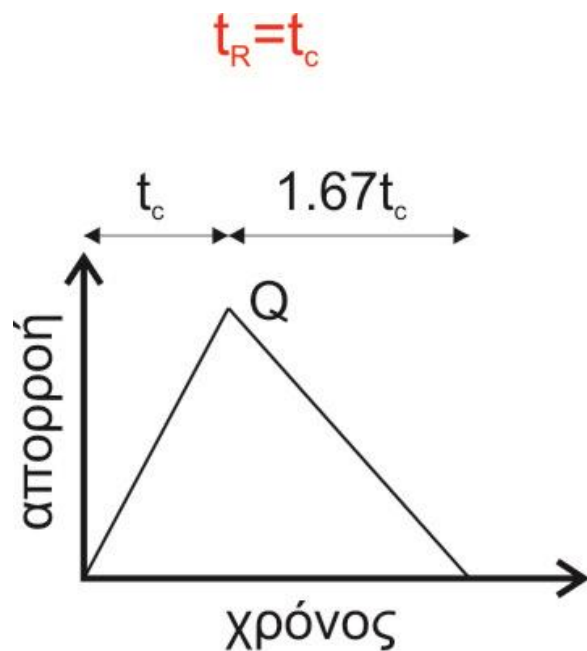
Μοντέλα βροχόπτωσης-απορροής

- **Ορθολογική μέθοδος → εμπειρικό μοντέλο**
 - Μόνο σε μικρές λεκάνες (<10 km²)
- **Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ) → εννοιολογικό μοντέλο**
 - Μετρήσεις
 - Συνθετικό ΜΥΓ
- **Μοντέλα φυσικής βάσης**
 - Κατανεμημένα
 - Λογισμικά

Ορθολογική μέθοδος



Ορθολογική μέθοδος



$$Q = 0.278CiA$$

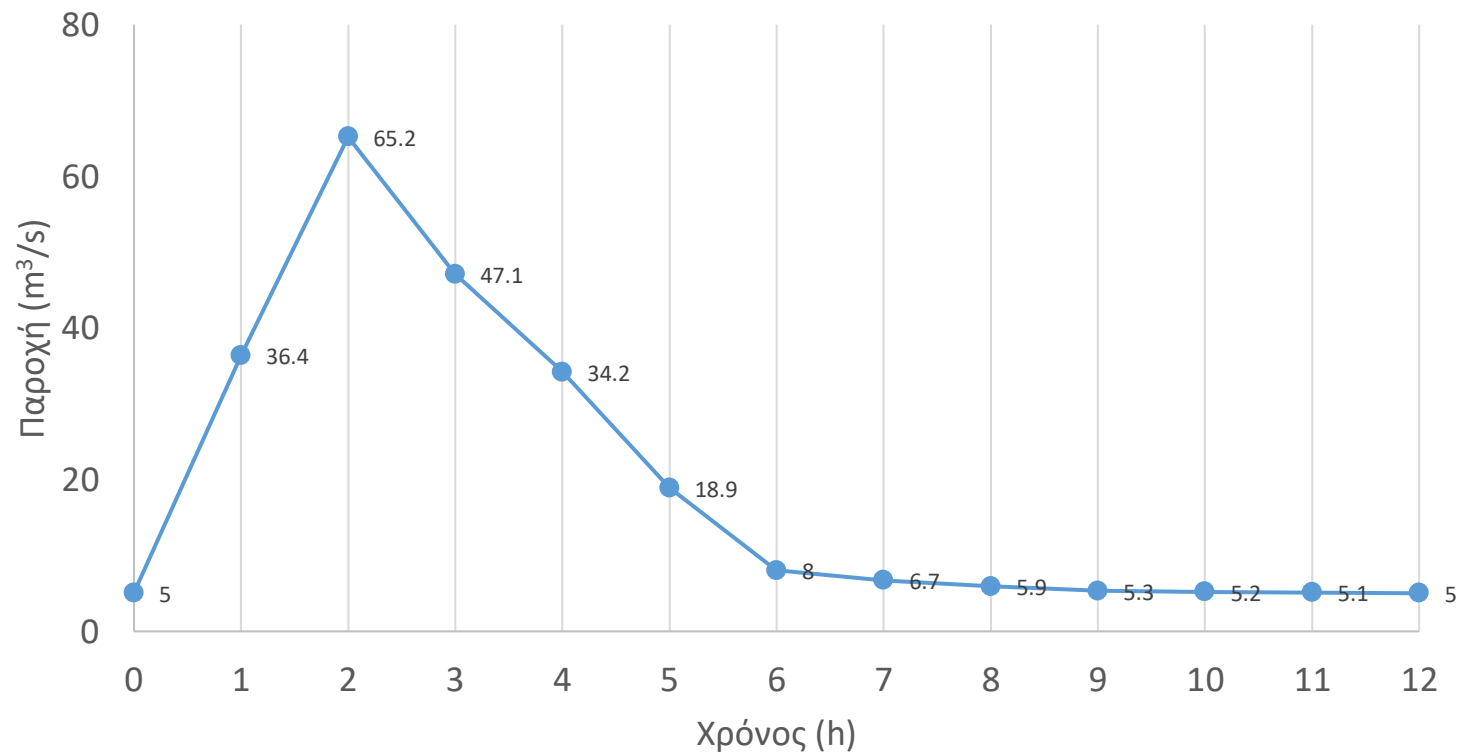
- $Q \rightarrow$ παροχή αιχμής (m^3/s)
- $C \rightarrow$ συντελεστής απορροής (-)
- $i \rightarrow$ κρίσιμη ένταση βροχής (mm/h)
- $A \rightarrow$ εμβαδόν λεκάνης απορροής (km^2)

Συντελεστής απορροής

Τύπος επιφάνειας	C
Οδοστρώματα	0.70-0.95
Στέγες σπιτιών	0.75-0.95
Αμμώδη εδάφη (κλίση 0-2 %)	0.05-0.10
Αμμώδη εδάφη (κλίση 2-7 %)	0.10-0.15
Αμμώδη εδάφη (κλίση >7 %)	0.15-0.20
Βαριά εδάφη (κλίση 0-2 %)	0.13-0.17
Βαριά εδάφη (κλίση 2-7 %)	0.18-0.22
Βαριά εδάφη (κλίση >7 %)	0.25-0.35
Εμπορικές περιοχές (κέντρο πόλης)	0.70-0.95
Εμπορικές περιοχές (προάστιο)	0.50-0.70
Κατοικημένες περιοχές	0.30-0.70
Βιομηχανικές περιοχές	0.50-0.90
Πάρκα	0.10-0.25
Γήπεδα	0.20-0.35

Άσκηση 1

- Διαχωρισμός υδρογραφήματος



Άσκηση 2

- **Ορθολογική μέθοδος**

- Λεκάνη απορροής
 - Εμβαδόν 5 km^2
 - Μήκος κυρίου υδατορέματος 4892 m
 - Κλίση κυρίου υδατορέματος 0.18
 - Μέσο υψόμετρο λεκάνης 346 m
 - Υψόμετρο εξόδου λεκάνης 100 m
- Σταθερή ένταση βροχής $i=12 \text{ mm/h}$ για:
 - 15 min
 - 30 min
 - 1 h
 - 2 h
- Συντελεστής απορροής $C=0.6$
- Να βρεθούν τα υδρογραφήματα υπολογίζοντας τους χρόνους συγκέντρωσης κατά Kirpich και κατά Giandotti και για όλες τις χρονικές διάρκειες

Κατά κύριο λόγο, η παρούσα διάλεξη άντλησε πληροφορίες από τα βιβλία «Τεχνική Υδρολογία» των Μ. Μιμίκου και Ε. Μπαλτά (2018, Εκδόσεις Παπασωτηρίου), «Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία & Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων» του Γ. Τσακίρη (2013, Εκδόσεις Συμμετρία), «Τεχνική Υδρολογία» των Δ. Κουτσογιάννη και Θ. Ξανθόπουλου - 4^η έκδοση (2016, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα), «Ποτάμια Υδραυλική και Τεχνικά Έργα» του Β. Χρυσάνθου (2015, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα)