

ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

Απορροή, Κατακράτηση και Διήθηση (4^η Άσκηση)

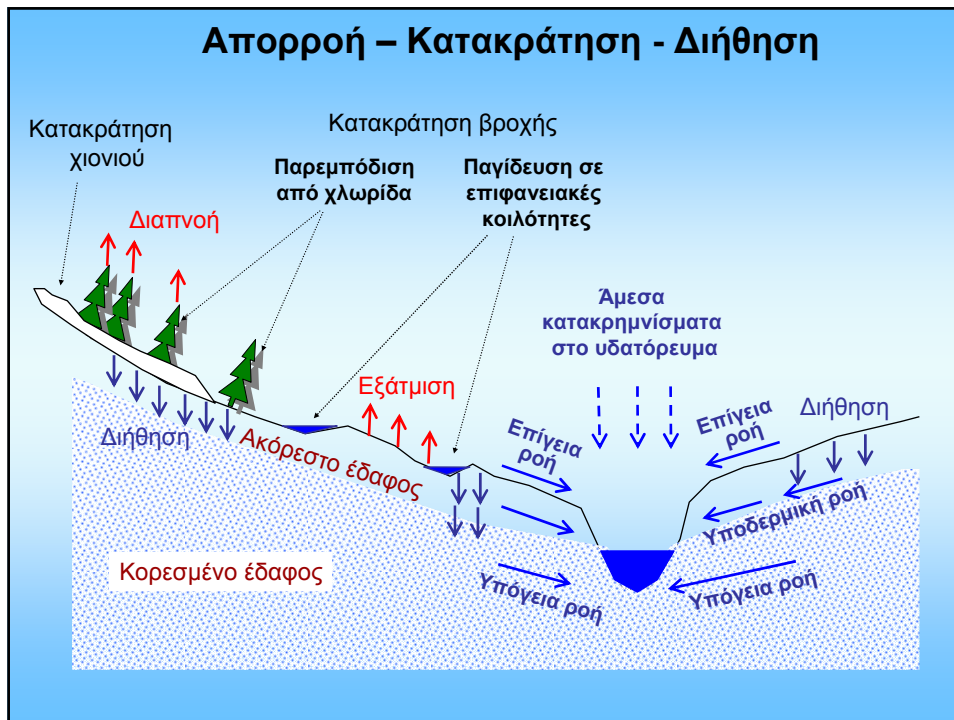


Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων

Διάρθρωση 4^{ου} Μαθήματος Ασκήσεων

- Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής
- Επίδραση γεωμορφολογίας και βροχόπτωσης στην απορροή
- Απορροή
 - Μηχανισμός δημιουργίας άμεσης απορροής
 - Διαχωρισμός βασικής απορροής
- Κατακράτηση
- Διήθηση
 - Ποσοτική προσέγγιση διήθησης
- Συνολική εκτίμηση ελλειμμάτων
 - Μέθοδος του Δείκτη ϕ

Απορροή – Κατακράτηση - Διήθηση



Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

Κάθε λεκάνη απορροής έχει τα δικά της **φυσιογραφικά χαρακτηριστικά**, τα οποία επηρεάζουν σημαντικά, τόσο τη διαδικασία του μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε απορροή, όσο και το υδρογράφημα της απορροής [$Q=f(t)$].

Μορφολογικά χαρακτηριστικά (μορφή, ανάγλυφο, υδρογραφικό δίκτυο)

Εδαφολογικά χαρακτηριστικά (μηχανικές ιδιότητες, χημική σύσταση)

Φυτοκάλυψη (είδη χλωρίδας και χωρική διάταξή της)

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά αποτελούν χωρικά κατανεμημένη πληροφορία (μεταβάλλονται από θέση σε θέση) αλλά στην πράξη γίνεται συμπυκνωμένη περιγραφή τους χρησιμοποιώντας δείκτες και διαγράμματα.

Μορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

Γεωμετρία

Ο **υδροκρίτης** είναι η νοητή γραμμή που συνδέει τα ψηλότερα σημεία των υψωμάτων της επιφάνειας του εδάφους, διαχωρίζει τη ροή των όμβριων υδάτων και περικλείει τη λεκάνη απορροής. Το κυριότερο γεωμετρικό χαρακτηριστικό της λεκάνης απορροής είναι το **εμβαδό** της S_A . Αν και το σχήμα μιας λεκάνης απορροής είναι πάντα πολύπλοκο, έχουν προταθεί διάφοροι αδιάστατοι δείκτες που κωδικοποιούν το σχήμα της λεκάνης.

Ο **δείκτης κυκλικότητας** ορίζεται ως ο λόγος της επιφάνειας της λεκάνης προς την επιφάνεια κύκλου με περίμετρο ίδια με αυτή της λεκάνης (P_A):

$$E_c = \frac{S_A}{\frac{P_A^2}{4\pi}}$$

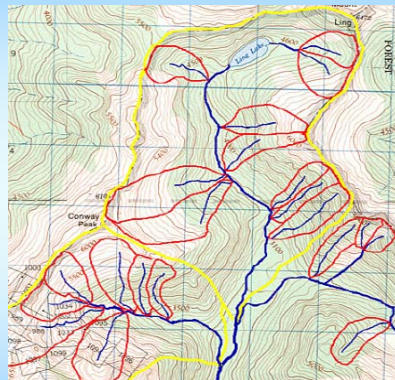
Ο **δείκτης συμπαγούς** ορίζεται ως ο λόγος της περιμέτρου της λεκάνης προς την περίμετρο κύκλου με επιφάνεια ίδια με αυτή της λεκάνης:

$$E'_c = \frac{P_A}{\sqrt{4\pi S_A}} = \frac{1}{\sqrt{E_c}}$$

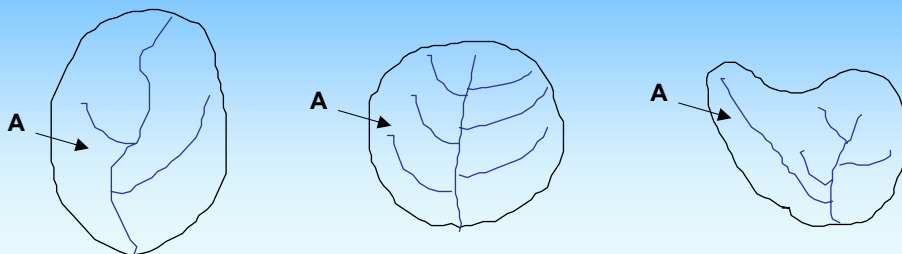
Ο **δείκτης επιμήκυνσης** ορίζεται ως ο λόγος της πλευράς ενός τετραγώνου με επιφάνεια ίδια με αυτή της λεκάνης, προς ένα χαρακτηριστικό μήκος της λεκάνης L_A (π.χ. το μήκος από την έξοδο μέχρι το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης):

$$E_L = \frac{\sqrt{S_A}}{L_A}$$

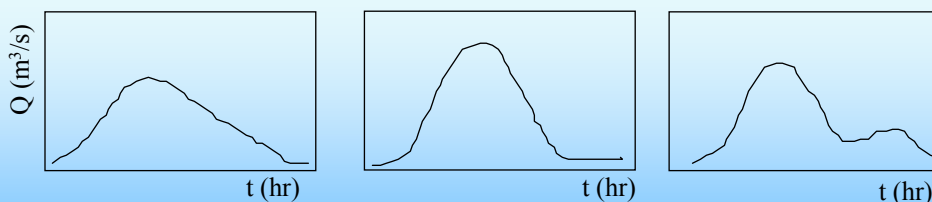
ΥΔΡΟΚΡΙΤΗΣ



Επίδραση της γεωμετρίας στην απορροή



Υδρογραφήματα για καθαρή βροχόπτωση σταθερής έντασης i και διάρκειας d



$$V = A * i * d$$

▪ Ένα τυπικό ΥΓ είναι κωδωνοειδούς σχήματος και αποτελείται από 3 μέρη: ανερχόμενο κλάδο, περιοχή αλλαγής καμπυλότητας και κατερχόμενο κλάδο.

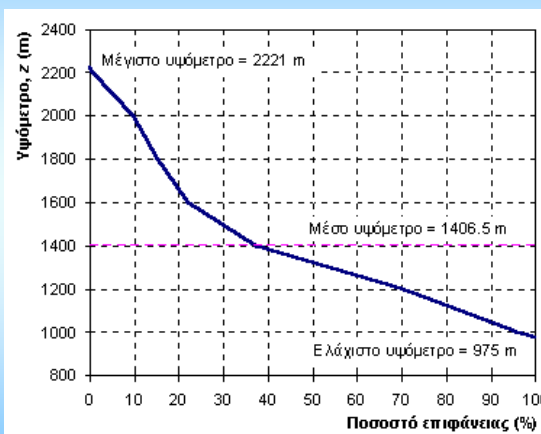
Μορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

Ανάγλυφο

Τα μεγέθη που ενδιαφέρουν συνήθως είναι:

➤ Υψομετρική (ή υπογραφική) καμπύλη της λεκάνης

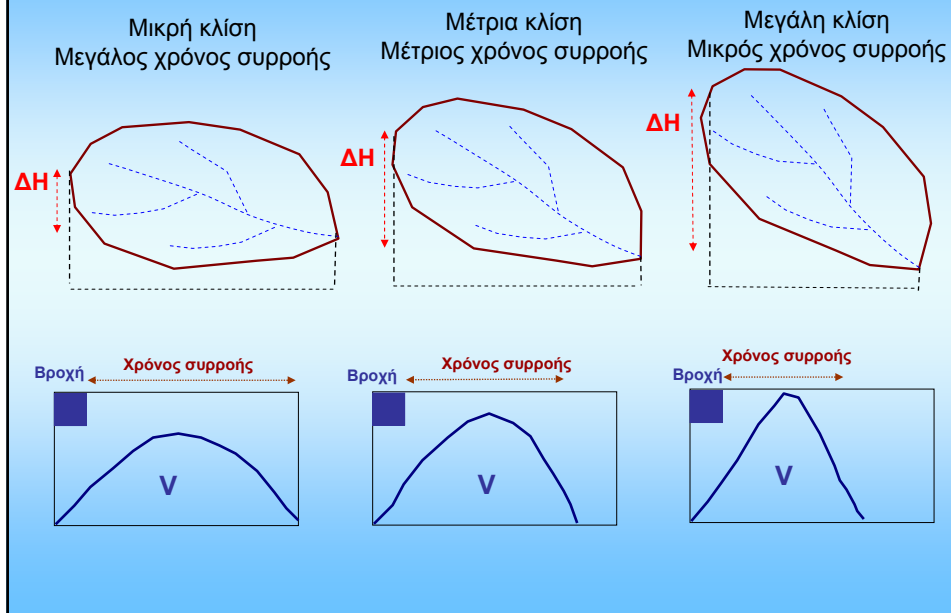
- Η καμπύλη που δείχνει τη σχέση ανάμεσα σε κάποιο υψόμετρο και το ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης που έχει υψόμετρο πάνω ή κάτω από αυτό.
- Δίνει μια εικόνα της μέσης κλίσης του εδάφους της λεκάνης



➤ Μέση κλίση λεκάνης

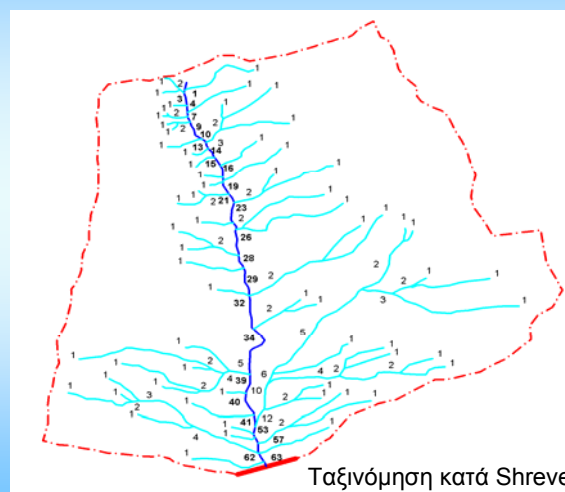
➤ Max, min (στην έξοδο) και mean υψόμετρο λεκάνης (από υψομετρική καμπύλη)

Επίδραση της κλίσης στην απορροή



Μορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής Ταξινόμηση υδρογραφικού δικτύου

Σύστημα ταξινόμησης Horton (1945), Strahler (1964) και Shreve (1966)



Μορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου

Η **πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου** D_A , ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού μήκους του υδρογραφικού δικτύου ΣL_A προς την επιφάνεια της λεκάνης S_A :

$$D_A = \frac{\sum L_A}{S_A}$$

και έχει διαστάσεις $[L^{-1}]$.

Μια συγκεκριμένη διαδρομή κατά μήκος του υδατορεύματος, η οποία καταλήγει στην έξοδο της λεκάνης (συνήθως ο κλάδος με μεγαλύτερο μήκος), χαρακτηρίζεται ως **κύριο υδατόρρευμα** ή **κύρια μισγάγγεια** της λεκάνης.

Το **μήκος** του κύριου υδατορεύματος αποτελεί από τα βασικότερα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και συσχετίζεται εμπειρικά με το χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης.

Επίδραση εδαφολογίας στην απορροή

- Το **είδος των εδαφών** της λεκάνης απορροής επηρεάζει ιδιαίτερα τα υδρολογικά ελλείμματα, άρα και την επιφανειακή απορροή
- Οι **μηχανικές ιδιότητες** των εδαφών, καθορίζουν το ρυθμό της διήθησης και κατά συνέπεια επηρεάζουν άμεσα την απορροή
- Η **χημική σύσταση** των εδαφών, σε συνδυασμό με τις μηχανικές ιδιότητές τους, καθορίζει τη φυτοκάλυψη και τους επικρατούντες τύπους χλωρίδας, και συνεπώς επηρεάζει αποφασιστικά την επιφανειακή απορροή

Επίδραση φυτοκάλυψης στην απορροή

- **μείωση του όγκου απορροής** κατά την ποσότητα που κατακρατείται από τη χλωρίδα (και τελικώς εξατμίζεται ή απορροφάται απ' αυτή)
- **χρονική υστέρηση της απορροής** (συντείνει εξ άλλου και η αύξηση της τραχύτητας των εδαφών, που προκαλείται από τη φυτοκάλυψη)
- **αύξηση της διηθητικής ικανότητας του εδάφους** (δράση των ριζών)
- **συγκράτηση του εδαφικού υλικού και μείωση της διάβρωσης της λεκάνης** (εφόσον επιβραδύνεται η άμεση απορροή, προστατεύεται το έδαφος από την κινητική ενέργεια της βροχής, και δημιουργείται συνεκτικός ιστός μεταξύ των εδαφικών κόκκων)

Επίδραση γεωμορφολογίας και βροχόπτωσης στην απορροή

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ

- Μέγεθος
- Σχήμα
- Ανάγλυφο
- Γεωλογία
- Έδαφος
- Φυτοκάλυψη

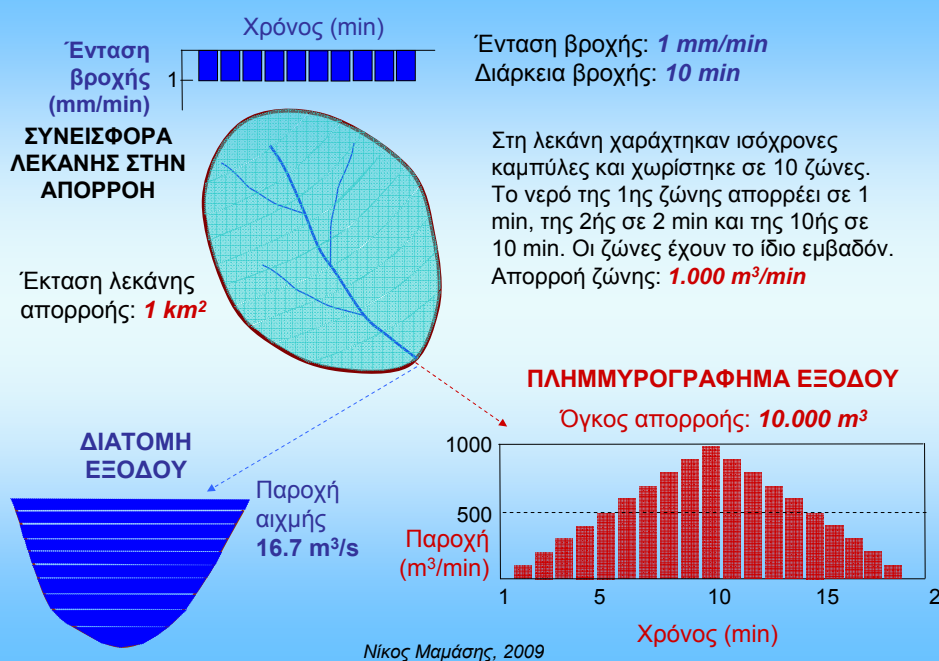
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

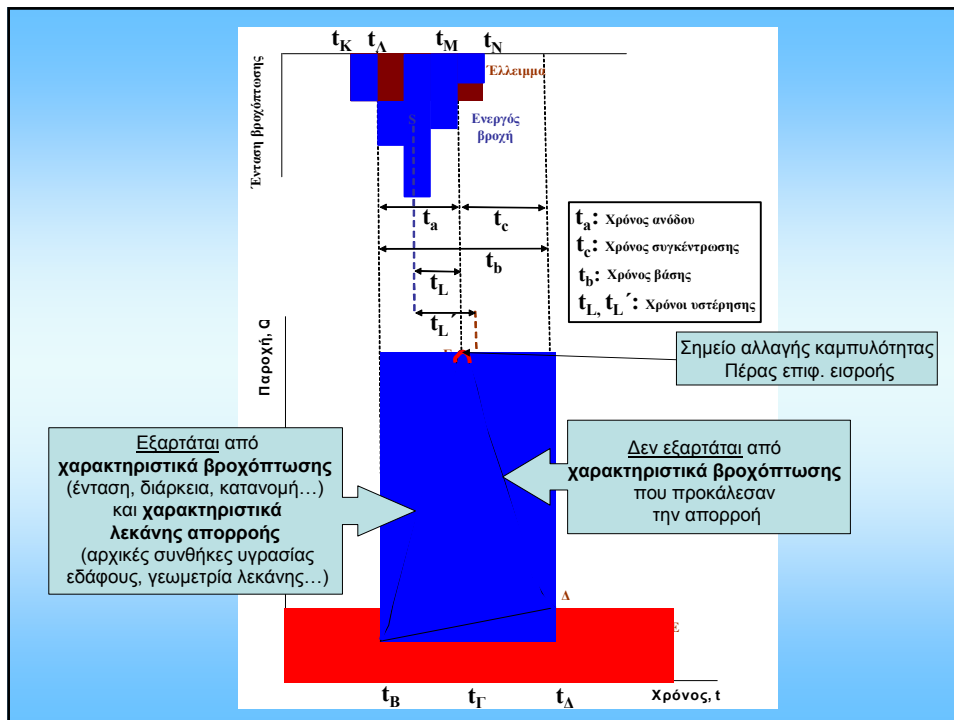
- Διάρκεια
- Ένταση
- Συνολικό ύψος
- Χωρική κατανομή
- Χρονική κατανομή

Απορροή

- Άμεση απορροή $\Rightarrow$ εισέρχεται στα υδατορεύματα αμέσως μετά τη βροχόπτωση και αποτελείται από την **επιφανειακή απορροή**, την **απευθείας βροχόπτωση** επί των υδατορευμάτων και **μέρος της υπεδάφιας απορροής** (ταχεία υπεδάφια).
- Βασική απορροή $\Rightarrow$ η απορροή που σχηματίζει τη βασική (μόνιμη) ροή των ρευμάτων και περιλαμβάνει το **υπόλοιπο της υπεδάφιας** (βραδεία υπεδάφια) και την **υπόγεια απορροή**.

Μηχανισμός δημιουργίας άμεσης απορροής

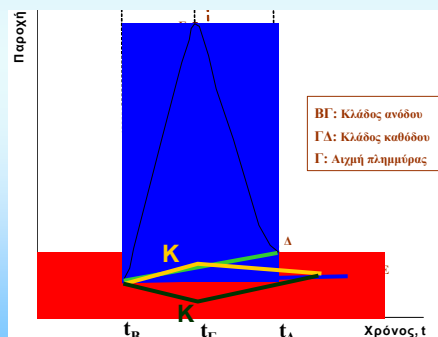




Διαχωρισμός βασικής απορροής

Συνήθως χρειαζόμαστε την άμεση απορροή και όχι τη συνολική (άμεση + βασική) ➡ ανάγκη διαχωρισμού των συνιστωσών της απορροής

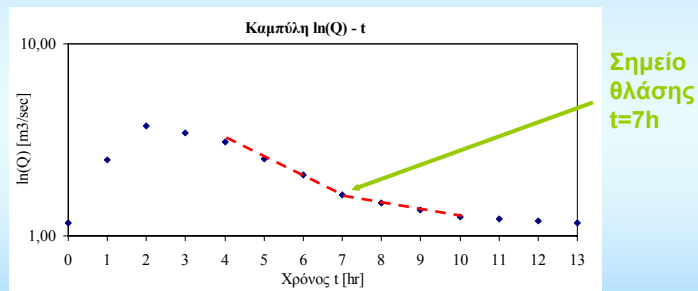
- **Αδρομερώς:** διαχωρισμός της άμεσης από τη βασική απορροή φέρνοντας ευθεία από το B // με τον άξονα των χρόνων, ή θεωρώντας σημείο K, ή ενώνοντας το B με το Δ (πιο ρεαλιστικό).



- Ανάπτυξη άλλων προσεγγίσεων κυρίως γραφικών.

Διαχωρισμός βασικής απορροής Μέθοδος των λογαρίθμων

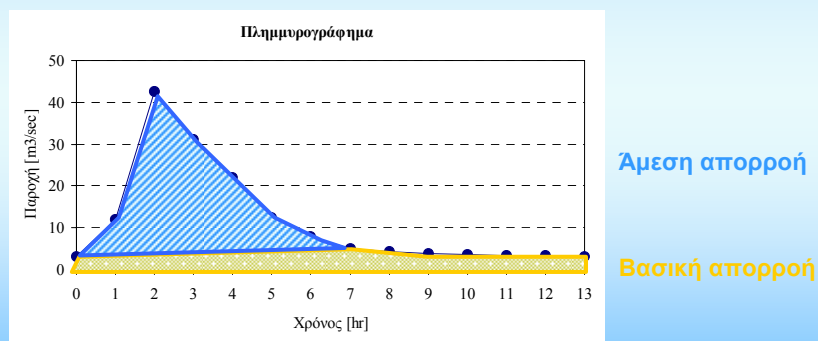
Αν σχεδιαστεί ο λογάριθμος του Q συναρτήσει του χρόνου, τον καθοδικό κλάδο του γραφήματος τον προσεγγίζει μια τεθλασμένη γραμμή. Το σημείο θλάσης αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή διακοπής της συμβολής της άμεσης απορροής.



Η βασική απορροή μεταβάλλεται γραμμικά από τη χρονική στιγμή που άρχισε η απορροή ($t=0$ στο πλημμυρογράφημα) μέχρι τη χρονική στιγμή που εμφανίζεται θλάση στο γράφημα $\ln(Q)-t$ (εδώ $t=7\text{hr}$).

Διαχωρισμός βασικής απορροής Μέθοδος των λογαρίθμων

Το εμβαδό που δημιουργείται από την αρχή του ανοδικού κλάδου, τη θλάση της γραμμής και το ΥΓ αποτελεί τον όγκο της άμεσης απορροής και το υπόλοιπο εμβαδό τον όγκο της βασικής απορροής.



Κατακράτηση

- **Κατακράτηση:** **Παρεμπόδιση** τμήματος της βροχής να φτάσει στο έδαφος (λόγω χλωρίδας) και **επιφανειακή παγίδευση** της επιφανειακής απορροής στις μικροκοιλότητες του τοπογραφικού αναγλύφου.
- Η ποσότητα που **παρεμποδίζεται** στη συνέχεια εξατμίζεται ή απορροφάται από τη χλωρίδα ή καταλήγει στο έδαφος.
- Αντίστοιχα, από την ποσότητα του νερού που έχει **παγιδευτεί επιφανειακά** ένα μέρος διηθείται στο έδαφος και το υπόλοιπο μέρος εξατμίζεται.

Διήθηση

- **Διήθηση:** Η φυσική διεργασία εισχώρησης νερού (από κατακρημνίσεις, άρδευση) στο έδαφος.
- Ο ρυθμός διήθησης μεταβάλλεται χωροχρονικά και εξαρτάται κατά σειρά προτεραιότητας από:
 - ✓ Την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων
 - ✓ Τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και την κατάσταση του επιφανειακού εδαφικού καλύμματος
 - ✓ Την παρουσία ή όχι χλωρίδας
 - ✓ Την περιεκτικότητα σε υγρασία του επιφανειακού εδάφους στην αρχή της βροχής
 - ✓ Τη θερμοκρασία
 - ✓ Την ποιότητα του βρόχινου νερού

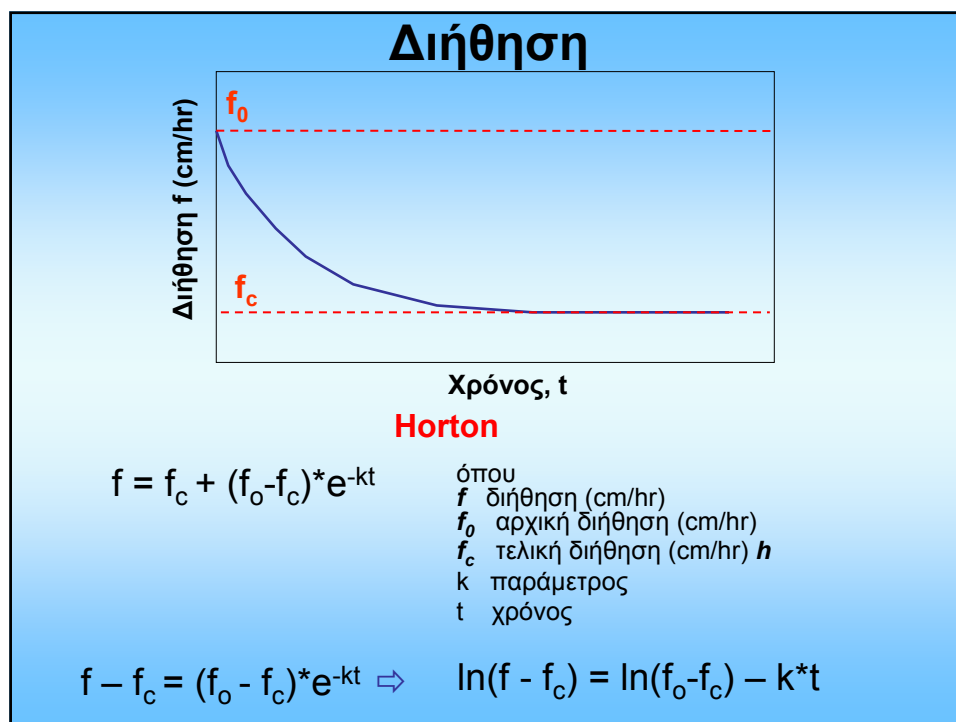
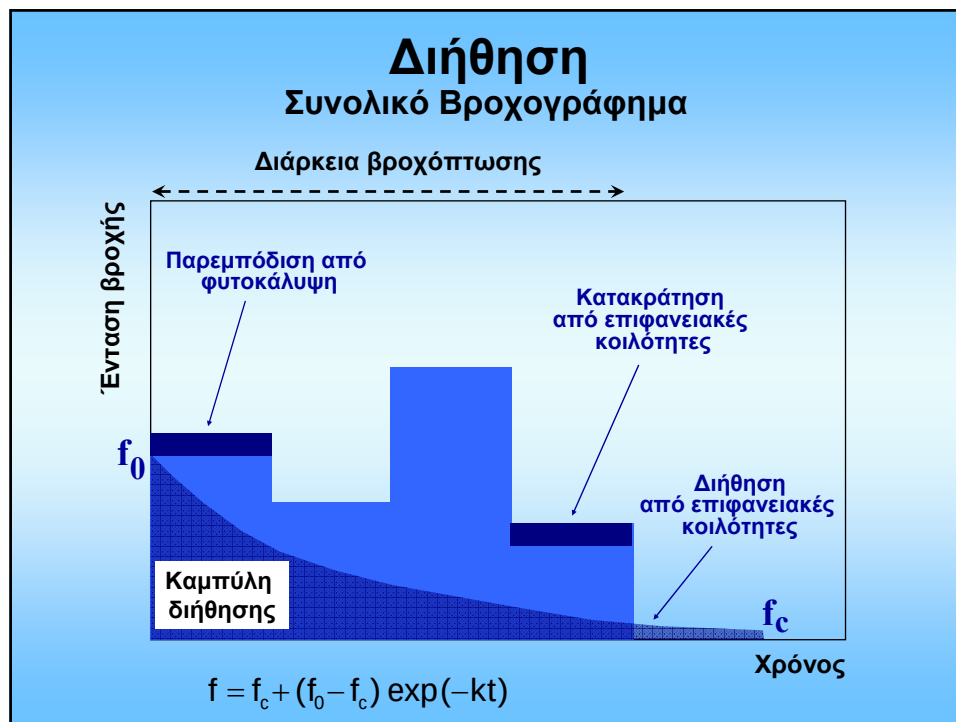
Ποσοτική προσέγγιση της διήθησης

- Ο μηχανισμός διήθησης είναι σχεδόν πλήρως κατανοητός. Η ποσοτική όμως εκτίμηση της διήθησης δεν είναι τόσο ακριβής.
- Μεθοδολογίες ποσοτικής προσέγγισης της διήθησης:
 - ✓ Μετρήσεις με διηθησόμετρα (μόνο σημειακές)
 - ✓ Από το υδρολογικό ισοζύγιο των υπόγειων υδροφορέων (δύσκολα γνωστές οι υπόλοιπες συνιστώσες)
 - ✓ Ημιεμπειρικές αναλυτικές σχέσεις (δύσκολα προσδιοριζόμενες παραμέτρους) [π.χ. μοντέλο Horton]
 - ✓ Θεωρητικές προσεγγίσεις (διαφορικές εξισώσεις) [π.χ. Μοντέλο Green – Ampt]

Ποσοτική προσέγγιση της διήθησης

Διηθησόμετρο με διπλό δακτύλιο





Διήθηση

Holtan

$$f = a \cdot F_p^n + f_c$$

$$F_p = n \cdot h - F$$

όπου
 f διήθηση (cm/hr)
 F_p διαθέσιμη αποθήκευση
 f_c τελική διήθηση (cm/hr)
 n παράμετρος
 h πορώδες
 F βάθος εδάφους
 F αθροιστική διήθηση (cm)

$$f - f_c = a \cdot F_p^n \Rightarrow \ln(f - f_c) = \ln a + n \cdot \ln F_p$$

Kostiakov

$$F = a \cdot t^b$$

$$\ln F = \ln a + b \ln t$$

όπου
 F αθροιστική διήθηση (cm)
 f_c τελική διήθηση (cm/hr)
 a, b παράμετροι
 t χρόνος

Διήθηση

Green-Ampt

$$f = K_s + a \cdot K_s \cdot F^{-1}$$

όπου
 f διήθηση (cm/hr)
 F αθροιστική διήθηση (cm)
 K_s, a παράμετροι

Philip

$$f = 0.5 \cdot S \cdot t^{-0.5} + A$$

όπου
 f διήθηση (cm/hr)
 t χρόνος
 S, A παράμετροι

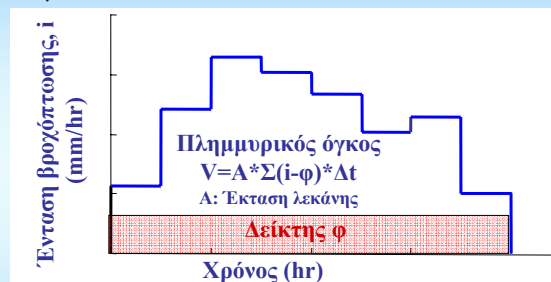
Συνολική εκτίμηση ελλειμμάτων Μέθοδος του Δείκτη ϕ

- Η διήθηση και η κατακράτηση μεμονωμένα εκτιμώνται δύσκολα, αλλά αυτό που ενδιαφέρει είναι το συνολικό έλλειμμα λόγω και των δύο υδρολογικών διεργασιών. Η **Μέθοδος του δείκτη ϕ** χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των **ολικών ελλειμμάτων**.
- **Παραδοχή:** Τα ελλείμματα πραγματοποιούνται με σταθερό ρυθμό, ϕ (σε μονάδες έντασης βροχόπτωσης).
- Αν έχω συνολική βροχόπτωση έντασης i_{OL} [mm/hr] και θεωρήσω τις απώλειες σταθερές και ίσες με ϕ [mm/hr], τότε η ενεργός (καθαρή) βροχόπτωση, δηλαδή το τμήμα της συνολικής βροχόπτωσης που θα μετασχηματιστεί σε άμεση απορροή θα έχει ένταση $i_{OL} - \phi$ [mm/hr].
- Επομένως, ο όγκος της άμεσης απορροής θα δίνεται από τη σχέση:

$$V_{\acute{\alpha}\mu.\alpha\pi\omicron\rho.} = i_{\epsilon\nu.} \cdot d \cdot A = (i_{OL} - \phi) \cdot d \cdot A$$

Συνολική εκτίμηση ελλειμμάτων Μέθοδος του Δείκτη ϕ

$$V_{\acute{\alpha}\mu.\alpha\pi\omicron\rho.} = i_{\epsilon\nu.} \cdot d \cdot A = (i_{OL} - \phi) \cdot d \cdot A$$



- Γνωρίζοντας δύο από τις τρεις παραμέτρους ($V_{\acute{\alpha}\mu.\alpha\pi\omicron\rho.}$, ϕ , i_{OL}) μπορεί να υπολογιστεί η τρίτη παράμετρος.
- Αν το i_{OL} είναι σταθερό τότε υπολογίζεται κατευθείαν το $i_{\epsilon\nu.} = i_{OL} - \phi$
- Αν το i_{OL} είναι χρονικά μεταβλητό τότε χρειάζονται δοκιμές για υπολογισμό του $i_{\epsilon\nu.}$, γιατί ενδέχεται $i_{OL} - \phi < 0$ (και τότε $i_{\epsilon\nu.} = 0$).