



Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

Ενότητα 6: Υδρολογικές απώλειες –Καθαρή ή Άμεση
Απορροή-Υετογράφημα

Καθ. Αθανάσιος Λουκάς

Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Πολυτεχνική Σχολή

ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ

Υδρολογικές Απώλειες Υδρογραφήματα - Υετογραφήματα

- ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ
- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
- ΑΠΟΡΡΟΗ - ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ
- ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ



ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗ-ΔΙΗΘΗΣΗ-ΑΠΟΡΡΟΗ



(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2012. Υδρογραφήματα – Διήθηση http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/2012-13_Lektion3.pdf)



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. Εξαρτάται από:

- Τη διαθεσιμότητα του νερού για διήθηση
- Τις ιδιότητες του εδάφους ως προς τη δυνατότητα κίνησης του νερού
- Η διήθηση είναι σημαντική υδρολογική συνιστώσα αφού επηρεάζει:
 - την επιφανειακή απορροή
 - την εξατμισοδιαπνοή και κατά συνέπεια το βιολογικό κύκλο των φυτών
 - την επαναφόρτιση των υδροφορέων
 - τη μεταφορά διαλυμένων ουσιών 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

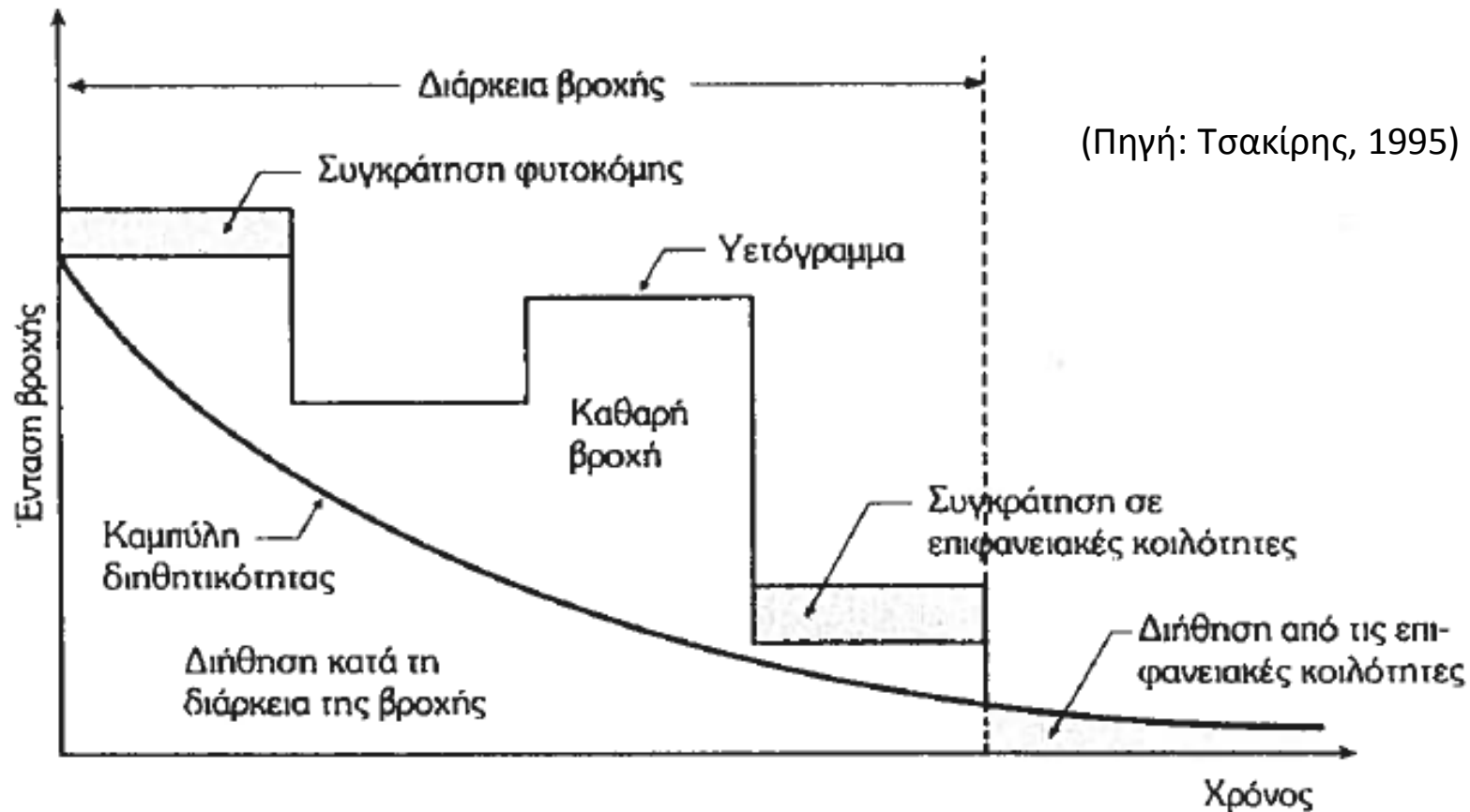


Ποσοτική προσέγγιση της διήθησης

- 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]



Τυπική κατανομή του νερού της βροχής



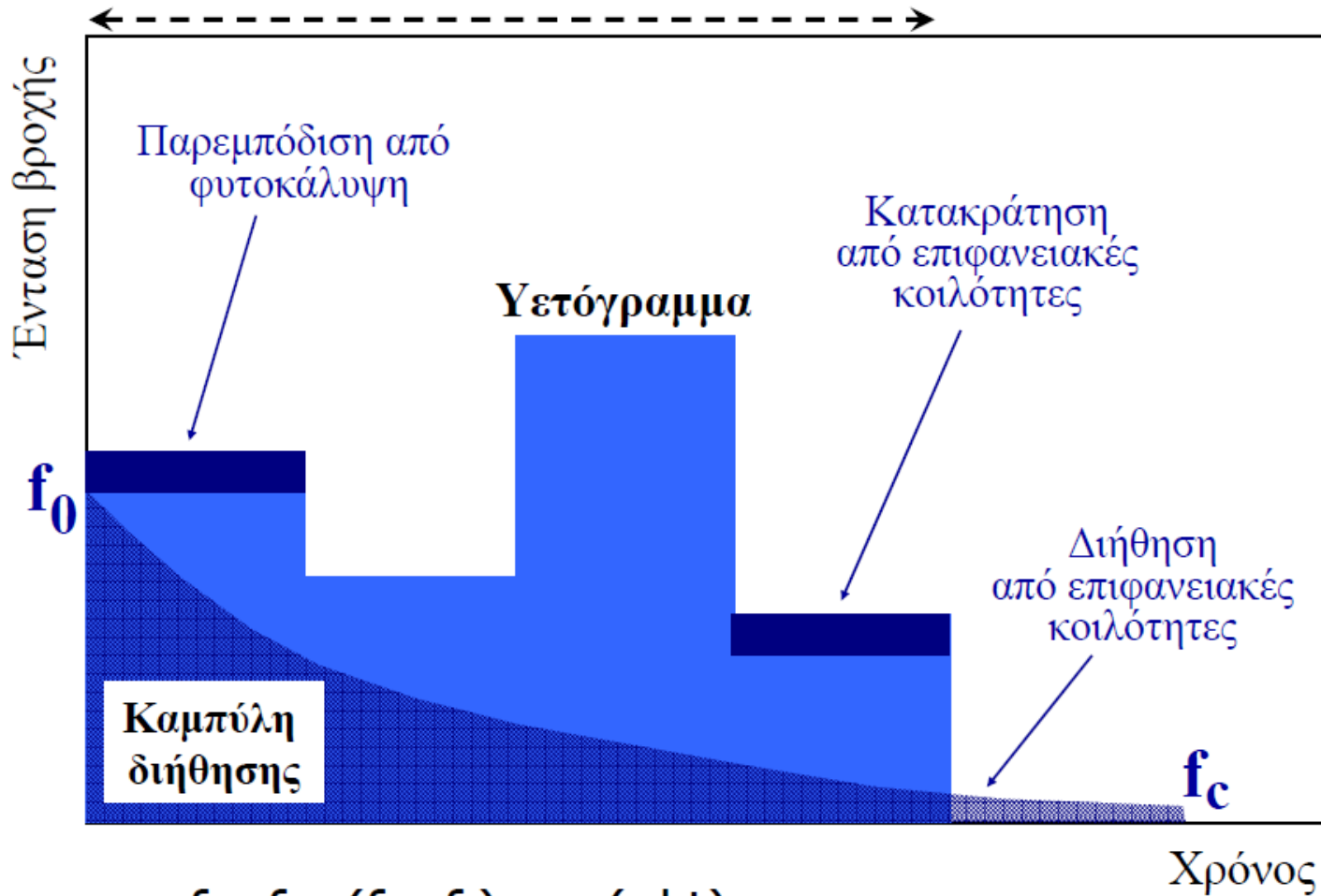
Τυπικό υετόγραμμα (υετογράφημα) και οι επιμέρους ποσότητες νερού. Όπως φαίνεται στο σχήμα η καθαρή βροχή προκύπτει ως το τμήμα της βροχής μετά την αφαίρεση των διαφόρων απωλειών (Συγκράτηση φυτοκόμης, συγκράτηση σε επιφανειακές κοιλότητες και διήθηση).



Διήθηση

Συνολικό Υετογράφημα

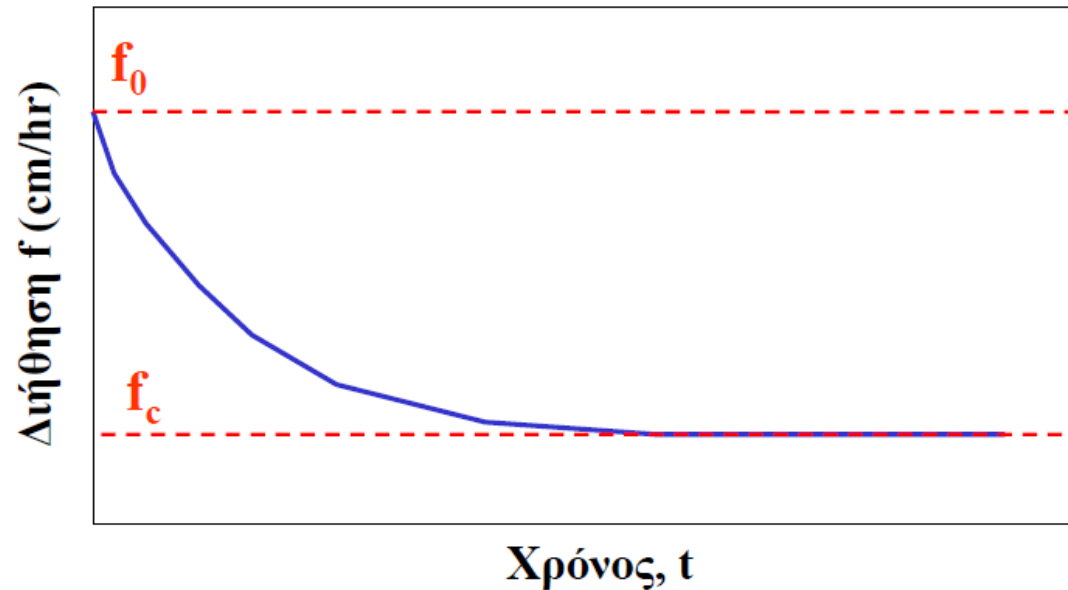
Διάρκεια βροχόπτωσης



(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2012. Υδρογραφήματα – Διήθηση http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/2012-13_Lektion3.pdf)



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΗΘΗΣΗΣ



Horton

$$f = f_c + (f_0 - f_c) * e^{-kt}$$

όπου

f διήθηση (cm/hr)

f_0 αρχική διήθηση (cm/hr)

f_c τελική διήθηση (cm/hr) h

k παράμετρος

t χρόνος

$$f - f_c = (f_0 - f_c) * e^{-kt} \Rightarrow \ln(f - f_c) = \ln(f_0 - f_c) - k * t$$

(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2012. Υδρογραφήματα – Διήθηση
http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/2012-13_Lektion3.pdf)



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

Holtan

$$f = a * F_p^n + f_c$$

$$F_p = n * h - F$$

όπου

f διήθηση (cm/hr)

F_p διαθέσιμη αποθήκευση

f_c τελική διήθηση (cm/hr)

n παράμετρος

n πορώδες

h βάθος εδάφους

F αθροιστική διήθηση (cm)

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

Kostiakov

$$F = a * t^b$$

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

όπου

F αθροιστική διήθηση (cm)

f_c τελική διήθηση (cm/hr)

a, b παράμετροι

t χρόνος



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

Green-Ampt

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

όπου

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

Philip

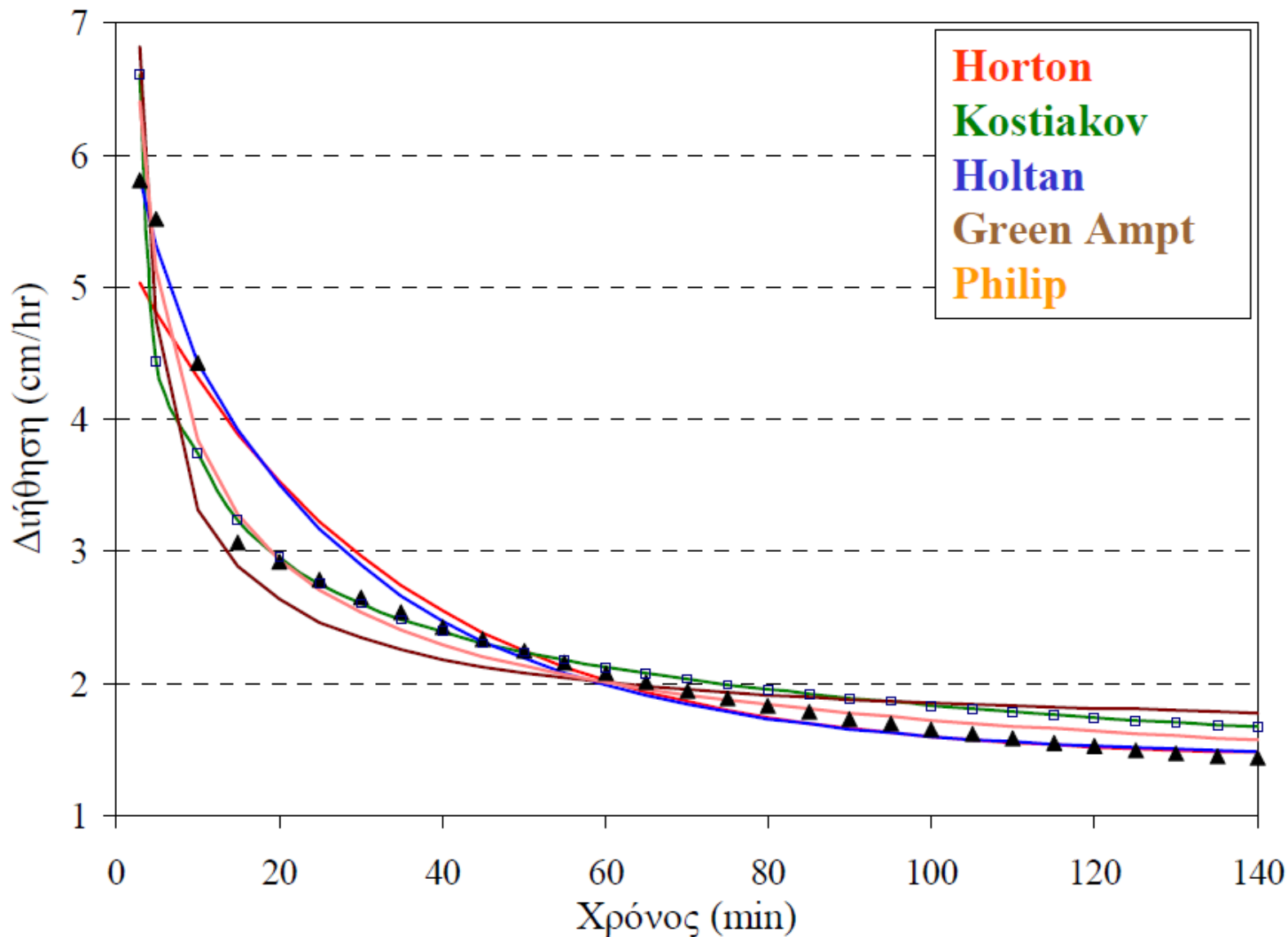
$$f = 0.5 * S * t^{-0.5} + A$$

όπου

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



Προσαρμογή 5 μοντέλων διήθησης



(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2012. Υδρογραφήματα – Διήθηση http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/2012-13_Lektion3.pdf)



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

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

$$\ln(f - f_c) = \ln(f_0 - f_c) - k * t$$

t (min)	t (hr)	F (cm)	log t (hr)	log F (cm)	F (Kostiakov)	f (cm)	t (hr)	f (cm/hr)	f-fc	ln (f-fc)	f (Horton)
3	0,05	0,34	-1,30	-0,47	0,29	0,34	0,05	6,72	4,72	1,55	3,21
5	0,08	0,44	-1,08	-0,36	0,43	0,10	0,03	3,12	1,12	0,11	3,17
10	0,17	0,70	-0,78	-0,16	0,73	0,26	0,08	3,07	1,07	0,07	3,08
15	0,25	0,96	-0,60	-0,02	1,01	0,26	0,08	3,17	1,17	0,16	3,00
20	0,33	1,21	-0,48	0,08	1,26	0,25	0,08	2,96	0,96	-0,04	2,92
25	0,42	1,43	-0,38	0,16	1,49	0,22	0,08	2,68	0,68	-0,39	2,85
30	0,50	1,65	-0,30	0,22	1,72	0,22	0,08	2,58	0,58	-0,54	2,78
35	0,58	1,86	-0,23	0,27	1,94	0,22	0,08	2,60	0,60	-0,50	2,72
40	0,67	2,07	-0,18	0,32	2,15	0,21	0,08	2,51	0,51	-0,68	2,66
45	0,75	2,28	-0,12	0,36	2,35	0,21	0,08	2,53	0,53	-0,63	2,61
50	0,83	2,50	-0,08	0,40	2,55	0,21	0,08	2,57	0,57	-0,57	2,56
55	0,92	2,69	-0,04	0,43	2,74	0,19	0,08	2,33	0,33	-1,11	2,52
60	1,00	2,88	0,00	0,46	2,94	0,19	0,08	2,27	0,27	-1,32	2,48
65	1,08	3,08	0,03	0,49	3,12	0,20	0,08	2,38	0,38	-0,98	2,44
.....											
100	1,67	4,41	0,22	0,64	4,36	0,20	0,08	2,35	0,35	-1,04	2,26
105	1,75	4,59	0,24	0,66	4,52	0,19	0,08	2,22	0,22	-1,51	2,24
110	1,83	4,79	0,26	0,68	4,69	0,19	0,08	2,33	0,33	-1,11	2,22
115	1,92	4,97	0,28	0,70	4,85	0,18	0,08	2,16	0,16	-1,83	2,21
120	2,00	5,15	0,30	0,71	5,02	0,19	0,08	2,23	0,23	-1,46	2,19
125	2,08	5,35	0,32	0,73	5,18	0,20	0,08	2,39	0,39	-0,95	2,18
130	2,17	5,52	0,34	0,74	5,34	0,17	0,08	2,03	0,03	-3,58	2,17
135	2,25	5,70	0,35	0,76	5,49	0,18	0,08	2,15	0,15	-1,91	2,16
140	2,33	5,90	0,37	0,77	5,65	0,20	0,08	2,39	0,39	-0,95	2,15

(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης
Υδατικών Πόρων, 2012)

$$F = a * t^b$$

INTERCEPT(E50:E78;D50:D78)
SLOPE(E50:E78;D50:D78)

b= 0,7728945
loga= 0,4676752
a= 2,9354532

$$f_c = 2$$

k= -1,0118366 SLOPE(K50:K78;B50:B78)
ln(f0-fc)= 0,2206869 1,2469 f0= 3,27493294
INTERCEPT(K50:K78;B50:B78)



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 $i_{o\lambda}$ [mm/hr] ή h_r 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 $i_{o\lambda} - \phi$ [mm/hr] (h_R).
- Επομένως, ο όγκος της άμεσης απορροής θα δίνεται από τη σχέση:

$$V_{\text{αμ.απορροής}} = i_{\text{εν}} * d * A = (i_{o\lambda} - \phi) * d * A$$



Συνολική εκτίμηση ελλειμμάτων Μέθοδος του Δείκτη ϕ

$$V_{\text{αμ.απορροής}} = i_{\text{εν}} * d * A = (i_{\text{ολ}} - \phi) * d * A$$



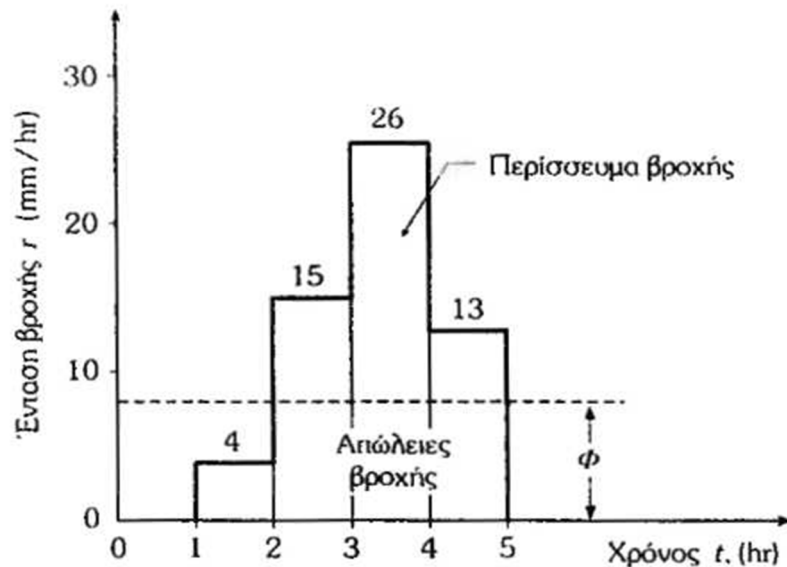
- Γνωρίζοντας δύο από τις τρεις παραμέτρους ($V_{\text{άμ.απορ.}}$, ϕ , $i_{\text{ολ}}$) μπορεί να υπολογιστεί η τρίτη παράμετρος.
- Αν το $i_{\text{ολ}}$ είναι σταθερό τότε υπολογίζεται κατευθείαν το $i_{\text{εν.}} = i_{\text{ολ.}} - \phi$
- Αν το $i_{\text{ολ}}$ είναι χρονικά μεταβλητό τότε χρειάζονται δοκιμές για υπολογισμό του $i_{\text{εν.}}$, γιατί ενδέχεται $i_{\text{ολ.}} - \phi < 0$ (και τότε $i_{\text{εν.}} = 0$).



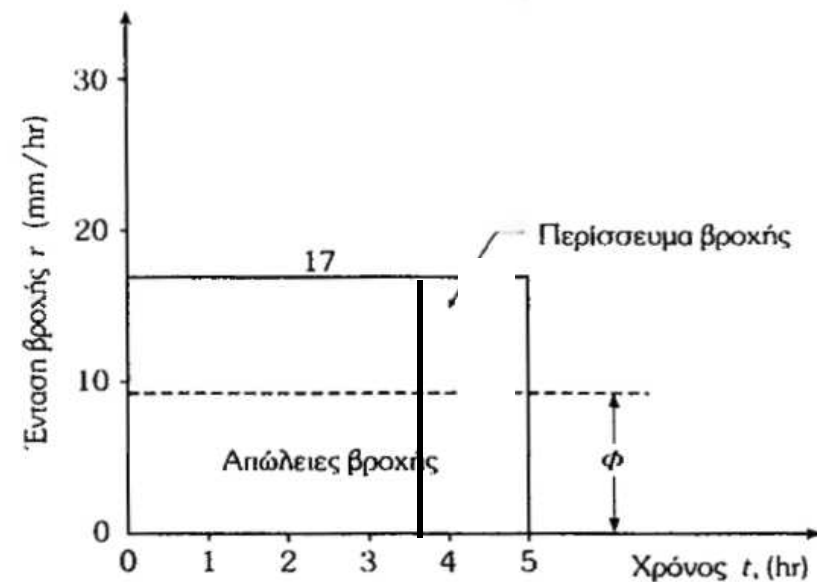
Συνολική εκτίμηση ελλειμμάτων

Μέθοδος του Δείκτη ϕ : Παράδειγμα Υπολογισμού

- Παράδειγμα:** Σε μια λεκάνη απορροής η ολική βροχόπτωση από ένα γεγονός βροχής είναι 68 mm και η (άμεση, επιφανειακή) απορροή σε ισοδύναμο ύψος είναι 30 mm. Ζητείται να υπολογισθεί ο δείκτης Φ για τις δύο πιθανές χρονικές κατανομές της βροχόπτωσης που φαίνονται στα Σχήματα 1 και 2 (Τσακίρης, 1995).



Σχ. 1: Εκτίμηση του Δείκτη Φ σε ανομοιόμορφη χρονική καιανομή της βροχόπτωσης.



Σχ. 2: Εκτίμηση του Δείκτη Φ σε ομοιόμορφη χρονική καιανομή της βροχόπτωσης.

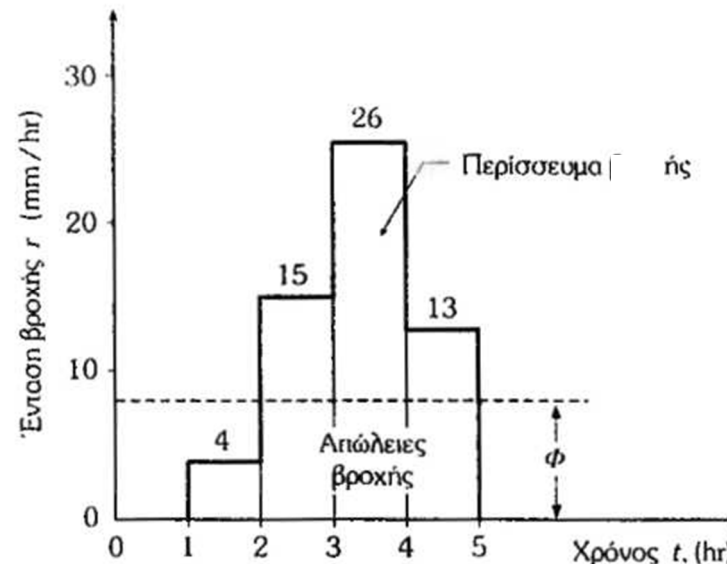


Συνολική εκτίμηση ελλειμμάτων

Μέθοδος του Δείκτη ϕ : Παράδειγμα Υπολογισμού

- Για την κατανομή του Σχ.1 γίνεται η υπόθεση $\Phi = 10 \text{ mm/hr}$ οπότε από το διάγραμμα προκύπτει ότι ο όγκος επιφανειακής απορροής ισούται με $(15 \times 1 - 10 \times 1) + (26 \times 1 - 10 \times 1) + (13 \times 1 - 10 \times 1) = 24 \text{ mm}$, ο οποίος δεν συμπίπτει με το μετρηθέν $h_R = 30 \text{ mm}$. Αν $\Phi = 8 \text{ mm/hr}$ τότε $(15 - 8) + (26 - 8) + (13 - 8) = 30 \text{ mm}$, επομένως $\Phi = 8 \text{ mm/hr}$. Αξίζει να σημειωθεί ότι το περίσσευμα της βροχής διαρκεί 3 ώρες και όχι 4 ώρες που διαρκεί η συνολική βροχή (δηλαδή $t_R < t_r$).

Σχ. 1: Εκτίμηση του Δείκτη Φ σε ανομοιόμορφη χρονική καιανομή της βροχόπτωσης.



Συνολική εκτίμηση ελλειμμάτων

Μέθοδος του Δείκτη Φ : Παράδειγμα Υπολογισμού

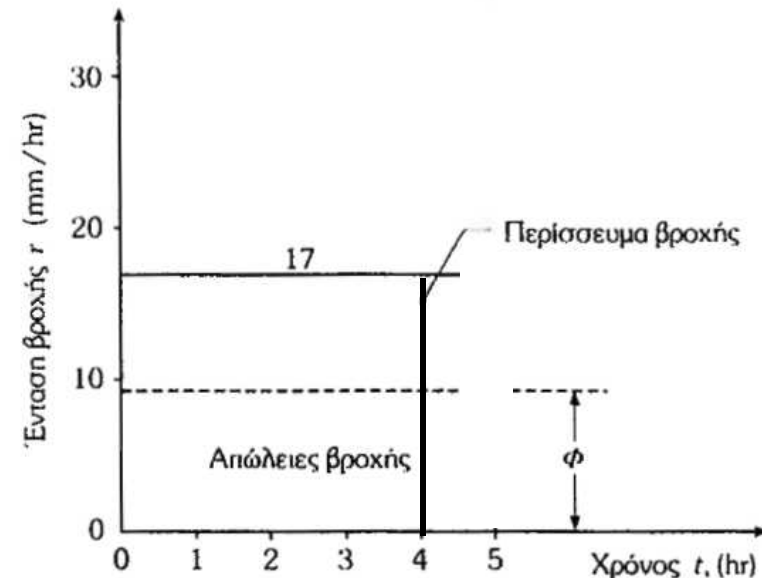
- Στην περίπτωση της ομοιόμορφης κατανομής της βροχής (Σχ. 2) ο δείκτης Φ προκύπτει εύκολα.

$$\Phi = \frac{h_i - h_R}{t_i} = \frac{h_i - h_R}{t_R}$$

$$\Phi = (17 \times 4 - 30) / 4 = 9.5 \text{ mm/hr.}$$

Οι απώλειες βροχόπτωσης με ομοιόμορφη ένταση περισσεύματος διάρκειας t_R υπολογίζονται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$h_L = t_R * \Phi$$



Σχ. 2: Εκτίμηση του Δείκτη Φ σε ομοιόμορφη χρονική καιανομή της βροχόπτωσης.



Συνολική εκτίμηση ελλειμμάτων

Μέθοδος του Συντελεστή Απορροής C

- Συντελεστής απορροής C είναι ο λόγος του όγκου της άμεσης απορροής προς τον όγκο της βροχόπτωσης. Δηλαδή μπορεί να γραφεί:

$$C = h_R / h_r$$

όπου:

h_R είναι ο όγκος της άμεσης απορροής εκφρασμένος σε ισοδύναμο ύψος και h_r είναι ο όγκος βροχόπτωσης εκφρασμένος σε ισοδύναμο ύψος.

- Ο συντελεστής απορροής C χρησιμοποιείται σε μια εμπειρική μέθοδο εκτίμησης της αιχμής μιας πλημμύρας από βροχομετρικά δεδομένα, τη λεγόμενη "**Ορθολογική Μέθοδο**".
- Μέσες τιμές του συντελεστή απορροής ως συνάρτηση του τύπου της επιφάνειας της λεκάνης απορροής δίνονται στον παρακάτω Πίνακα για περιόδους επαναφοράς από 5 μέχρι 10 χρόνια.



Συνολική εκτίμηση ελλειμμάτων

Μέθοδος του Συντελεστή Απορροής C

- Μέσες τιμές του συντελεστή απορροής C ως συνάρτηση του τύπου της επιφάνειας της λεκάνης απορροής δίνονται στον παρακάτω Πίνακα για περιόδους επαναφοράς από 5 μέχρι 10 χρόνια.

Τιμές του συντελεστή απορροής C

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



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS

- Η υπηρεσία Soil Conservation Service των ΗΠΑ παρουσίασε μια μέθοδο υπολογισμού του ύψους περισσεύματος της βροχής από μια δεδομένη βροχή με τη βοήθεια τριών μεταβλητών:
 - του ύψους βροχής,
 - της αρχικής κατάστασης υγρασίας του εδάφους και
 - του υδρολογικού συμπλόκου εδάφους - καλύμματος (SCS, 1972).
- Η μέθοδος της SCS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του περισσεύματος της βροχής ή την εκτίμηση της συνολικής άμεσης απορροής που προήλθε από βροχή συγκεκριμένης διάρκειας (π.χ. βροχή 24-ώρου).



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS

- Σύμφωνα με τη μέθοδο SCS έγινε η εκτίμηση ότι οι αρχικές απώλειες (συγκράτησης και εξατμησης) είναι 20% των συνολικών απωλειών, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ βροχής (h_r) και περισσεύματος βροχής (h_R)

$$h_R = \frac{(h_r - 0.2 S)^2}{(h_r + 0.8 S)} \quad \text{για} \quad h_r > 0.2 S$$

και αν $h_r < 0.2 S$. $h_R = 0$.

- Εκφράζοντας τις συνολικές απώλειες με μια παράμετρο, γνωστή ως αριθμός καμπύλης CN , με την εξίσωση

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{σε mm})$$



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS

- **Αρχική Κατάσταση Υγρασίας**

- Με βάση το συνολικό ύψος βροχής των προηγούμενων 5 ημερών διακρίνονται οι ακόλουθες τρεις κατηγορίες που χαρακτηρίζουν την αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους:

Πίνακας 1. Κατηγορίες με βάση την υγρασία του εδάφους (SCS, 1972)

Κατηγορία	Συνολικό ύψος βροχής των 5 προηγούμενων ημερών (mm)	
	Χειμερινή περίοδος	Περίοδος βλάστησης
I	< 13	< 35
II	13 ÷ 28	35 ÷ 53
III	> 28	> 53



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS

- **Κατηγορίες Εδαφών από Υδρολογική Άποψη**
 - **Κατηγορία A**
 - Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα και υψηλή διαπερατότητα. Συνήθως αμμώδη ή χαλικώδη εδάφη
 - **Κατηγορία B**
 - Εδάφη με μέτρια βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα που αποτελούνται από μέσης μέχρι ελαφρός σύστασης εδάφη.
 - **Κατηγορία C**
 - Εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν εδάφη μέσης μέχρι βαριάς σύστασης.
 - **Κατηγορία D**
 - Εδάφη με πολύ μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν κυρίως αργιλώδη εδάφη, εδάφη με υψηλή στάθμη υπόγειου νερού ή με αδιαπέρατο στρώμα.



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS

- **Σύμπλοκο εδάφους - φυτοκάλυψης**

- Το σύμπλοκο εδάφους - φυτοκάλυψης που αντιπροσωπεύει τον τύπο του εδάφους από υδρολογική άποψη και την κατηγορία φυτοκάλυψης και χρήσης γης μπορεί να εκφρασθεί με τον αριθμό καμπύλης απορροής CN που προκύπτει για την κατηγορία II της αρχικής υγρασίας του Πίνακα 1
- Στον Πίνακα 2 η SCS πινακοποίησε τους αριθμούς CN για μια ποικιλία συνθηκών με τις υποθέσεις που αναφέρθηκαν πιο πριν. Επειδή οι κατηγορίες χρήσης γης και φυτοκάλυψης που περιέχονται στον πίνακα δεν είναι τόσο αντιπροσωπευτικές για τις Ελληνικές συνθήκες και επειδή από την εμπειρία από τη χρήση της μεθόδου προέκυψαν πολλές αδυναμίες στη διαδικασία, προτείνεται αντί του Πίν. 2 που αρχικά προτάθηκε από την SCS να χρησιμοποιείται ο Πίν. 3 (Wanielista, 1978) που στηρίζεται στις ίδιες υποθέσεις (δηλαδή κατάσταση αρχικής υγρασίας II και αρχικές απώλειες 0.20 S).
- Για την αναγωγή του CN για άλλες κατηγορίες αρχικής υγρασίας χρησιμοποιείται ο Πίνακας 4 που δίνει επίσης και τις αντίστοιχες τιμές των απωλειών S που αντιστοιχούν στην κατηγορία II.



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS

Σύμπλοκο εδάφους - φυτοκάλυψης

**Πίνακας 2: Αριθμός καμπύλης απορροής CN
(SCS, 1972)
(Κατηγορία αρχικής κατάστασης υγρασίας II,
και αρχικές απώλειες 0.20 S)**

Χρήση γης	Κατάσταση Φυτοκάλυψης	Υδρολογικές Συνθήκες	Υδρολογική κατηγορία εδάφους			
			A	B	C	D
Χέρσος	Γραμμική	-	77	86	91	94
	Γραμμική	Δυσμενής	72	81	88	91
	Γραμμική	Καλή	67	78	85	89
	Κατά ισοϋψείς	Δυσμενής	70	79	84	88
	Κατά ισοϋψείς	Καλή	65	75	82	86
	Κατά ισοϋψείς και αναβαθμίδωση	Δυσμενής	66	74	80	82
	Κατά ισοϋψείς και αναβαθμίδωση	Καλή	62	71	78	81
Σιτηρά	Γραμμική	Δυσμενής	65	76	84	88
	Γραμμική	Καλή	63	75	83	87
	Κατά ισοϋψείς	Δυσμενής	63	74	82	75
	Κατά ισοϋψείς	Καλή	61	73	81	84
	Κατά ισοϋψείς και αναβαθμίδωση	Δυσμενής	61	72	79	82
Πυκνή φύτευση χορτολειαδικές εκτάσεις	Κατά ισοϋψείς και αναβαθμίδωση	Καλή	59	70	78	81
	Γραμμική	Δυσμενής	66	77	85	89
	Γραμμική	Καλή	58	72	81	85
	Κατά ισοϋψείς	Δυσμενής	64	75	83	85
	Κατά ισοϋψείς	Καλή	55	69	78	83
Λειβάδια	Κατά ισοϋψείς και αναβαθμίδωση	Δυσμενής	63	73	80	83
	Κατά ισοϋψείς και αναβαθμίδωση	Καλή	51	67	76	80
		Δυσμενής	68	79	86	89
		Μέτρια	49	69	79	84
		Καλή	39	61	74	80
	Κατά ισοϋψείς	Δυσμενής	47	67	81	88
	Κατά ισοϋψείς	Μέτρια	25	59	75	83
Κατά ισοϋψείς	Καλή	6	35	70	79	
Δάση		Καλή	30	58	71	78
		Δυσμενής	45	66	77	83
		Μέτρια	36	60	73	79
Φάρμες Δρόμοι		Καλή	25	55	70	77
		-	59	74	82	86
		-	72	82	87	89
	-	74	84	90	92	



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS

Σύμπλοκο εδάφους - φυτοκάλυψης

Πίνακας 3: Αριθμός καμπύλης απορροής CN (Wanielista, 1978) (Κατηγορία αρχικής κατάστασης υγρασίας II, και αρχικές απώλειες 0.20 S για ελληνικές συνθήκες)

Χρήση Γης	Υδρολογικός τύπος εδάφους			
	A	B	C	D
<i>Καλλιεργημένες εκτάσεις</i>				
• Χωρίς έργα συντήρησης	72	81	88	91
• Με έργα συντήρησης	62	71	78	81
<i>Ορεινοί βοσκότοποι</i>				
• Κακή κατάσταση	68	79	86	89
• Καλή κατάσταση	39	61	74	80
<i>Λιβαδικές εκτάσεις</i>				
• Καλή κατάσταση	30	58	71	78
<i>Δασικές εκτάσεις</i>				
• Αραιή συστάδα	45	66	77	83
• Πυκνή συστάδα	25	55	70	77
<i>Ελεύθερες εκτάσεις, γήπεδα γκόλφ, πάρκα</i>				
• Καλή κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 75% της έκτασης	39	61	74	80
• Μέτρια κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 50% της περιοχής	49	69	79	84
<i>Εμπορικές περιοχές (85% αδιαπέρατες)</i>	89	92	94	95
<i>Βιομηχανικές περιοχές (72% αδιαπέρατες)</i>	81	88	91	93
<i>Οικιστικές περιοχές</i>				
Μέσο μέγεθος οικόπεδου				
		Ποσοστό αδιαπερατής επιφάνειας		
< 500	77	65	90	92
1000	61	40	83	87
1500	57	30	81	86
2000	54	25	80	85
4000	51	20	79	84
Χώροι πάρκινγκ, στέγες, κ.λ.π.	98	98	98	98
<i>Δρόμοι</i>				
• με οδόστρωμα και αγωγούς ομβρίων	98	98	98	98
• χαλικόστρωτοι	76	85	89	91
• χωματόδρομοι	72	82	87	89
<i>Αστικές συνθήκες</i>				
• Γυμνό έδαφος	77	86	91	94
• Κήποι ή θάμνοι	72	81	88	91
• Μεγάλη κάλυψη με πράσινο (> 75% της διαπερατής περιοχής)	39	61	74	80
• Μέτρια κάλυψη πρασίνου (50 - 75% της διαπερατής περιοχής)	49	69	79	84
• Μικρή κάλυψη πρασίνου (< 50% της διαπερατής περιοχής)	68	79	86	89
• Άλσπ	36	60	73	79



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS

Σύμπλοκο εδάφους - φυτοκάλυψης

*Πίνακας 4: Μετατροπή αριθμών
καμπύλης απορροής CN και τιμές της
παραμέτρου S (Για την περίπτωση II
αρχικών απωλειών 0.2 S)*

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,4036 + 0,0059CN_{II}}$$

$$CN_{I} = \frac{CN_{II}}{2,334 - 0,01334CN_{II}}$$

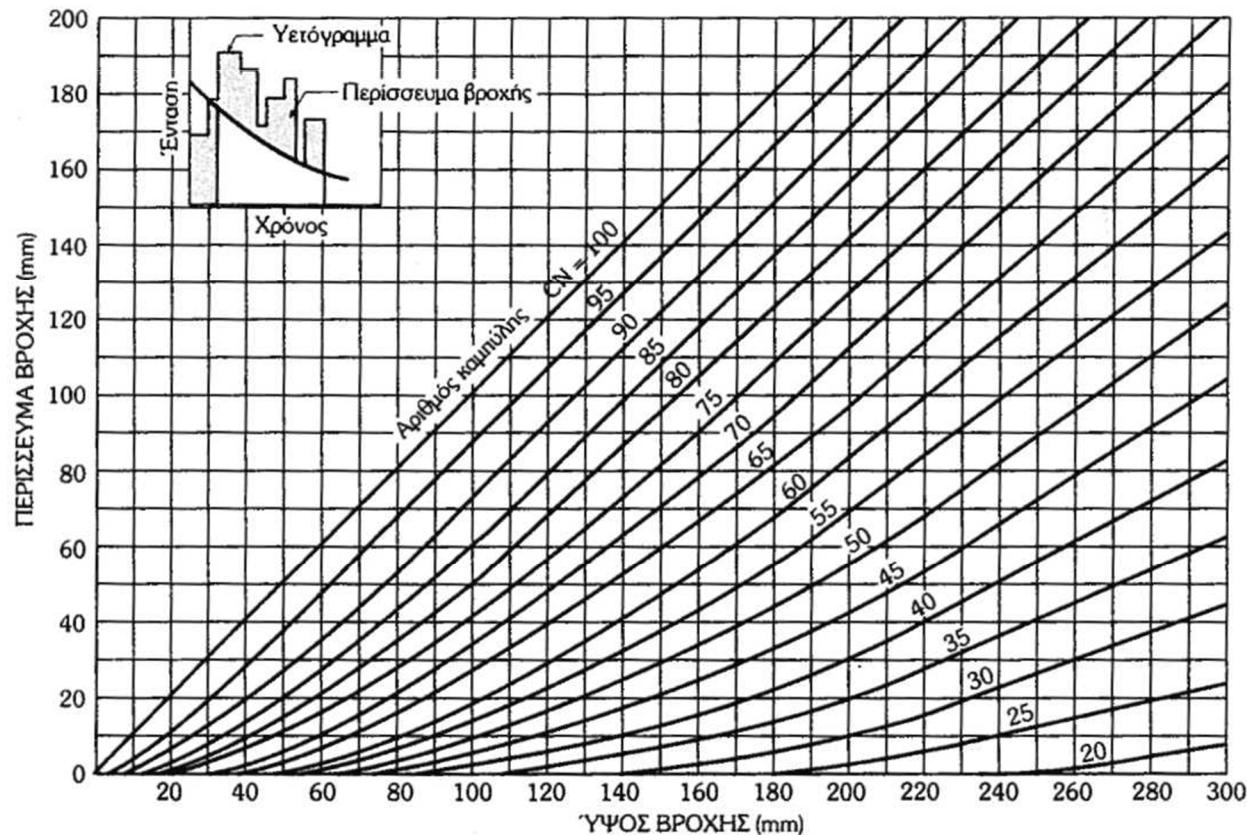
Αριθμός καμπύλης	Αντίστοιχος αριθμός καμπύλης απορροής για		Τιμές του S για τιμές CN της στήλης (1) (mm)	Ελάχιστη τιμή του h, για έναρξη απορροής (mm)
	Κατηγορία II	Κατηγορία I		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
100	100	100	0.0	0.0
95	87	99	13.4	2.7
90	78	98	28.2	5.6
85	70	97	44.8	9.0
80	63	94	63.5	12.7
75	57	91	84.7	16.9
70	51	87	108.9	21.8
65	45	83	136.8	27.4
60	40	79	169.3	33.9
55	35	75	207.8	41.6
50	31	70	254.0	50.8
45	27	65	310.4	62.1
40	23	60	381.0	76.2
35	19	55	471.7	94.3
30	15	50	592.7	118.5
25	12	45	762.0	152.4
20	9	39	1016.0	203.2
15	7	33	1439.0	287.9
10	4	26	2286.0	457.2
5	2	17	4826.0	965.2
0	0	0		



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS

- Το περίσσευμα της βροχής, h_R (mm), προκύπτει με είσοδο το ύψος βροχής h_r (mm) και με γνωστό τον αριθμό καμπύλης CN από το διάγραμμα του παρακάτω Σχήματος:

Υπολογισμός του περισσέυματος της βροχής με τη μέθοδο SCS



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS

- Τα βήματα που ακολουθούνται για την εκτίμηση του ύψους περισσεύματος της βροχόπτωσης με βάση την μέθοδο SCS είναι:
 - i. Γράφονται σε μορφή Πίνακα τα ύψη βροχής που συμβαίνουν στους αντίστοιχους χρόνους (στήλες 1 και 2 του παραδείγματος). Η αθροιστική βροχόπτωση γράφεται στην αμέσως επόμενη στήλη (στήλη 3 του παραδείγματος).
 - ii. Εκτιμάται το αθροιστικό περίσσευμα βροχόπτωσης χρησιμοποιώντας τον αριθμό CN σε κάθε περίπτωση (στήλη 4).
 - iii. Υπολογίζεται το περίσσευμα βροχόπτωσης σε κάθε βήμα χρόνου με διαδοχικές αφαιρέσεις των αθροιστικών τιμών του περισσεύματος βροχόπτωσης (στήλη 5).
- Το αποτέλεσμα είναι χρήσιμο για τον προσδιορισμό του υδρογραφήματος όπως θα αναπτυχθεί στη συνέχεια.



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑΤΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS

- **Αριθμητικό Παράδειγμα:**

Δίνονται: $CN = 80$

Κατηγορία αρχικής υγρασίας II

Ζητείται: το υετόγραμμα περισσεύματος δεδομένης βροχόπτωσης (στήλες 1 και 2).

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq 0.2 S \\ \frac{(h - 0.2 S)^2}{h + 0.8 S} & h > 0.2 S \end{cases}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{σε mm})$$

Χρόνος (hr)	Βροχόπτωση (mm)	Αθροιστική Βροχόπτωση (mm)	Αθροιστικό Περίσσευμα Βροχόπτωσης (mm)	Περίσσευμα Βροχόπτωσης (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0		0	0	
2	2.7	2.7	0	
4	5.8	8.5	0	
6	8.5	17.0	0	
8	11.3	28.3	2.7	2.7
10	110.0	138.3	76.2	73.5
12	22.6	160.9	94.5	18.3
14	8.6	169.5	103.6	9.1
16	5.8	175.3	108.2	4.6
18	5.8	181.1	112.8	4.6
20	4.3	185.4	117.3	4.5 → 4.6
22	4.3	189.7	121.9	4.6
24	2.7	192.4	125.0	3.1



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 το όριο, το οποίο ορίζει την έκταση που καταλαμβάνει η λεκάνη απορροής ανάντη μιας δεδομένης διατομής A υδατορεύματος. 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 (PA):

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

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

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

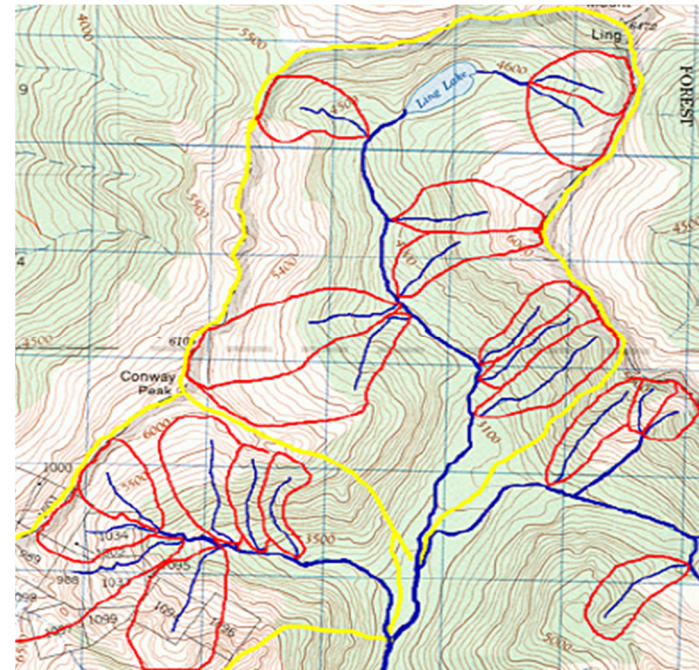
- Ο **δείκτης επιμήκυνσης** ορίζεται ως ο λόγος της πλευράς ενός τετραγώνου με επιφάνεια ίδια με αυτή της λεκάνης, προς ένα χαρακτηριστικό μήκος της λεκάνης L_A (π.χ. το μήκος από την έξοδο μέχρι το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης):

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



ΥΔΡΟΚΡΙΤΗΣ

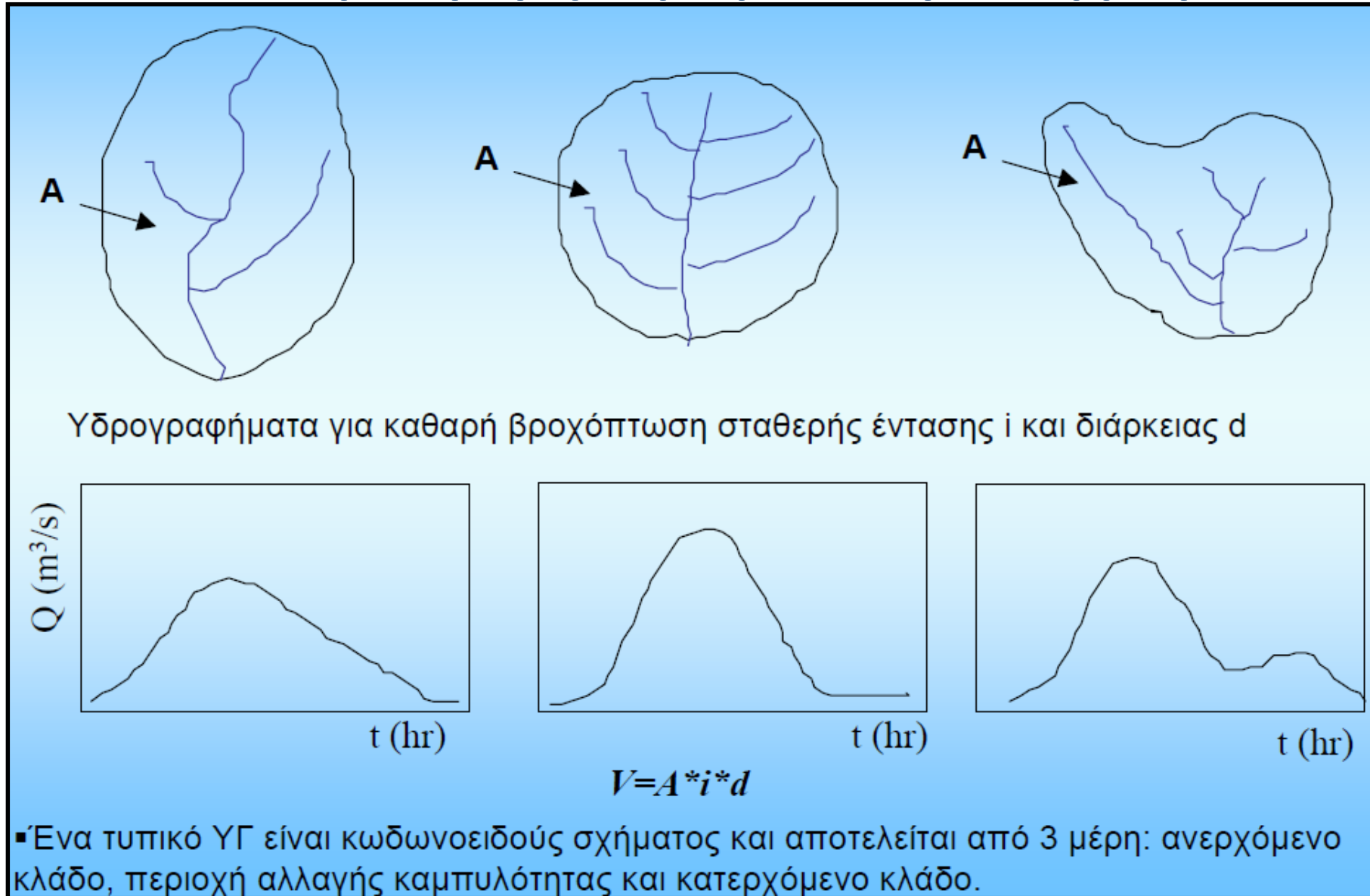
- Η νοητή γραμμή που συνδέει τα ψηλότερα σημεία των υψωμάτων της επιφάνειας του εδάφους και διαχωρίζει τη ροή των όμβριων υδάτων.



(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2012.
http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/2012-13_Lektion1.pdf)



Επίδραση της γεωμετρίας στην απορροή



(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2012)



Μορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

Ανάγλυφο

Υψομετρική (ή υψογραφική) καμπύλη της λεκάνης

Η καμπύλη που σε κάθε δεδομένη τιμή του τοπογραφικού υψομέτρου z αντιστοιχίζει το ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης $F(z)$ που έχει υψόμετρο μεγαλύτερο ή ίσο της δεδομένης τιμής

Μέγιστο, ελάχιστο (στην έξοδο) και μέσο υψόμετρο λεκάνης

Ο υπολογισμός του μέσου υψομέτρου της λεκάνης γίνεται με βάση την υψομετρική καμπύλη $F(z)$ χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$z_s = \int_0^1 z dF(z) \approx \sum_r \frac{z_r + z_{r-1}}{2} \Delta F_r$$

όπου το πεδίο μεταβολής του F έχει υποδιαιρεθεί σε υποδιαστήματα μήκους ΔF_r (όχι κατ' ανάγκη ίσα, αλλά με άθροισμα ίσο με 1) και οι τιμές του z που αντιστοιχούν στα άκρα του υποδιαστήματος ΔF_r είναι z_r και z_{r-1} .

Μέση κλίση λεκάνης

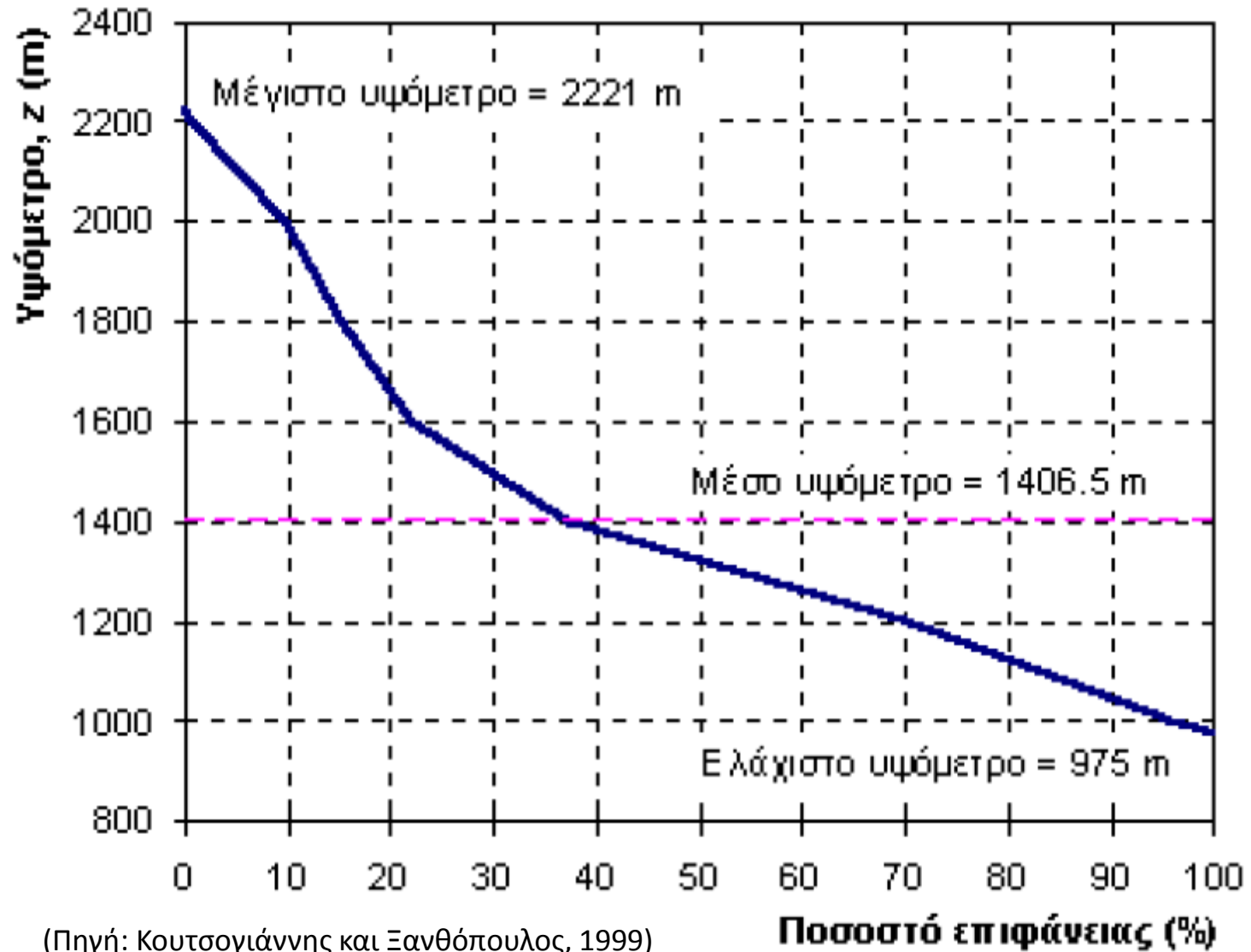
Υπολογίζεται από τη σχέση $i_s = \frac{1}{S_A} \int_{S_A} i dS \approx \frac{1}{S_A} \sum_r i_r \Delta S_r$

όπου η συνολική έκταση της λεκάνης έχει υποδιαιρεθεί σε τμήματα ΔS_r που το καθένα έχει περίπου σταθερή κλίση i_r .

(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2012)



Υψομετρική (ή υψογραφική) καμπύλη της λεκάνης

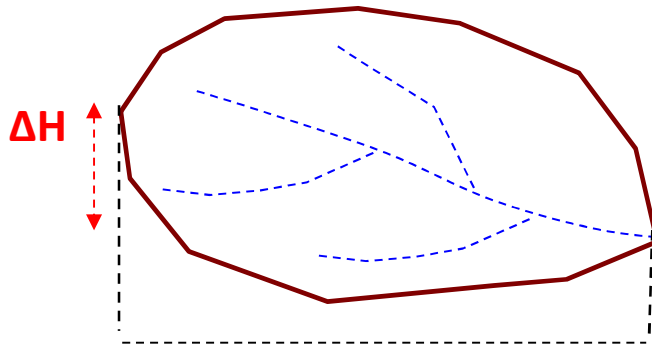


(Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999)

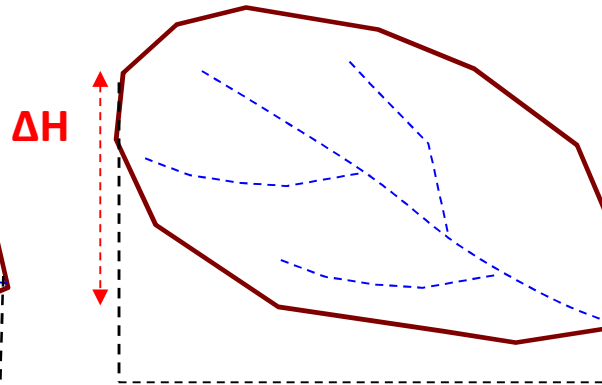


Επίδραση της κλίσης στην απορροή

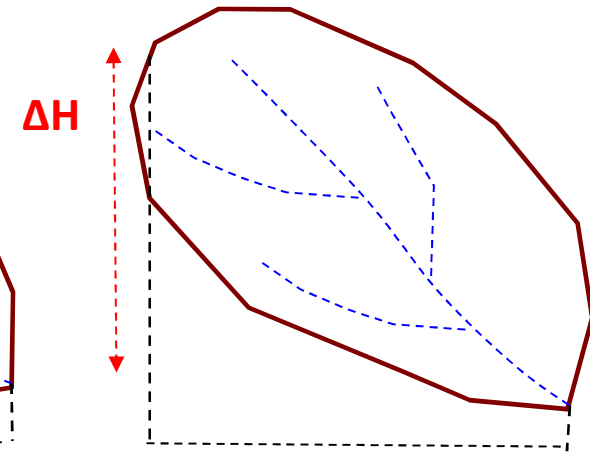
Μικρή κλίση
Μεγάλος χρόνος συγκέντρωσης



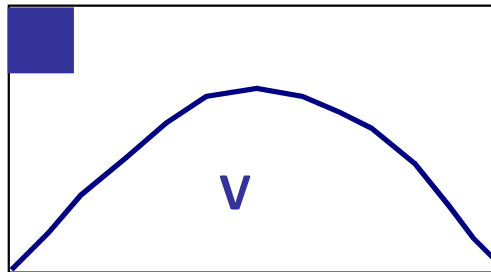
Μέτρια κλίση
Μέτριος χρόνος συγκέντρωσης



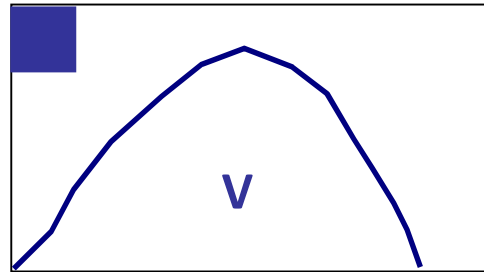
Μεγάλη κλίση
Μικρός χρόνος συγκέντρωσης



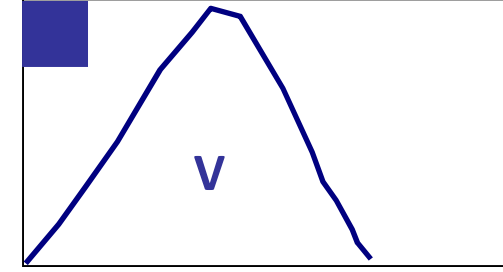
Βροχή
Χρόνος συγκέντρωσης



Βροχή
Χρόνος συγκέντρωσης



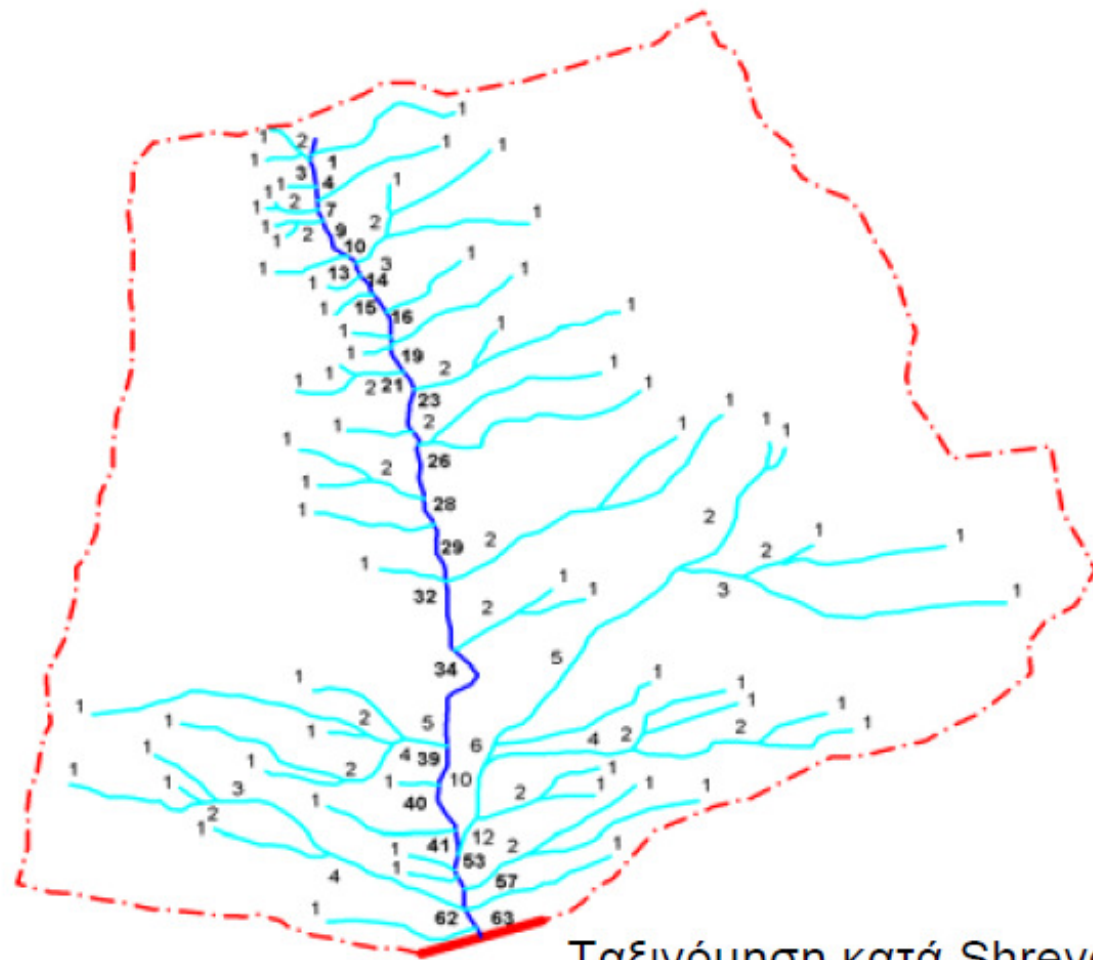
Βροχή
Χρόνος συγκέντρωσης



Μορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

Ταξινόμηση υδρογραφικού δικτύου

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

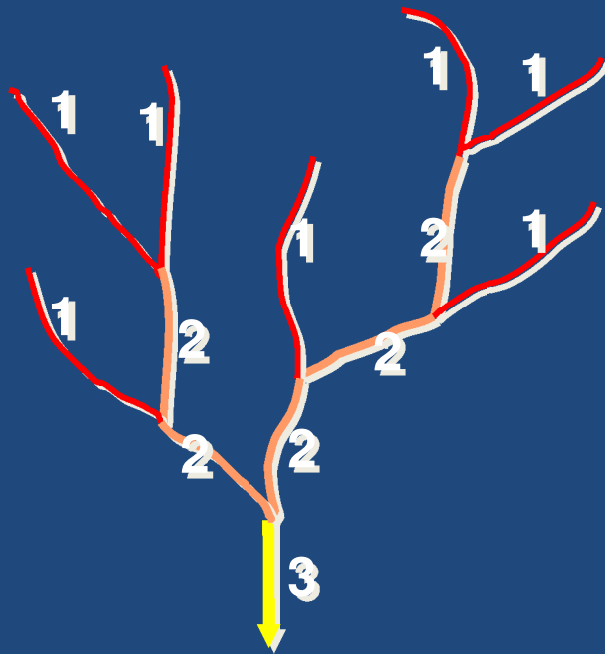


Ταξινόμηση κατά Shreve

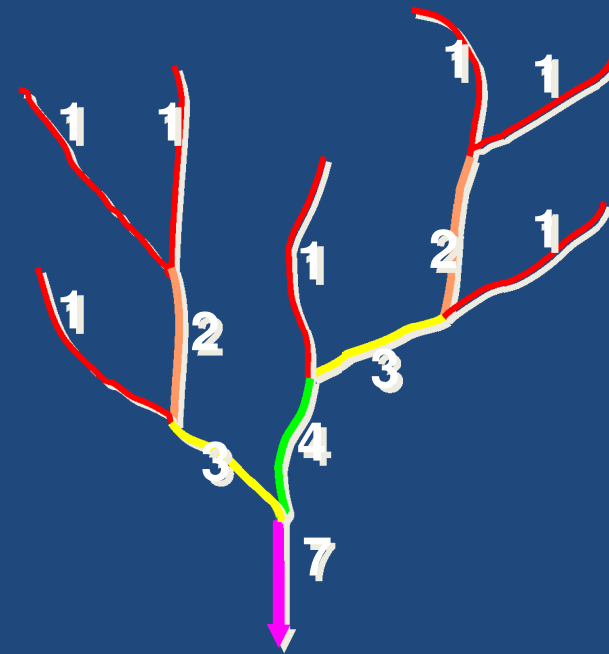


Μορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

Ταξινόμηση υδρογραφικού δικτύου



Strahler



Shreve

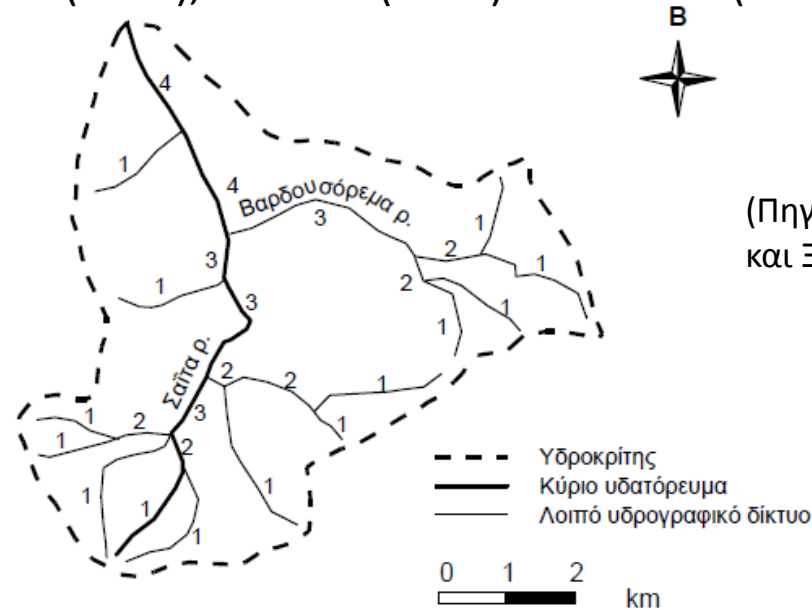


Μορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

Ταξινόμηση υδρογραφικού δικτύου

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

Σύστημα ταξινόμησης
Horton (1945) και
Strahler (1964)



(Πηγή: Κουτσογιάννης
και Ξανθόπουλος, 1999)

Λόγος διακλαδώσεων (Horton, 1945). Ο αντίστοιχος εμπειρικός νόμος, γνωστός ως νόμος του Horton για τον αριθμό υδατορευμάτων N_i , των κλάδων δεδομένης τάξης i :

$$\frac{N_i}{N_{i+1}} = R_B, i = 1, 2, \dots, I - 1$$

Νόμος του Horton για τα μήκη υδατορευμάτων L_i , των κλάδων δεδομένης τάξης i :

$$\frac{L_{i+1}}{L_i} = R_L, i = 1, 2, \dots, I - 1$$

Νόμος των επιφανειών των υδατορευμάτων (Schumm, 1956) A_i , των κλάδων δεδομένης τάξης i :

$$\frac{A_{i+1}}{A_i} = R_A, i = 1, 2, \dots, I - 1$$



Μορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

Ταξινόμηση 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 $[L^{-1}]$.

Η μέση απόσταση από τον υδροκρίτη μέχρι το υδατόρευμα είναι: $X_A = \frac{1}{2D_A}$

Η μέση διαδρομή μιας σταγόνας σε συνθήκες επίγειας ροής, μέχρι να φτάσει στο υδρογραφικό δίκτυο είναι:

$$Y_A = \frac{X_A}{2} = \frac{1}{4D_A}$$

Μια συγκεκριμένη διαδρομή κατά μήκος του υδατορεύματος, η οποία καταλήγει στην έξοδο της λεκάνης (συνήθως ο κλάδος με μεγαλύτερη τάξη και μεγαλύτερο μήκος), χαρακτηρίζεται ως *κύριο υδατόρευμα* 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.



ΕΞΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΣΓΠ

78	72	69	71	58	49
74	67	56	49	46	50
69	53	44	37	38	48
64	58	55	22	31	24
68	61	47	21	16	19
74	53	34	12	11	12

Υψόμετρο



2	2	2	4	4	8
2	2	2	4	4	8
1	1	2	4	8	4
128	128	1	2	4	8
2	2	1	4	4	4
1	1	1	1	4	16

Διεύθυνση ροής

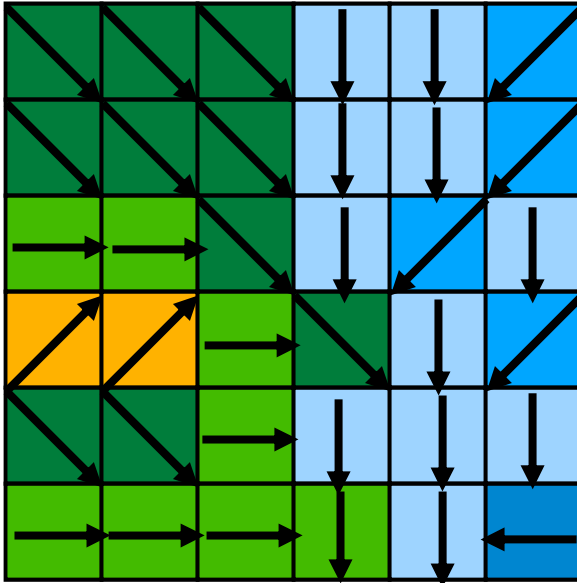
32	64	128
16		1
8	4	2

**Υπόμνημα
Διεύθυνσης ροής**

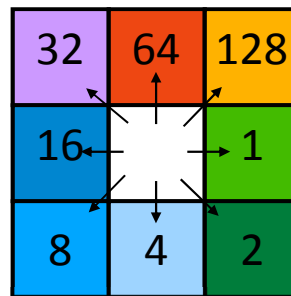


ΕΞΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΣΓΠ

Συγκέντρωση ροής



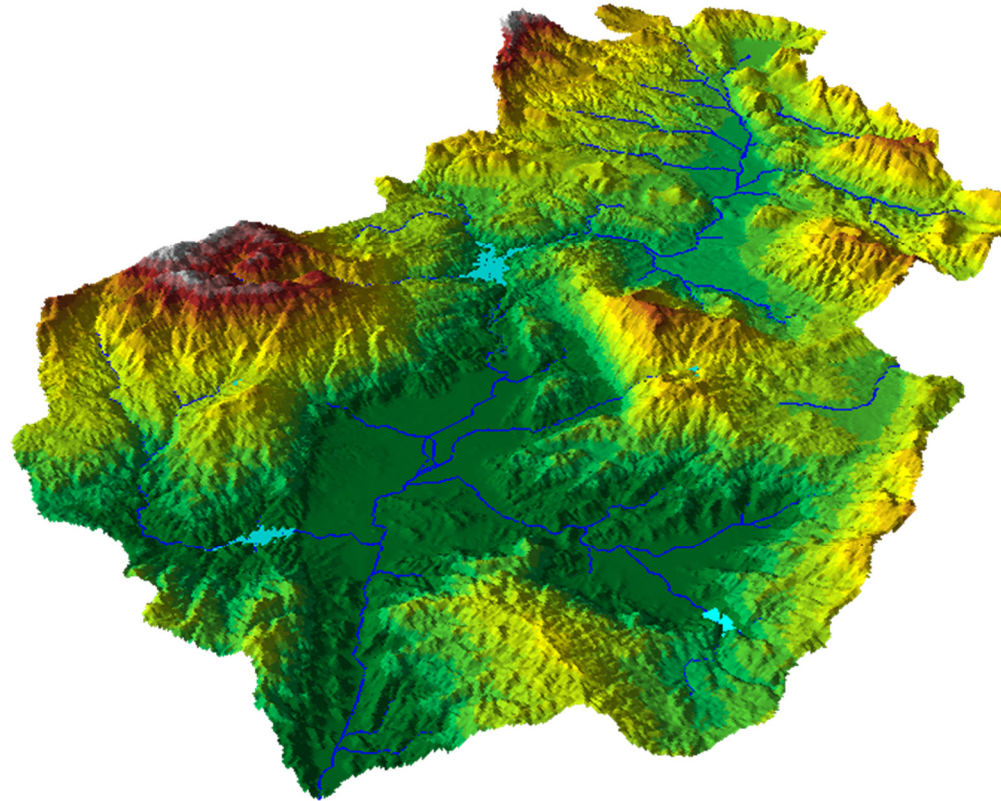
0	0	0	0	0	0
0	1	1	2	2	0
0	3	7	5	4	0
0	0	0	20	0	1
0	0	0	1	24	0
0	2	4	7	35	2



Υπόμνημα

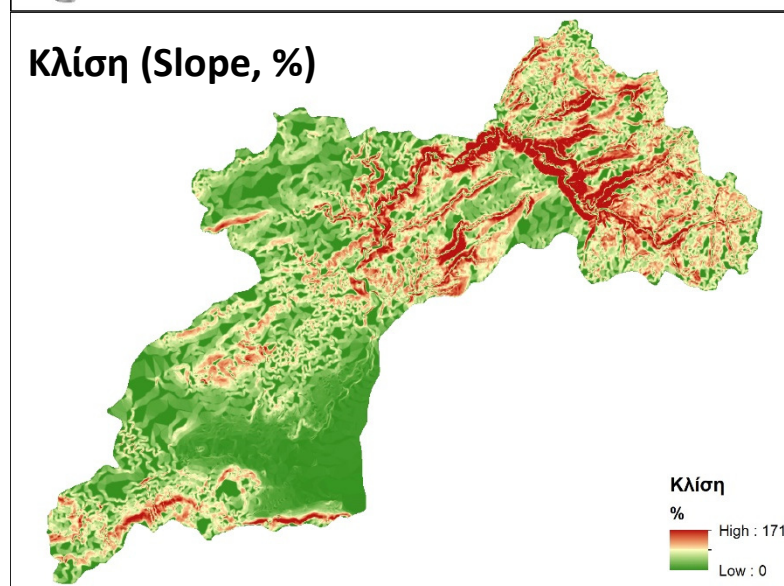
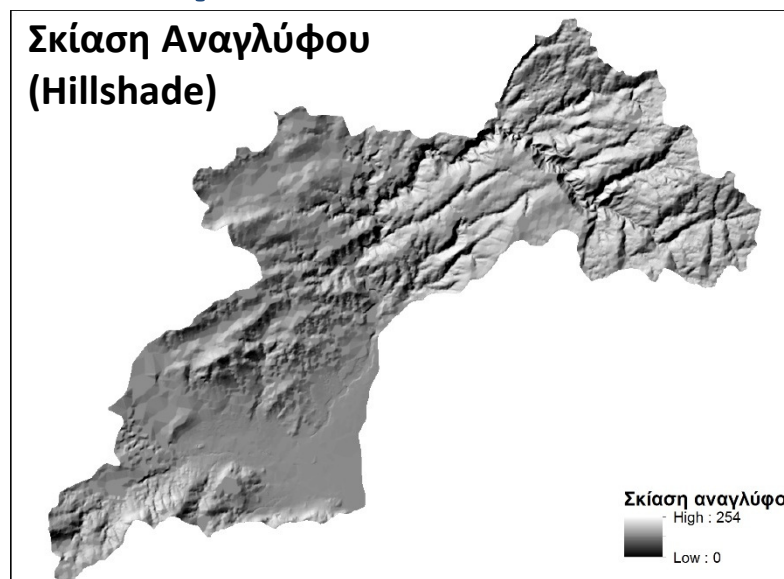
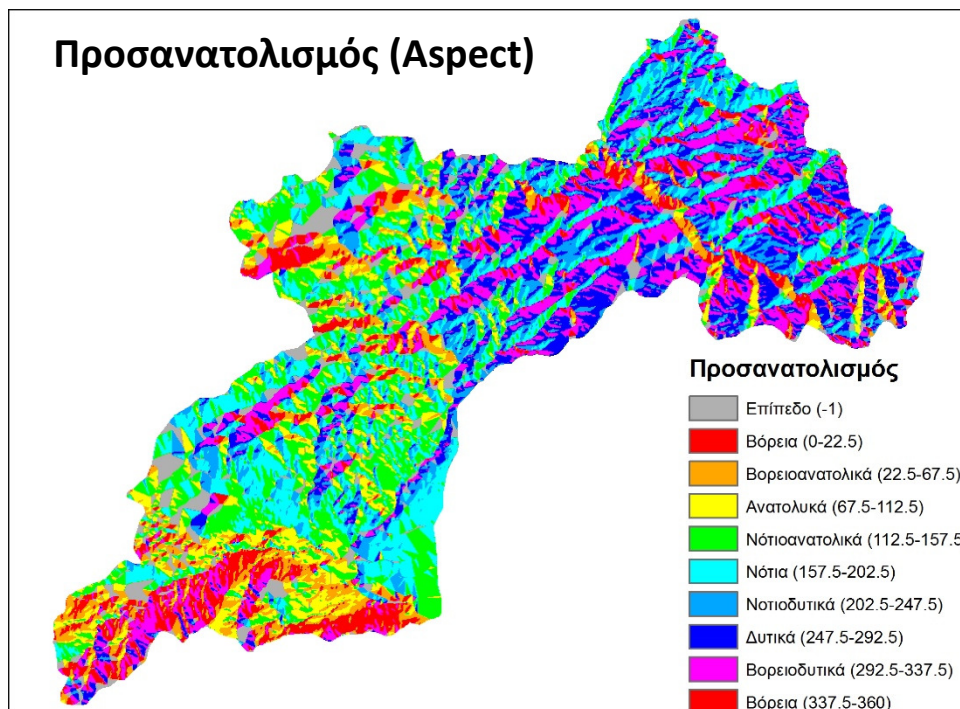


ΕΞΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΣΓΠ



ΕΞΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕ ΣΓΠ

Παράγωγοι κάρναβοι



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)

- **Συνολικά** η φυτοκάλυψη δρα προς την κατεύθυνση της μείωσης του όγκου άμεσης απορροής, της επιβράδυνσης και εξομάλυνσης των ρυθμών της, με τελική συνέπεια τη μείωση των αιχμών των πλημμυρικών υδρογραφημάτων



Επίδραση γεωμορφολογίας και βροχόπτωσης στην απορροή

- **ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ**

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

- **ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ**

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



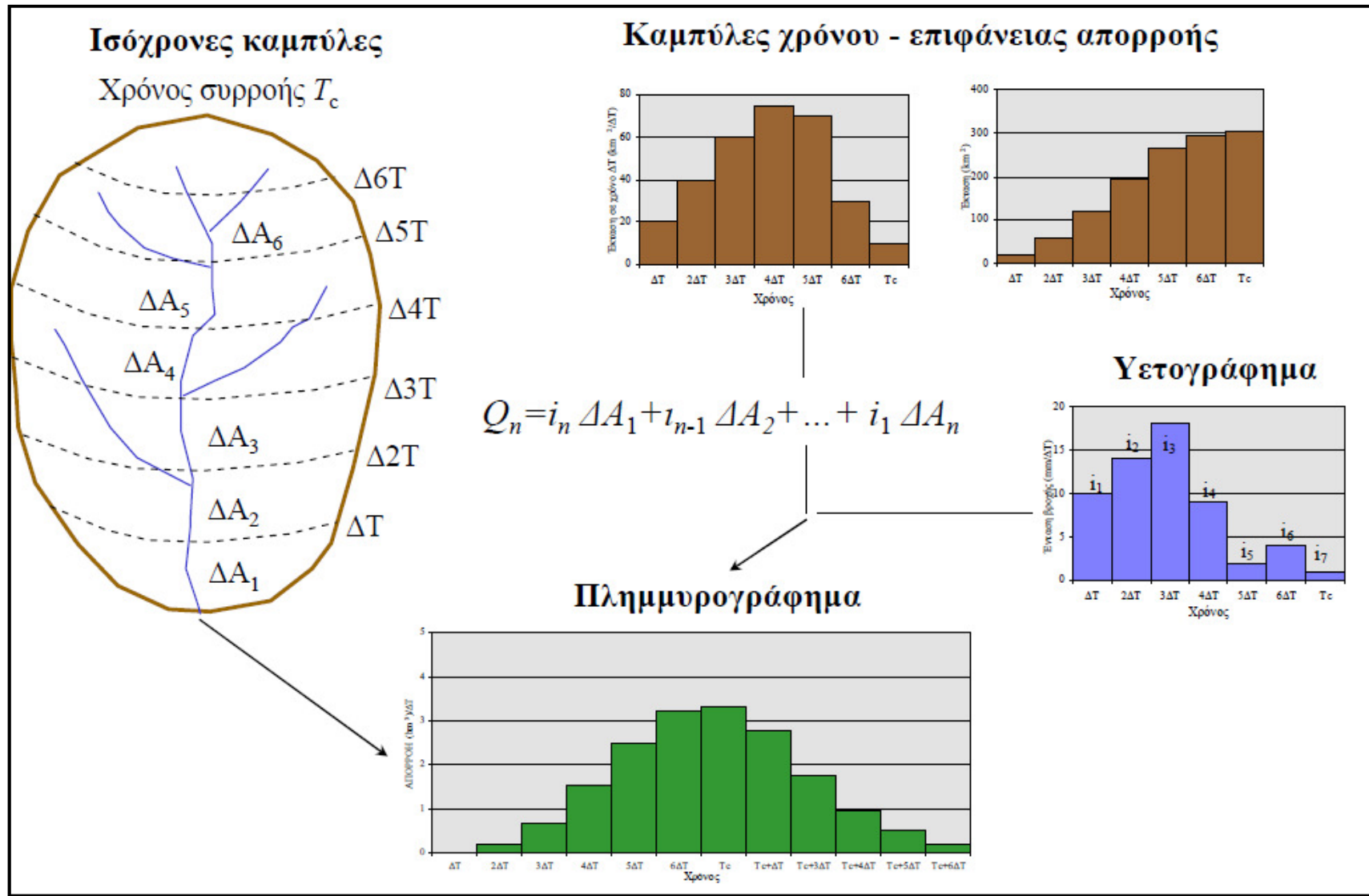
Απορροή

- **Άμεση απορροή** → 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** η απορροή που σχηματίζει τη βασική (μόνιμη) ροή των ρευμάτων και περιλαμβάνει το
 - υπόλοιπο της υπεδάφιας (βραδεία υπεδάφια) και την
 - υπόγεια απορροή.



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΡΡΟΗ

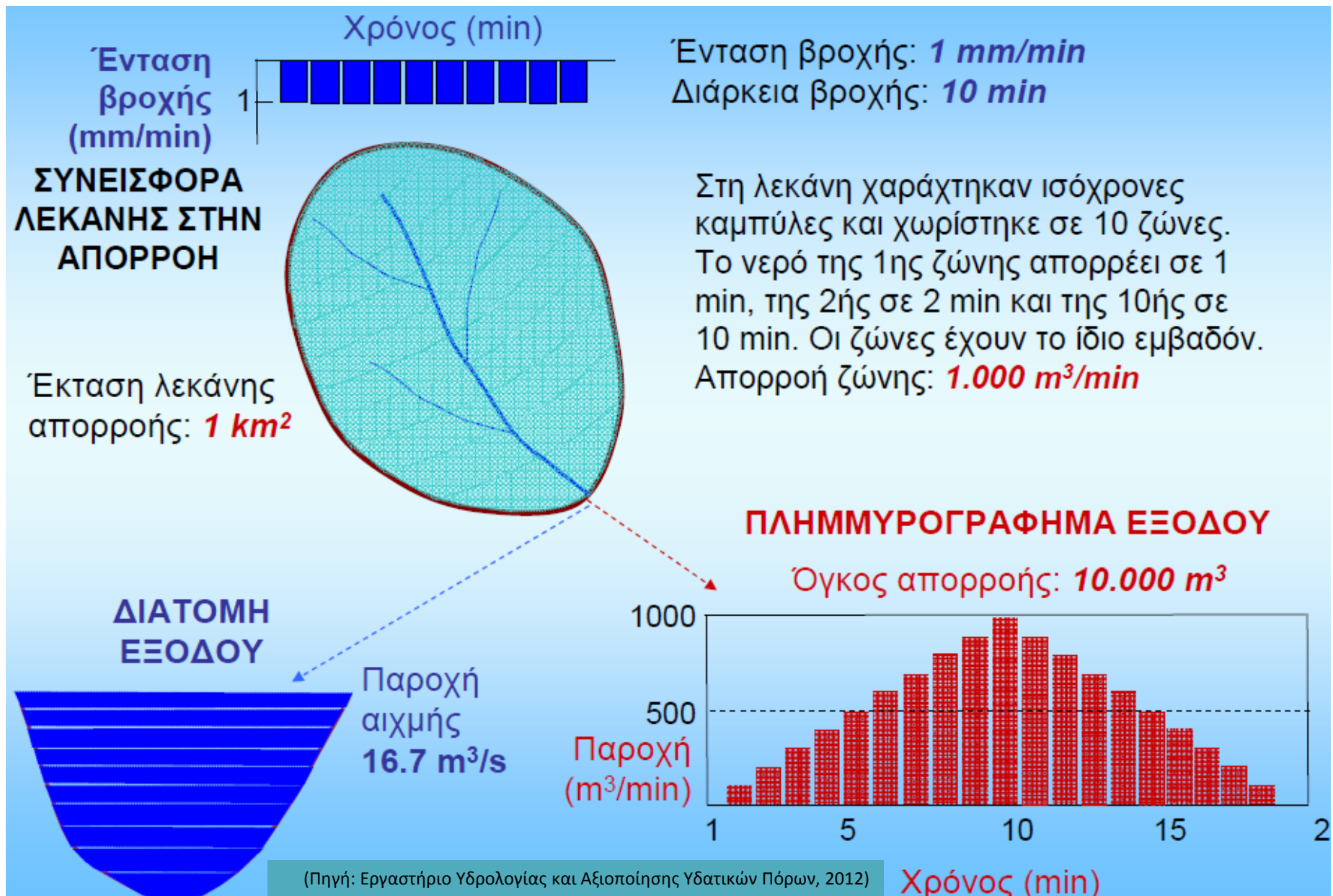
Μέθοδος ισοχρόνων



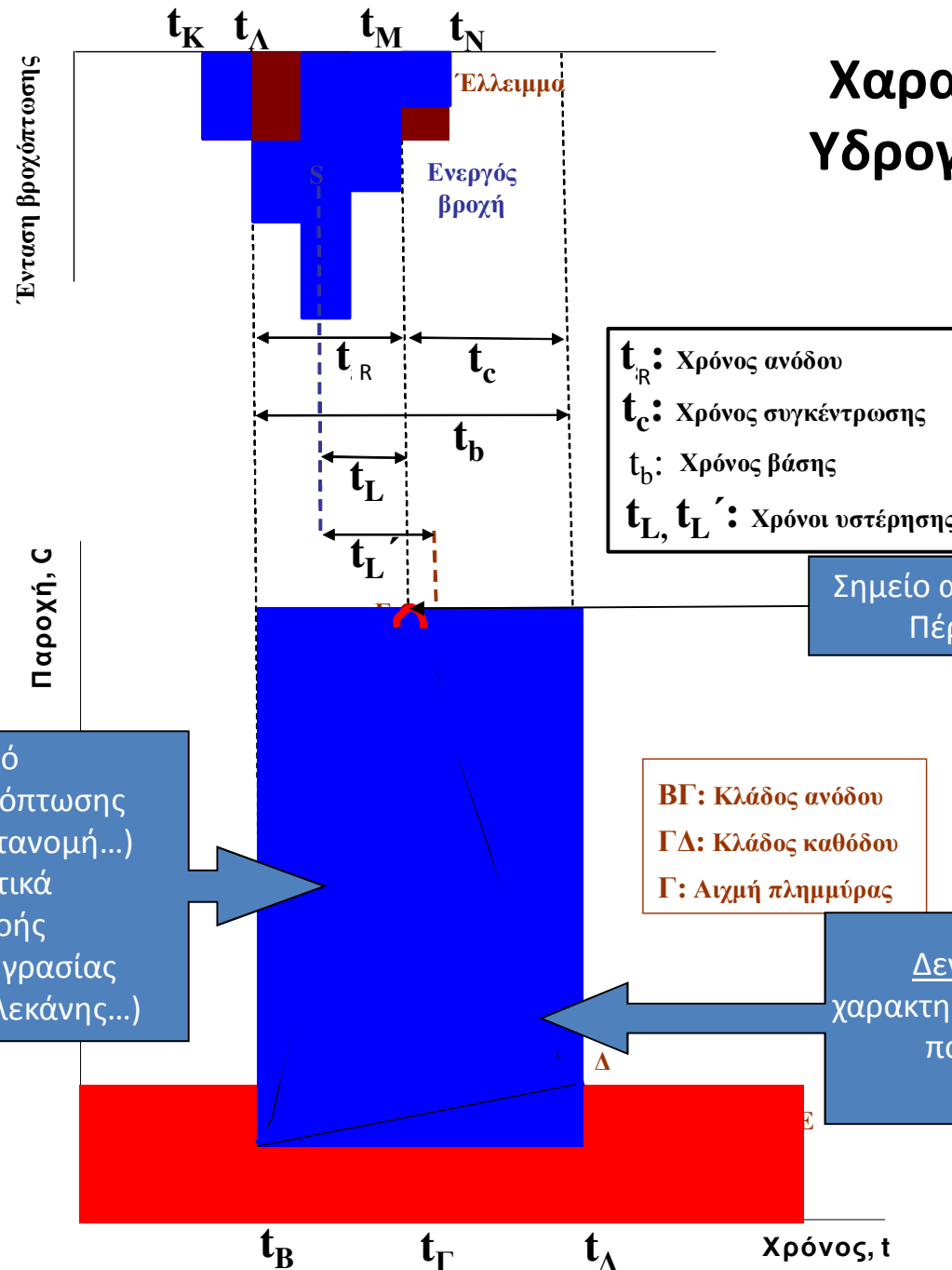
(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2012)



Μηχανισμός δημιουργίας άμεσης απορροής



Χαρακτηριστικά Υδρογραφήματος



- t_R : Χρόνος ανόδου
- t_c : Χρόνος συγκέντρωσης
- t_b : Χρόνος βάσης
- t_L, t_L' : Χρόνοι υστέρησης

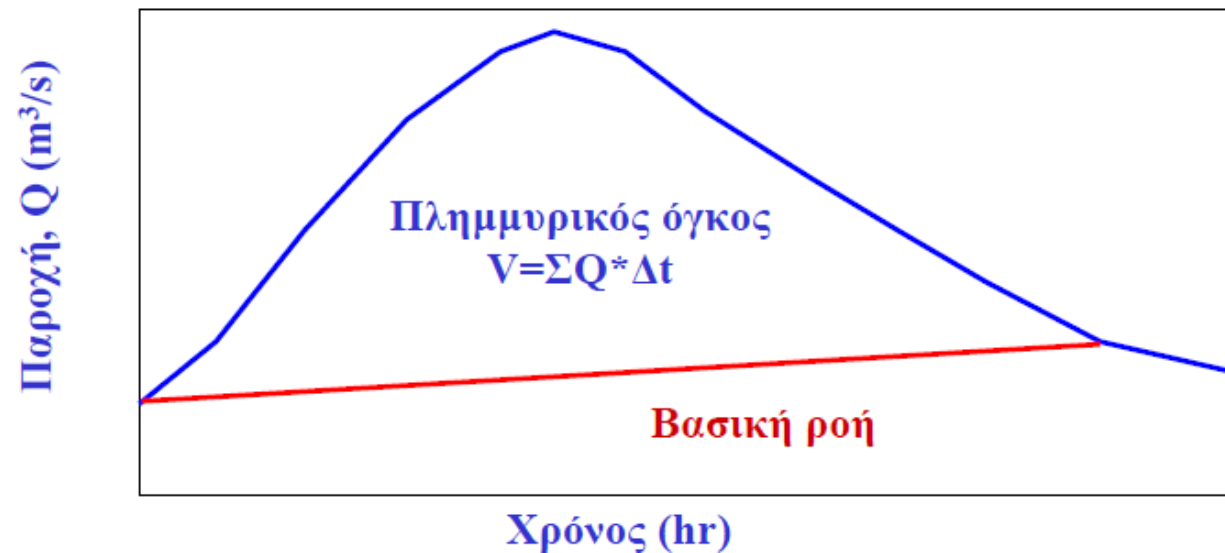
Σημείο αλλαγής καμπυλότητας
Πέρασ επιφ. εισροής

Εξαρτάται από
χαρακτηριστικά βροχόπτωσης
(ένταση, διάρκεια, κατανομή...)
και χαρακτηριστικά
λεκάνης απορροής
(αρχικές συνθήκες υγρασίας
εδάφους, γεωμετρία λεκάνης...)

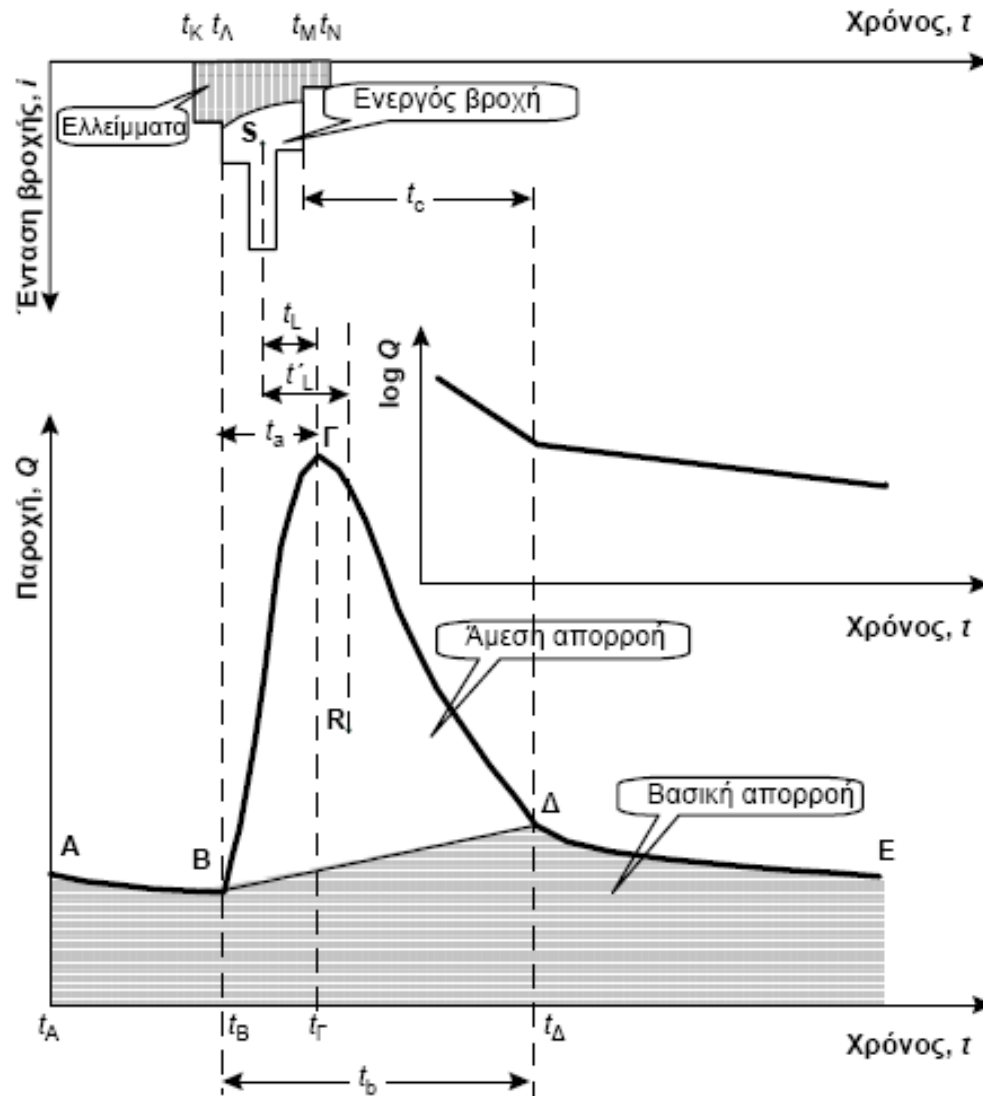
Δεν εξαρτάται από
χαρακτηριστικά βροχόπτωσης
που προκάλεσαν
την απορροή



ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΛΛΕΙΜΑΤΩΝ



ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ & ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

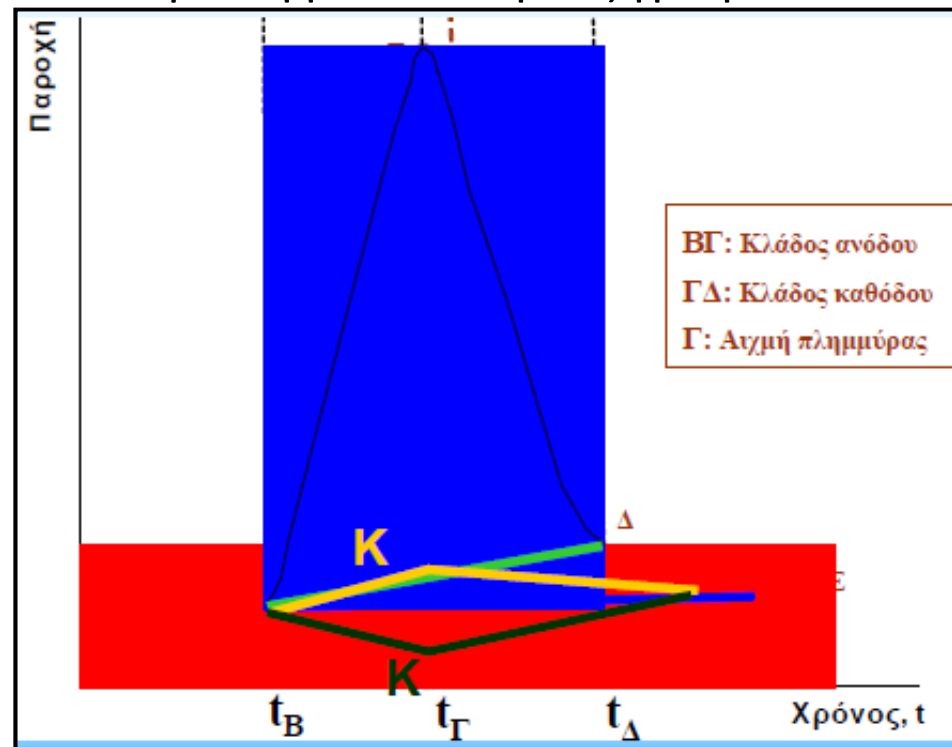


Σκαρίφημα τυπικού πλημμυρικού υδρογραφήματος με το αντίστοιχο υετογράφημα. Διαχωρισμός των συνιστωσών του υδρογραφήματος και χαρακτηριστικοί χρόνοι (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).



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 Β // με τον άξονα των χρόνων, ή θεωρώντας σημείο Κ, ή ενώνοντας το Β με το Δ (πιο ρεαλιστικό).
 - Ανάπτυξη άλλων προσεγγίσεων κυρίως γραφικών.

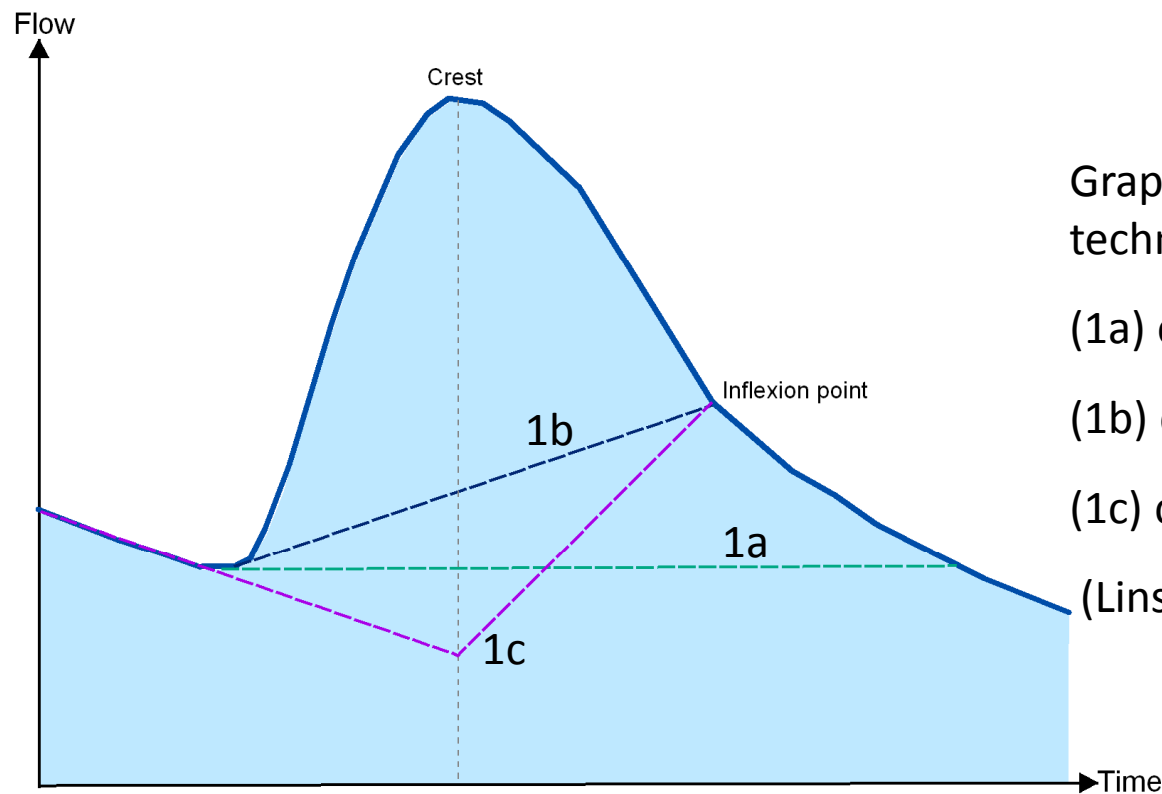


(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2012)



Διαχωρισμός βασικής απορροής BASE-FLOW INDEX (BFI)

ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ



Graphical baseflow separation techniques including

(1a) constant discharge method

(1b) constant slope method and

(1c) concave method

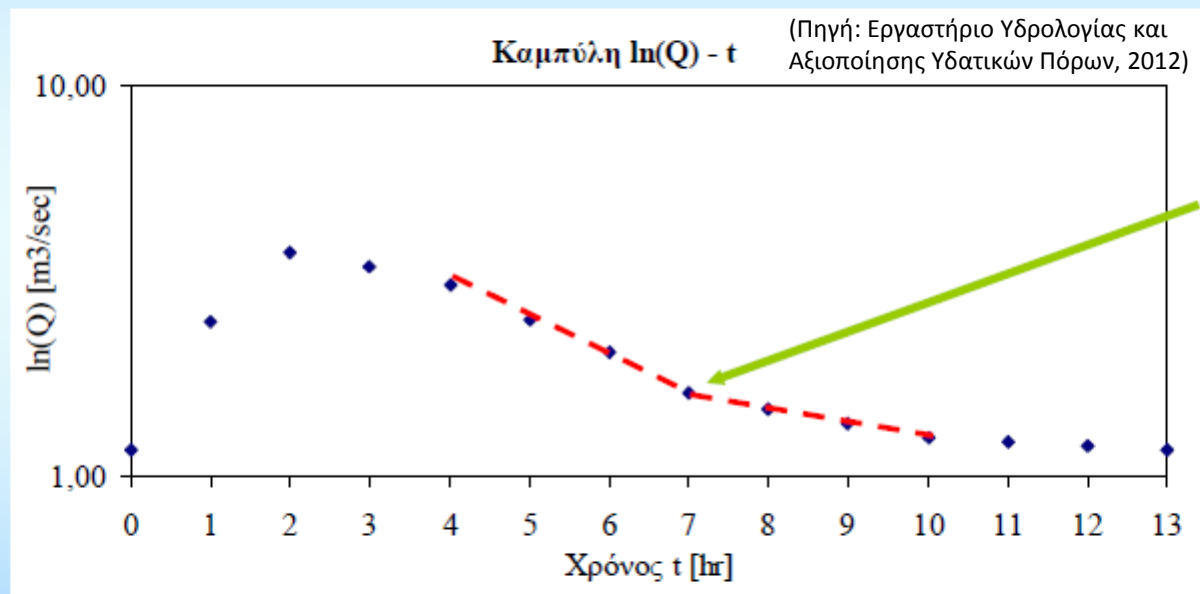
(Linsley et al., 1958)



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.



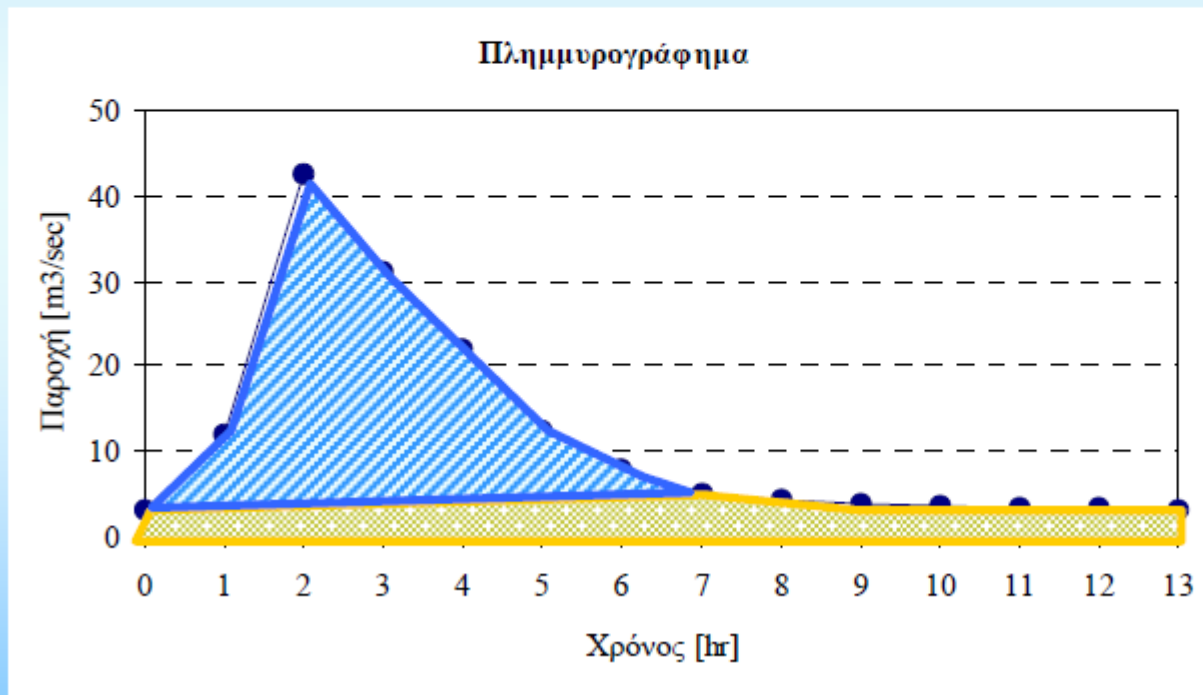
Σημείο
θλάσης
 $t=7h$

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 $t=7hr$).



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.



Άμεση απορροή

Βασική απορροή

(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2012)



ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

Μέθοδος SCS

Χρονική κατανομή, με τη μέθοδο της S.C.S., του ύψους βροχής διάρκειας 24 ωρών, για τους τέσσερις τύπους βροχής (I, IA, II και III) και του ύψους βροχής διάρκειας 6 ωρών (για ΗΠΑ)

Καταιγίδα διάρκειας 24 ωρών						Καταιγίδα διάρκειας 6 ωρών		
Χρόνος t (ώρες)	t/24	P _t /P ₂₄				Χρόνος t (ώρες)	t/6	P _t /P ₆
		I	IA	II	III			
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,0	0,083	0,035	0,050	0,022	0,020	0,60	0,1	0,04
4,0	0,167	0,076	0,116	0,048	0,043	1,20	0,20	0,10
6,0	0,250	0,125	0,206	0,080	0,072	1,50	0,25	0,14
7,0	0,292	0,156	0,268	0,098	0,089	1,80	0,30	0,19
8,0	0,333	0,194	0,425	0,120	0,115	2,10	0,35	0,31
8,5	0,354	0,219	0,480	0,133	0,130	2,28	0,38	0,44
9,0	0,375	0,254	0,520	0,147	0,148	2,40	0,40	0,53
9,5	0,396	0,303	0,550	0,163	0,167	2,52	0,42	0,60
9,75	0,406	0,362	0,564	0,172	0,178	2,64	0,44	0,63
10,0	0,417	0,515	0,577	0,181	0,189	2,76	0,46	0,66
10,5	0,438	0,583	0,601	0,204	0,216	3,00	0,50	0,70
11,0	0,459	0,624	0,624	0,235	0,250	3,30	0,55	0,75
11,5	0,479	0,654	0,645	0,283	0,298	3,60	0,60	0,79
11,75	0,489	0,669	0,655	0,357	0,339	3,90	0,65	0,83
12,0	0,500	0,682	0,664	0,663	0,500	4,20	0,70	0,86
12,5	0,521	0,706	0,683	0,735	0,702	4,50	0,75	0,89
13,0	0,542	0,727	0,701	0,772	0,751	4,80	0,80	0,91
13,5	0,563	0,748	0,719	0,799	0,785	5,4	0,90	0,96
14,0	0,583	0,767	0,736	0,820	0,811	6,0	1,00	1,00
16,0	0,667	0,830	0,800	0,880	0,886			
20,0	0,833	0,926	0,906	0,952	0,957			
24,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000			

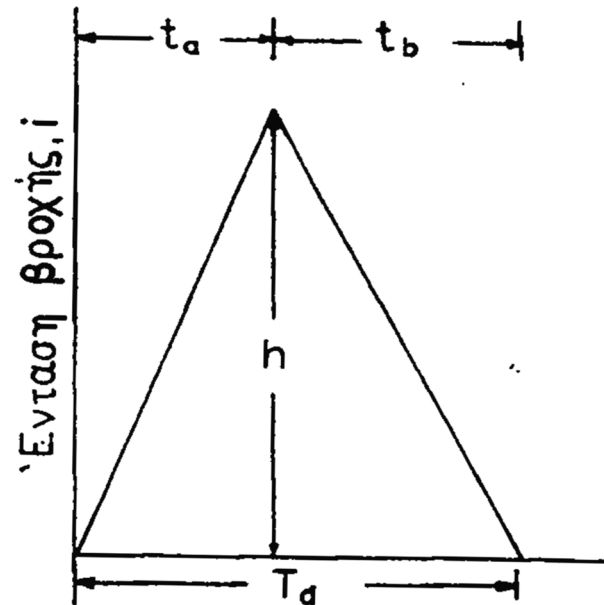


ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

- **Μέθοδος του Τριγωνικού βροχογραφήματος**

- Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή το βροχογράφημα έχει σχήμα τριγώνου, όπως φαίνεται στο Σχήμα. Η βάση του τριγώνου αντιπροσωπεύει τη διάρκεια της καταιγίδας (T_d) και το εμβαδόν του, το συνολικό ύψος βροχόπτωσης

Χρονική κατανομή
της βροχόπτωσης με
τη μέθοδο του
τριγωνικού
βροχογραφήματος



- Το ύψος του τριγώνου (h) αντιπροσωπεύει την αιχμή της έντασης της καταιγίδας και υπολογίζεται από τα γεωμετρικά στοιχεία του τριγώνου. Ο χρόνος εμφάνισης της αιχμής της καταιγίδας (t_a) δίνεται από το συντελεστή εξέλιξης της καταιγίδας r , που ισούται με το λόγο του χρόνου αιχμής (t_a) προς τη διάρκεια της καταιγίδας (T_d), δηλαδή:
 - $r = t_a / T_d$. Αν $r = 0.5$ η αιχμή της καταιγίδας εμφανίζεται στο μέσο της διάρκειας της, ενώ αν $r < 0.5$, η αιχμή εμφανίζεται νωρίτερα και αν $r > 0.5$, η αιχμή εμφανίζεται αργότερα.



ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

- **Μέθοδος των εναλλασσομένων υψών βροχής**
 - Σύμφωνα με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων υψών βροχής (Alternating Block Method), η βροχόπτωση διάρκειας t και περιόδου επαναφοράς T κατανέμεται ως εξής μέσα στη διάρκεια της. Από τη σχέση έντασης-διάρκειας- περιόδου επαναφοράς της μορφής της σχέσης και γνωρίζοντας ότι το ύψος βροχής ισούται με το γινόμενο της έντασης επί τη διάρκεια της, για βροχοπτώσεις της ίδιας περιόδου επαναφοράς T , προκύπτει η σχέση:

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{1-m}$$

όπου:

h_1 = ύψος βροχής διάρκειας t_1 , h_2 = ύψος βροχής διάρκειας t_2 ,

t_1 = διάρκεια βροχής ύψους h_1 , t_2 = διάρκεια βροχής ύψους h_2 και

m = σταθερά, που υπολογίζεται από τη σχέση έντασης - διάρκειας - περιόδου επαναφοράς.



ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

- **Μέθοδος του δυσμενέστερου συνδυασμού**
 - Η μέθοδος του δυσμενέστερου σχεδιασμού [USBR (1977)] είναι μια παραλλαγή της μεθόδου των εναλλασσομένων υψών βροχής όπου το μεγαλύτερο ύψος βροχής δεν τοποθετείται στο κεντρικό χρονικό διάστημα, αλλά στο χρονικό διάστημα που βρίσκεται απέναντι από τη μέγιστη τεταγμένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος.



ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

- Μέθοδος των εναλλασσομένων υψών βροχής
 - Παράδειγμα Εφαρμογή 4.10.1 (Παπαμιχαήλ, 2001)

Δίνεται η όμβρια καμπύλη
$$i = \frac{20,5069T^{0,1613}}{t^{0,64}}$$

Χρονική κατανομή της βροχόπτωσης, διάρκειας 12 ωρών και ύψους 101,92 mm, με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής

t (hr)	h ₁	Διαφορά	Αναδιάρταξη	Χρόνος (hr)	Βροχόπτωση (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
0,75	0,3686	0,3686	0,0240	0,00-0,75	2,45
1,50	0,4730	0,1045	0,0264	0,75-1,50	2,69
2,25	0,5474	0,0743	0,0295	1,50-2,25	3,01
3,00	0,6071	0,0597	0,0337	2,25-3,00	3,43
3,75	0,6579	0,0508	0,0401	3,00-3,75	4,09
4,50	0,7025	0,0446	0,0508	3,75-4,50	5,18
5,25	0,7426	0,0401	0,0743	4,50-5,25	7,57
6,00	0,7792	0,0366	0,3686	5,25-6,00	37,57
6,75	0,8129	0,0337	0,1045	6,00-6,75	10,65
7,50	0,8443	0,0314	0,0597	6,75-7,50	6,08
8,25	0,8738	0,0295	0,0446	7,50-8,25	4,55
9,00	0,9016	0,0278	0,0366	8,25-9,00	3,73
9,75	0,9280	0,0264	0,0314	9,00-9,75	3,20
10,50	0,9531	0,0251	0,0278	9,75-10,50	2,83
11,25	0,9770	0,0240	0,0251	10,50-11,25	2,56
12,00	1,0000	0,0230	0,0230	11,25-12,00	2,34



Βιβλιογραφία

Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. 2012. «Εισαγωγή στα υδρογραφήματα», Διαφάνειες του μαθήματος «Τεχνική Υδρολογία»
<http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/>

Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος. «Τεχνική Υδρολογία», Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

Μιμίκου, Μ.Α. και Ε.Α. Μπαλτάς. «Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 5^η Έκδοση, 2012.

Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. «Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων», Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούδη, 2001.

Τσακίρης, Γ. «Υδατικοί Πόροι Ι. Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Συμμετρία, 1995.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

