Υδρολογία
Δρ Μ Σπηλιώτης

- Περίσσευμα Βροχής

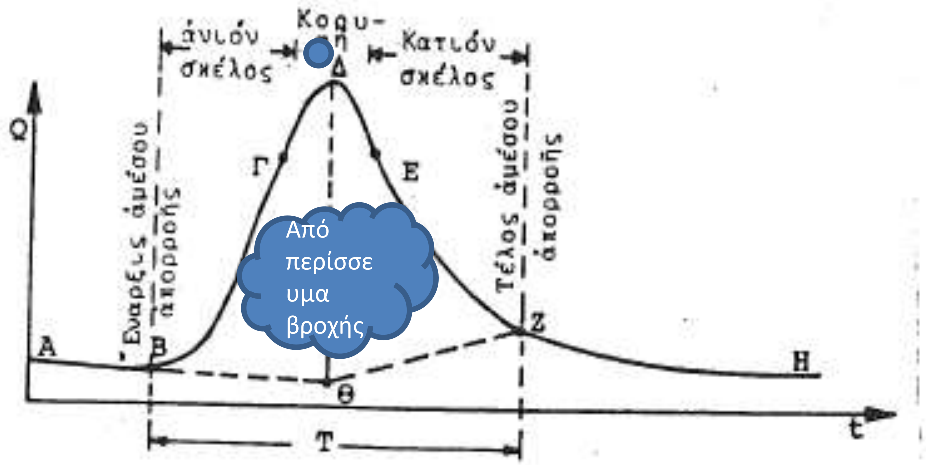
-Μοναδιαίο υδρογράφημα

-Προσδιορισμός Μοναδιαίου

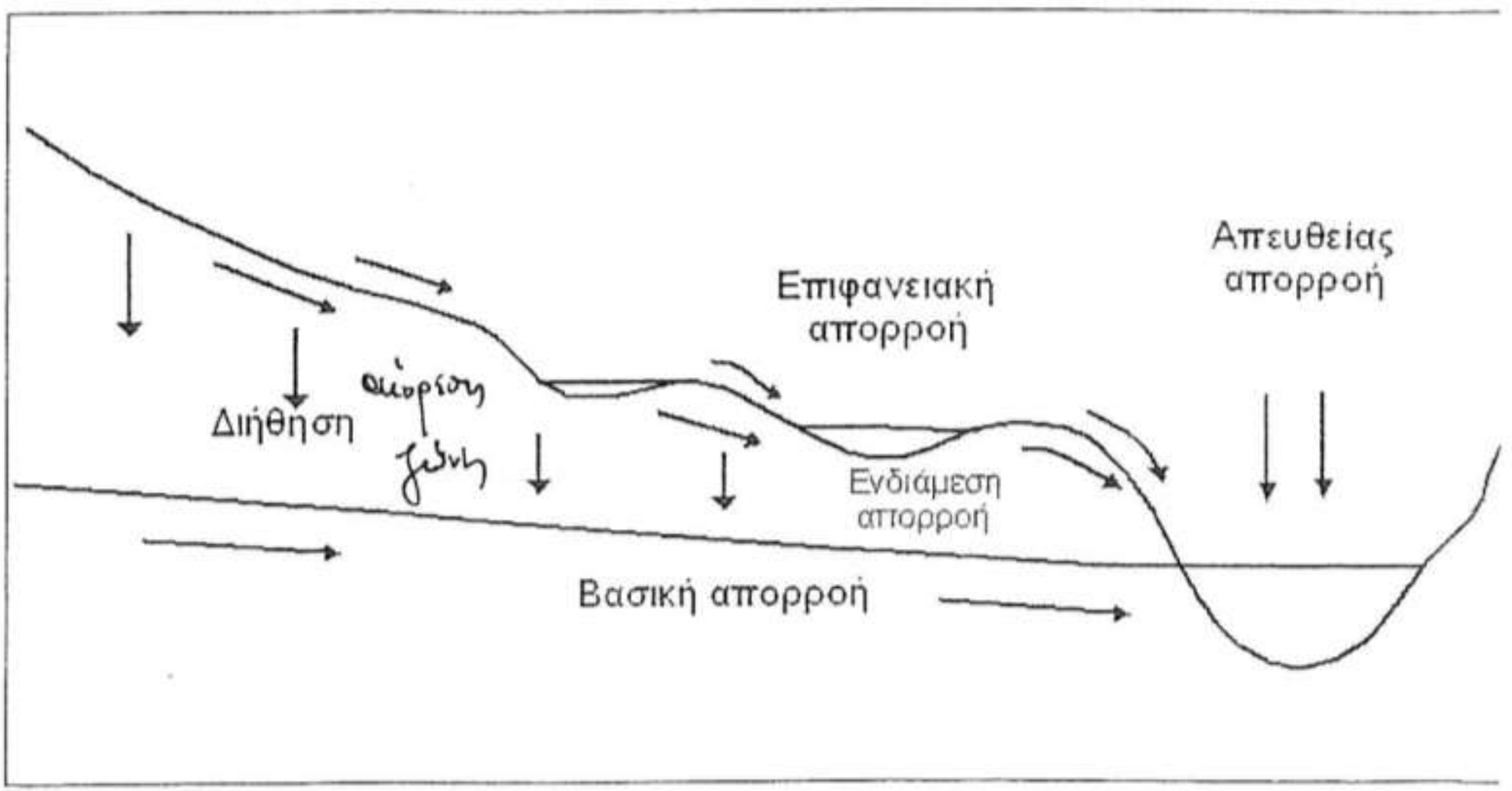
- Περίσσευμα βροχόπτωσης - Απώλειες βροχής

- Περίσσευμα βροχόπτωσης: Τμήμα της βροχόπτωσης, το οποίο συντελεί αμέσως στη δημιουργία επιφανειακής (και υπεδάφιας) απορροής.

Μορφή υδρογραφήματος



Βασική Απορροή (δεν εξαρτάται άμεσα από το πλημμυρικό γεγονός)



Σχήμα 5.6 *Σκαρίφημα που δείχνει τους παράγοντες που διαμορφώνουν την παροχή του ρεύματος*

- **Άμεση και βασική απορροή**

  - Άμεση απορροή: Εισέρχεται στα υδατορρεύματα αμέσως μετά τη βροχόπτωση ή την τήξη του χιονιού και αποτελείται από την επιφανειακή και την υπεδάφια απορροή.
  - Βασική απορροή: Αποτελεί τη ροή των ρευμάτων κατά τα μεταξύ των βροχοπτώσεων χρονικά διαστήματα. Προέρχεται κυρίως από την υπόγεια απορροή.

- **Περίσσευμα βροχόπτωσης - Απώλειες βροχής**

  - Περίσσευμα βροχόπτωσης: Τμήμα της βροχόπτωσης, το οποίο συντελεί αμέσως στη δημιουργία επιφανειακής (και υπεδάφιας) απορροής.
  - Απώλειες βροχής: Συγκράτηση από τη βλάστηση, εξάτμιση, διαπνοή, επιφανειακή αποθήκευση στο έδαφος, διήθηση

Ο Sherman (1932) εισήγαγε την έννοια του μοναδιαίου υδρογραφήματος (**ΜΥΓ**) που σήμερα έχει αναγνωριστεί σαν μια από τις σημαντικότερες συνεισφορές στην επιστήμη της Υδρολογίας σε φαινόμενα που έχουν σχέση με τον υπολογισμό του υδρογραφήματος μιας πλημμύρας.

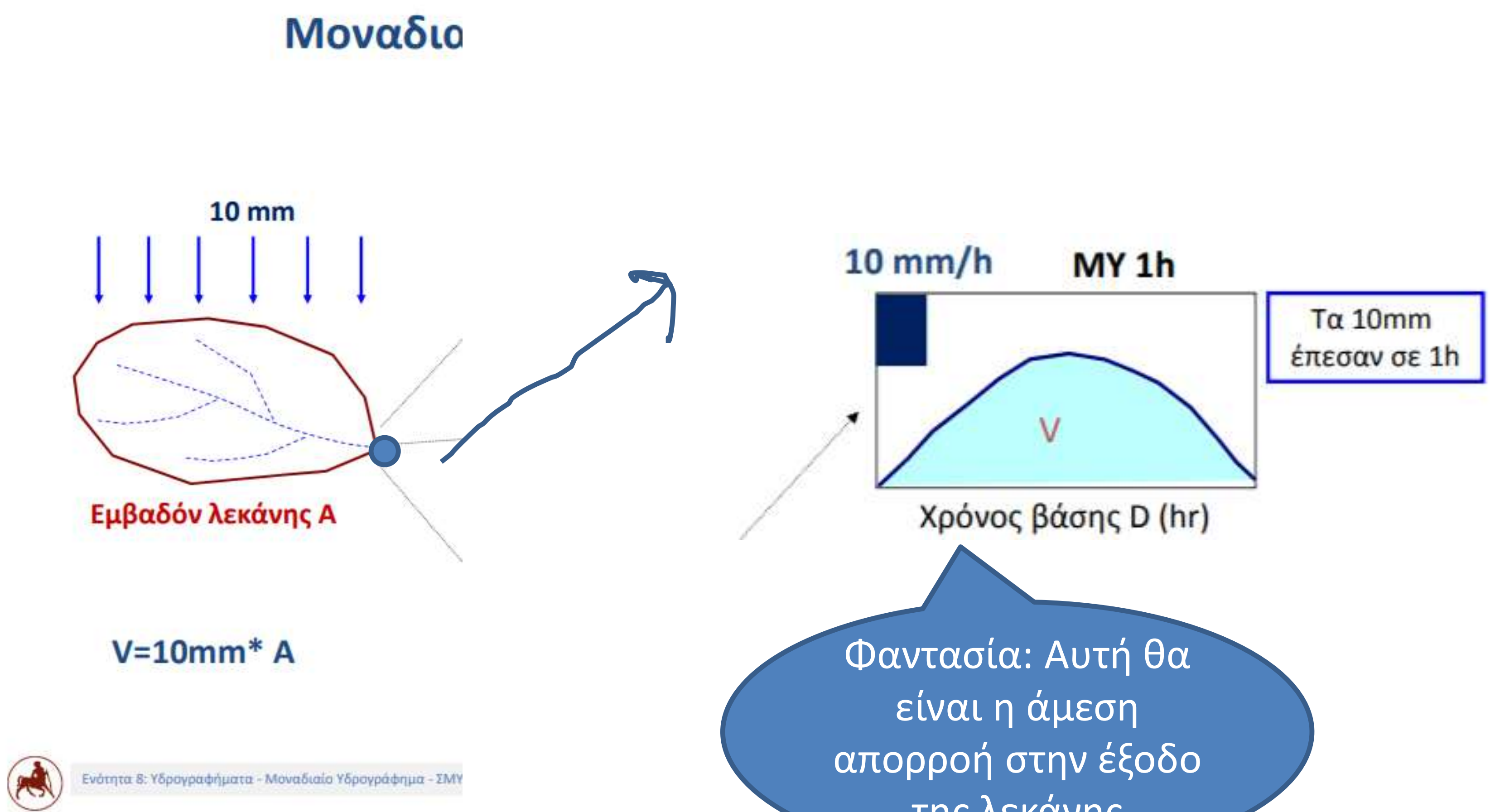
- Ως **μοναδιαίο υδρογράφημα** ορίζεται το υδρογράφημα τις άμεσης απορροής που προέρχεται από καθαρή βροχόπτωση διάρκειας t_R και μοναδιαίου ύψους ($h_R = 1\ cm$) ομοιόμορφα κατανεμημένου πάνω σε όλη την έκταση της λεκάνης.

βροχής $h_R = 1$ cm. Το Μοναδιαίο Υδρογράφημα (που συνήθως αναφέρεται ως ΜΥΓ) είναι ουσιαστικά ένα μοντέλο που περικλείει όλα τα χαρακτηριστικά της λεκάνης και αναφέρεται στην συγκεκριμένη διάρκεια περισσεύματος βροχής. Για κάθε δηλαδή διάρκεια περισσεύματος υπάρχει και ένα διαφορετικό μοναδιαίο υδρογράφημα το οποίο αποτελεί τη βάση (τη μονάδα) για τον υπολογισμό του υδρογραφήματος άμεσης απορροής από οποιοδήποτε ύψος περισσεύματος της ίδιας διάρκειας. Αυτός είναι και ο λόγος που ονομάζεται μοναδιαίο.

Η χρησιμότητα του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι μεγάλη γιατί όπως θα αναπτυχθεί παρακάτω το ΜΥΓ μπορεί να μετασχηματίσει κάτω από ορισμένες παραδοχές οποιοδήποτε περίσσευμα ραγδαίας βροχής διαφορετικής έστω διάρκειας σε υδρογράφημα της άμεσης απορροής.

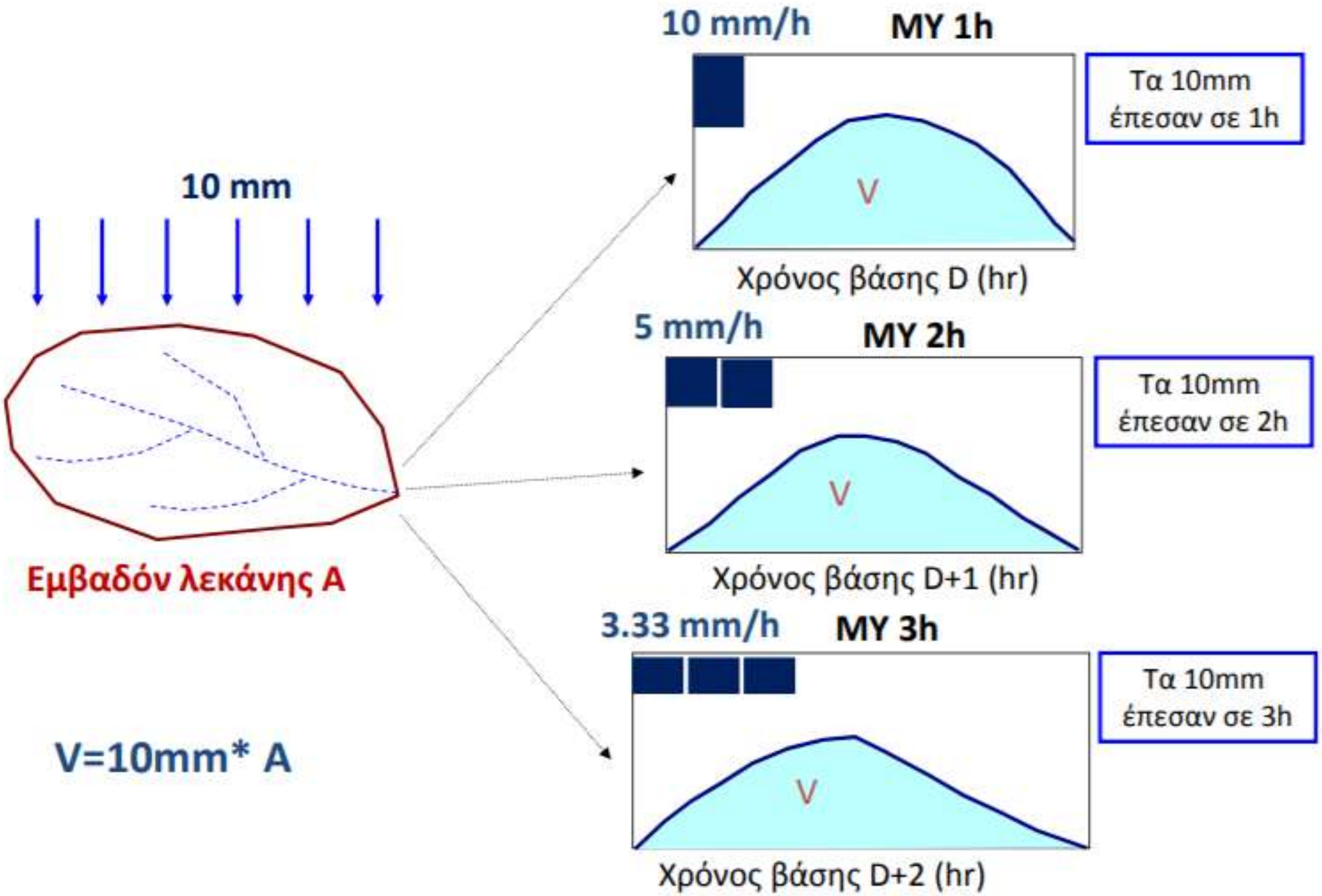
Μοναδιαίο Υδρογράφημα:
--- Υδρογράφημα άμεσης απορροής
--- ύψους (περισσεύματος βροχής) 1 cm
--- σε ενεργό βροχόπτωση συγκριμένης διάρκειας
--- χαρακτηρίζει τη λεκάνη απορροής διαφορετικό από λεκάνη σε λεκάνη

Μυγ, 1 ώρας



Φαντασία: Αυτή θα είναι η άμεση απορροή στην έξοδο της λεκάνης

Μοναδιαίο Υδρογράφημα



Λουκάς, 2020

5.2.2 Αρχές του μοναδιαίου υδρογραφήματος

Οι αρχές στις οποίες στηρίζεται η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι:

α) Αρχή της επαλληλίας

Σύμφωνα με την αρχή αυτή το συνολικό υδρογράφημα απορροής που προκύπτει από επιμέρους βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με τεταγμένες το άθροισμα των τεταγμένων των υδρογραφημάτων απορροής των επιμέρους βροχοπτώσεων κατάλληλα μετατοπισμένων ώστε η αρχή τους να συμπίπτει με την έναρξη της αντίστοιχης βροχής (Σχήμα 5.4).

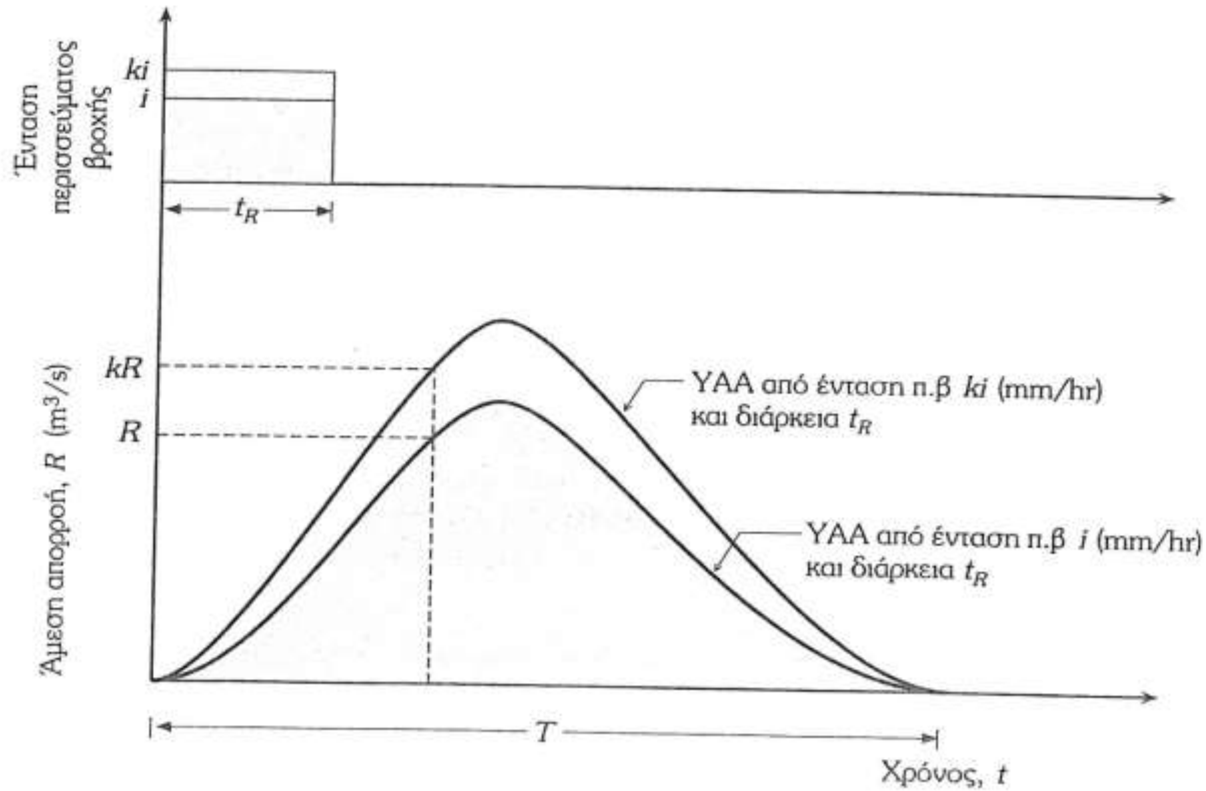
β) Αρχή της αναλογίας

Σύμφωνα με την αρχή αυτή, δύο βροχές της ίδιας διάρκεια, αλλά διαφορετικής έντασης δημιουργούν υδρογραφήματα με την ίδια χρονική βάση αλλά οι τεταγμένες για κάθε χρονική στιγμή έχουν λόγο ίσο με το λόγο των εντάσεων. Επομένως αν έχουμε δυο βροχοπτώσεις της ίδιας διάρκειας με λόγο εντάσεων ίσο με m, τότε προκύπτουν υδρογραφήματα απορροής τα οποία θα έχουν τεταγμένες με λόγο m.

Γραμμικό μοντέλο

Μπέλλος, Τεχνική Υδρολογία

Αρχή της αναλογίας

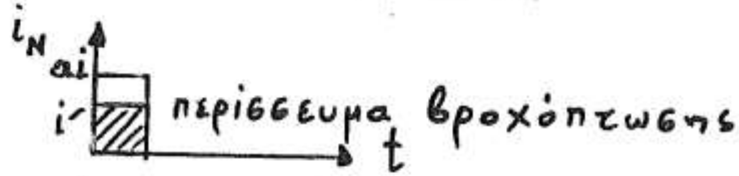


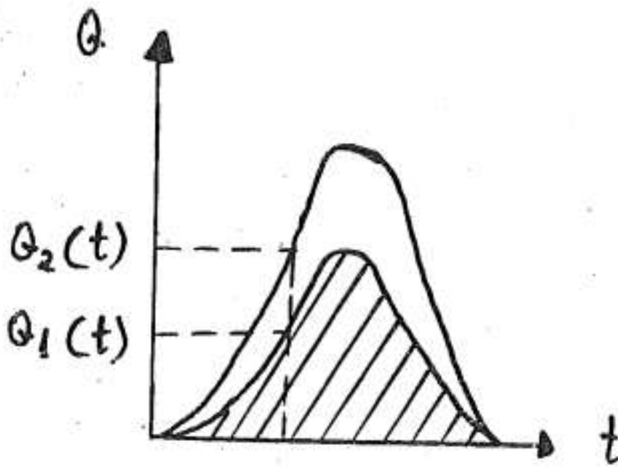
Σχ. 11.5: *Η αρχή της αναλογίας.*

Από Τσακίρης, 2014, Τεχνική Υδρολογία

Αρχή της αναλογίας

Αρχή της αναλογίας

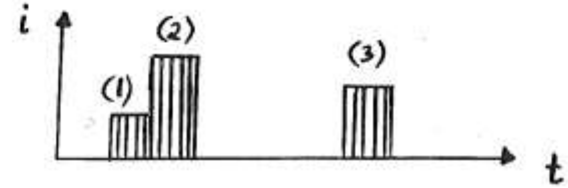


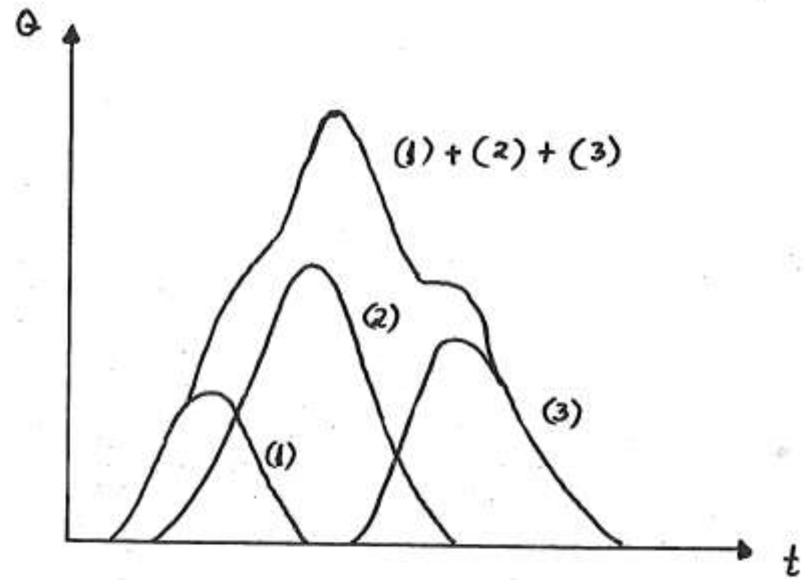


$$\frac{Q_2(t)}{Q_1(t)} = \frac{ai}{i} = a$$

Κ (ή ισοδύναμα σε άλλα βιβλία α)= hπερίσευμμα (cm) /1 (cm)= hπερίσευμμα (mm) /1 0(mm)=

Αρχή της επαλληλίας



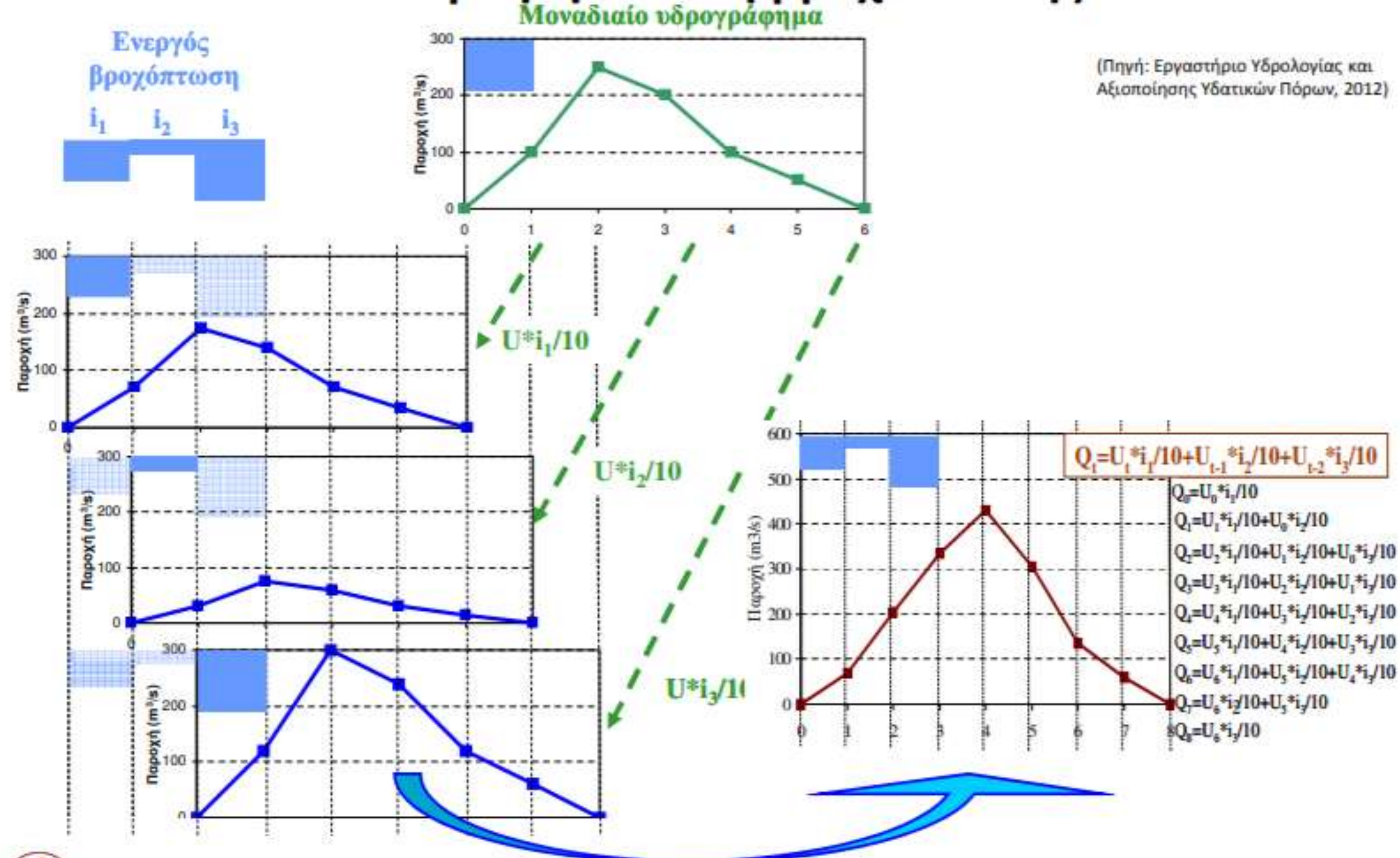


Χρυσάνθου, 2013

Χρήση ΜΥΓ για υπολογισμό ΥΓ

Μεταβλητή ένταση βροχόπτωσης

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



Εξίσωση συνέλιξης

- Εξίσωση μοναδιαίου

$$Q_n = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot U_{n-i+1} =$$

$$= P_n\, U_1 + \ldots. + P_1 U_n$$

5.2.2 Αρχές του μοναδιαίου υδρογραφήματος

Οι αρχές στις οποίες στηρίζεται η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι:

α) Αρχή της επαλληλίας

Σύμφωνα με την αρχή αυτή το συνολικό υδρογράφημα απορροής που προκύπτει από επιμέρους βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με τεταγμένες το άθροισμα των τεταγμένων των υδρογραφημάτων απορροής των επιμέρους βροχοπτώσεων κατάλληλα μετατοπισμένων ώστε η αρχή τους να συμπίπτει με την έναρξη της αντίστοιχης βροχής (Σχήμα 5.4).

β) Αρχή της αναλογίας

Σύμφωνα με την αρχή αυτή, δύο βροχές της ίδιας διάρκειας, αλλά διαφορετικής έντασης δημιουργούν υδρογραφήματα με την ίδια χρονική βάση αλλά οι τεταγμένες για κάθε χρονική στιγμή έχουν λόγο ίσο με το λόγο των εντάσεων. Επομένως αν έχουμε δυο βροχοπτώσεις της ίδιας διάρκειας με λόγο εντάσεων ίσο με *m*, τότε προκύπτουν υδρογραφήματα απορροής τα οποία θα έχουν τεταγμένες με λόγο *m*.

Γραμμικό μοντέλο

Μπέλλος, Τεχνική Υδρολογία

1. Αν είναι γνωστό το ΜΥΓ συγκεκριμένης διάρκειας, τότε το υδρογράφημα της άμεσης απορροής κάθε άλλης βροχής (διαφορετικής έντασης) αλλά της ίδιας διάρκειας μπορεί να προβλεφθεί.

Παράδειγμα. Δίνεται το ΜΥΓ των 6 hr μιας λεκάνης απορροής (U). Ζητείται το ΥΑΑ από βροχή περισσεύματος 25 mm της ίδιας διάρκειας.

t (hr)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39
U (m^3/s)	0	34	84	116	114	75	45	29	20	14	9	5	2	0

Τσακίρης, 2014

Από τον ορισμό του ΜΥΓ προκύπτει ότι το ύψος περισσεύματος είναι 1 cm ή 10 mm. Επομένως η ένταση π.β. είναι $i_1 = 10/6$ mm/h. Στην περίπτωση του περισσεύματος των 25 mm η ένταση $i_2 = 25/6$ mm/h. Δηλαδή ο λόγος των εντάσεων $k = 25/10 = 2.5$. Σύμφωνα με την αρχή της αναλογίας το ΥΑΑ στη δεύτερη περίπτωση θα έχει τεταγμένες που θα προέρχονται από τις αρχικές πολλαπλασιασμένες επί k και χρονική βάση την ίδια. Συνεπώς το ΥΑΑ, (R), υπολογίζεται

t (hr)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39
R (m^3/s)	0	85	210	290	260	187.5	112.5	72.5	50	35	22.5	12.5	5	0

Εφαρμογή μοναδιαίου...

Είναι προφανές, ότι από τις αρχές της επαλληλίας και της αναλογίας μπορούν να προκύψουν τα εξής συμπεράσματα :

- Αν είναι γνωστό το μοναδιαίο υδρογράφημα απορροής μιας βροχόπτωσης συγκεκριμένης διάρκειας, τότε μπορεί να υπολογιστεί το υδρογράφημα απορροής κάθε άλλης βροχόπτωσης διαφορετικής έντασης αλλά ίδιας διάρκειας.
- Αν είναι γνωστό το υδρογράφημα απορροής μιας βροχόπτωσης γνωστού ύψους και συγκεκριμένης διάρκειας, τότε μπορεί να υπολογιστεί το μοναδιαίο υδρογράφημα της βροχόπτωσης αυτής.
- Αν είναι γνωστό το υδρογράφημα απορροής μιας βροχόπτωσης ορισμένης διάρκειας, τότε είναι δυνατός ο υπολογισμός του υδρογραφήματος απορροής που προέρχεται από βροχόπτωση πολλαπλάσιας διάρκειας αλλά ίδιας έντασης.

Μπέλλος, 2013

Μοναδιαίο: Ταυτότητα λεκάνης (ξεχωριστό για κάθε λεκάνη απορροής)

Με βάση τον ορισμό του μοναδιαίου υδρογραφήματος τα χαρακτηριστικά του είναι :

- Το μοναδιαίο υδρογράφημα αντιπροσωπεύει όλα τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (σχήμα, μέγεθος, κλίση, έδαφος) αλλά και της βροχόπτωσης που το προκάλεσε (τύπος, ένταση, διάρκεια).
- Εφόσον τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής δε μεταβάλλονται από βροχόπτωση σε βροχόπτωση, τότε τα υδρογραφήματα του προέρχονται από βροχοπτώσεις ίδιας διάρκειας και τύπου, θεωρούνται ότι έχουν όμοιο σχήμα και χρονική βάση.

Προϋποθέσεις εφαρμογής

5.2.3 Προϋπόθεση εφαρμογής του μοναδιαίου υδρογραφήματος

Σύμφωνα με τους Linsley et al (1949) οι προϋποθέσεις για τη χρήση του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι :

- Για βροχές με την ίδια διάρκεια, η κατανομή του περισσεύματος της βροχής στο χώρο και στο χρόνο είναι ίδια.
- Κατά τη διάρκεια της βροχής η ένταση είναι σταθερή.
- Δύο βροχοπτώσεις της ίδιας διάρκειας αλλά διαφορετικού ύψους περισσεύματος δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με τεταγμένες ανάλογες των υψών του περισσεύματος βροχόπτωσης (συνθήκη γραμμικότητας).
- Από δύο βροχές με το ίδιο ύψος περισσεύματος της βροχής και την ίδια διάρκεια, που συμβαίνουν σε διαφορετικούς χρόνους, προκύπτουν εντελώς όμοια μοναδιαία υδρογραφήματα (συνθήκη μονιμότητας).

Μπέλλος, 2014

Παγίδες

- μη συνεχή βροχή
- αστικοποίηση
- αλλαγή στη λ.α.

Βαθμός αστικοποίησης ή υδραυλικής «ανάπτυξης» της λεκάνης απορροής

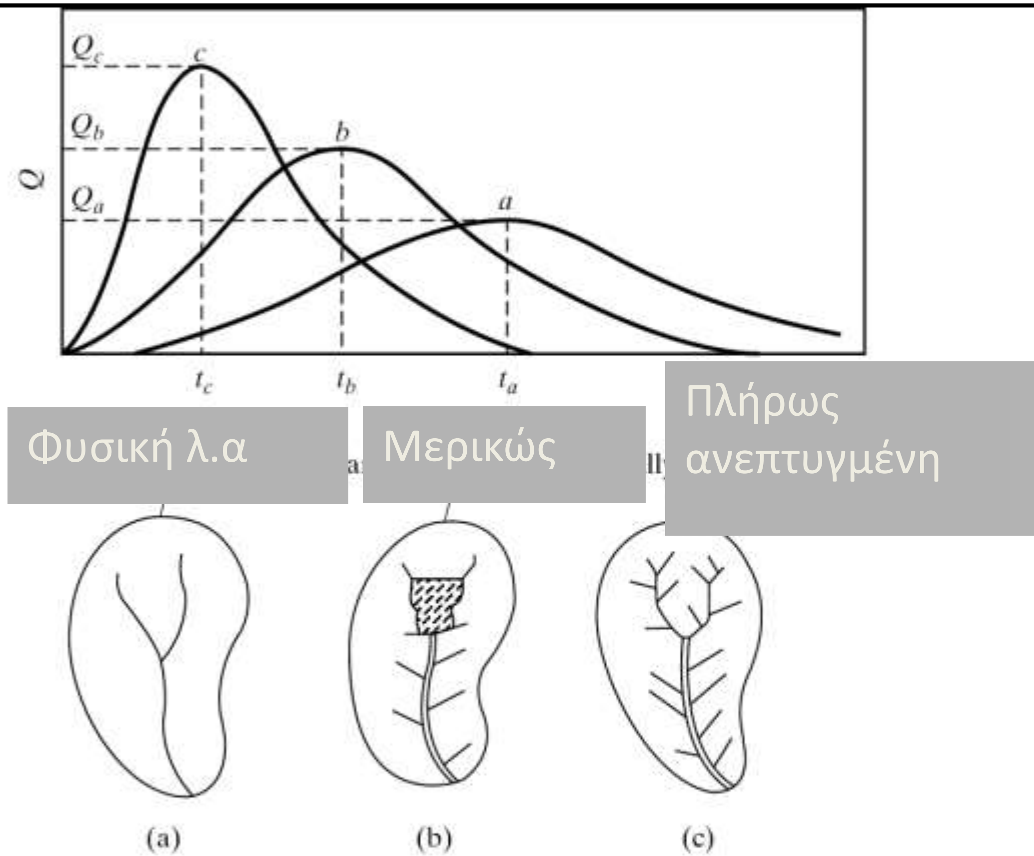


Figure 2.11

Modifying factors on unit hydrographs. (a) Natural watershed development, represented by curve *a* in the top part of the figure. (b) Partial development, represented by curve *b*. (c) Fully developed watershed, represented by curve *c*.

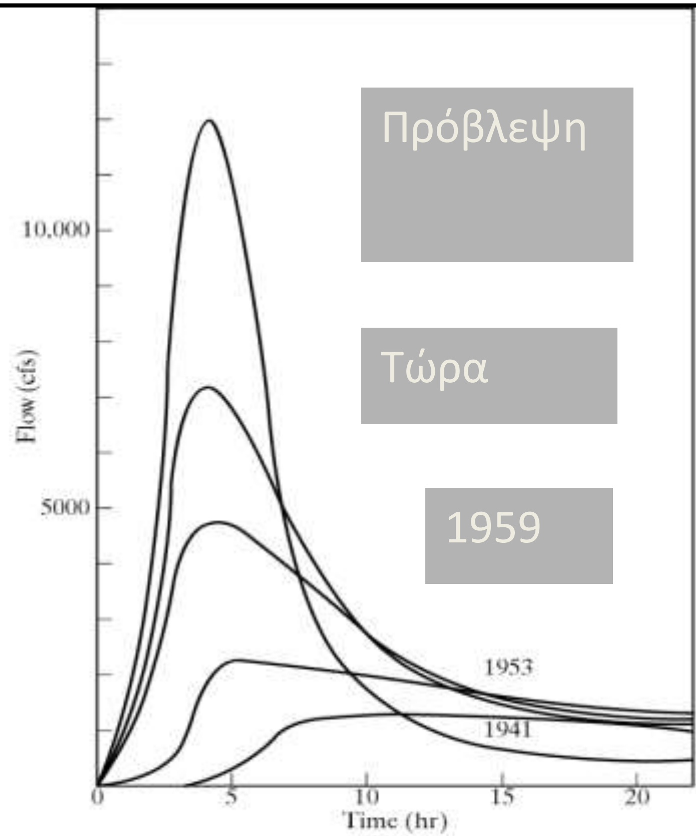


Figure 2.12

Brays Bayou unit hydrograph changes as a function of land use changes.

Ταχύτερη απόκριση με

Την ανάπτυξη

(μικρότερος χρόνος συγκέντρωσης)

Μεγαλύτερη αιχμή

Πρώτιστη ανάγκη για

έργα (πρώτα) κατάντη

Έργα: από κατάντη προς ανάντη

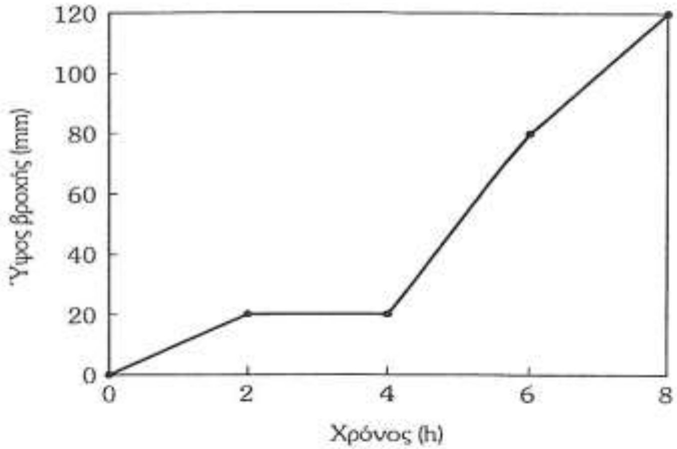
(Τσακίρης και Βαγγέλης, 2009)

Άσκηση 6.5

Δίνεται το ΜΥΓ της 1h μιας λεκάνης απορροής με δείκτη $\Phi = 4$ mm/h (Πίνακας 6.11). Ζητείται να υπολογισθεί το Υδρογράφημα της Συνολικής Απορροής από τη βροχόπτωση του Σχήματος 6.11, με την παραδοχή ότι η βασική απορροή είναι σταθερή και ίση με 9 m^3/s.

Πίν. 6.11: *ΜΥΓ (1h)*

t (h)	$U(t)$ (m^3/s)
0	0.00
1	1.59
2	7.28
3	14.06
4	15.49
5	11.64
6	7.45
7	4.77
8	2.93
9	1.80
10	1.13
11	0.69
12	0.45
13	0.18
14	0.00



Σχ. 6.11: *Χρονική κατανομή του ύψους βροχής (αθροιστική καμπύλη).*

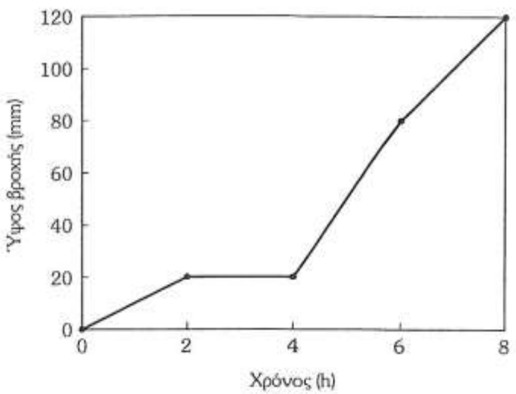
Να υπολογισθεί η μέγιστη παροχή και ο χρόνος που αυτή παρουσιάζεται, με χρονική αφετηρία την έναρξη της βροχής του Σχήματος 6.11.

Άσκηση 6.5

Δίνεται το ΜΥΓ της 1h μιας λεκάνης απορροής με δείκτη Φ = 4 mm/h (Πίνακας 6.11). Ζητείται να υπολογισθεί το Υδρογράφημα της Συνολικής Απορροής από τη βροχόπτωση του Σχήματος 6.11, με την παραδοχή ότι η βασική απορροή είναι σταθερή και ίση με 9 m^3/s.

Πίν. 6.11: *ΜΥΓ (1h)*

t (h)	$U(t)$ (m^3/s)
0	0.00
1	1.59
2	7.28
3	14.06
4	15.49
5	11.64
6	7.45
7	4.77
8	2.93
9	1.80
10	1.13
11	0.69
12	0.45
13	0.18
14	0.00



Σχ. 6.11: *Χρονική κατανομή του ύψους βροχής (αθροιστική καμπύλη).*

Να υπολογισθεί η μέγιστη παροχή και ο χρόνος που αυτή παρουσιάζεται, με χρονική αφετηρία την έναρξη της βροχής του Σχήματος 6.11.

$i_{(0\text{-}2)}$=20/2=10 mm/hr

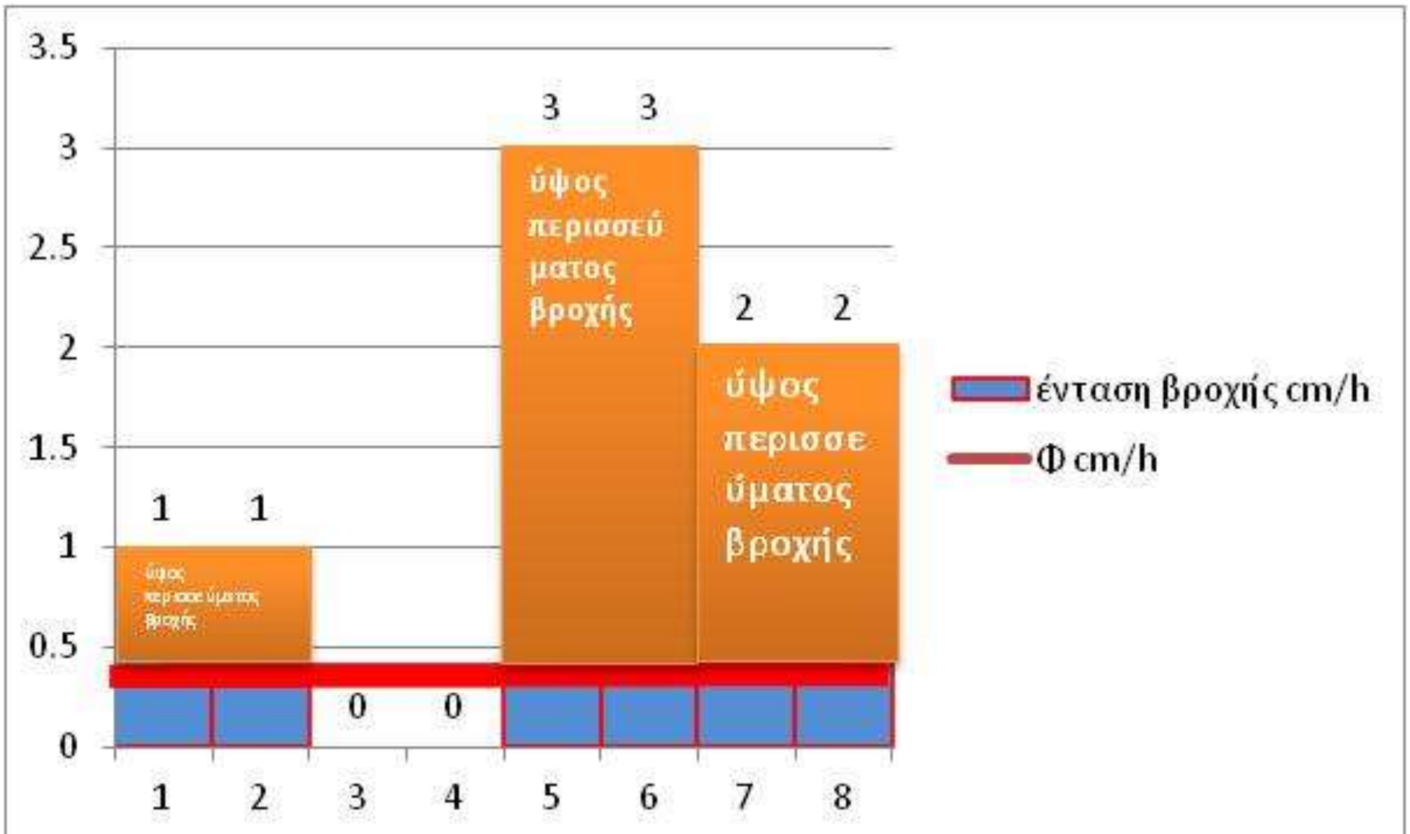
i_e=10-Φ=6 mm/hr

Μοναδιαίο 1 ώρας, i_e=10/1=10 mm/hr

$i_{(0\text{-}2)}$=(80-20)/2=30 mm/hr

i_e=30-Φ=26 mm/hr

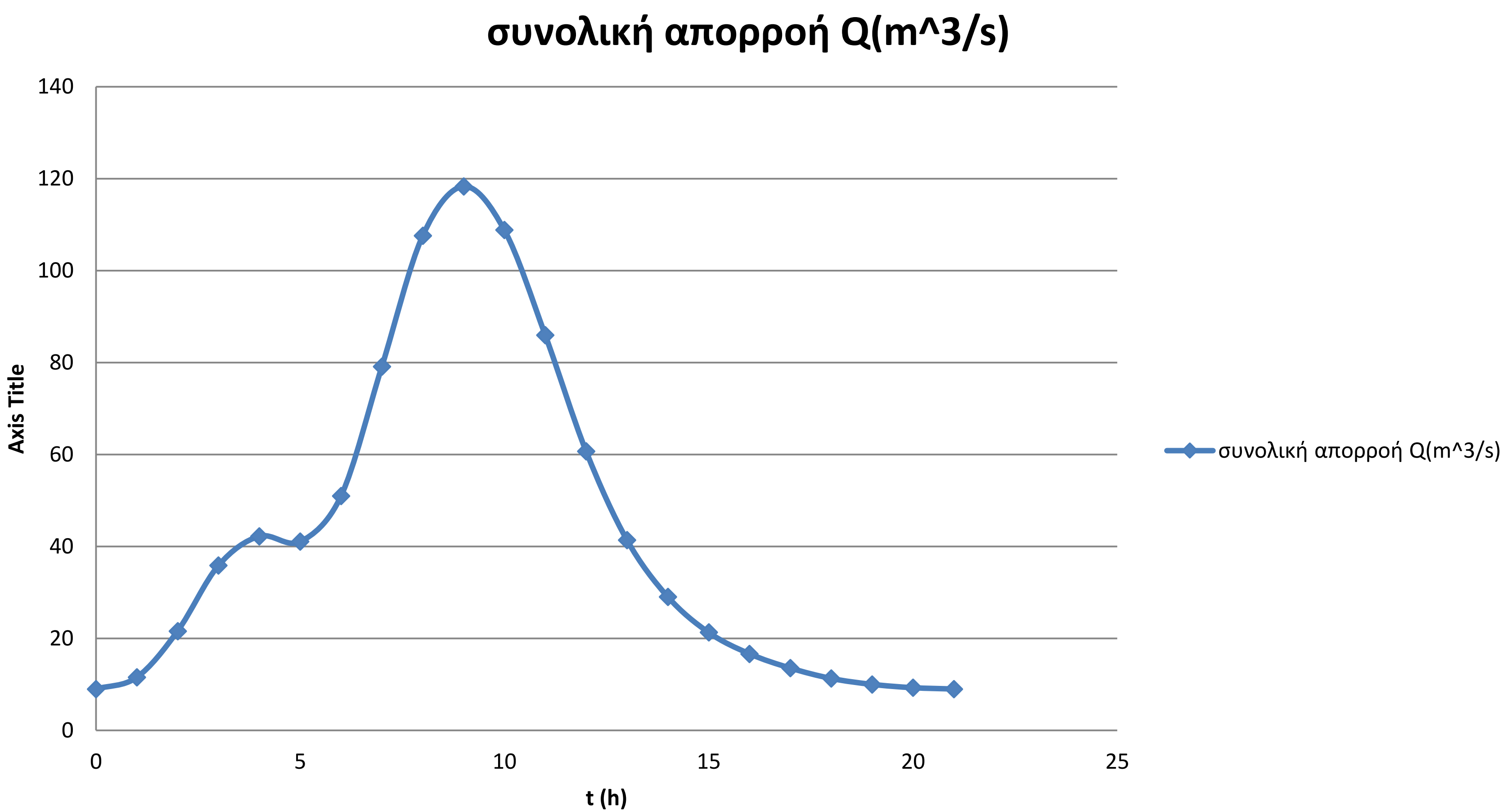
- Αφού κατασκευάσω το υετόγραμμα τότε με φάση το δείκτη Φ προσδιορίζω το περίσσευμα βροχής (εμβαδό υετογράμματος πάνω από το δείκτη φ, πορτοκαλί χρώμα)



Μονο αυτές οι τιμές αθροίζονται όχι το μοναδιαίου που υπάρχει απλά για βοηθητικούς λόγους

Χρόνος (h)	μυγ	1 ωρα	2 ωρα	3 ωρα	4 ωρα	5 ωρα	6 ωρα	7 ωρα	8 ωρα		αμεση απορροή	βασική απορροή	t (h)	συνολική απορροή Q(m^3/s)
0	0	0									0	9	0	9
1	1.59	0.954	0								0.954	9	1	9.954
2	7.28	4.368	0.954	0							5.322	9	2	14.322
3	14.06	8.436	4.368	0	0						12.804	9	3	21.804
4	15.49	9.294	8.436	0	0	0					17.73	9	4	26.73
5	11.64	6.984	9.294	0	0	4.134	0				20.412	9	5	29.412
6	7.45	4.47	6.984	0	0	18.928	4.134	0			34.516	9	6	43.516
7	4.77	2.862	4.47	0	0	36.556	18.928	2.544	0		65.36	9	7	74.36
8	2.93	1.758	2.862	0	0	40.274	36.556	11.648	2.544		95.642	9	8	104.642
9	1.8	1.08	1.758	0	0	30.264	40.274	22.496	11.648		107.52	9	9	116.52
10	1.13	0.678	1.08	0	0	19.37	30.264	24.784	22.496		98.672	9	10	107.672
11	0.69	0.414	0.678	0	0	12.402	19.37	18.624	24.784		76.272	9	11	85.272
12	0.45	0.27	0.414	0	0	7.618	12.402	11.92	18.624		51.248	9	12	60.248
13	0.18	0.108	0.27	0	0	4.68	7.618	7.632	11.92		32.228	9	13	41.228
14	0	0	0.108	0	0	2.938	4.68	4.688	7.632		20.046	9	14	29.046
15			0	0	0	1.794	2.938	2.88	4.688		12.3	9	15	21.3
16				0	0	1.17	1.794	1.808	2.88		7.652	9	16	16.652
17					0	0.468	1.17	1.104	1.808		4.55	9	17	13.55
18						0	0.468	0.72	1.104		2.292	9	18	11.292
19							0	0.288	0.72		1.008	9	19	10.008
20								0	0.288		0.288	9	20	9.288
21									0		0	9	21	9

Σύνθετες βροχοπτώσεις, προσοχή στη μέγιστη τιμή και την ώρα, απρόβλεπτη



Προσδιορισμός Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

- Αν υπάρχουν δεδομένα (αντικειμενικές δυσκολίες+ έλλειψη υδρολογικών δεδομένων στον Ελληνικό χώρο), επιλύω ένα σύστημα (βλπ εφαρμογή, εντός ύλης). Πιο γενικά, επιλύοντας ένα πρόβλημα γραμμικής παλινδρόμησης (εκτός ύλης).
- Αν δεν υπάρχουν δεδομένα, έχει καθιερωθεί να χρησιμοποιηθούν τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα από τη βιβλιογραφία. Δυστηχώς, τα δεδομένα προέρχονται από τις Ηνωμένες Πολιτείες και όχι π.χ. από το Μεσογειακό χώρο:
    - Μέθοδος SCS
    - Μέθοδος SNYDER

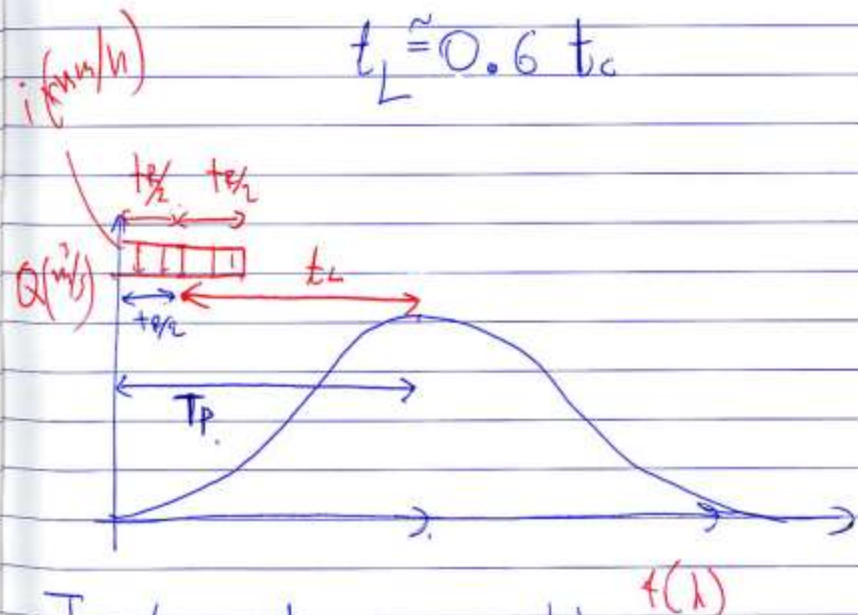
Χρόνος συγκέντρωσης ≠ Χρόνος υστέρησης

t_c t_L

Χρόνος που χρ. το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης να συμβάλλει στην έξοδο

μ. βάρος ενεργού βροχής με μ. βάρος υδρογραφήματος ≈ μέσος χρόνος βροχής με χρόνο αιχμής πλημμύρας

$$t_L \cong 0.6\, t_c$$



T_p: Χρόνος μέχρι την αιχμή από την αρχή του επεισοδίου $= t_{r/2} + t_L = T_p$.

SCS

$$t_L = 0.60\, t_c$$

$$t_L = \frac{L_d^{0.8}(S + 2.54)^{0.7}}{14104\sqrt{S_d}}$$

L_d: υδραυλικό μήκος λεκάνης απορροής κύριας.

S_d: μέση κλίση κατά την πορεία του ρεύματος

$S = 2540/CN - 25.4$ [cm]

Snyder

$$t_L = 0.752\, C_t\, (L\ L_c)^{0.3}$$

Προσδιορισμός μοναδιαίου
α. επίλυση συστήματος

Β. Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα

- Δύο μέθοδοι: Snyder και SCS
- Snyder και SCS αντιστοιχούν σε (ενεργό) βροχή συγκεκριμένης διάρκειας t_r. Ωστόσο, η μέθοδος Snyder προσαρμόζεται πιο εύκολα σε διάρκεια βροχής t_R.
- Προσδιορίζεται η μέγιστη απορροή με βάση τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης κύρια, την έκταση της λεκάνης και το χρόνο υστέρησης.
- Υποτίθεται μία κατανομή της παροχής στο χρόνο

Συνθετικό μοναδιαίο κατά Snyder

tp
Χρόνος υστέρησης
(επιβράδυνσης)
≈
Χρόνος μεταξύ κέντρου βάρους βροχής και μέγιστης απορροής

Μέθοδος SNYDER

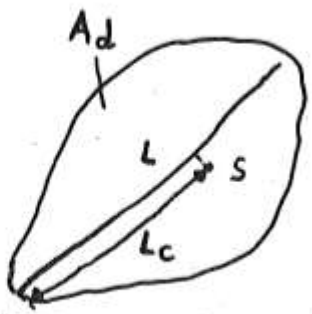
t_L , χρόνος υστέρησης (αντί tp)

$$\boxed{t_p = 0.752\, C_t\, (L L_c)^{0.3}}$$

tr, χρόνος βροχής αρχικού μοναδιαίου Κατά Snyder

L : [km] L_c : [km] t_p : [ώρες]

$C_t = 1.8$ έως 2.2 (εξαρτάται από την κλίση της λεκάνης απορροής)



S : κέντρο βάρους της λεκάνης απορροής

Έξοδος λεκάνης απορροής

Χρόνος βροχής, tr, έλεγχος, ισχύει η ισότητα?, διαφορετικά:

$$\boxed{t_r = \frac{t_p}{5.5}}$$

t_r : διάρκεια βροχόπτωσης [ώρες]

Στις παραπάνω εξισώσεις:

L = μήκος κυρίου υδατορεύματος από το πιο απομεμακρυσμένο σημείο ως την έξοδο ακολουθώντας το κύριο ρεύμα (Km)

L_c = μήκος του κυρίου υδατορεύματος από το πλησιέστερο στο κέντρο βάρους της λεκάνης μέχρι την έξοδο (Km)

C_t = συντελεστής που αντιπροσωπεύει τα τοπογραφικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης (κυμαίνεται από 1.80 μέχρι 2.20). Για λεκάνες με μεγάλες κλίσεις η τιμή του C_t τείνει στη χαμηλώτερη τιμή

C_p = συντελεστής που αντιπροσωπεύει τις συνθήκες μεταφοράς του πλημμυρικού κύματος και της αποθήκευσης της λεκάνης (κυμαίνεται από 0.56 μέχρι 0.69)

A = έκταση της λεκάνης (Km^2)

Αν το ζητούμενο ΜΥΓ έχει διάρκεια t' ...

Χρόνος Επιβράδυνσης

Η μέθοδος Snyder αναπτύχθηκε κατόπιν εμπεριστατωμένης μελέτης μεγάλου αριθμού υδρογραφημάτων των Λεκανών απορροής της περιοχής των Αππαλαχίων ορέων της Β. Αμερικής. Από την μελέτη αυτή προέκυψε η κατωτέρω σχέση προσδιορισμού της χρονικής επιβραδύνσεως της Λεκάνης απορροής

$$t_L = 0.752\ C_t\ (L\ L_c)^{0.3} \qquad (7.24)$$

όπου t_L = η χρονική επιβράδυνση (υστέρηση), [hr], L = το μήκος, [km], από την έξοδο της Λεκάνης απορροής μέχρι του απώτατου σημείου αυτής μετρούμενο κατά μήκος του κυρίου ρεύματος, L_c = το μήκος, [km], από την έξοδο της Λεκάνης απορροής μέχρι το πλησιέστερο προς το κέντρο βάρους της σημείο, το οποίο κείται επί του κυρίου ρεύματος, μετρούμενο κατά μήκος του κυρίου ρεύματος και C_t = συντελεστής κυμαινόμενος από 1.8 μέχρι 2.2, με την μικρότερη τιμή εφαρμοζόμενη σε Λεκάνες απορροής σχετικώς μεγάλης κλίσεως.

Έλεγχος

Χρόνος βροχής
που ψάχνω

- Εάν $t_R \neq t_r$ (όπου t_R: διάρκεια περισσεύματος βροχόπτωσης ΜΥΓ),

τότε:

t_{LR} (αντί tpR)
'άλλος συμβολισμός

$$\boxed{t_{pR} = t_p + 0.25\,(t_R - t_r)}$$

t_L , χρόνος υστέρησης (αντί tp)
Συμβολισμός Σακκά

t_{pR} : [ώρες]

$t_{pR} \rightarrow Q_{pR}$ $\qquad$ $t_{pR} \rightarrow T_R$

Έλεγχος

Για επιθυμητή διάρκεια του ΜΥΓ (ήτοι διάρκεια του περισσεύματος βροχοπτώσεως) t_R, διαφορετική από την διάρκεια t_r την οποία παρέχει η Εξ. 7.25, η χρονική επιβράδυνση t_{LR}, [hr], υπολογίζεται με την σχέση

$$t_{LR} = t_L + 0.25\,(t_R - t_r) \qquad (7.27)$$

οι δε αντίστοιχες μεταβλητές U_{pR} και T_R δίδονται, αντιστοίχως, από τις Εξ. 7.26α,β εάν σε αυτές εισαχθεί η τιμή t_{LR} αντί της τιμής t_L, ήτοι

Για tr=tL/5.5

$$\boxed{Q_p = 2.78 \frac{C_p A_d}{t_p}}$$

Q_p : [m^3/s] t_p : [ώρες]

A_d : έκταση της λεκάνης απορροής [km^2]

$C_p = 0.56$ έως 0.69 (εξαρτάται από τις συνθήκες αποθήκευσης στην λεκάνη απορροής)

$$\boxed{T = 3 + \frac{t_p}{8}}$$ ⇒ ικανοποιητικά αποτελέσματα για μεγάλες λεκάνες απορροής

T : [ημέρες] t_p : [ώρες]

$$\boxed{T = 3t_p \text{ έως } 5t_p}$$ ⇒ για μικρές λεκάνες απορροής

Αιχμή

$$U_{pR} = 2.778\ C_p\ A_d\ /\ t_{LR}, \qquad T_R = 3 + t_{LR}\ /\ 8 \qquad (7.28\alpha,\beta)$$

Τα πλάτη του ΜΥΓ W_{50} και W_{75} παρέχονται από τις σχέσεις

$$W_{50} = \frac{2.143}{q_{pR}^{1.08}}, \qquad W_{75} = \frac{1.225}{q_{pR}^{1.08}} \qquad (7.29\alpha,\beta)$$

όπου W_{50}, W_{75} = το πλάτος του ΜΥΓ, [hr], σε ύψος, αντιστοίχως, 50% και 75% της παροχής αιχμής και $q_{pR} = U_{pR} / A_d$ είναι η παροχή αιχμής του ΜΥΓ ανά μονάδα επιφάνειας της Λεκάνης απορροής, [m^3/s.cm.km^2]. Τα πλάτη αυτά πρέπει να λαμβάνονται κατά τρόπον ώστε το 1/3 αυτών να ευρίσκεται αριστερά και τα 2/3 δεξιά της τετμημένης της αιχμής.

Διαφορετικά: (σύνηθες)

t_{LR} (αντί tpR) 'άλλος συμβολισμός

- Εάν $t_R \neq t_r$ (όπου t_R: διάρκεια περισσεύματος βροχόπτωσης ΜΥΓ), τότε:

$$\boxed{t_{pR} = t_p + 0.25\,(t_R - t_r)}$$

t_{pR} : [ώρες]

$t_{pR} \rightarrow Q_{pR}$

$t_{pR} \rightarrow T_R$

$$\boxed{Q_p = 2.78\,\frac{C_p A_d}{t_p}}$$

$$\boxed{T = 3 + \frac{t_p}{8}}$$

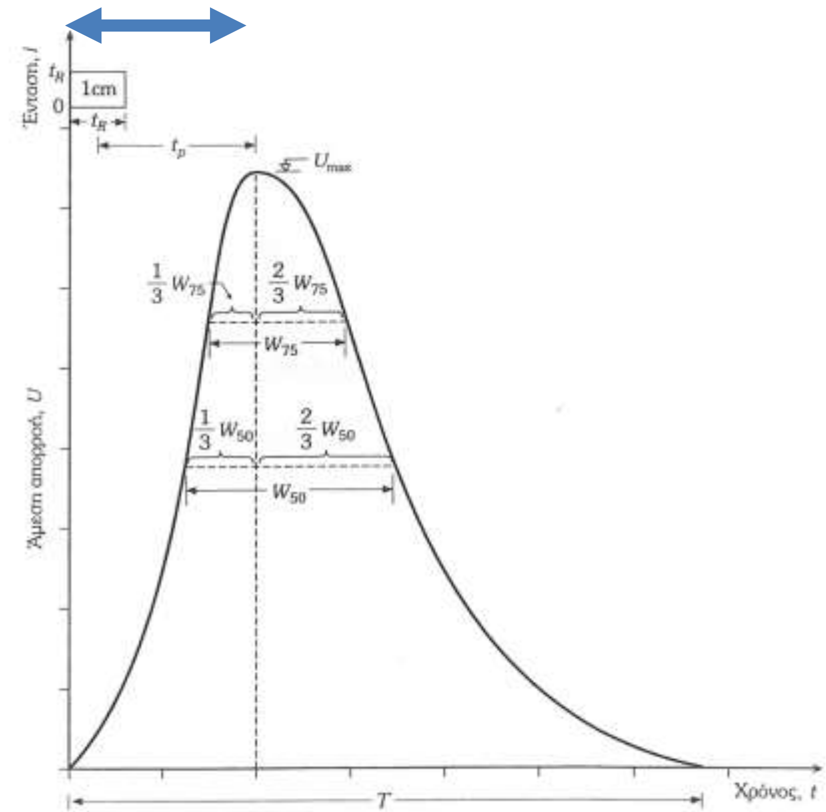
⇒ ικανοποιητικά αποτελέσματα για μεγάλες λεκάνες απορροής

T : [ημέρες] t_p : [ώρες]

$$\boxed{W_{50} = \frac{2.143}{q_{pR}^{1.08}}} \qquad \boxed{W_{75} = \frac{1.225}{q_{pR}^{1.08}}} \qquad [\text{ώρες}]$$

$$q_{pR} = Q_{pR} / A_d \qquad [m^3/s \cdot km^2]$$

Χρόνος αιχμής



Σχ. 11.13: *Προσδιορισμός του ΜΥΓ κατά Snyder.*

Μεθοδολογία συνθετικού μοναδιαίου κατά Snyder

- Προσδιορισμός χρόνου υστέρησης
- Προσδιορισμός χρόνου (ενεργούς) βροχής κατά Snyder: $t_r = t_L/5.5$
- Έλεγχος: Το μοναδιαίο που ψάχνω σε διάρκεια (ενεργούς) βροχής αντιστοιχεί, tR? Αν tr ≠ t_R, διορθώνω απλά το χρόνο υστέρησης: t_{LR}
- Προσδιορίζω την αιχμή
- Προσδιορίζω την κατανομή

Παράδειγμα υπολογισμού ΜΥΓ κατά Snyder

Δίδονται :

- Εμβαδόν λεκάνης απορροής $A_d = 360\ km^2$
- Μήκος κυρίου ρεύματος $L = 26\ km$
- Απόσταση κέντρου βάρους της λεκάνης από την έξοδό της $L_c = 10\ km$
- Συντελεστές $C_t = 2$ και $C_p = 0.62$

Να υπολογισθεί το ΜΥΓ διαρκείας $t_R = 3$ ώρες

Λύση

Απαιτούνται για την κατασκευή του ΜΥΓ :

- Χρονική βάση T
- Χρονική επιβράδυνση t_p
- Παροχή αιχμής Q_p
- Τα πλάτη W_{50} και W_{75} σε ύψη 50% και 75% της αιχμής του ΜΥΓ

Χρόνος υστέρησης έλεγχος

t_L , χρόνος υστέρησης (αντί tp) συμβολισμός Σακκά

- $t_p = 0.752\, C_t\, (L L_c)^{0.3} = 0.752 \times 2 \times (26 \times 10)^{0.3} = 7.98$ hr

για διάρκεια βροχής $t_r = \dfrac{t_p}{5.5} = \dfrac{7.98}{5.5} = 1.45$ hr

$$t_r = 1.45 \neq 3 = t_R$$

- $t_{pR} = t_p + 0.25\,(t_R - t_r) = 7.98 + 0.25\,(3 - 1.45) = 8.37$ hr

για διάρκεια βροχής $t_R = 3$ ώρες

Χρόνος υστέρησης+ μισός χρόνος ενεργούς βροχής =χρόνος αιχμής

- Η αιχμή του ΜΥΓ εμφανίζεται

$$t_{pR} + \frac{1}{2} t_R = 8.37 + 1.50 = 9.87 \simeq 10 \ hr$$

μετά την έναρξη της βροχής

t_{LR} (αντί tpR) ‘άλλος συμβολισμός

- $$Q_{pR} = 2.78 \frac{C_p A_d}{t_{pR}} = 2.78 \frac{0.62 \times 360}{8.37} = 74.13 \ m^3/s$$

$$0.50\, Q_{pR} = 37.1 \ m^3/s$$

$$0.75\, Q_{pR} = 55.6 \ m^3/s$$

- $$T_R = 3 + \frac{t_{pR}}{8} = 3 + \frac{8.37}{8} = 4.05 \simeq 4 \text{ ημέρες}$$

T_R πολύ μεγάλο για τη θεωρούμενη λεκάνη απορροής

Γι' αυτό $\quad T_R = 4\, t_{pR} = 4 \times 8.37 = 33.48 \ hr \simeq 33 \ hr$

- $q_{PR} = Q_{PR} / A_d = 74.13/360 = 0.206 \quad m^3/s \cdot km^2$

$$W_{50} = \frac{2.143}{q_{PR}^{1.08}} = \frac{2.143}{0.206^{1.08}} = 11.80 \text{ hr}$$

$$W_{75} = \frac{1.225}{q_{PR}^{1.08}} = \frac{1.225}{0.206^{1.08}} = 6.75 \text{ hr}$$

$\frac{1}{3} W_{50} = 3.93 \text{ hr}$ $\qquad$ $\frac{2}{3} W_{50} = 7.87 \text{ hr}$

$\frac{1}{3} W_{75} = 2.25 \text{ hr}$ $\qquad$ $\frac{2}{3} W_{75} = 4.50 \text{ hr}$

Μοναδιαίο κατά SCS

Μέθοδος SCS

- Αντιστοιχεί σε χρόνο βροχής, t_r (περίπου. +-25%) 0.133 t_c
- Υπολογίζω το χρόνο υστέρησης
- Υπολογίζω το μέγιστο (συνάρτηση μόνο της λεκάνης και του χρόνου υστέρησης!)
- Μπορώ να ακολουθήσω τριγωνικό υδρογράφημα ή εναλλακτικά, το αδιάστατο της SCS
- Αν ο χρόνος βροχής είναι διάφορος τότε η μόνη λύση είναι να εφαρμόσω τις μεθοδολογίες αναλογίας και επαλληλίας του μοναδιαίου

Μέθοδος SCS

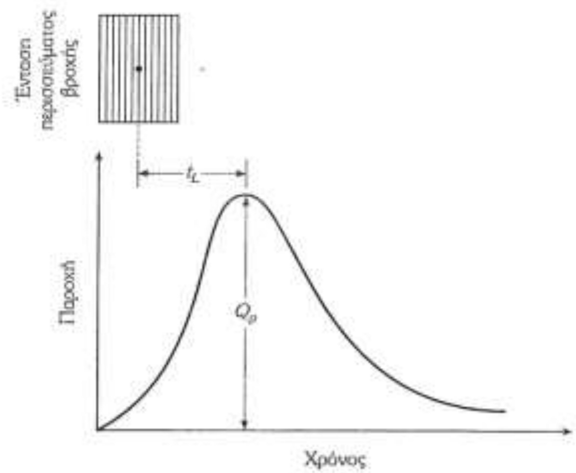
$$t_L = \frac{L^{0.8}(2540 - 22.86 \cdot CN)^{0.7}}{1410 \cdot CN^{0.7} \cdot I_m^{0.5}} \tag{6.32}$$

όπου: t_L ο χρόνος (h)

CN ο αριθμός καμπύλης

L το ανάπτυγμα της μέγιστης διαδρομής (m)

I_m η μέση κλίση της λεκάνης σε ποσοστό.



Σχ. 6.3: *Ο χρόνος υστέρησης t_L.*

Υπολογιστικά πακέτα όπως το HEC δέχονται ότι ο χρόνος υστέρησης t_L συνδέεται με τον χρόνο συγκέντρωσης t_c

$$t_c = \frac{5}{3} \cdot t_L \tag{6.33}$$

Αιχμή μοναδιαίου, Up

Σακκάς, Τεχνική Υδρολογία

$$t_p = \frac{t_R}{2} + t_L, \qquad U_p = \frac{25}{12}\frac{A_d}{t_p} \qquad (7.18\alpha,\beta)$$

όπου t_p = ο χρόνος εμφανίσεως της αιχμής, [hr], ήτοι το χρονικό διάστημα το οποίο μεσολαβεί μεταξύ της ενάρξεως της άμεσης απορροής και της εμφανίσεως της παροχής αιχμής της απορροής, t_R = η διάρκεια του περισσεύματος βροχοπτώσεως, [hr], t_L = ο χρόνος υστερήσεως (ή επιβράδυνσης) της Λεκάνης απορροής, [hr], ο οποίος κανονικώς ορίζεται ως ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ του κέντρου βάρους της βροχοπτώσεως και του κέντρου βάρους της απορροής. Επειδή όμως ο προσδιορισμός του δευτέρου είναι δυσχερής, αντικαθίσταται από την αιχμή του υδρογραφήματος της απορροής. U_p = η παροχή της αιχμής του ΜΥΓ, [m^3/s.cm], A_d = το εμβαδόν της Λεκάνης απορροής, [km^2].

Ο χρόνος υστερήσεως της Λεκάνης απορροής παρέχεται από την εμπειρικώς προσδιορισθείσα σχέση

$$t_L = 0.60\ t_c \qquad (7.19)$$

όπου t_c = ο χρόνος συγκεντρώσεως της Λεκάνης απορροής, [hr],

Αδιάστατο υδρογράφημα μοναδιαίο κατά SCS

Πίν. 6.2: *Αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS*

t/t_p	U/U_p
0	0
0.1	0.030
0.2	0.100
0.3	0.190
0.4	0.310
0.5	0.470
0.6	0.660
0.7	0.820
0.8	0.930
0.9	0.990
1.0	1.000
1.1	0.990
1.2	0.930
1.3	0.860
1.4	0.780
1.5	0.680
1.6	0.560
1.7	0.460
1.8	0.390
1.9	0.330
2.0	0.280
2.2	0.207
2.4	0.147
2.6	0.107
2.8	0.077
3.0	0.055
3.2	0.040
3.4	0.029
3.6	0.021
3.8	0.015
4.0	0.011
4.5	0.005
5.0	0

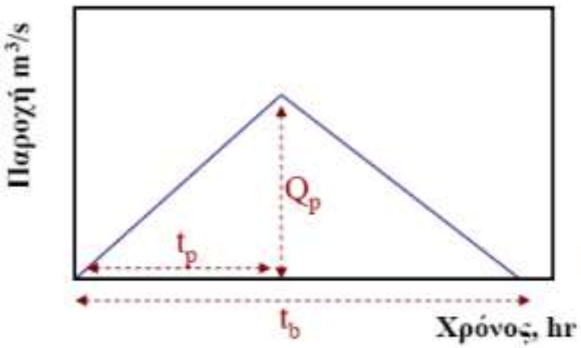
Χρόνος βροχής κατά SCS

Συνεπώς γνωρίζοντας U_p και t_p μπορούμε να υπολογίσουμε το ΜΥΓ της SCS που αντιστοιχεί σε διάρκεια περισσεύματος $\boxed{0.133 \cdot t_c.}$ Αν χρειάζεται το ΜΥΓ άλλης διάρκειας περισσεύματος πρέπει να ακολουθηθεί η γνωστή διαδικασία μετατροπής.

Τσακίρης και Βαγγέλης, 2010

Συνθετικό ΜΥΓ
Μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας

Υπολογισμός ΜΥΓ 1h



$$t_p = \frac{46.6 \cdot L^{0.14}}{S_{0.1L-0.85L}^{0.38} \cdot (1+URBAN)^{1.99} \cdot RMSD^{0.4}}$$

$$t_b = 2.52 \cdot t_p$$

10 mm * A km^2 = 0.5*t_b hr*Q_p [m^3/sec]

Q_p m3/sec=0.01 m * A * 10^6 m^2/(0.5*2.52*tp*3600 sec)

$$Q_p = 2.2 \cdot \frac{A}{t_p}$$

t_p:	χρόνος ανόδου [hr]
Q_p:	παροχή αιχμής [m^3/sec]
t_b:	χρόνος βάσης [hr]
L:	μήκος κύριας μισγάγγειας [km]
$S_{0.1*L-0.85*L}$:	μέση κλίση υδατορεύματος μεταξύ σημείων στο 10% και 85% του μήκους του [m/km]
URBAN:	αναλογία των αστικών περιοχών στη λεκάνη απορροής
RMSD:	παράμετρος μεγέθους βροχόπτωσης [mm] (πρακτικά: το ύψος 24h βροχόπτωσης που αντιστοιχεί σε T=5 έτη)
A:	έκταση της λεκάνης απορροής [km^2]

Λουκάς, 2021