



**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

# **ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ**

**Ενότητα 8:** Υδρογραφήματα - Μοναδιαίο Υδρογράφημα  
– Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα

**Καθ. Αθανάσιος Λουκάς**

Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

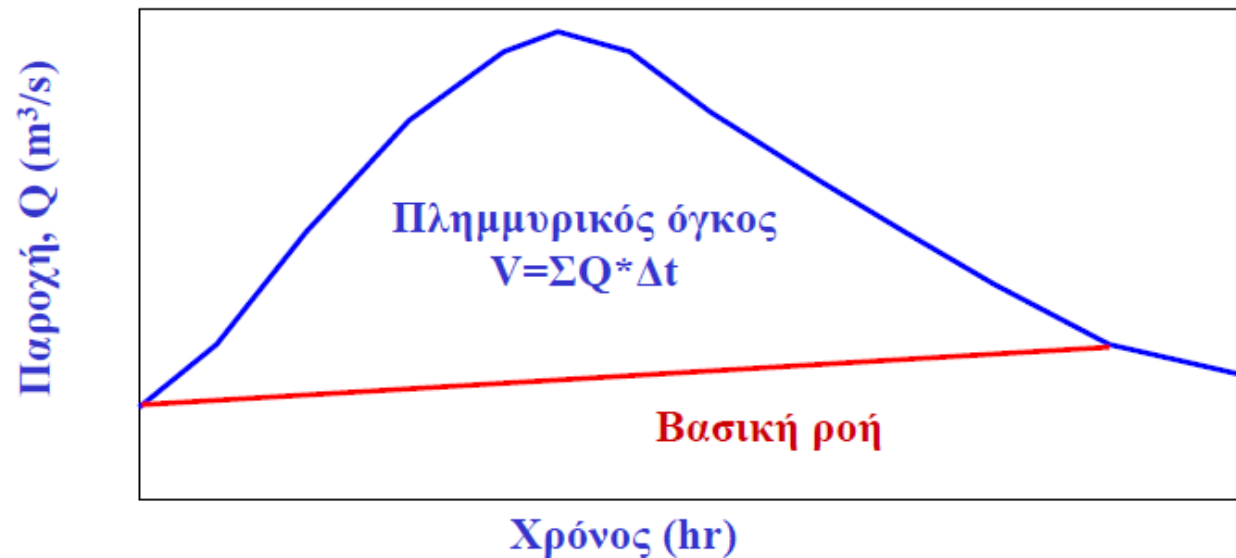
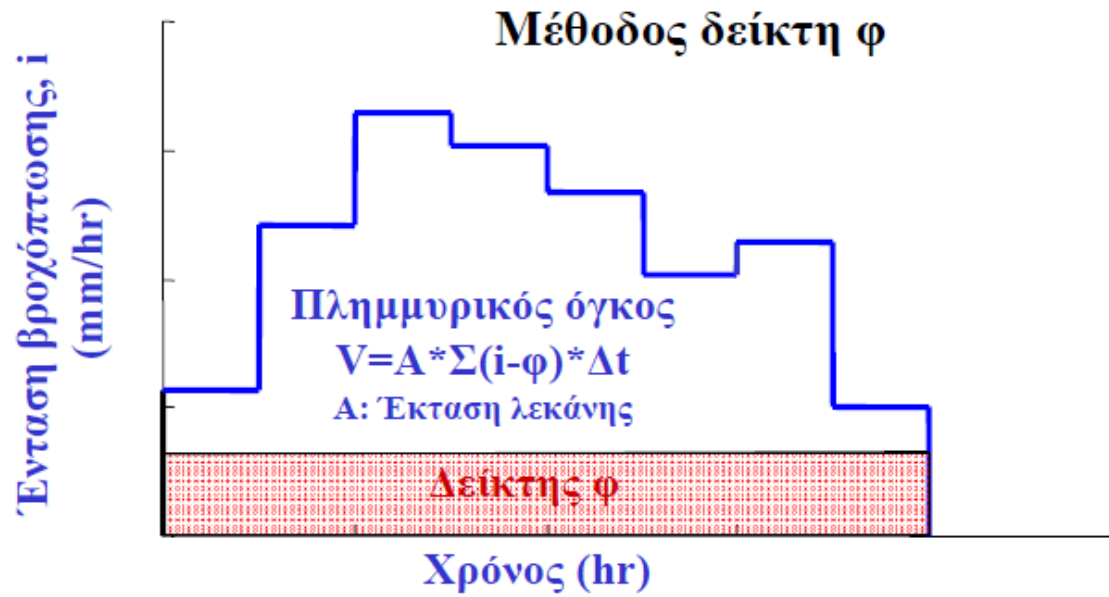
Πολυτεχνική Σχολή

# 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.



# ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΛΛΕΙΜΑΤΩΝ

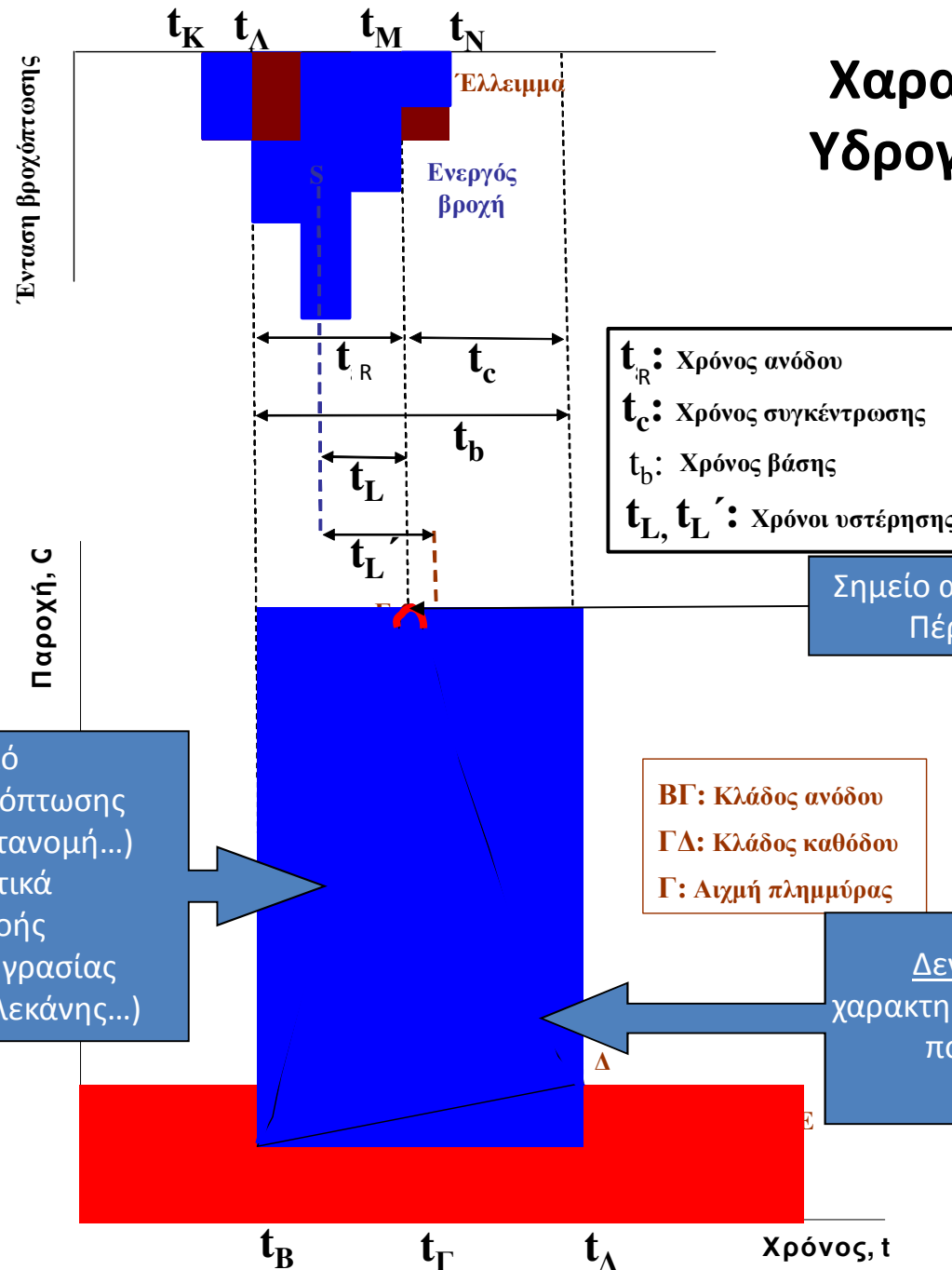


# Υδρογραφήματα

- Η γραφική παράσταση της απορροή σε μία διατομή υδατορεύματος συναρτήσσει του χρόνου καλείται **υδρογράφημα**.
- **Πλημμύρα** ➡ το γεγονός κατά το οποίο η άμεση απορροή είναι τόσο σημαντική, ώστε η συνολική παροχή να υπερβαίνει τη διοχετευτική ικανότητα του υδατορεύματος κατακλύζοντας τις γύρω περιοχές (με όλες τις δυσμενείς συνέπειες)
- Τα υδρογραφήματα των πλημμυρών (απορροών που αποτελούνται κυρίως από επιφανειακή απορροή) ➡ **πλημμυρογράφηματα** (περιλαμβάνουν και την άμεση και τη βασική απορροή, και συνήθως απαιτείται διαχωρισμός των απορροών).



# Χαρακτηριστικά Υδρογραφήματος



# Χρόνοι πλημμυρογραφήματος

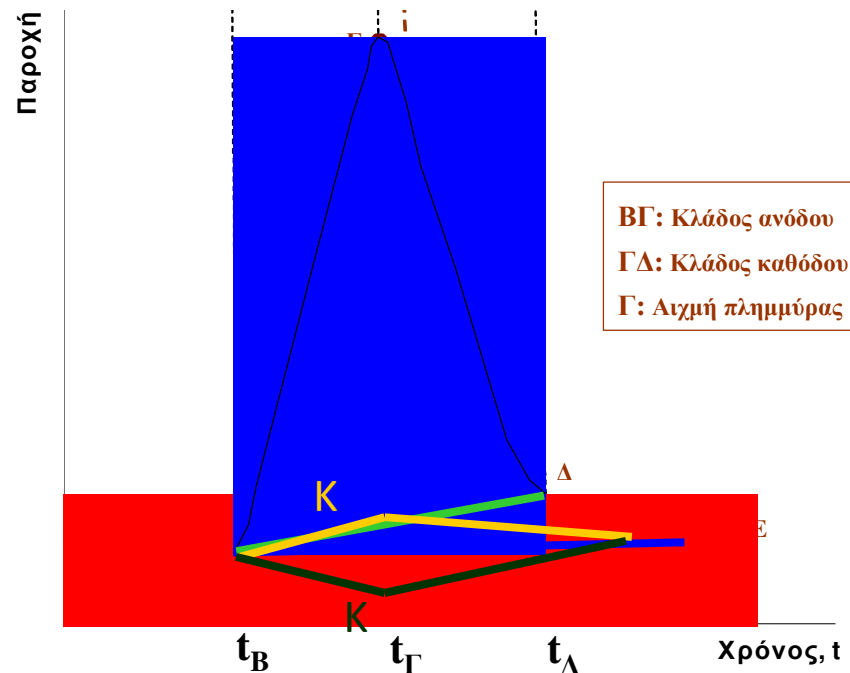
- **Χρόνος συγκέντρωσης ( $t_c$ ):** ο χρόνος που χρειάζεται μια σταγόνα νερού για να διανύσει την απόσταση από το πλέον απομακρυσμένο υδραυλικά σημείο της λεκάνης απορροής μέχρι την έξοδό της, ρέοντας επιφανειακά και μέσω του συστήματος των υδατορευμάτων.
- **Χρονική βάση ΥΓ:** η περίοδος κατά την οποία λαμβάνει χώρα επιφανειακή απορροή από τη θεωρούμενη διατομή του ρεύματος. Η αρχή της περιόδου συμπίπτει με την αρχή του ανιόντος σκέλους (και συνήθως με την έναρξη της βροχόπτωσης) και η διάρκειά της δίνεται από τη σχέση:  $T = t_R + t_c$ , όπου  $t_R$  η διάρκεια της καθαρής βροχόπτωσης και  $t_c$  ο χρόνος συγκέντρωσης για τη θεωρούμενη λεκάνη 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 Β // με τον άξονα των χρόνων, ή θεωρώντας σημείο Κ, ή ενώνοντας το Β με το Δ (πιο ρεαλιστικό).



- Ανάπτυξη άλλων προσεγγίσεων κυρίως γραφικών.



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## ΘΕΩΡΙΑ

- Η **θεωρία** του **μοναδιαίου υδρογραφήματος** είναι εφαρμογή της **θεωρίας συστημάτων** στην Υδρολογία. Το **σύστημα** είναι η λεκάνη απορροής που μετατρέπει την βροχή που δέχεται σε απορροή. Επειδή το μοντέλο αυτό της λεκάνης απορροής δεν περιγράφει με λεπτομέρεια τις διεργασίες που μετατρέπουν την βροχή (**είσοδος**) σε απορροή (**έξοδος**) το αποκαλούμε προσομοίωμα (μοντέλο) **μαύρου κουτιού**.

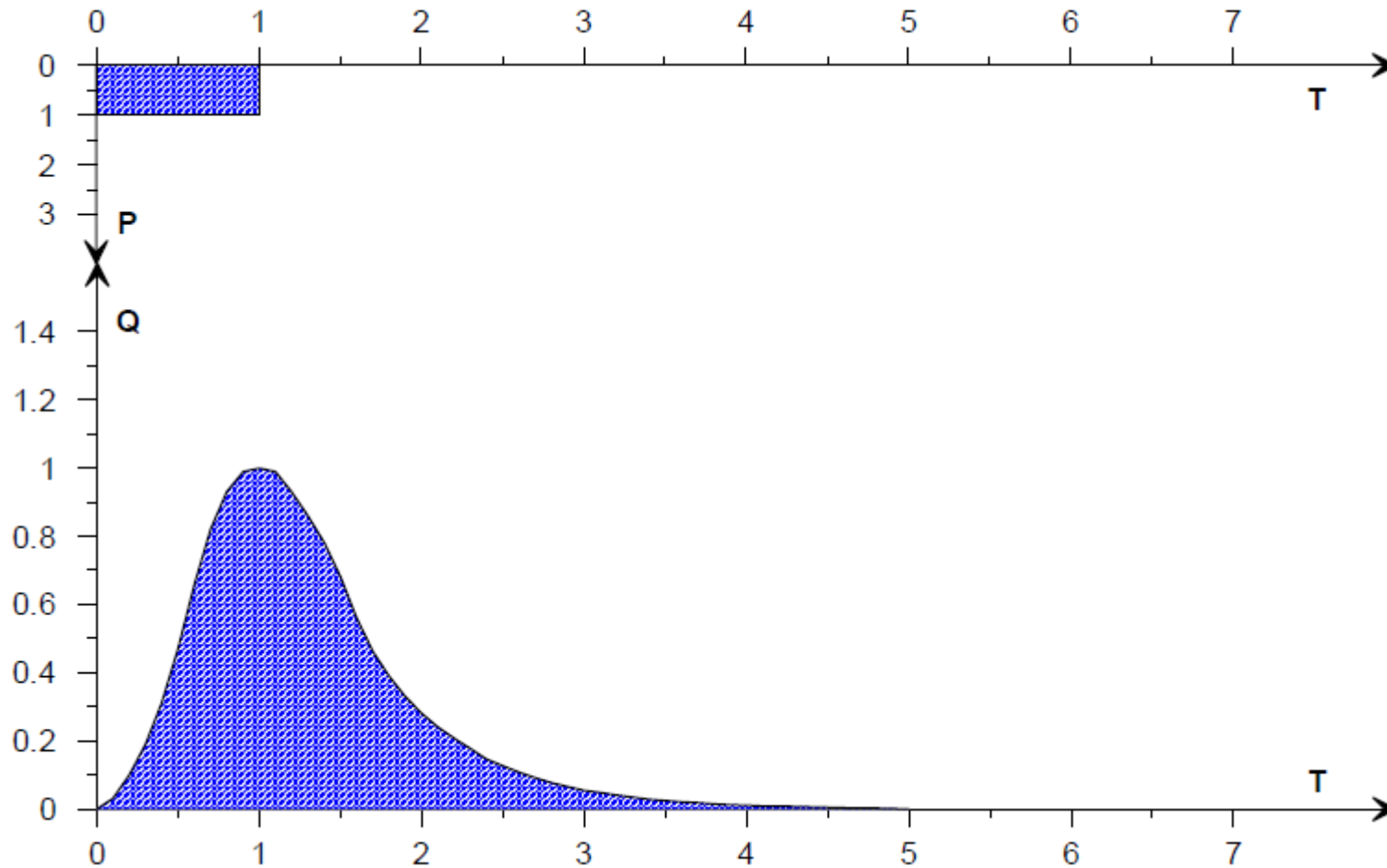




# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## ΘΕΩΡΙΑ

Μοναδιαίο υδρογράφημα  $Q(t)$  που αντιστοιχεί σε μια μοναδιαία βροχή  $P(t)$ , για μια δεδομένη λεκάνη απορροής



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## ΘΕΩΡΙΑ

- Ένα βήμα πιο πέρα από την έννοια του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η έννοια του **στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος** που προκύπτει εάν η διάρκεια της μοναδιαίας βροχής που παράγει το υδρογράφημα τείνει προς το μηδέν, τείνει δηλαδή η βροχή να μετατραπεί σε ένα παλμό Dirac (συνάρτηση  $\delta(t)$ , όπου  $\delta \rightarrow +\infty$ , με  $t \rightarrow 0$ ). Το Μ.Υ. και το Σ.Μ.Υ. μπορούν να παρασταθούν μαθηματικά από ένα **συνελικτικό γινόμενο**:

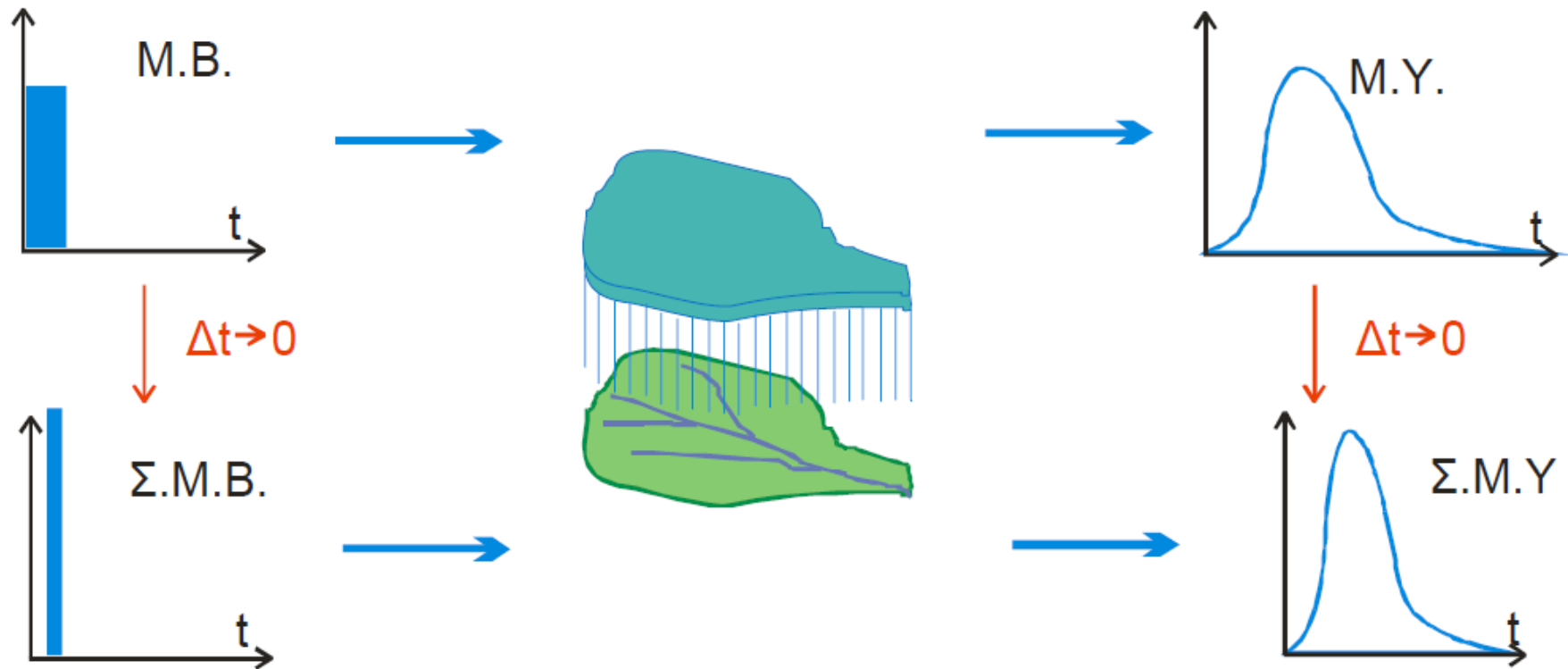
$$Q(t) = P(t) * v(t) = \int P(\tau) \cdot v(t - \tau) d\tau \quad (\text{Μ.Υ.})$$

$$O(t) = \int_0^{\infty} h(\tau) \delta(t - \tau) d\tau = h(t) \quad (\text{Σ.Μ.Υ.})$$



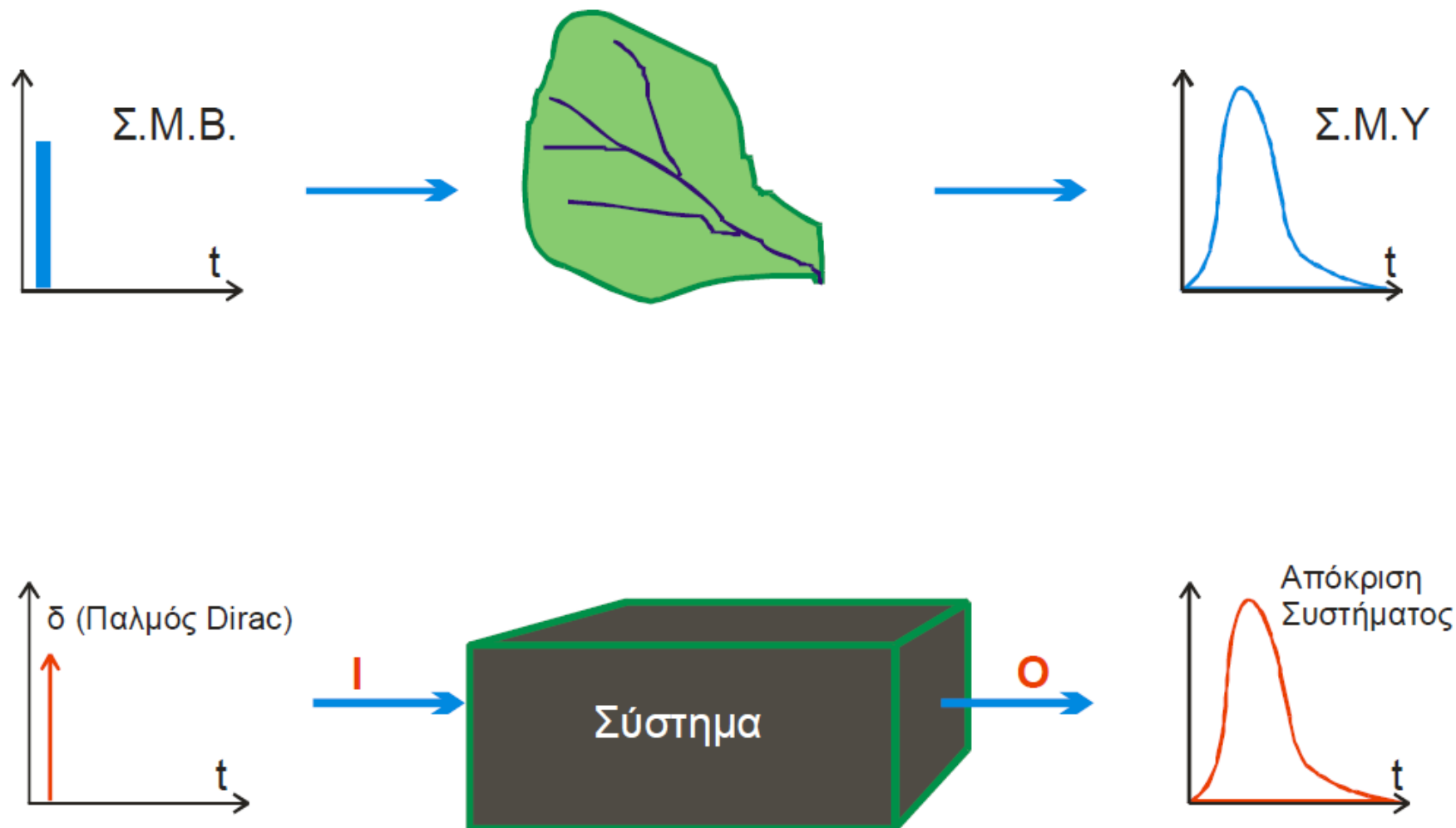
# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Θεωρία του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος και του μοναδιαίου υδρογραφήματος.



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Εφαρμογή της θεωρίας συστημάτων στην λεκάνη απορροής  
(στιγματικό μοναδιαίο υδρογράφημα)



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## ΘΕΩΡΙΑ

$$Q(t) = P(t) * u(t) = \int P(\tau) \cdot u(t - \tau) d\tau \quad (\text{Μ.Υ.})$$

$$O(t) = \int_0^{\infty} h(\tau) \delta(t - \tau) d\tau = h(t) \quad (\text{Σ.Μ.Υ.})$$

όπου:

$Q(t)$  είναι το υδρογράφημα απορροής

$P(t)$  είναι η βροχή που προκαλεί το υδρογράφημα

$u(t)$  είναι το μοναδιαίο υδρογράφημα

$O(t)$  είναι ή έξοδος του συστήματος

$\delta(t)$  παλμός Dirac (είσοδος του συστήματος)

$h(t)$  είναι το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα

(παλμική απόκριση του συστήματος (λεκάνη απορροής))



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

- Το ΥΓ της **άμεσης απορροής** που προέρχεται από **ενεργό βροχόπτωση** συγκεκριμένης διάρκειας  $t_R$  και ύψους 10mm, ομοιόμορφα κατανεμημένης σε όλη την έκταση της λεκάνης (Sherman, 1932).
- Η χρονική αυτή διάρκεια αποτελεί το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του ΜΥΓ, για το οποίο διακρίνεται από άλλα ΜΥΓ της ίδιας λεκάνης απορροής. (Για κάθε διάρκεια ενεργού βροχόπτωσης υπάρχει και ένα διαφορετικό ΜΥΓ)  
Ο όρος «μοναδιαίο» οφείλεται στο γεγονός ότι η χρονική διάρκεια της καθαρής βροχόπτωσης λαμβάνεται ως χρονική μονάδα κατά την περαιτέρω χρήση του ΜΥΓ.
- Το ΜΥΓ είναι **χαρακτηριστικό για κάθε λεκάνη απορροής**.

## Χρήση

Υπό συγκεκριμένες συνθήκες (παραδοχές), έχοντας το ΜΥΓ μπορούμε να μετασχηματίσουμε οποιαδήποτε ενεργό βροχόπτωση (διαφορετικού ύψους ή και διαφορετικής διάρκειας) σε ΥΓ άμεσης απορροής.



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## Παραδοχές

- Η χωροχρονική κατανομή της ενεργού βροχόπτωσης είναι η ίδια για βροχές της ίδιας διάρκειας.
- Κατά τη διάρκεια του επεισοδίου βροχόπτωσης η ένταση της βροχής θεωρείται σταθερή.
- Για κάθε λεκάνη απορροής το σχήμα του ΜΥΓ δεδομένης διάρκειας βροχόπτωσης αντιπροσωπεύει τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης.
- Η κατάσταση της λεκάνης απορροής παραμένει αμετάβλητη.
- Σε δεδομένη λεκάνη απορροής, η άμεση απορροή που προκαλείται από μια συγκεκριμένη βροχή είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες βροχές.
- Από δύο επεισόδια βροχόπτωσης με την ίδια διάρκεια και το ίδιο ύψος ενεργού βροχόπτωσης, τα οποία συμβαίνουν σε διαφορετικούς χρόνους, θα προκύψουν εντελώς όμοια ΜΥΓ (Συνθήκη στασιμότητας).
- Δύο επεισόδια βροχόπτωσης με την ίδια διάρκεια αλλά διαφορετικό ύψος ενεργού βροχόπτωσης, δημιουργούν ΥΓ άμεσης απορροής με τεταγμένες (Q) ανάλογες των υψών της ενεργού βροχόπτωσης (Συνθήκη γραμμικότητας).



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## Παραδοχές

- Σε μια συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη, βροχές ίσης διάρκειας που προκαλούν απορροή, δίνουν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια περίπου χρονική βάση ανεξάρτητα από την ένταση της βροχής.
- Σε μια δεδομένη υδρολογική λεκάνη, η άμεση απορροή που προκαλείται από μια συγκεκριμένη βροχή είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες βροχές.
- Η κατάσταση της υδρολογικής λεκάνης παραμένει χρονικά αμετάβλητη

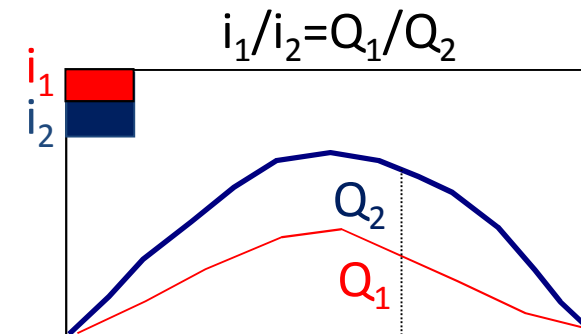




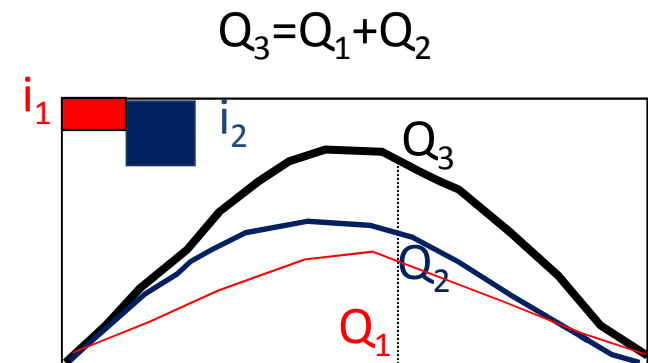
# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## Αρχές

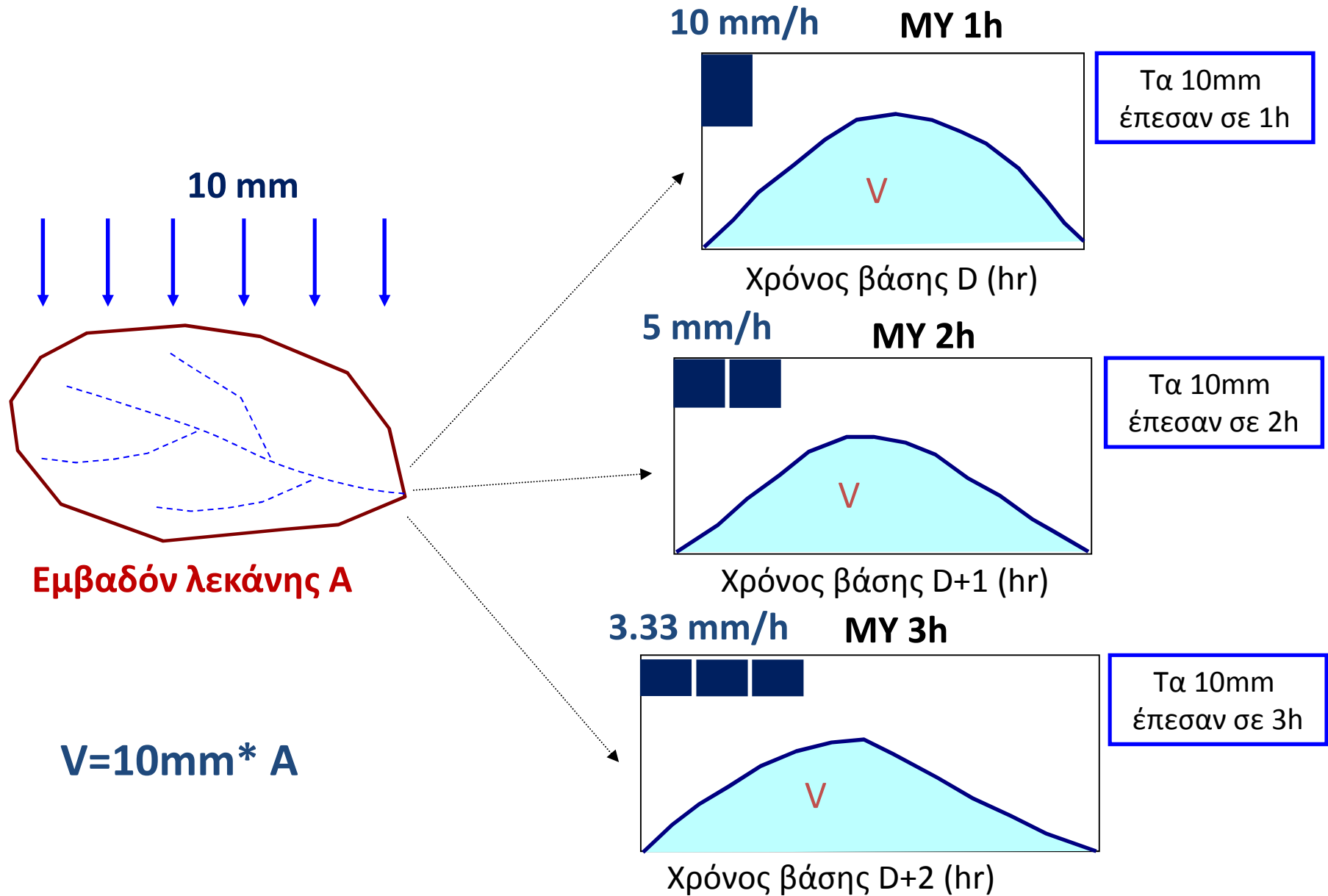
**Αρχή της αναλογίας:** Δύο ενεργές βροχές της ίδιας διάρκειας αλλά διαφορετικής έντασης δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια χρονική βάση, ενώ ο λόγος των παροχών σε κάθε χρονική στιγμή είναι ίσος με το λόγο των εντάσεων.



**Αρχή της επαλληλίας:** Το συνολικό υδρογράφημα άμεσης απορροής που προκύπτει από διαδοχικές βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με παροχές που είναι το άθροισμα των παροχών των επιμέρους υδρογραφημάτων άμεσης απορροής.



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## Σύνθετα υδρογραφήματα

Τα υδρογραφήματα που προέρχονται από βροχές πολλαπλάσιας εντάσεως ή/και διάρκειας, καθώς και αυτά που προέρχονται από σύνθετες μορφές βροχής μπορούν να υπολογισθούν από το μοναδιαίο υδρογράφημα, εφαρμόζοντας τις αρχές:

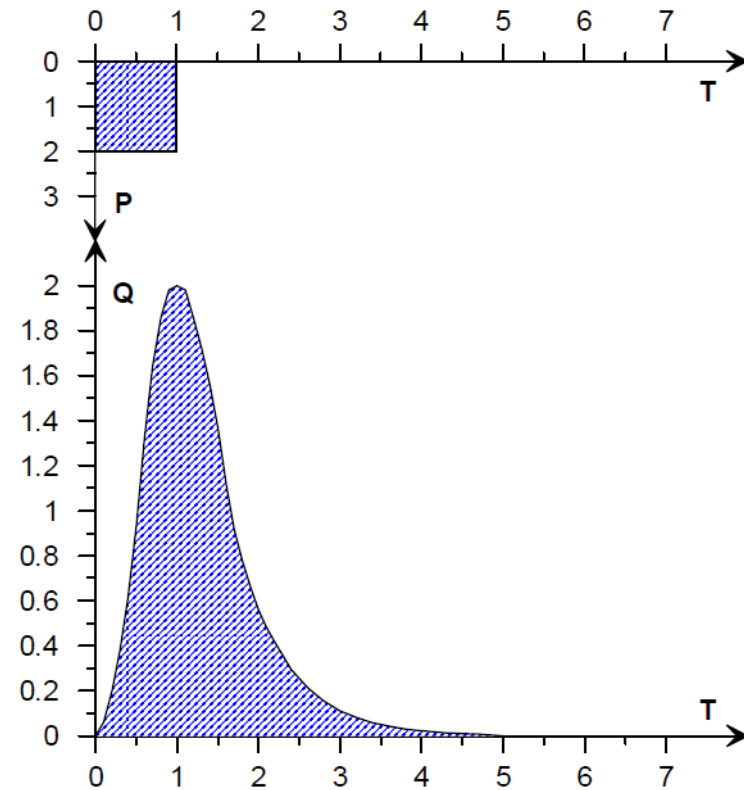
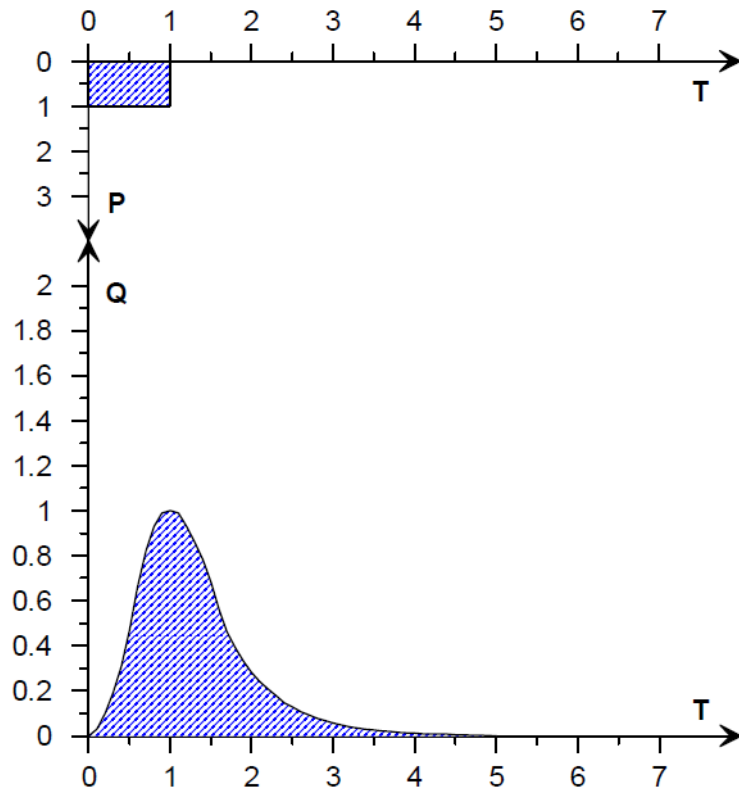
- a) **της γραμμικότητας**, δηλαδή διπλάσια ένταση βροχής θα δώσει διπλάσια παροχή, τριπλάσια ένταση θα δώσει τριπλάσια παροχή κοκ.
- b) **της σταθερότητας στον χρόνο**, δηλαδή κάθε παράταση της διάρκειας της βροχής θα θεωρηθεί σαν μια νέα βροχή που αρχίζει όταν τελειώνει η προηγούμενη και είναι τελείως ανεξάρτητη από αυτήν, άρα παράγει ένα δικό της υδρογράφημα, που αρχίζει όμως όταν αρχίζει η νέα αυτή περίοδος της βροχής. Τα υδρογραφήματα που προκύπτουν με αυτόν τον τρόπο παρουσιάζουν αλληλεπικαλύψεις και το πραγματικό τελικό αποτέλεσμα θα είναι το άθροισμα των τεταγμένων (δηλαδή των παροχών), των υδρογραφημάτων.



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## Σύνθετα υδρογραφήματα

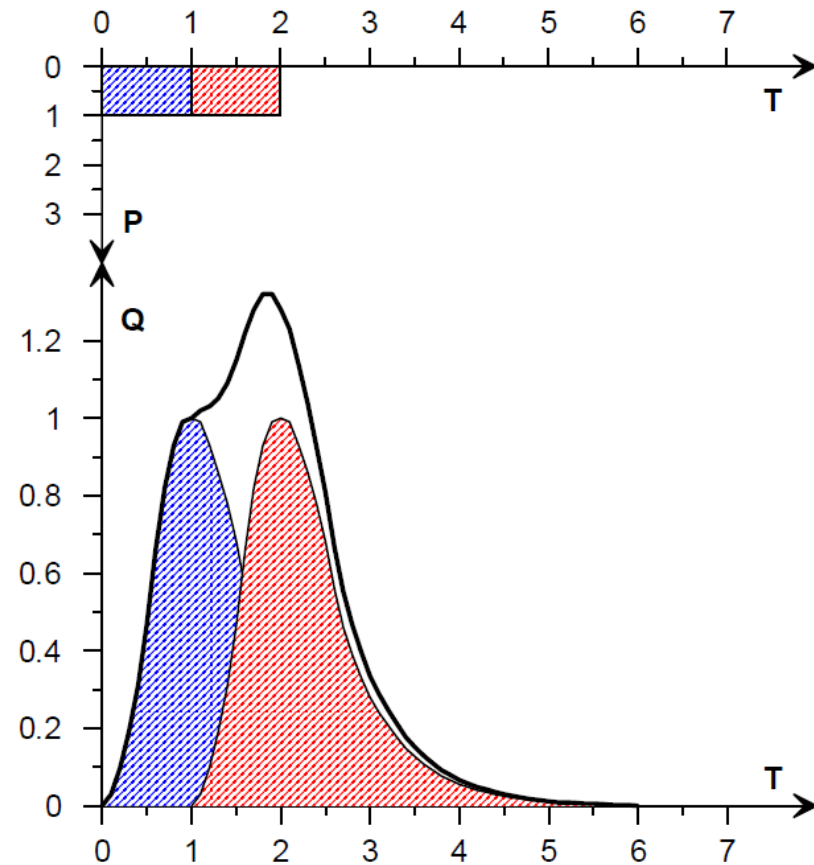
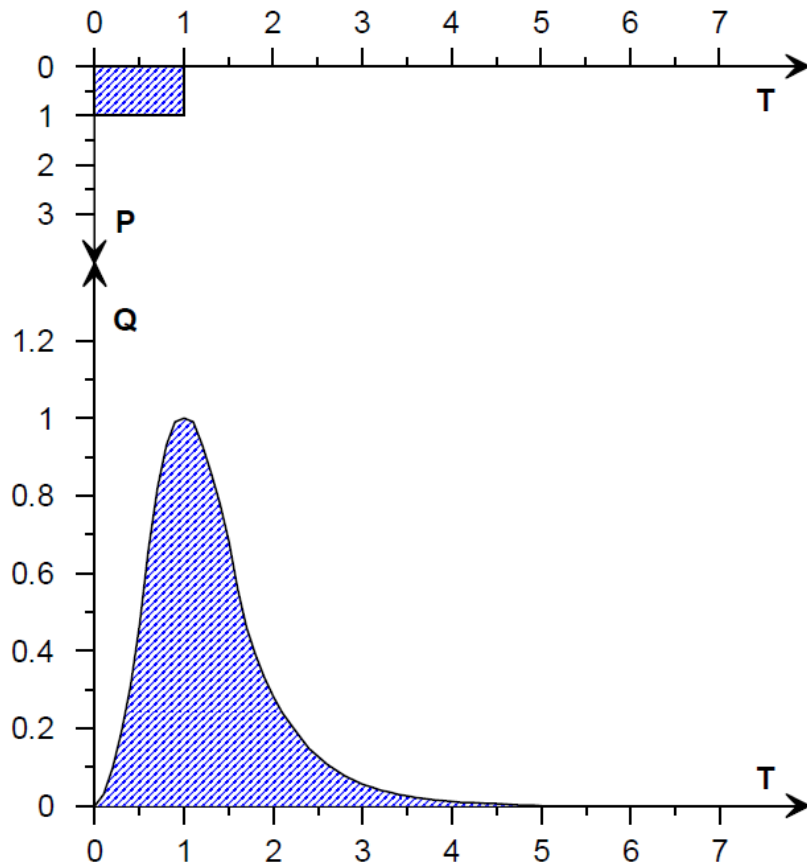
Υδρογράφημα από βροχή διπλάσιας έντασης (Αρχή της γραμμικότητας)



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## Σύνθετα υδρογραφήματα

Υδρογράφημα από βροχή διπλάσιας διάρκειας (Αρχή της σταθερότητας στον χρόνο)



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## Σύνθετα υδρογραφήματα

Η συνηθέστερη βέβαια περίπτωση στην πραγματικότητα είναι να έχουμε μια βροχή αρκετά μεγάλης διάρκειας με συνεχώς μεταβαλλόμενη ένταση.

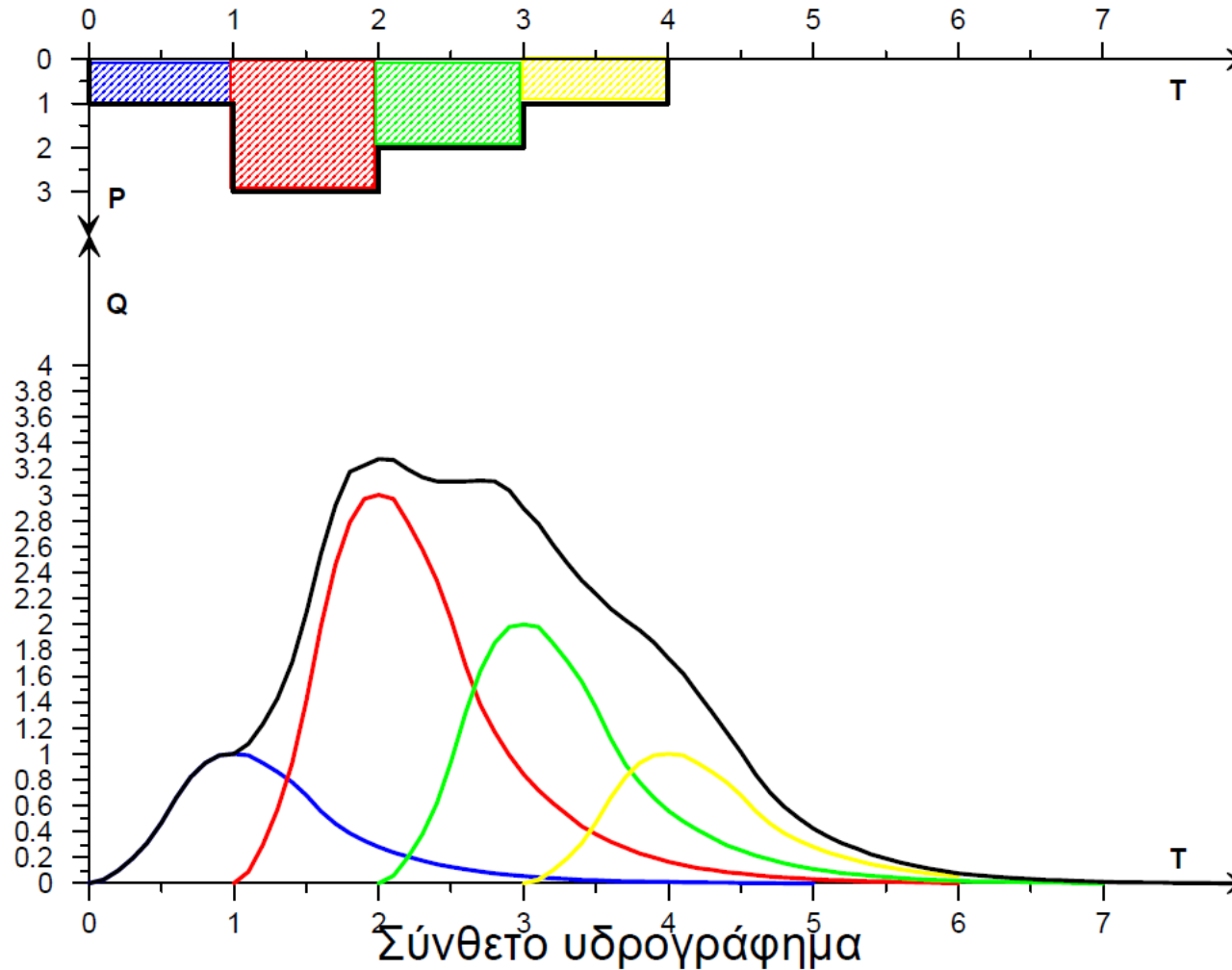
Το υδρογράφημα που θα προκύψει θα είναι ένα σύνθετο υδρογράφημα και θα το υπολογίσουμε σύμφωνα με τα παραπάνω,

- αφού χωρίσουμε την συνολική διάρκεια της βροχής σε περιόδους ίσες με την διάρκεια της μοναδιαίας βροχής,
- υπολογίσουμε τα ανεξάρτητα υδρογραφήματα για κάθε περίοδο, σύμφωνα με τα παραπάνω,
- και τελικά συνθέσουμε το τελικό υδρογράφημα, προσθέτοντας τις τεταγμένες των ανεξάρτητων υδρογραφημάτων κατά τους ίδιους χρόνους.



# Μοναδιαίο Υδρογράφημα

## Σύνθετα υδρογραφήματα



# Υπολογισμός Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Κανονικά για να προσδιοριστεί το ΜΥΓ χρειάζονται παρατηρημένα ΥΓ.

**Δεδομένα βροχόπτωσης** (συγκεκριμένων χαρακτηριστικών - για το ΜΥΓ 1h θα πρέπει να πέσει βροχόπτωση για 1h και το έδαφος να είναι βρεγμένο – κορεσμένο, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες) και **δεδομένα απορροών** → εγκατάσταση βροχογράφων και σταθμηγράφων (με χρήση καμπύλης στάθμης – παροχής μετατρέπεται η στάθμη σε παροχή).

**Διαχωρισμός βασικής απορροής** → έχω ΥΓ άμεσης απορροής

**Υπολογισμός ύψους άμεσης απορροής  $h_R$**

**Διαίρεση των τεταγμένων του ΥΓ με το  $h_R$**

**Προκύπτει ΥΓ που είναι το ΜΥΓ της διάρκειας ενεργού βροχόπτωσης από την οποία προήλθε**





# Χρήση ΜΥΓ για υπολογισμό ΥΓ

## Σταθερή ένταση βροχόπτωσης

Αν είναι γνωστό το ΜΥΓ συγκεκριμένης διάρκειας μπορεί να υπολογιστεί ΥΓ άμεσης απορροής κάθε άλλης βροχόπτωσης (διαφορετικής έντασης) αλλά της ίδιας διάρκειας.

Δίνεται το ΜΥΓ 6h (διάρκεια βροχής = 6h) και ζητείται το ΥΓ από ενεργό βροχόπτωση 25mm ίδιας διάρκειας

t [h]	ΜΥΓ [m <sup>3</sup> /sec]
0	0
3	30
6	80
9	123
12	107
15	85
18	67
21	30
24	20
27	15
30	7
33	5
39	0

Αρχή αναλογίας

$$\frac{Q_{\text{ΜΥΓ}}}{Q_{\text{ΥΓ}}} = \frac{i_{\text{ΜΥΓ}}}{i_{\text{ΥΓ}}}$$

Q [m <sup>3</sup> /sec]
0
75
200
307.5
267.5
212.5
167.5
75
50
37.5
17.5
12.5
0

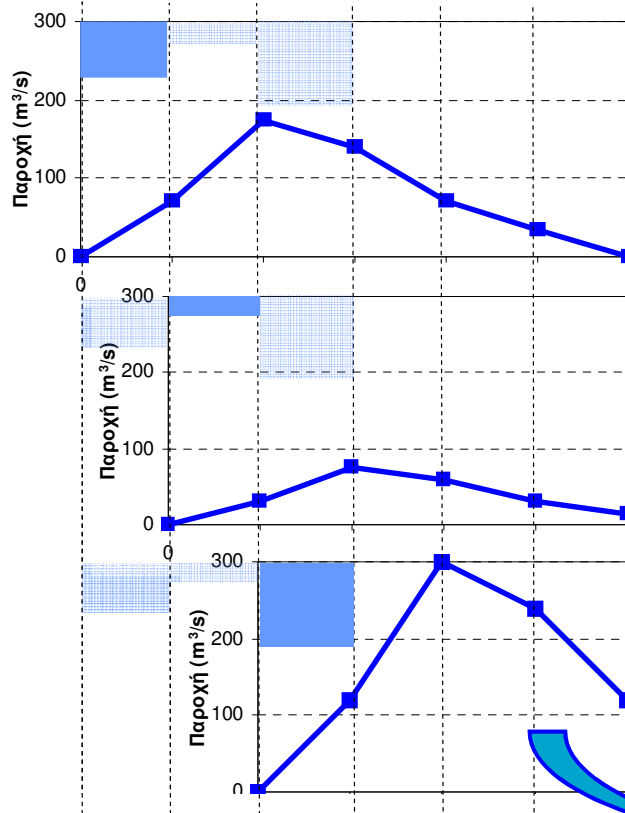
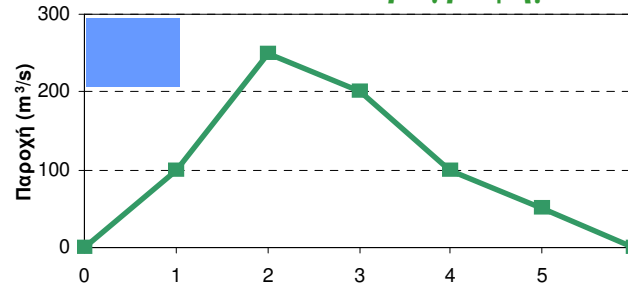


# Χρήση ΜΥΓ για υπολογισμό ΥΓ

## Μεταβλητή ένταση βροχόπτωσης

Μοναδιαίο υδρογράφημα

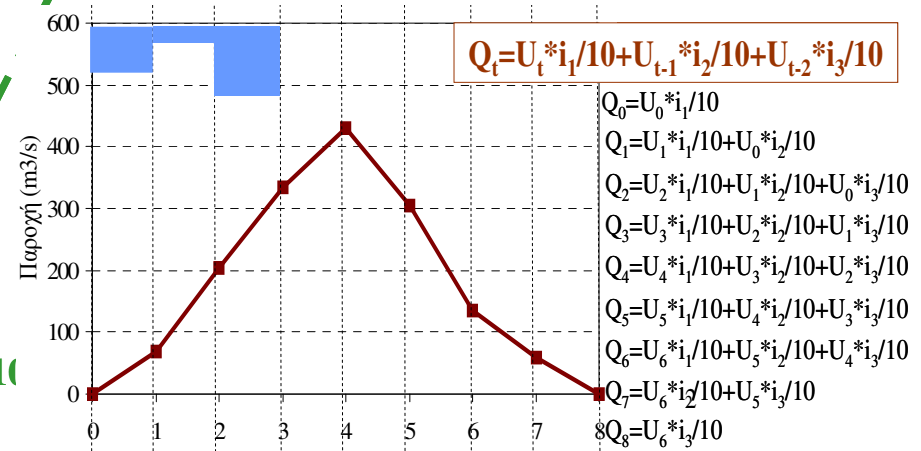
(Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2012)



$U \cdot i_1 / 10$

$U \cdot i_2 / 10$

$U \cdot i_3 / 10$



$$Q_t = U_t \cdot i_1 / 10 + U_{t-1} \cdot i_2 / 10 + U_{t-2} \cdot i_3 / 10$$

$$Q_0 = U_0 \cdot i_1 / 10$$

$$Q_1 = U_1 \cdot i_1 / 10 + U_0 \cdot i_2 / 10$$

$$Q_2 = U_2 \cdot i_1 / 10 + U_1 \cdot i_2 / 10 + U_0 \cdot i_3 / 10$$

$$Q_3 = U_3 \cdot i_1 / 10 + U_2 \cdot i_2 / 10 + U_1 \cdot i_3 / 10$$

$$Q_4 = U_4 \cdot i_1 / 10 + U_3 \cdot i_2 / 10 + U_2 \cdot i_3 / 10$$

$$Q_5 = U_5 \cdot i_1 / 10 + U_4 \cdot i_2 / 10 + U_3 \cdot i_3 / 10$$

$$Q_6 = U_6 \cdot i_1 / 10 + U_5 \cdot i_2 / 10 + U_4 \cdot i_3 / 10$$

$$Q_7 = U_6 \cdot i_2 / 10 + U_5 \cdot i_3 / 10$$

$$Q_8 = U_6 \cdot i_3 / 10$$



# Χρήση ΜΥΓ για υπολογισμό ΥΓ

## Μεταβλητή ένταση βροχόπτωσης

Δίνεται το ΜΥΓ 1 h και το βροχογράφημα. Να υπολογιστεί το συνολικό πλημ/μα.  
 Η βασική απορροή να θεωρηθεί σταθερή και ίση με  $80 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

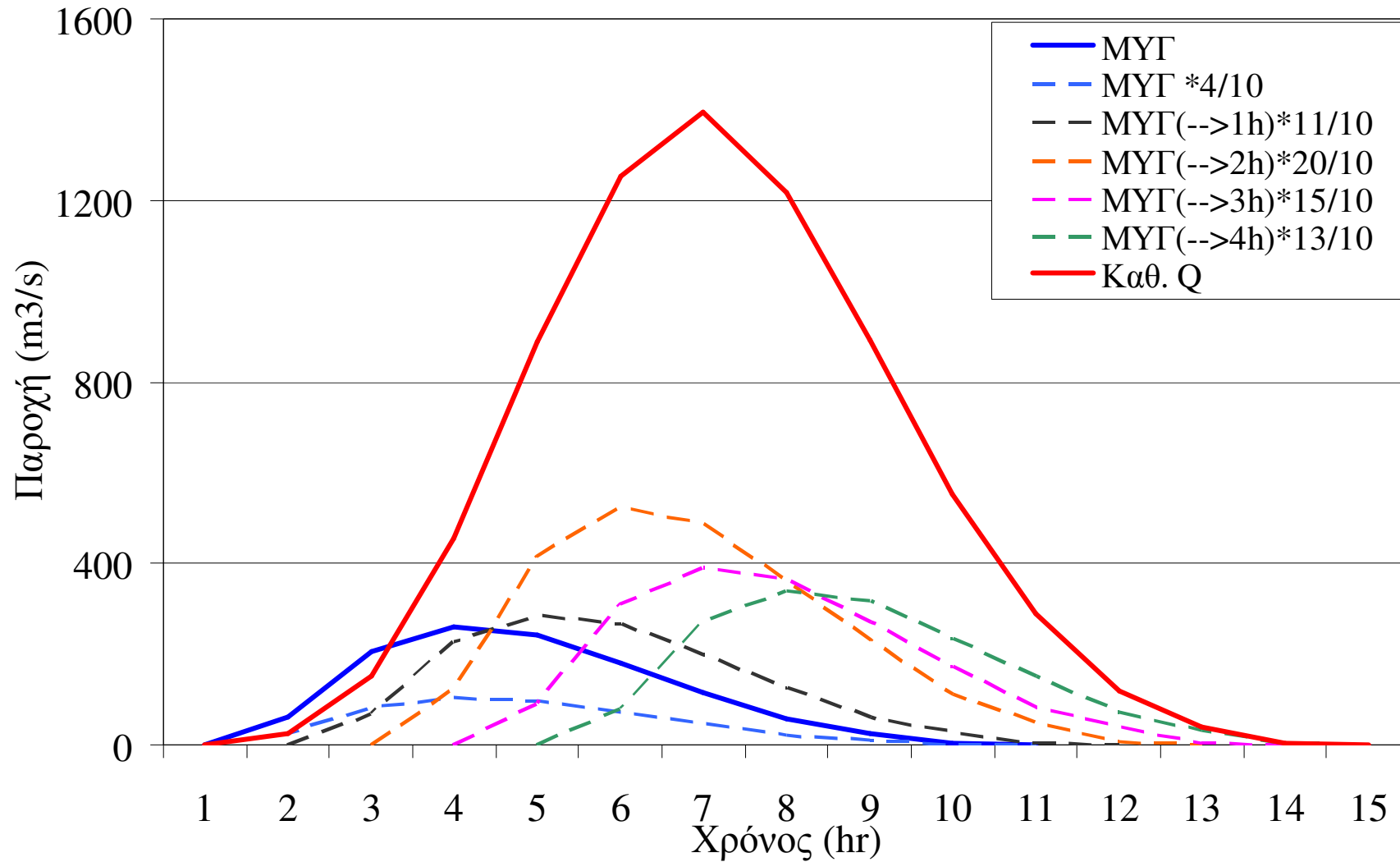
<b>T (h)</b>	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5
<b>I</b>	4	11	20	15	13

T(h)	ΜΥΓ	ΜΥΓ *4/10	ΜΥΓ(-->1h)*11/10	ΜΥΓ(-->2h)*20/10	ΜΥΓ(-->3h)*15/10	ΜΥΓ(-->4h)*13/10	Καθ. Q	Ολ Q
0	0,0	0,0					0,0	80,0
1	61,0	24,4	0,0				24,4	104,4
2	207,0	82,8	67,1	0,0			149,9	229,9
3	261,0	104,4	227,7	122,0	0,0		454,1	534,1
4	243,5	97,4	287,1	414,0	91,5	0,0	890,0	970,0
5	181,0	72,4	267,9	522,0	310,5	79,3	1252,1	1332,1
6	116,0	46,4	199,1	487,0	391,5	269,1	1393,1	1473,1
7	56,0	22,4	127,6	362,0	365,3	339,3	1216,6	1296,6
8	26,0	10,4	61,6	232,0	271,5	316,6	892,1	972,1
9	3,5	1,4	28,6	112,0	174,0	235,3	551,3	631,3
10	0,0	0,0	3,9	52,0	84,0	150,8	290,7	370,7
11			0,0	7,0	39,0	72,8	118,8	198,8
12				0,0	5,3	33,8	39,1	119,1
13					0,0	4,6	4,6	84,6
14						0,0	0,0	80,0



# Χρήση ΜΥΓ για υπολογισμό ΥΓ

## Μεταβλητή ένταση βροχόπτωσης



# Χρήση ΥΓ για υπολογισμό ΜΥΓ

## Σταθερή ένταση βροχόπτωσης

Αν είναι γνωστό το ΥΓ που προέκυψε από ενεργό βροχόπτωση γνωστού ύψους και συγκεκριμένης διάρκειας μπορεί να υπολογιστεί το ΜΥΓ της διάρκειας αυτής για τη συγκεκριμένη λεκάνη.

Δίνεται το ΥΓ άμεσης απορροής από ενεργό βροχόπτωση 25mm και διάρκειας 6h και ζητείται το ΜΥΓ 6h

t [h]	Q [m <sup>3</sup> /sec]
0	0
3	75
6	200
9	307.5
12	267.5
15	212.5
18	167.5
21	75
24	50
27	37.5
30	17.5
33	12.5
39	0

**Αρχή αναλογίας**

$$\frac{Q_{\text{ΜΥΓ}}}{Q_{\text{ΥΓ}}} = \frac{i_{\text{ΜΥΓ}}}{i_{\text{ΥΓ}}}$$

ΜΥΓ [m <sup>3</sup> /sec]
0
30
80
123
107
85
67
30
20
15
7
5
0

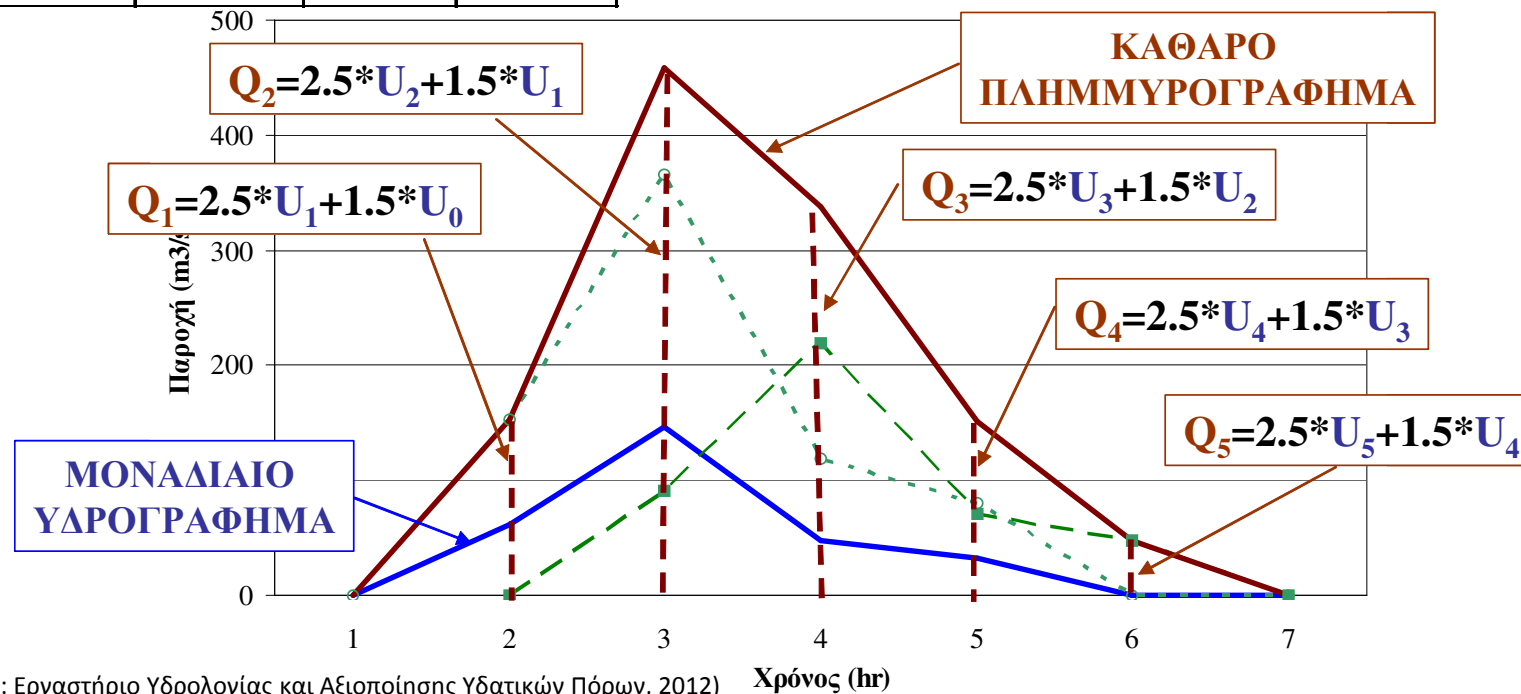


# Χρήση ΥΓ για υπολογισμό ΜΥΓ

## Μεταβλητή ένταση βροχόπτωσης

T (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q καθαρή	ΜΥΓ	ΜΥΓ μετατ.
0	112,0	0,0	2.5*U <sub>0</sub>	
1	265,0	153,0	2.5*U <sub>1</sub>	1.5*U <sub>0</sub>
2	570,0	458,0	2.5*U <sub>2</sub>	1.5*U <sub>1</sub>
3	450,0	338,0	2.5*U <sub>3</sub>	1.5*U <sub>2</sub>
4	263,0	151,0	2.5*U <sub>4</sub>	1.5*U <sub>3</sub>
5	160,0	48,0	2.5*U <sub>5</sub>	1.5*U <sub>4</sub>
6	112,0	0,0	2.5*U <sub>6</sub>	1.5*U <sub>5</sub>
				1.5*U <sub>6</sub>

U <sub>0</sub>	0
U <sub>1</sub>	61,2
U <sub>2</sub>	146,5
U <sub>3</sub>	47,3
U <sub>4</sub>	32,0
U <sub>5</sub>	0,0
U <sub>6</sub>	0,0



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



# Καμπύλη S

- Αν δίνεται το ΜΥΓ διάρκειας  $t_R$ , τότε η ένταση της ενεργού βροχόπτωσης που το προκάλεσε είναι  $i=10/t_R$ . Θεωρώντας ότι η ένταση αυτή είναι σταθερή για μεγάλο διάστημα  $\rightarrow$  το τελικό ΥΓ θα προκύψει αθροίζοντας όμοια ΜΥΓ διάρκειας  $t_R$ , όπου το καθένα έχει μετατοπιστεί κατά  $t_R$  από το προηγούμενό του.
- Το ΥΓ που προκύπτει έχει σχήμα S και είναι γνωστό ως αθροιστικό ΥΓ ή καμπύλη S.
- Το αθροιστικό ΥΓ εξαρτάται από την ένταση του ΜΥΓ από το οποίο προέκυψε  $\rightarrow$  χαρακτηρίζεται από τη διάρκεια του ΜΥΓ αυτού ( $h=10\text{mm}$ )

## Χρήση

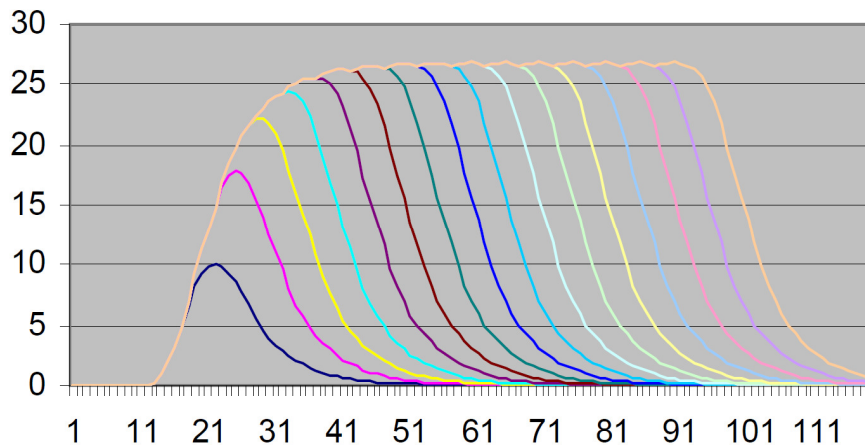
Χρησιμοποιείται για το μετασχηματισμό ενός ΜΥΓ γνωστής διάρκειας σε ΜΥΓ οποιασδήποτε άλλης διάρκειας (συνήθως μικρότερης ή μη πολλαπλάσιας διάρκειας).



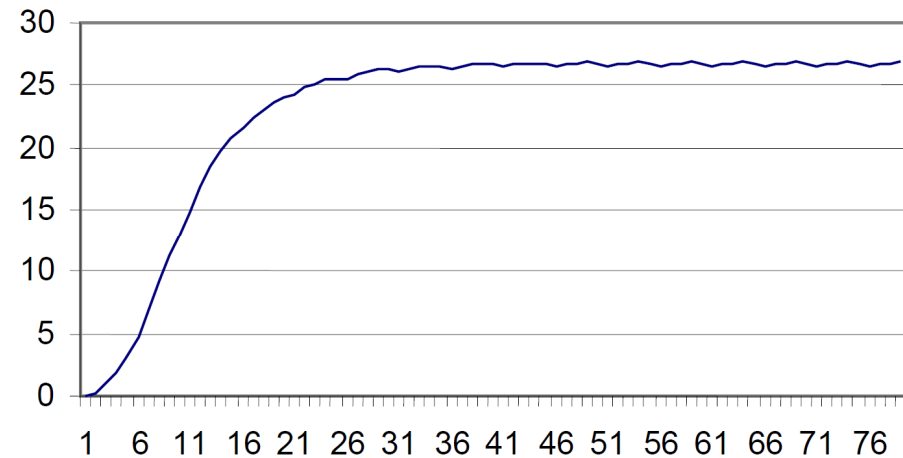
# Καμπύλη S

- Αν υποθεθεί ότι μια βροχής μοναδιαίας έντασης αρχίζει την χρονική στιγμή 0 και συνεχίζεται για πολύ μεγάλο χρόνο, πολλαπλάσιο της διάρκειας της μοναδιαίας βροχής  $\Delta t$ , από μια χρονική στιγμή και μετά η καμπύλη του υδρογραφήματος απορροής θα γίνει μια ευθεία οριζόντια, παράλληλη με τον άξονα του χρόνου. Αυτό θα συμβεί διότι δεν θα υπάρχουν πλέον φαινόμενα συγκεντρώσεως της παροχής απορροής στην λεκάνη και εφόσον η βροχή είναι σταθερή, και η απορροή θα είναι επίσης σταθερή.
- Η αρχή αυτού του υδρογραφήματος μέχρι και την σταθεροποίηση της παροχής έχει την μορφή ενός πεπλατυσμένου γράμματος S λατινικού και για τον λόγο αυτό καλείται «**καμπύλη S**».

### Σχηματισμός της καμπύλης S



### Η καμπύλη S





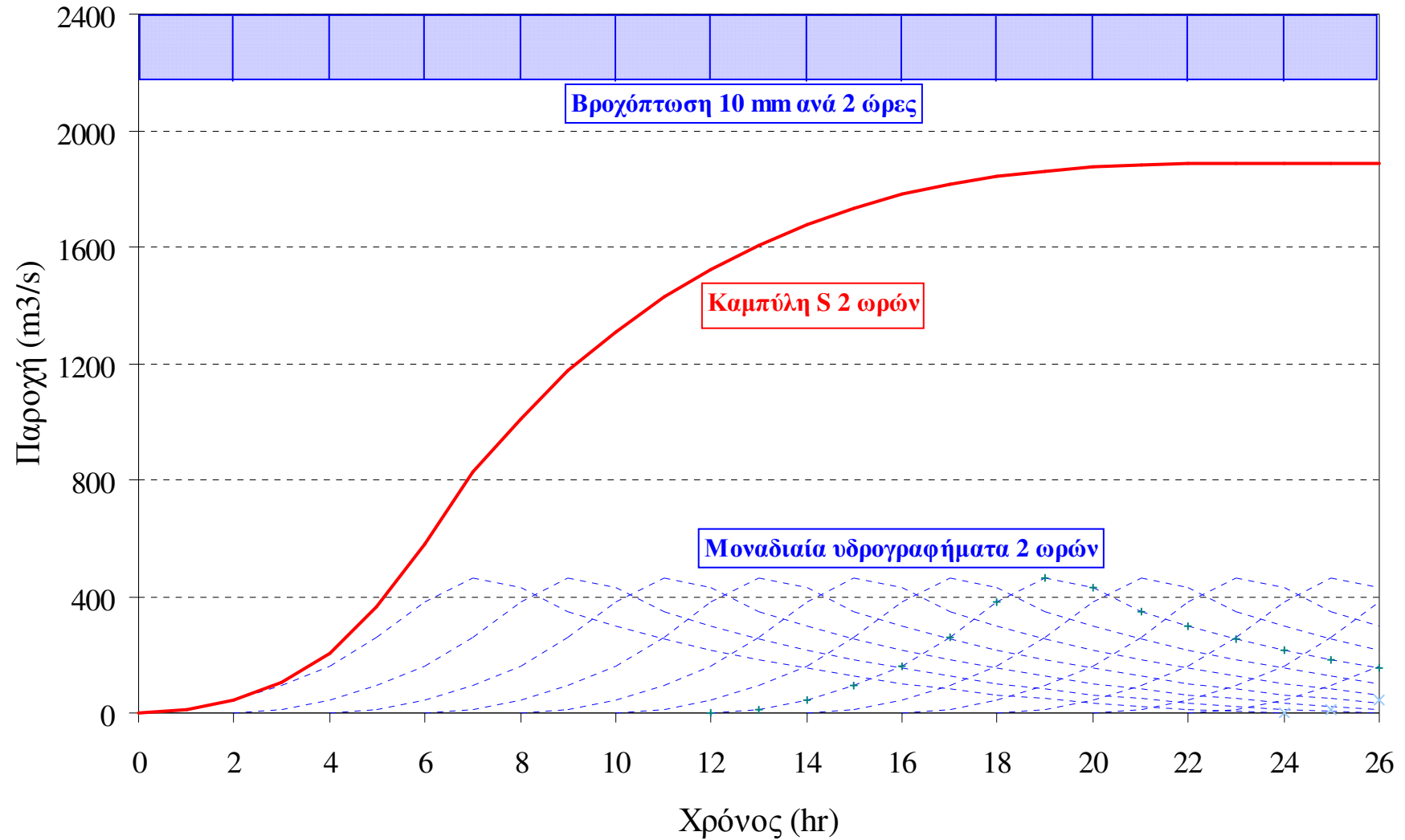
# Υπολογισμός Καμπύλης S

## Από ΜΥΓ 2h υπολογισμός S 2h

Χρόνος (hrs)	M.Y. 2h m <sup>3</sup> /sec											S 2 hr m <sup>3</sup> /sec			
0	0											0			
1	12											12			
2	42	0									42				
3	93	12								105					
4	162	42	0							204					
5	258	93	12						363						
6	378	162	42	0					582						
7	462	258	93	12				825							
8	428	378	162	42	0			1010							
9	350	462	258	93	12		1175								
10	297	428	378	162	42	0		1307							
11	252	350	462	258	93	12		1427							
12	216	297	428	378	162	42	0		1523						
13	180	252	350	462	258	93	12		1607						
14	156	216	297	428	378	162	42	0		1679					
15	126	180	252	350	462	258	93	12		1733					
16	102	156	216	297	428	378	162	42	0		1781				
17	81	126	180	252	350	462	258	93	12		1814				
18	63	102	156	216	297	428	378	162	42	0		1844			
19	48	81	126	180	252	350	462	258	93	12		1862			
20	33	63	102	156	216	297	428	378	162	42	0		1877		
21	20	48	81	126	180	252	350	462	258	93	12		1882		
22	9	33	63	102	156	216	297	428	378	162	42	0		1886,0	
23	4	20	48	81	126	180	252	350	462	258	93	12		<b>1886,0</b>	
24	0	9	33	63	102	156	216	297	428	378	162	42	0		<b>1886,0</b>
25		4	20	48	81	126	180	252	350	462	258	93	12		<b>1886,0</b>
26		0	9	33	63	102	156	216	297	428	378	162	42		<b>1886,0</b>



# Υπολογισμός Καμπύλης S



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



# Χρήση Καμπύλης S

Από S 2h υπολογισμός ΜΥΓ 1h

και ΜΥΓ 4h

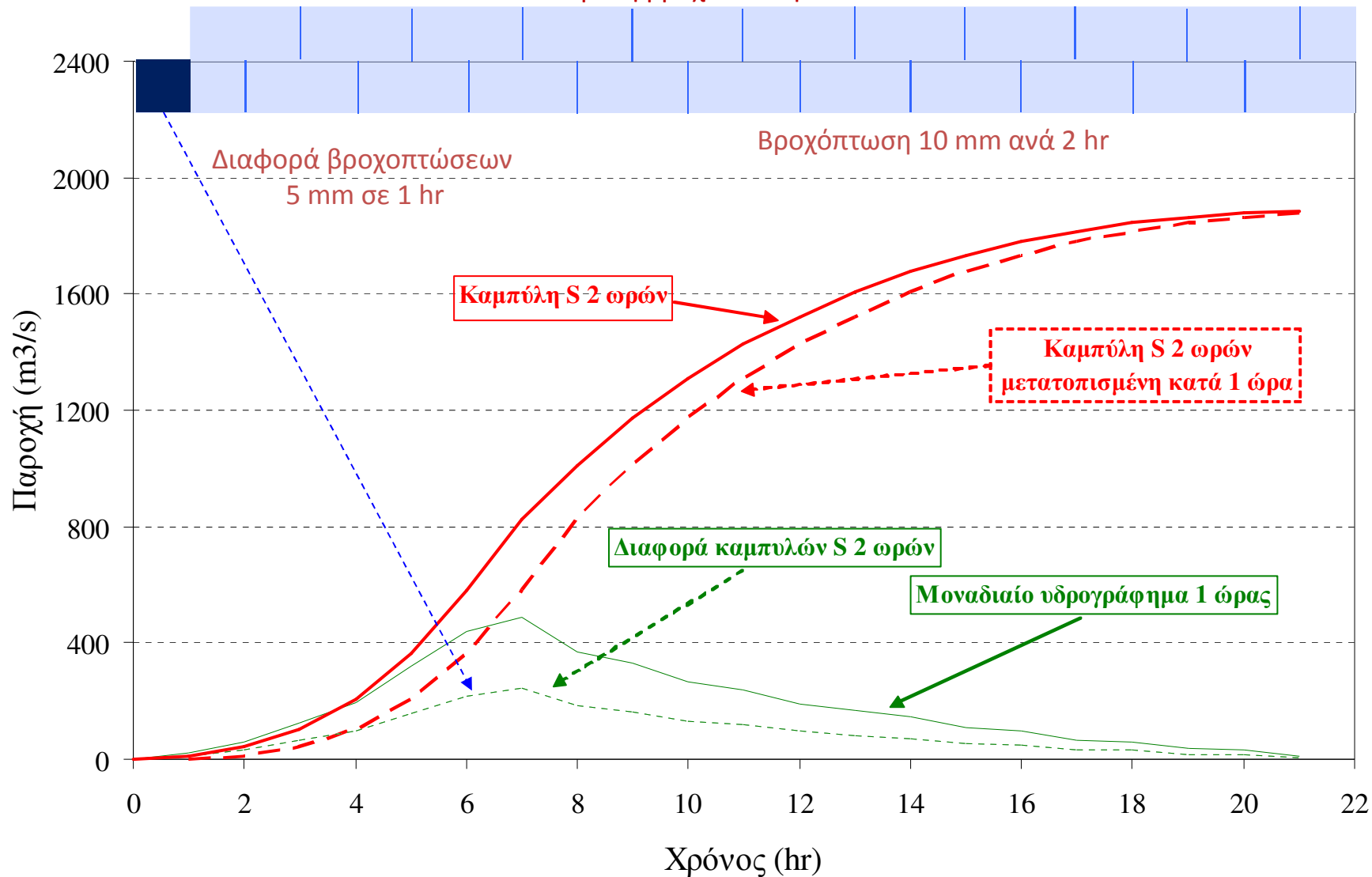
S 2 hr m <sup>3</sup> /sec	S 2 hr m <sup>3</sup> /sec	lagged m <sup>3</sup> /sec	Diafora m <sup>3</sup> /sec	MY 1 hr	MY 4 hr
0	0		0	0	0
12	12	0	12	24	6
42	42	12	30	60	21
105	105	42	63	126	52,5
204	204	105	99	198	102
363	363	204	159	318	175,5
582	582	363	219	438	270
825	825	582	243	486	360
1010	1010	825	185	370	403
1175	1175	1010	165	330	406
1307	1307	1175	132	264	362,5
1427	1427	1307	120	240	301
1523	1523	1427	96	192	256,5
1607	1607	1523	84	168	216
1679	1679	1607	72	144	186
1733	1733	1679	54	108	153
1781	1781	1733	48	96	129
1814	1814	1781	33	66	103,5
1844	1844	1814	30	60	82,5
1862	1862	1844	18	36	64,5
1877	1877	1862	15	30	48
1882	1882	1877	5	10	34
1886,0	1886	1882	4	8	21
<b>1886,0</b>	1886	1886	0	0	12
<b>1886,0</b>	1886	1886	0		4,5
<b>1886,0</b>			0		2
<b>1886,0</b>					0



# Χρήση Καμπύλης S

## Υπολογισμός ΜΥ 1 h από ΜΥ 2 h

Μετατοπισμένη βροχόπτωση 10 mm ανά 2 hr



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



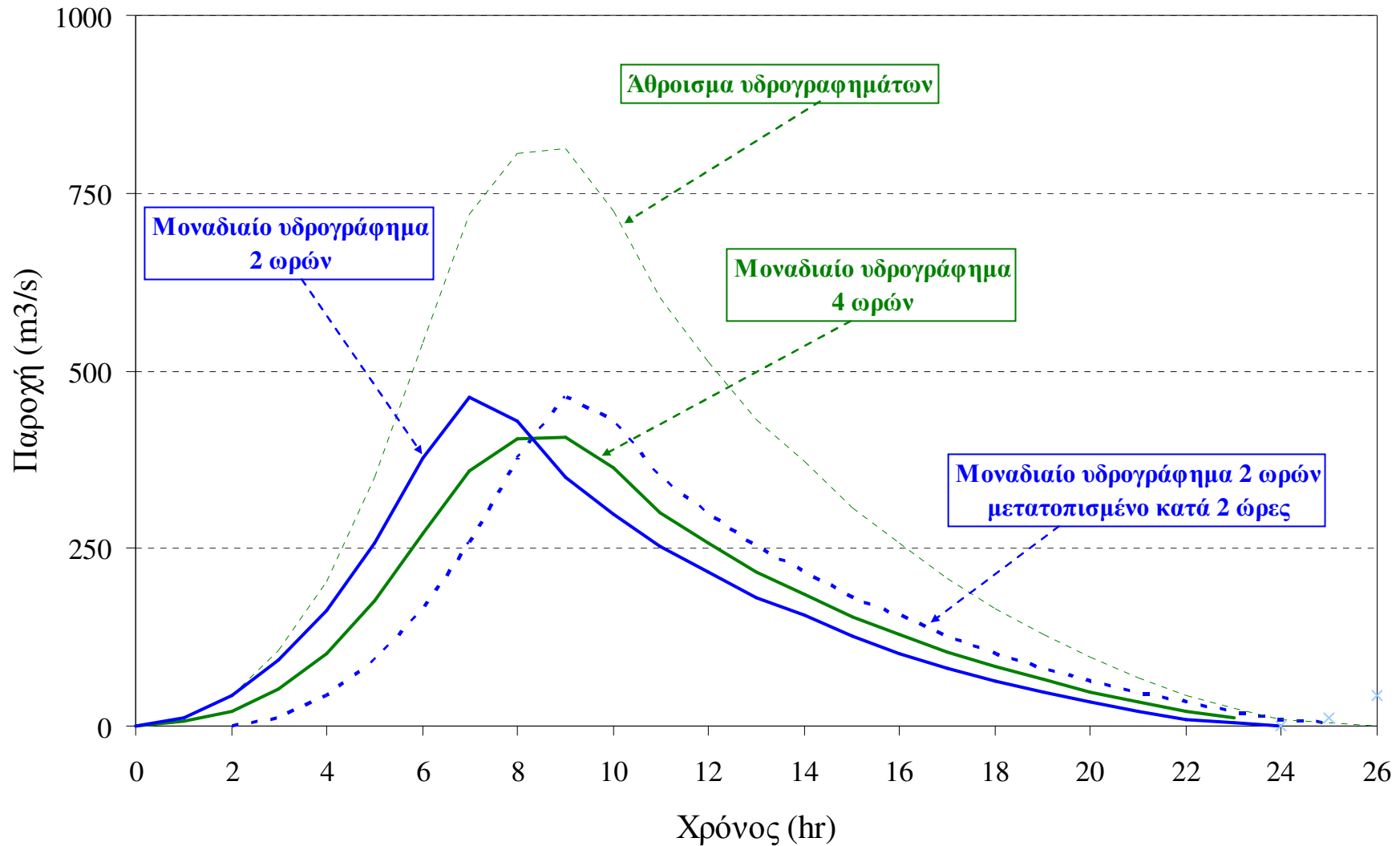
# Μετασχηματισμός ΜΥΓ Χ ωρών σε ΜΥΓ η\*Χ ωρών

t [h]	ΜΥΓ 2h [m <sup>3</sup> /sec]	ΜΥΓ' 2h [m <sup>3</sup> /sec]	Άθροισμα	ΜΥΓ 4h [m <sup>3</sup> /sec]
0	0	-	0	0
1	12	-	12	6
2	42	0	42	21
3	93	12	105	52.5
4	162	42	204	102
5	258	93	351	175.5
6	378	162	540	270
7	462	258	720	360
8	428	378	806	403
9	350	462	812	406
10	297	428	725	362.5
11	252	350	602	301
12	216	297	513	256.5
13	180	252	432	216
14	156	216	372	186
15	126	180	306	153
16	102	156	258	129
17	81	126	207	103.5
18	63	102	165	82.5
19	48	81	129	64.5
20	33	63	96	48
21	20	48	68	34
22	9	33	42	21
23	4	20	24	12
24	0	9	9	4.5
25	-	4	4	2
26	-	0	0	0



# Μετασχηματισμός ΜΥΓ Χ ωρών σε ΜΥΓ η\*Χ ωρών

## Υπολογισμός του ΜΥΓ 4 h από ΜΥΓ 2 h



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



# Προσδιορισμός ΜΥΓ

## Σύνοψη - Επανάληψη

- Στο συνολικό υδρογράφημα που έδωσε η βροχή χωρίζεται σε άμεση και βασική απορροή.
- Σχεδιάζεται το υδρογράφημα της άμεσης απορροής.
- Υπολογίζεται ο συνολικός όγκος της άμεσης απορροής και στη συνέχεια εκφράζεται σε μονάδες πάχους υδάτινου στρώματος διαιρώντας με την έκταση της υδρολογικής λεκάνης. Ως μονάδα πάχους λαμβάνεται το ένα cm.
- Διαιρούνται οι τεταγμένες του υδρογραφήματος της άμεσης απορροής με το αντίστοιχο ισοδύναμο πάχος της. Τα μεγέθη που θα προκύψουν αποτελούν τις τεταγμένες του μοναδιαίου υδρογράφημος το οποίο και σχεδιάζεται.
- Προσδιορίζεται η διάρκεια της ενεργού βροχής που σε μέγεθος είναι κατά τα γνωστά ίση με την άμεση απορροή



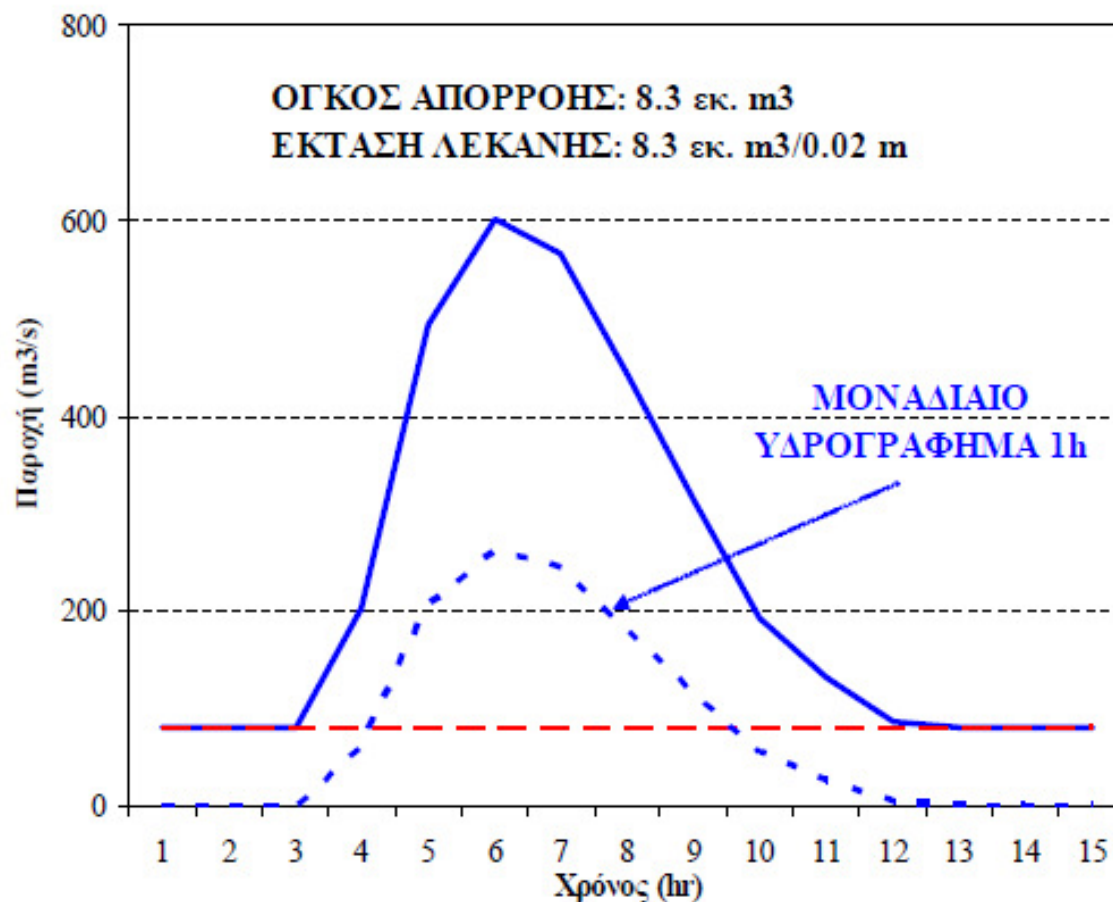
# ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

## Αριθμητικά παραδείγματα

T (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	ΚΑΘΑΡΟ	QΜΥΤ
0	80	0	0,0
1	80	0	0,0
2	80	0	0,0
3	202	122	61,0
4	494	414	207,0
5	602	522	261,0
6	567	487	243,5
7	442	362	181,0
8	312	232	116,0
9	192	112	56,0
10	132	52	26,0
11	87	7	3,5
12	80	0	0,0
13	80	0	0,0
14	80	0	0,0

ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ 8316000 4158000

ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ 415800000 m<sup>2</sup>



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





# Συνθετικά Μοναδιαία Υδρογραφήματα

**Προϋπόθεση:** η ύπαρξη ΥΓ από μετρήσεις

Αδυναμία εύρεσης δεδομένων σταθμηγράφου + δυσκολία επίτευξης των υπολοίπων συνθηκών (κορεσμένο έδαφος, βροχόπτωση συγκεκριμένης διάρκειας κτλ.)



Ανάπτυξη μεθόδων για παραγωγή **συνθετικών ΜΥΓ**, τα οποία θα προκύπτουν από άλλα στοιχεία – κυρίως γεωμετρικά – της λεκάνης απορροής.



# Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα

- Χρησιμοποιούνται σε λεκάνες απορροής χωρίς υδρομετρήσεις
- Εμπεικές σχέσεις που συνδέουν την πλημμυρική αιχμή και το χρόνο διάρκειας μεταξύ του κέντρου βάρους της βροχής και της πλημμυρικής αιχμής.
- Συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα
  - Snyder
  - Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας
  - Soil Conservation Service
  - Sierra Nevada



# Συνθετικό ΜΥΓ κατά Snyder

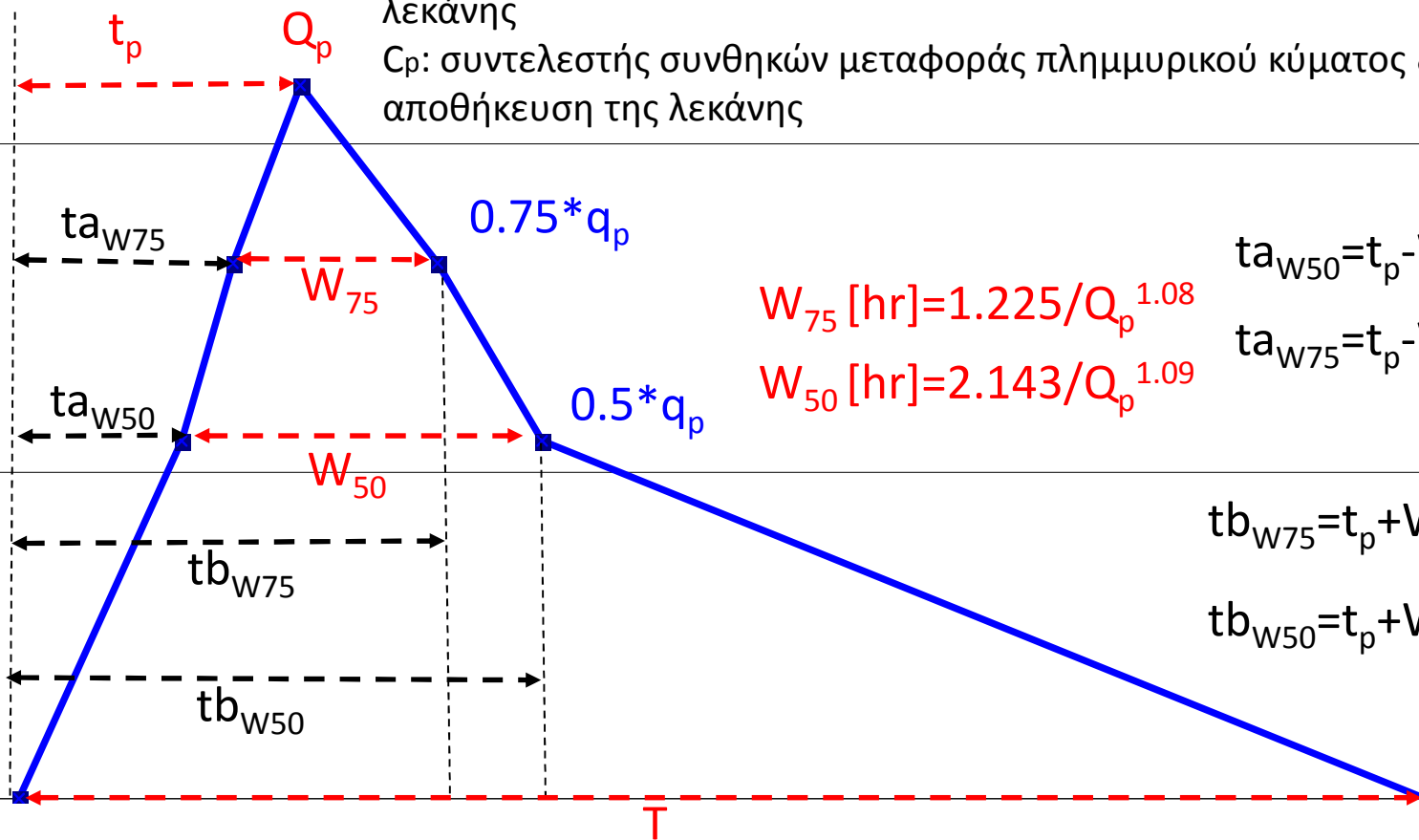
$$Q_p [m^3/s] = 2.78 * C_p * A / t_p$$

$$t_p [hr] = 0.752 * C_t * (L * L_c)^{0.3}$$

$$T [h] = 24 + 3 * t_p$$

$$t_R = t_p / 5.5$$

L: μήκος κύριας μισγάγγειας (km)  
 L<sub>c</sub>: μήκος κύριας μισγάγγειας από κ.β. λεκάνης έως την έξοδο (km)  
 C<sub>t</sub>: συντελεστής τοπογραφικών & εδαφολογικών χαρακτηριστικών λεκάνης  
 C<sub>p</sub>: συντελεστής συνθηκών μεταφοράς πλημμυρικού κύματος & αποθήκευση της λεκάνης



$$W_{75} [hr] = 1.225 / Q_p^{1.08}$$

$$W_{50} [hr] = 2.143 / Q_p^{1.09}$$

$$t_{aW50} = t_p - W_{50} / 3$$

$$t_{aW75} = t_p - W_{75} / 3$$

$$t_{bW75} = t_p + W_{75} * 2/3$$

$$t_{bW50} = t_p + W_{50} * 2/3$$



## Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα Snyder

Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει το χρόνο υστέρησης  $t_p$ , την αιχμή  $Q_p$ , χρόνο βάσης  $T$ , καθώς και τα πλάτη του ΜΥΓ  $W_{50}$  και  $W_{75}$  σε χρόνο που αντιστοιχεί στο 50% και 75% της αιχμής (McCuen, 1998).

Οι εξισώσεις που διέπουν το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα του Snyder είναι:

$$\begin{aligned}t_p &= C_t (L_{ca} L)^{0.3} && (hr) \\Q_p &= C_p \frac{640 \cdot A}{t_p} && (ft^3 / s) \\T &= 3 + 3 \cdot \left( \frac{t_p}{24} \right) && (\text{ημέρες})\end{aligned}$$

όπου:

$L_{ca}$  = η απόσταση του παροχομετρικού σταθμού (στην έξοδο της λεκάνης) από το κέντρο βάρους της λεκάνης, που μετρείται κατά μήκος της κοίτης του κύριου υδατορεύματος ως το πλησιέστερο σημείο του κέντρου βάρους (mi).

$L$  = η απόσταση του σταθμού ως τον υδροκρίτη, που μετρείται κατά μήκος του κύριου ρεύματος (mi).

$C_t$  = 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 χαμηλότερη τιμή.

$C_p$  = συντελεστής που εξαρτάται από τις μονάδες και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης (κυμαίνεται από 0.56 έως 0.69).

$A$  = η έκταση της λεκάνης (mi<sup>2</sup>).

$T$  = η χρονική βάση του υδρογραφήματος. Η εξίσωση δίνει μια ελάχιστη τιμή ίση με 3 ημέρες.

(Πηγή: Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012)



## Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα Snyder

Υπενθυμίζεται ότι ο χρόνος υστέρησης μετράται από το κέντρο βάρους της ενεργού βροχόπτωσης μέχρι την αιχμή του πλημμυρογραφήματος. Η διάρκεια ενεργού βροχόπτωσης  $t_R$  συνδέεται με τη χρονική υστέρηση με τη σχέση:

$$t_R = t_p / 5.5$$

Αν το ζητούμενο ΜΥΓ έχει διάρκεια  $t_R'$  μεγαλύτερη της  $t_R$  ο χρόνος υστέρησης διορθώνεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$t_p' = t_p + \frac{(t_R' - t_R)}{4}$$

Η διορθωμένη αυτή τιμή του χρόνου υστέρησης πρέπει να αντικατασταθεί στις σχέσεις για να υπολογιστούν οι διορθωμένες τιμές των  $Q_p'$  και  $T'$ .

Τα πλάτη του ΜΥΓ στο 50% και 75% της αιχμής,  $W_{50}$  και  $W_{75}$ , δίνονται από τις σχέσεις:

$$W_{50} = \frac{830}{q_p^{1.1}}$$

$$W_{75} = \frac{470}{q_p^{1.1}}$$

όπου  $q_p = Q_p / A$  η παροχή αιχμής ανηγμένη στην επιφάνεια της λεκάνης Α.

Με υπολογισμό των πιο πάνω μεγεθών, προσδιορίζονται συνολικά 7 σημεία του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (συμπεριλαμβανομένων αυτών της αρχής και του τέλους) και με αυτά γίνεται η χάραξη του.

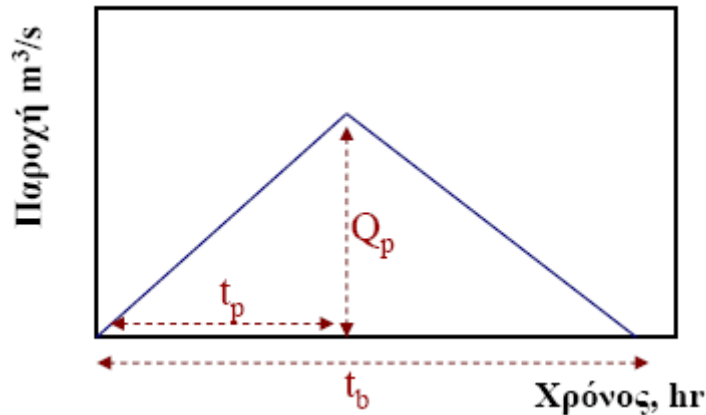
(Πηγή: Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012)



# Συνθετικό ΜΥΓ

## Μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας

### Υπολογισμός ΜΥΓ 1h



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

$$t_b = 2.52 \cdot t_p$$

$$10 \text{ mm} \cdot A \text{ km}^2 = 0.5 \cdot t_b \text{ hr} \cdot Q_p \text{ [m}^3/\text{sec]}$$

$$Q_p \text{ m}^3/\text{sec} = 0.01 \text{ m} \cdot A \cdot 10^6 \text{ m}^2 / (0.5 \cdot 2.52 \cdot t_p \cdot 3600 \text{ sec})$$

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

$t_p$ : χρόνος ανόδου [hr]

$Q_p$ : παροχή αιχμής [m<sup>3</sup>/sec]

$t_b$ : χρόνος βάσης [hr]

L: μήκος κύριας μισγάγγειας [km]

$S_{0.1 \cdot L - 0.85 \cdot L}$ : μέση κλίση υδατορεύματος μεταξύ σημείων στο 10% και 85% του μήκους του [m/km]

URBAN: αναλογία των αστικών περιοχών στη λεκάνη απορροής

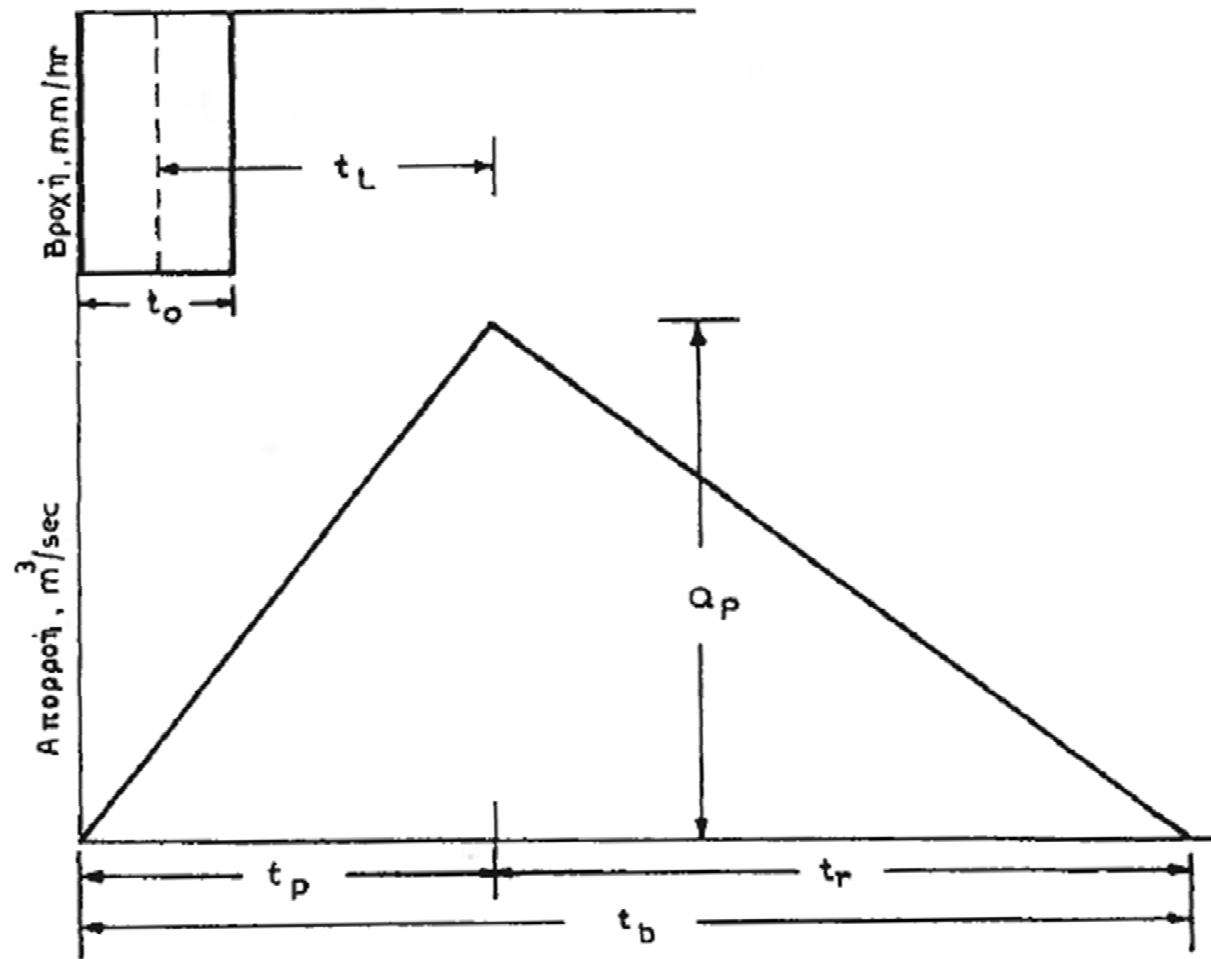
RMSD: παράμετρος μεγέθους βροχόπτωσης [mm]

(πρακτικά: το ύψος 24h βροχόπτωσης που αντιστοιχεί σε T=5 έτη)

A: έκταση της λεκάνης απορροής [km<sup>2</sup>]



# ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ SCS



Το τριγωνικό υδρογράφημα της μεθόδου της S.C.S.

(Πηγή: Παπαμιχαήλ, 2001)



# ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ SCS

## ❖ Μέθοδος *Soil Conservation Service (SCS)*

- Βασίζεται στην απλούστατη διαπίστωση ότι ένα υδρογράφημα θα μπορούσε να αντιπροσωπευθεί γεωμετρικά από ένα τρίγωνο.
- Ο όγκος της άμεσης απορροής μπορεί να εκφραστεί με μια σχέση της μορφής :

$$V_r = Q_p * (t_p + t_r) / 2$$

$Q_p$  = το μέγεθος της αιχμής του υδρογραφήματος

$t_p$  = ο χρόνος αιχμής

$t_r$  = ο χρόνος αποχώρησης ο οποίος δίνεται προσεγγιστικά:

$$t_r = 1.67 * t_p$$





# ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ SCS

## ❖ Μέθοδος *Soil Conservation Service (SCS)*

- Η αιχμή δίνεται από τη σχέση:

$$Q_p = 0.75 * A * P_e / 3600 * t_p$$

A = έκταση της λεκάνης σε στρέμματα

P<sub>e</sub> = το ύψος της απορροϊκής βροχής (mm)

- Ο χρόνος αιχμής δίνεται από τη σχέση:

$$t_p = t_L + t_o / 2$$

t<sub>o</sub> = η διάρκεια της απορροϊκής βροχής που είναι ταυτόσημη με τη διάρκεια του μοναδιαίου υδρογραφήματος

t<sub>L</sub> = ο χρόνος καθυστέρησης που υπολογίζεται :

$$t_L = 0.756 * c_t * (L * L_m)^{0.3}$$

$$t_c = t_L / 0.6$$

c<sub>t</sub> : συντελεστής με τιμές 1.8 – 2.2



# ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ SCS

## ❖ Μέθοδος *Soil Conservation Service (SCS)*

- Η παραδοχή ότι το σχήμα του υδρογραφήματος είναι τριγωνικό και ότι υφίσταται η σχέση  $t_r = 1.67 * t_p$  ανάμεσα στους χρόνους αιχμής και αποχώρησης εκφράζει μια μέση κατάσταση και όχι βέβαια την πραγματική κατανομή της απορροής.
- Για να είναι πιο αντιπροσωπευτικό της πραγματικής κατάστασης, η SCS κατασκεύασε ένα αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα, αφού ανέλυσε ένα μεγάλο αριθμό πραγματικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων υδρολογικών λεκανών με ποικίλο μέγεθος και σε διάφορες τοποθεσίες.

$$Q_d = Q / Q_p$$

όπου:

$Q_d$  = αδιάστατη παροχή

$Q_p$  = παροχή αιχμής ( $m^3/sec$ )

$$t_d = t / t_p$$

όπου:

$t_d$  = αδιάστατος χρόνος

$t_p$  = χρόνος αιχμής (h)



# ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ SCS

Στοιχεία του αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος της S.C.S.

Αδιάστατος χρόνος $t_d$	Αδιάστατη απορροή $Q_d$	Αδιάστατος χρόνος $t_d$	Αδιάστατη απορροή $Q_d$
0,0	0,0	1,5	0,66
0,1	0,0175	1,6	0,56
0,2	0,075	1,8	0,42
0,3	0,16	2,0	0,32
0,4	0,28	2,2	0,24
0,5	0,43	2,4	0,18
0,6	0,60	2,6	0,13
0,7	0,77	2,8	0,098
0,8	0,89	3,0	0,075
0,9	0,97	3,5	0,036
1,0	1,00	4,0	0,018
1,1	0,98	4,5	0,009
1,2	0,92	5,0	0,004
1,3	0,84	$\infty$	0,0
1,4	0,75		

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



## ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ SCS

### Τιμές του τυπικού αδιάστατου υδρογραφήματος της SCS (Απλού και αθροιστικού)

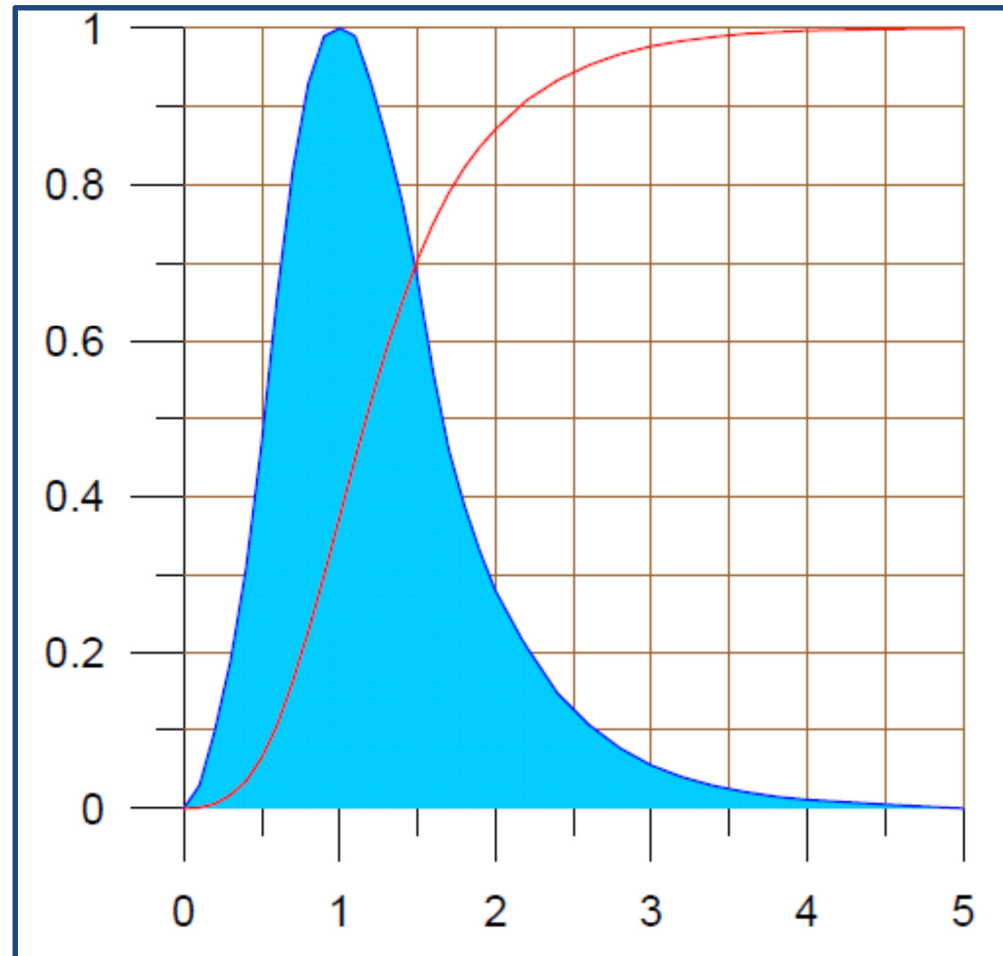
0	.000	.000
0.1	.030	.001
0.2	.100	.006
0.3	.190	.017
0.4	.310	.035
0.5	.470	.065
0.6	.660	.107
0.7	.820	.163
0.8	.930	.228
0.9	.990	.300
1.0	1.000	.375
1.1	.990	.450
1.2	.930	.522
1.3	.860	.589
1.4	.780	.650
1.5	.680	.705
1.6	.560	.751

1.7	.460	.790
1.8	.390	.822
1.9	.330	.849
2.0	.280	.871
2.2	.207	.908
2.4	.147	.934
2.6	.107	.953
2.8	.077	.967
3.0	.055	.977
3.2	.040	.984
3.4	.029	.989
3.6	.021	.993
3.8	.015	.995
4.0	.011	.997
4.5	.005	.999
5.0	.000	1.000



## ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ SCS

Διάγραμμα του τυπικού αδιάστατου υδρογραφήματος της SCS.  
(Απλού και αθροιστικού)



# ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ SCS

## ❖ Μέθοδος *Soil Conservation Service (SCS)* – Εφαρμογή

$t_d$	$Q_d$	$t$	$Q$
0	0	0	0
0.1	0.0175	1.27236	0.22266
0.2	0.075	2.54472	0.95427
0.3	0.16	3.81708	2.03578
0.4	0.28	5.08944	3.56261
0.5	0.43	6.36181	5.47115
0.6	0.6	7.63417	7.63417
0.7	0.77	8.90653	9.79718
0.8	0.89	10.1789	11.324
0.9	0.97	11.4513	12.3419
1	1	12.7236	12.7236
1.1	0.98	13.996	12.4691
1.2	0.92	15.2683	11.7057
1.3	0.84	16.5407	10.6878
1.4	0.75	17.8131	9.54271
1.5	0.66	19.0854	8.39758
1.6	0.56	20.3578	7.12522



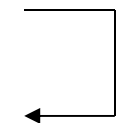
# ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ Sierra Nevada

## ❖ Μέθοδος Sierra - Nevada

- Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί το αδιάστατο υδρογράφημα της περιοχής Sierra-Nevada.
- Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή ο χρόνος υστέρησης του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος, σε ώρες, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$L_g = 0.177 * C * [L * L_m / S^{0.5}]^N$$

$$\text{ή } L_g = 0.5541 * [L * L_m / S^{0.5}]^N$$


$$K_n = 0.12$$

$L_g$  = ο χρόνος υστέρησης του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (h)

$C$  = σταθερά που παίρνεται ίση με  $26 * K_n$ ,  $K_n$  = συντελεστής Manning

$L$  = μέγιστο μήκος διαδρομής του κυρίου υδατορρέυματος (km)

$L_m$  = μήκος του κυρίου ρεύματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κέντρου βάρους της λεκάνης πάνω στο κύριο ρεύμα (km)

$S$  = κλίση του κυρίου ρεύματος σε m / m

$N$  = σταθερά ίση με 0.33



# ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ Sierra Nevada

## ❖ Μέθοδος Sierra - Nevada

- Η διάρκεια της μοναδιαίας βροχής  $D$  από την οποία προέρχεται το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα δίνεται από την σχέση:

$$D = L_g / 5.5$$

- Το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της Sierra – Nevada δίνεται από πίνακα (Παπαμιχαήλ, 2001)
- Ο χρόνος  $t_m$  του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (τετμημένη γραφήματος) υπολογίζεται:

$$t_m = T/100 * (L_g + D/2)$$

$t_m$  =είναι ο χρόνος του συνθετικού υδρογραφήματος (h)

$T$ = λαμβάνεται από πίνακα,

$L_g$ = χρόνος υστέρησης αιχμής (υπολογίστηκε)

$D$ = διάρκεια μοναδιαίας βροχής (υπολογίστηκε)





# ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ Sierra Nevada

## ❖ Μέθοδος Sierra - Nevada

- Η τεταγμένη του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (Παροχή) η οποία προέρχεται από μοναδιαία απορροϊκή βροχή υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q = 0.01157 * [ A * q / (L_g + D/2)]$$

q = αδιάστατη παροχή που παίρνεται από πίνακα (Παπαμιχαήλ, 2001).

T	q	t <sub>m</sub>	Q
5	0.65	0.49026	0.48512
10	1.3	0.98052	0.97024
25	3.25	2.4513	2.42561
50	12.17	4.9026	9.08297
80	21.54	7.84416	16.0762
100	15.26	9.8052	11.3892
200	4.06	19.6104	3.03015
500	0.46	49.026	0.34332



Αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της Sierra Nevada

$T=L_q+D/2$ (%)	$q$	$T=L_q+D/2$ (%)	$q$
5	0,65	155	6,33
10	1,30	160	5,99
15	1,95	165	5,67
20	2,60	170	5,36
25	3,25	175	5,07
30	4,23	180	4,85
35	5,51	185	4,63
40	7,17	190	4,43
45	9,34	195	4,24
50	12,17	200	4,06
55	13,88	205	3,89
60	15,83	210	3,73
65	18,05	215	3,58
70	20,59	220	3,44
75	23,48	225	3,30
80	21,54	230	3,18
85	19,77	235	3,08
90	18,13	240	2,98
95	16,63	245	2,88
100	15,26	250	2,79
105	13,83	255	2,69
110	12,53	260	2,60
115	11,36	265	2,50
120	10,29	270	2,41
125	9,33	275	2,30
130	8,73	280	2,26
135	8,17	285	2,18
140	7,65	290	2,11
145	7,15	295	2,05
150	6,69	300	1,98

Πίνακας. Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα της Sierra Nevada (Παπαμιχαήλ, 2001)

$T=L_q+D/2$ (%)	$q$	$T=L_q+D/2$ (%)	$q$
305	1,92	425	0,87
310	1,85	430	0,84
315	1,78	435	0,82
320	1,73	440	0,80
325	1,67	445	0,77
330	1,62	450	0,75
335	1,57	455	0,72
340	1,52	460	0,69
345	1,47	465	0,66
350	1,42	470	0,63
355	1,38	475	0,61
360	1,34	480	0,58
365	1,30	485	0,55
370	1,26	490	0,52
375	1,22	495	0,49
380	1,18	500	0,46
385	1,14	505	0,43
390	1,11	510	0,40
395	1,06	515	0,38
400	1,03	520	0,34
405	1,00	525	0,31
410	0,96	530	0,28
415	0,93	535	0,25
420	0,90	540	0,22



# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΙΓΜΙΑΙΟΥ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΔΙΟΔΕΥΣΗΣ

**Εκτίμηση του μοναδιαίου υδρογραφήματος μιας λεκάνης απορροής με την μέθοδο των ισόχρονων καμπύλων**

- Ισόχρονες καμπύλες είναι οι καμπύλες που προσδιορίζουν σημεία της λεκάνης από τα οποία το νερό της βροχής φθάνει στην έξοδο της λεκάνης στον ίδιο ακριβώς χρόνο.
- Ο χρόνος που χρειάζεται το νερό για να φθάσει ως την έξοδο της λεκάνης εξαρτάται από την διαδρομή που θα ακολουθήσει (απόσταση), τις κλίσεις και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας πάνω στην οποία κινείται.

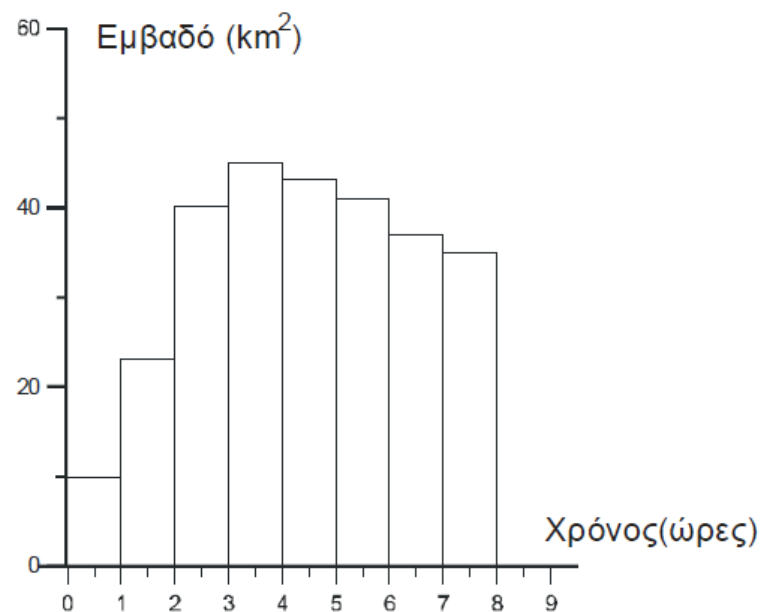


# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΙΓΜΙΑΙΟΥ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΔΙΟΔΕΥΣΗΣ

Λεκάνη χωρισμένη με ισόχρονες  
καμπύλες σε ζώνες



Ιστόγραμμα Χρόνου-Εμβαδών



# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΙΓΜΙΑΙΟΥ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΔΙΟΔΕΥΣΗΣ

- Το μοναδιαίο υδρογράφημα είναι δυνατόν να προσδιορισθεί από το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα (ΣΜΥ). Το ΣΜΥ μπορεί να προσδιορισθεί με μια διαδικασία διόδευσης του ιστογράμματος χρόνου-εμβαδού που έχει προέλθει από την μέτρηση των επιμέρους εμβαδών μεταξύ των ισοχρόνων καμπυλών.  
**(Σημείωση:** Για την μετατροπή των μονάδων του ιστογράμματος χρόνου-εμβαδού από  $\text{km}^2$  και για ωριαίο χρονικό βήμα σε παροχή (σε  $\text{m}^3/\text{s}$ ) χρησιμοποιείτε  $1\text{cm km}^2/\text{h}=2,78 \text{ m}^3/\text{s}$ ).
- Υποτίθεται ότι στην έξοδο της λεκάνης απορροής υπάρχει ένας ταμιευτήρας με χωρητικότητα ίση με τη χωρητικότητα της λεκάνης. Τότε το ιστόγραμμα χρόνου-εμβαδού παριστάνει την εισροή στο φανταστικό αυτό ταμιευτήρα. Ο ταμιευτήρας θεωρείται γραμμικός:

$$S = K \cdot Q$$

όπου  $K$  ο συντελεστής αποθήκευσης της λεκάνης.

- Ακόμα, για τον ταμιευτήρα ισχύει η σχέση:

$$I - Q = \frac{dS}{dt}$$



# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΙΓΜΙΑΙΟΥ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΔΙΟΔΕΥΣΗΣ

- Στις παραπάνω σχέσεις  $I$  είναι το ιστόγραμμα χρόνου-εμβαδού (με κατάλληλη προσαρμογή μονάδων),  $Q$  η εκροή από τον ταμιευτήρα που ταυτίζεται με το Σ.Μ.Υ. της λεκάνης και  $S$  η αποθηκευόμενη ποσότητα νερού μέσα στο φανταστικό ταμιευτήρα.
- Η εξίσωση αποθήκευσης σε πεπερασμένη μορφή γράφεται:

$$I - Q = \frac{dS}{dt} \qquad \frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{Q_1 + Q_2}{2} \Delta t = S_2 - S_1$$

όπου:  $S_1 = K \cdot Q_1 \qquad S_2 = K \cdot Q_2$

- Προκύπτει:  $Q_2 = m_0 I_2 + m_1 I_1 + m_2 Q_1$

όπου:  $m_0 = \frac{0,5\Delta t}{K + 0,5\Delta t}$

$$m_1 = \frac{0,5\Delta t}{K + 0,5\Delta t}$$

$$m_2 = \frac{K - 0,5\Delta t}{K + 0,5\Delta t}$$



# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΙΓΜΙΑΙΟΥ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΔΙΟΔΕΥΣΗΣ

- Αλλά εξαιτίας της μορφής του ιστογράμματος  $I$ , οι τιμές της  $I$  στην αρχή και στο πέρας κάθε διαστήματος  $\Delta t$  είναι ίσες:

$$I_1 = I_2$$

- Άρα:  $Q_2 = m' I_2 + m_2 Q_1$

$$m' = m_0 + m_1$$

$$m' = \frac{\Delta t}{K + 0,5\Delta t}$$

Και γενικά σε οποιοδήποτε χρονικό βήμα  $i$  είναι:

$$Q_i = m' I_i + m_2 Q_{i-1}$$

$$m_2 = \frac{K - 0,5\Delta t}{K + 0,5\Delta t}$$

- Το υδρογράφημα απορροής που βρίσκεται από την διόδευση του ιστογράμματος χρόνου-εμβαδού είναι το ΣΜΥ. Η μετατροπή του σε μοναδιαίο υδρογράφημα διάρκειας  $\Delta t$  γίνεται από τον τύπο:

$$U_i = \frac{Q_{i-1} + Q_i}{2} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta \tau}$$



# Βιβλιογραφία

- Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. 2012. «Υδρογραφήματα-Διόδευση-Στερεοπαροχή», Διαφάνειες του μαθήματος «Τεχνική Υδρολογία»  
<http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/ydrographmata%20monadiaio%20gia%20site.pdf>
- 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<sup>η</sup> 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.

