

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΠΡΟΓΡ. ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ»

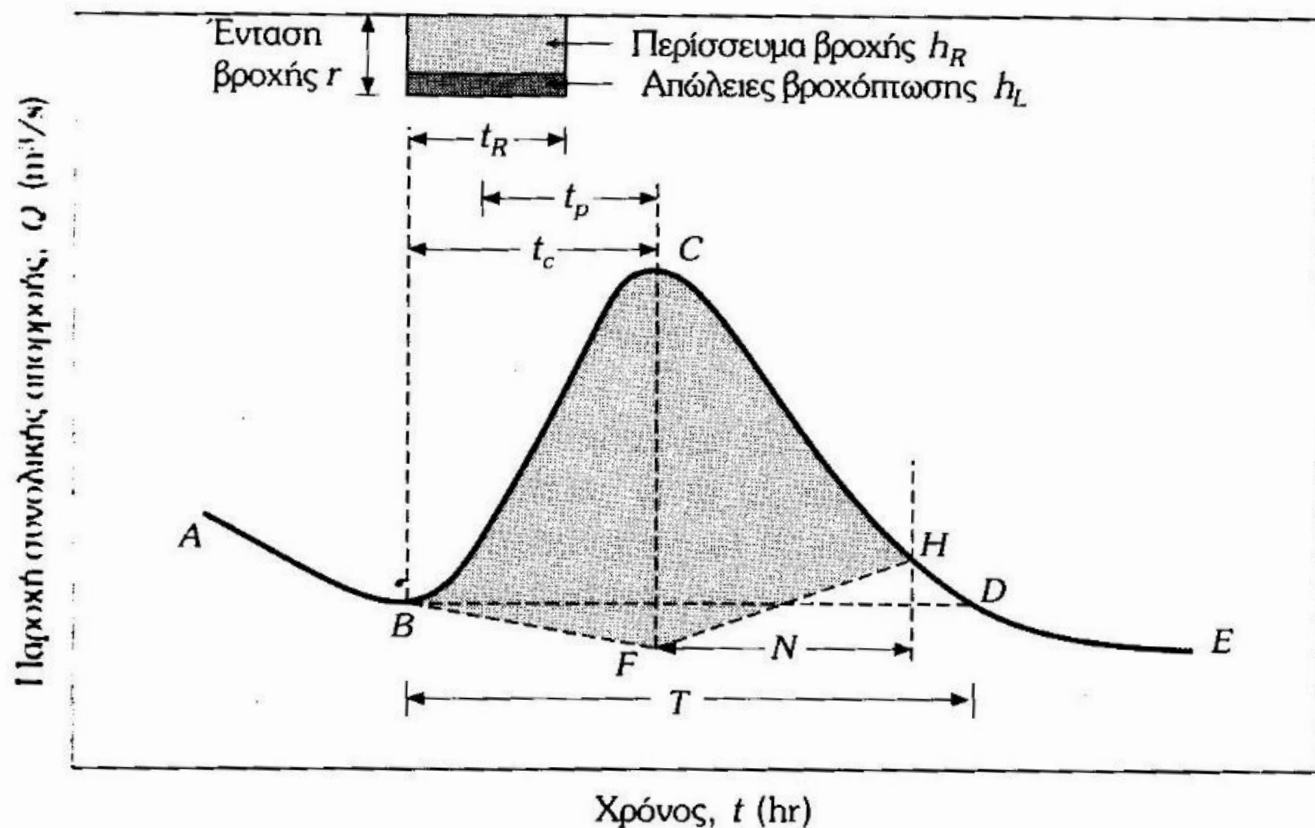
Συστήματα πρόβλεψης και έγκαιρης
προειδοποίησης βροχοπτώσεων και
Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT)

Αγγελίδης Π., Καθηγητής

Συνθετική παραγωγή χρονοσειρών υδρολογικών παραμέτρων

Υδρογράφημα

Υδρογράφημα θεωρείται γενικά η γραφική παράσταση της απορροής σε μια διατομή ενός ρεύματος ως συνάρτηση του χρόνου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον σχεδιασμό των υδραυλικών έργων παρουσιάζουν τα υδρογράφημα των πλημμυρών δηλαδή των απορροών που αποτελούνται κυρίως από επιφανειακή απορροή.



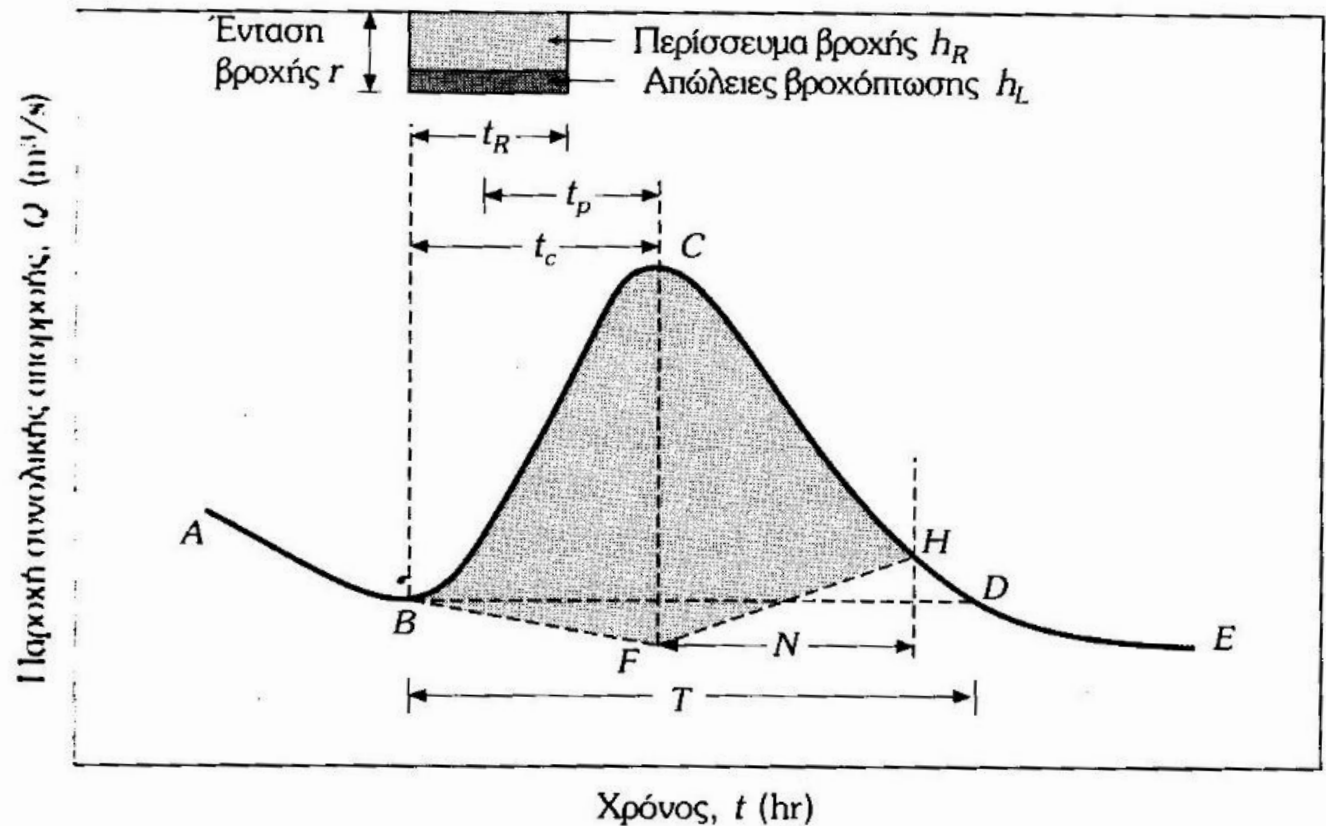
Υδρογράφημα

t_R = διάρκεια βροχής

t_p = χρονική επιβράδυνση, χρόνος από ΚΒ βροχής έως την αιχμή

t_c = χρόνος συγκέντρωσης λεκάνης, χρόνος για να διανύσει το νερό την απόσταση από το πιο απομακρυσμένο σημείο

T = χρονική βάση, περίοδος που παρατηρείται επιφανειακή απορροή



Υδρογράφημα

(BCH) άμεση απορροή (γραμμοσκιασμένη περιοχή)

(ABFHDE) βασική απορροή

Βασική απορροή – άμεση απορροή

BF = προέκταση AB έως κατακόρυφη από χρόνο αιχμής

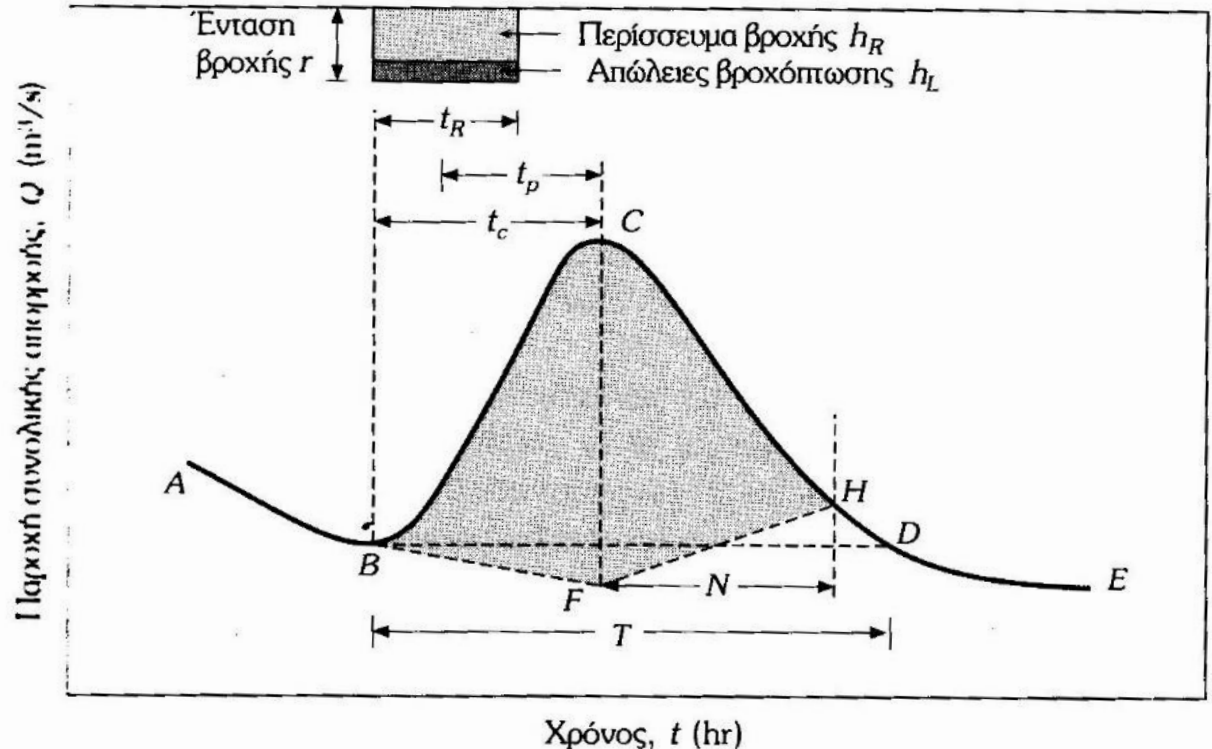
FH: σημείο H βρίσκεται στην τομή CE με κατακόρυφο που σχεδιάζεται σε απόσταση N ημερών από το σημείο F.

$$N = 0.83A^{0.2}$$

N σε μέρες

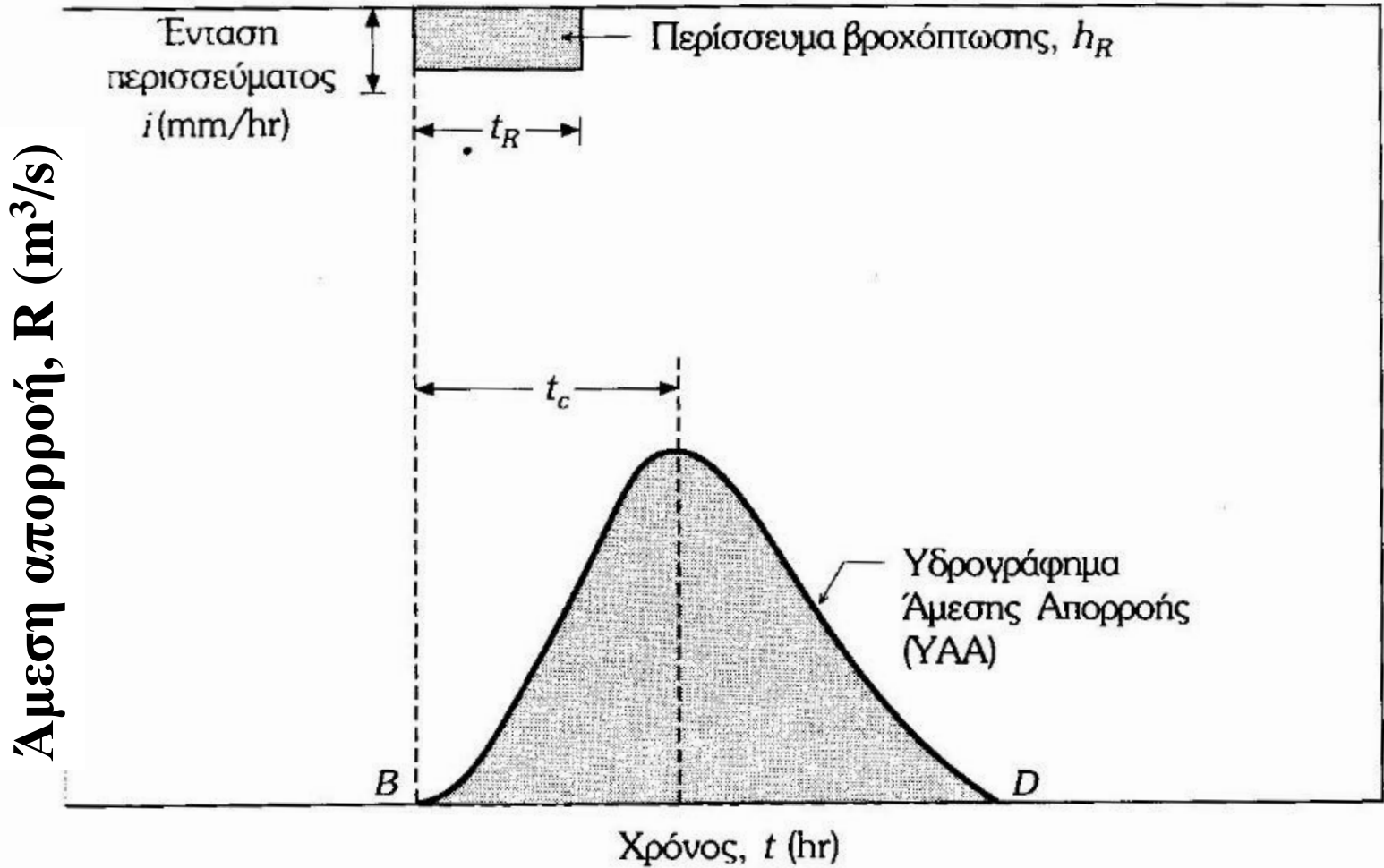
A έκταση Υδρολ.

λεκάνης σε Km²



Υδρογράφημα

Υδρογράφημα άμεσης απορροής (γραμμοσκιασμένη περιοχή)



Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Ως *Μοναδιαίο Υδρογράφημα* μιας βροχής διάρκειας περισσεύματος t_R ομοιόμορφα κατανεμημένης σε μια λεκάνη απορροής ονομάζεται το αντίστοιχο υδρογράφημα της άμεσης απορροής που προήλθε από περίσσευμα βροχής $h_R = 1 \text{ cm}$. 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.

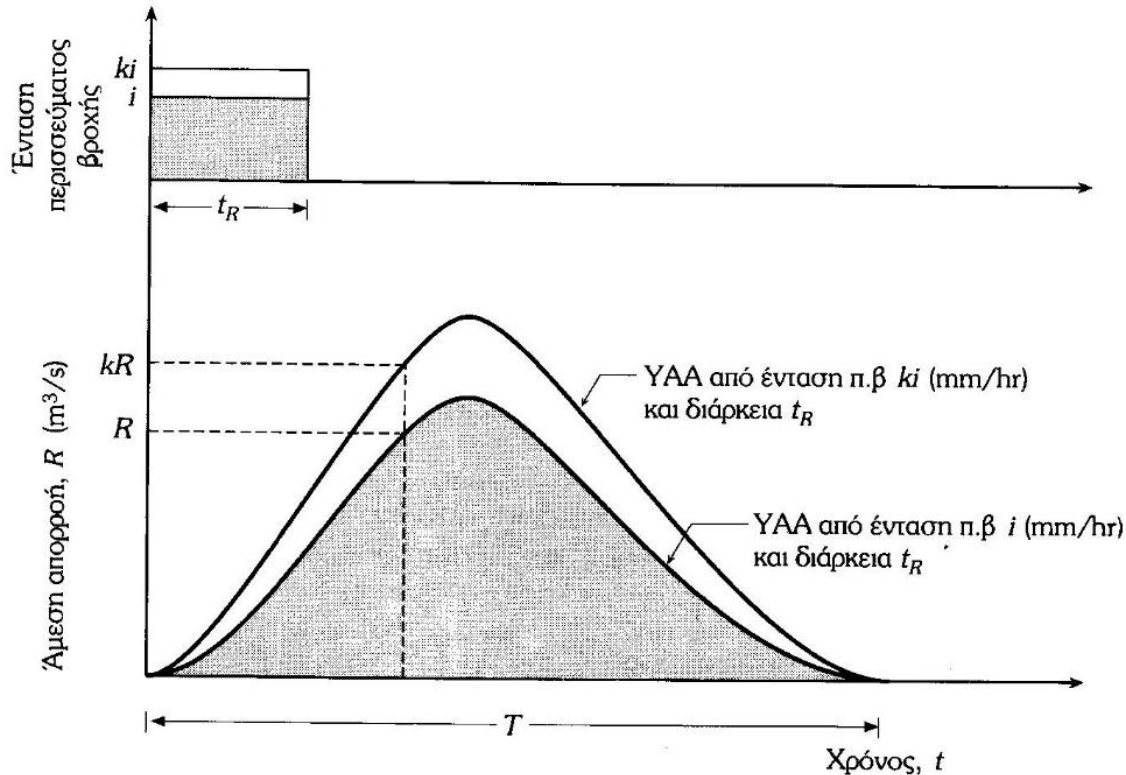
Η χρησιμότητα του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι μεγάλη γιατί όπως θα αναπτυχθεί παρακάτω το ΜΥΓ μπορεί να μετασχηματίσει κάτω από ορισμένες παραδοχές οποιοδήποτε περίσσευμα ραγδαίας βροχής διαφορετικής έστω διάρκειας σε υδρογράφημα της άμεσης απορροής.

Οι αρχές που στηρίζεται η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι οι ακόλουθες:

Μοναδιαίο Υδρογράφημα

i. Αρχή της Αναλογίας

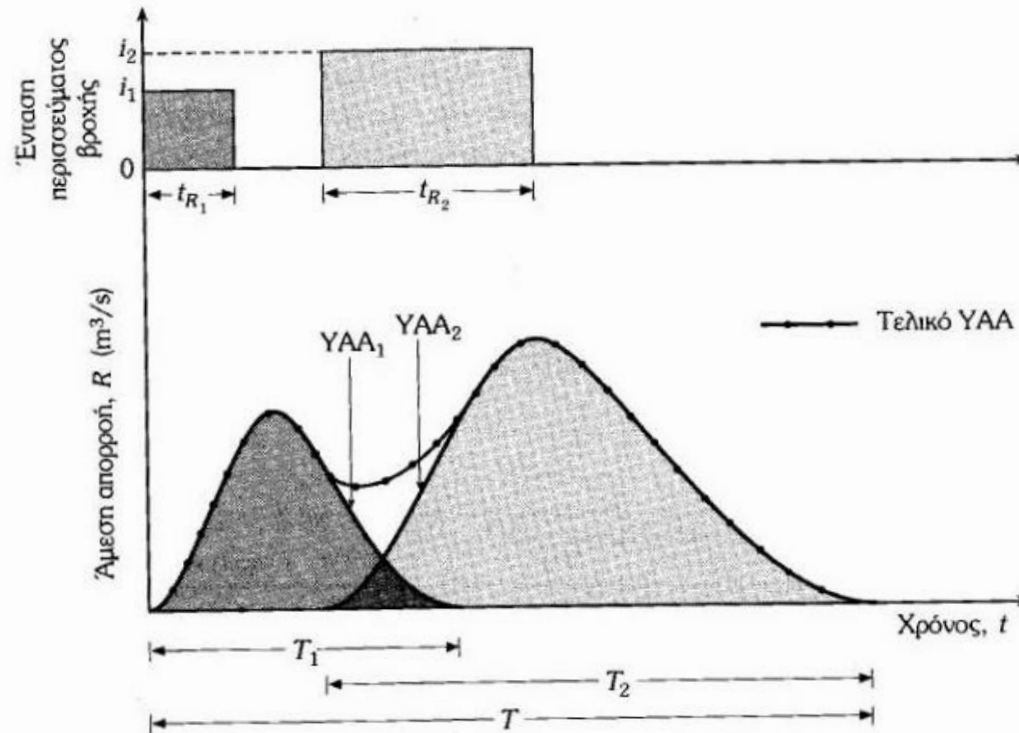
Σύμφωνα με την αρχή αυτή δύο βροχές με περίσσευμα βροχόπτωσης της ίδιας διάρκειας αλλά με διαφορετικές εντάσεις περισσεύματος βροχόπτωσης δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια χρονική βάση αλλά με τεταγμένες σε κάθε χρονική στιγμή που έχουν λόγο μεταξύ τους ίσο με το λόγο των εντάσεων. Δηλαδή για εντάσεις με λόγο k μεταξύ τους αλλά της ίδιας διάρκειας προκύπτουν υδρογραφήματα άμεσης απορροής (ΥΑΑ) με τεταγμένες που έχουν λόγο k και την ίδια χρονική βάση T



Μοναδιαίο Υδρογράφημα

ii. Αρχή της Επαλληλίας

Σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας το συνολικό ΥΑΑ που προκύπτει από επιμέρους βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με τεταγμένες το άθροισμα των τεταγμένων των ΥΑΑ των επιμέρους βροχοπτώσεων (Σχ. 11.6).



Σχ. 11.6: Η αρχή της επαλληλίας.

Οι παραπάνω αρχές πηγάζουν ουσιαστικά από τις ακόλουθες παραδοχές (Linsley κ.ά. 1949) που αποτελούν και προϋποθέσεις για τη χρήση του μοναδιαίου υδρογραφήματος:

- (i) Η κατανομή του περισσεύματος της βροχής στο χώρο και στο χρόνο είναι η ίδια για βροχές με την ίδια διάρκεια.
- (ii) Η ένταση της βροχής είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του γεγονότος

Παράδειγμα ΥΔΡ1

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

Από τον ορισμό του ΜΥΓ προκύπτει ότι το ύψος περισσεύματος είναι 1 cm ή 10 mm. Επομένως η ένταση π.β. είναι $r_1 = 10/6$ mm/hr. Στην περίπτωση του περισσεύματος των 25 mm η ένταση $r_2 = 25/6$ mm/hr. Δηλαδή ο λόγος των εντάσεων $k = r_2/r_1 = 25/10 = 2.5$. 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

Παράδειγμα ΥΔΡ2

Έστω ότι είναι γνωστό το υδρογράφημα άμεσης απορροής μιας βροχής γνωστού περισσεύματος βροχής 25 mm, διάρκειας $t_R=6$ h. Να υπολογιστεί το ΜΥΓ της ίδιας διάρκειας βροχής.

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

Επειδή το ΜΥΓ αφορά περίσσευμα βροχής 1 cm = 10 mm, το ζητούμενο ΜΥΓ θα προέλθει με διαίρεση των τεταγμένων του παραπάνω υδρογραφήματος με $25/10=2.5$. Οπότε προκύπτει:

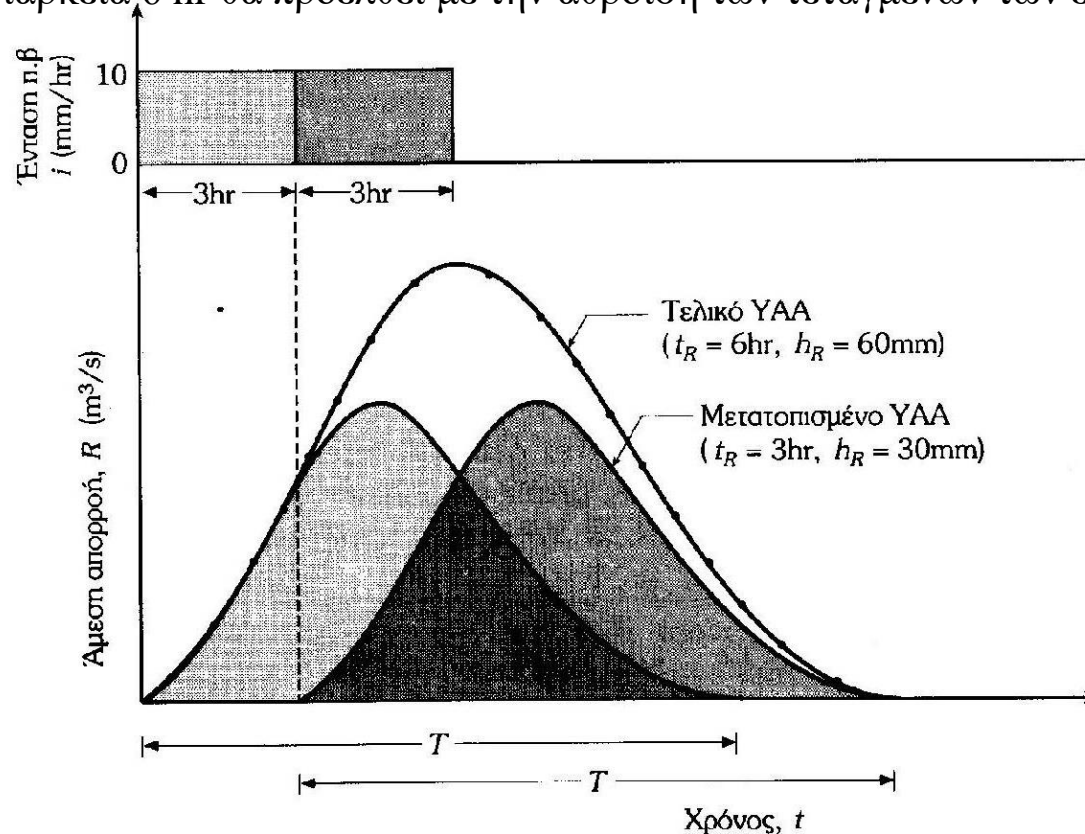
t (hr)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39
U (m^3/s)	0	34	84	116	114	75	45	29	20	14	9	5	2	0

Μοναδιαίο Υδρογράφημα

3. Αν είναι γνωστό το ΥΑΑ ορισμένης διάρκειας και έντασης τότε είναι δυνατός ο προσδιορισμός του ΥΑΑ που προέρχεται από πολλαπλάσια διάρκεια αλλά την ίδια ένταση.

Παράδειγμα. Δίνεται το ΥΑΑ περισσέυματος βροχής $h_R = 30$ mm διάρκειας 3 hr και ζητείται το ΥΑΑ της ίδιας έντασης διάρκειας 6 hr (Σχ. 11.7).

Αν το δεύτερο 3ωρο θεωρηθεί μεμονωμένο θα έχει ως αποτέλεσμα ένα όμοιο ΥΑΑ αλλά μετατοπισμένο κατά 3 hr. Σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας το τελικό ΥΑΑ από το περίσσευμα βροχής 60 mm με διάρκεια 6 hr θα προέλθει με την άθροιση των τεταγμένων των επιμέρους ΥΑΑ



Σχ. 11.7: Προσδιορισμός ΥΑΑ από βροχή πολλαπλάσιας διάρκειας αλλά της ίδιας έντασης περισσέυματος.

Παράδειγμα ΥΔΡ3

Παράδειγμα. Δίνεται το ΜΥΓ 1 hr (Στήλες 1 ÷ 3 του Πίν. 11.1) και ζητείται το ΜΥΓ διάρκειας 2 hr. Στον Πίν. 11.1 φαίνεται αναλυτικά η πορεία που ακολουθείται. Μ' αυτό τον τρόπο από τις τεταγμένες του ΜΥΓ 1 hr, U_i , υπολογίζονται οι τεταγμένες του ΜΥΓ 2 hr, U'_i .

Πίν. 11.1: Υπολογισμός του ΜΥΓ 2 hr από το ΜΥΓ 1 hr

i	t (hr)	ΜΥΓ 1 hr U_i (m ³ /s)	Μετατοπισμένο ΜΥΓ U_{i-1} (m ³ /s)	Επαλληλία $U_i + U_{i-1}$ (m ³ /s)	ΜΥΓ 2 hr U'_i (m ³ /s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) + (4)	(6) = (5)/2
1	0	0		0	0
2	1	3.18	0	3.18	1.59
3	2	11.38	3.18	14.56	7.28
4	3	16.74	11.38	28.12	14.06
5	4	14.24	16.74	30.98	15.49
6	5	9.04	14.24	23.28	11.64
7	6	5.86	9.04	14.90	7.45
8	7	3.68	5.86	9.54	4.77
9	8	2.18	3.68	5.86	2.93
10	9	1.42	2.18	3.60	1.80
11	10	0.84	1.42	2.26	1.13
12	11	0.54	0.84	1.38	0.69
13	12	0.35	0.54	0.89	0.45
14	13		0.35	0.35	0.18
15	14		0	0	0

Παράδειγμα ΥΔΡ4

Έστω το ΜΥΓ 1 hr του προηγούμενου παραδείγματος ΥΔΡ3. Να προσδιοριστεί το υδρογράφημα πλημμύρας διάρκειας 3 hr με ύψη βροχής 16, 25, 12 mm για την 1^η, 2^η και 3^η ώρα της βροχής. Ο δείκτης Φ έχει εκτιμηθεί σε 4 mm/hr και η βασική απορροή είναι 1 m³/s

Λύση

Οι απώλειες ύψους βροχής κάθε ώρα είναι:

$$h_1 = t_R * \Phi = 1 \text{ hr} * 4 \text{ mm/hr} = 4 \text{ mm}$$

Ύψη περισσέυματος βροχόπτωσης:

$$1^{\text{η}} \text{ ώρα: } h_{R1} = 16 - 4 = 12 \text{ mm} = 1.2 \text{ cm}$$

$$2^{\text{η}} \text{ ώρα: } h_{R2} = 25 - 4 = 21 \text{ mm} = 2.1 \text{ cm}$$

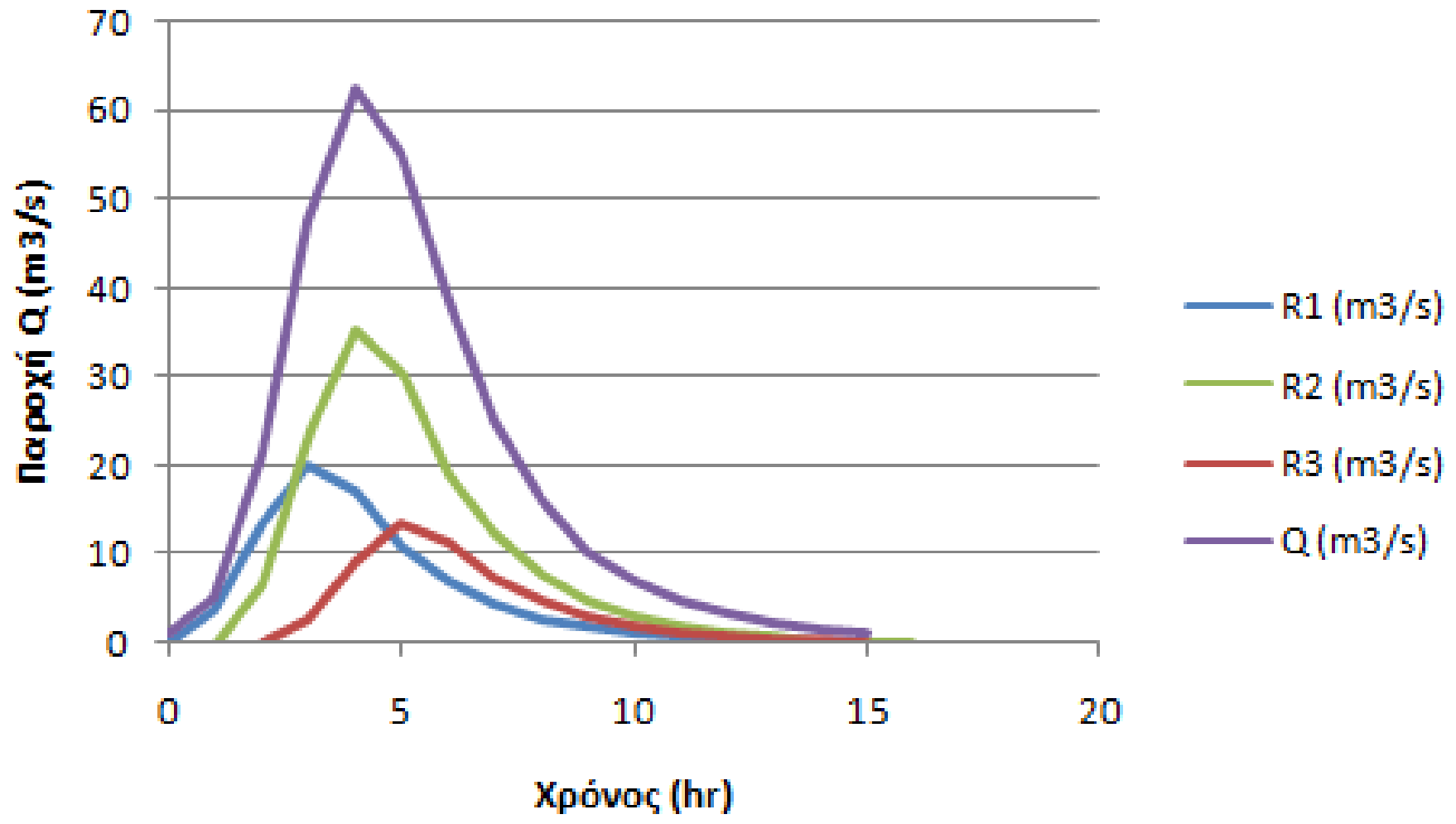
$$3^{\text{η}} \text{ ώρα: } h_{R3} = 12 - 4 = 8 \text{ mm} = 0.8 \text{ cm}$$

Καταρτίζεται ο πίνακας που ακολουθεί.

Παράδειγμα ΥΔΡ4

A/A	t (hr)	ΜΥΓ 1hr (m ³ /s)	R1 (m ³ /s)	R2 (m ³ /s)	R3 (m ³ /s)	B (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
1	0	0	0			1.00	1.00
2	1	3.18	3.82	0		1.00	4.82
3	2	11.38	13.66	6.68	0	1.00	21.33
4	3	16.74	20.09	23.90	2.54	1.00	47.53
5	4	14.24	17.09	35.15	9.10	1.00	62.35
6	5	9.04	10.85	29.90	13.39	1.00	55.14
7	6	5.86	7.03	18.98	11.39	1.00	38.41
8	7	3.68	4.42	12.31	7.23	1.00	24.95
9	8	2.18	2.62	7.73	4.69	1.00	16.03
10	9	1.42	1.70	4.58	2.94	1.00	10.23
11	10	0.84	1.01	2.98	1.74	1.00	6.73
12	11	0.54	0.65	1.76	1.14	1.00	4.55
13	12	0.35	0.42	1.13	0.67	1.00	3.23
14	13	0	0	0.74	0.43	1.00	2.17
15	14	0	0	0	0.28	1.00	1.28
16	15	0	0	0	0	1.00	1.00
17	16	0	0	0	0	1.00	1.00

Παράδειγμα ΥΔΡ4



Προσδιορισμός Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Κατ' αρχάς γίνεται επιλογή υδρογραφημάτων από:

- Μεμονωμένες ραγδαίες βροχές μεγάλης έντασης και ομοιόμορφης κατανομής.
- Βροχές συνολικού περισσέυματος βροχής 1 - 4 cm με διάρκεια μικρότερη του $\frac{1}{4}$ του ανιόντος σκέλους του υδρογραφήματος.

Γίνεται η εκτίμηση της βασικής απορροής.

Υπολογισμός όγκου άμεσης απορροής ήτοι: $R(t) = Q(t) - B(t)$

όγκος άμεσης απορροής: $V = \int_0^T R(t) dt = \Delta t \sum R_i$

ύψος περισσέυματος βροχόπτωσης (cm): $h_R = V / A_D = 0.36 \frac{\Delta t}{A_D} \sum R_i$
(Δt σε ώρες, A_D σε km^2 , R σε m^3/s , h_R σε cm)

Τεταγμένες ΜΥΓ από εξ ορισμού θα είναι: $U(t) = R(t) / h_R$

Παράδειγμα ΥΔΡ3b

Έστω, ότι σε έναν ξεροχείμαρο με μηδενική βασική απορροή, μετρήθηκε το υδρογράφημα άμεσης απορροής του πίνακα, μετά από μια βροχή διάρκειας 4 hr με σχετικά ομοιόμορφη ένταση και κατανομή σε μια λεκάνη απορροής έκτασης 1500 Km².

Ζητείται να προσδιοριστεί το ΜΥΓ διάρκειας 4 hr.

α/α	t (hr)	ΑΜΕΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗ R(m ³ /s)
1	0	0
2	4	291
3	8	762
4	12	474
5	16	265
6	20	146
7	24	88
8	28	39
9	32	0

Παράδειγμα ΥΔΡ3b

Το ύψος άμεσης απορροής δίνεται από τη σχέση:

$$h_R = V / A_D = 0.36 \frac{\Delta t}{A_D} \sum R_i \quad (h_R \text{ σε cm, } \Delta t \text{ σε ώρες, } A_D \text{ σε km}^2, R \text{ σε m}^3/\text{s})$$

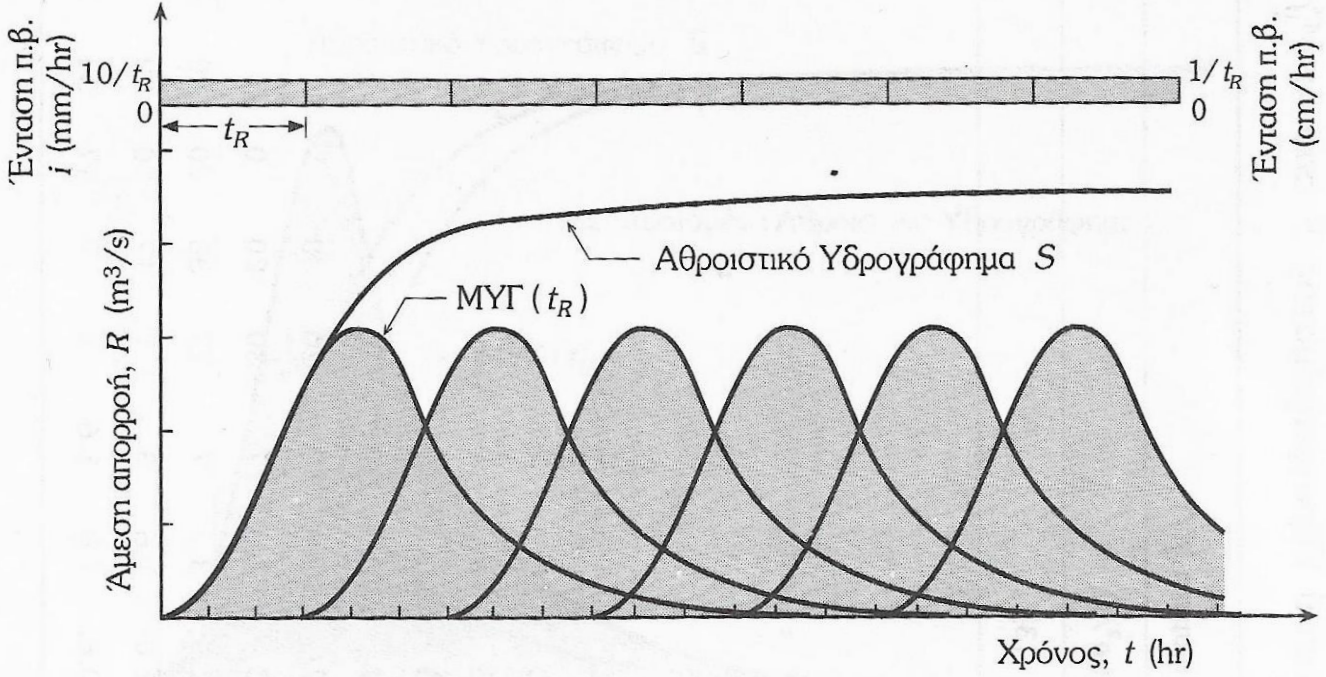
Αντικαθιστώντας προκύπτει: $h_R = 0,36 \frac{4}{1500} 2065 = 1,98 \text{cm}$

Οπότε το ΜΥΓ 4 hr προκύπτει από το υδρογράφημα άμεσης απορροή διαιρώντας τις τεταγμένες με 1,98.

α/α	t (hr)	ΑΜΕΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗ R(m ³ /s)	ΜΥΓ 4hr U(m ³ /s)
1	0	0	0
2	4	291	147
3	8	762	385
4	12	474	239
5	16	265	134
6	20	146	74
7	24	88	44
8	28	39	20
9	32	0	0

Αθροιστικό υδρογράφημα S

Αν είναι γνωστό το ΜΥΓ μιας διάρκειας t_R τότε η ένταση περισσεύματος βροχής που το προκαλεί είναι $i = 10/t_R$ mm/hr ή $1/t_R$ cm/hr. Αν η ένταση αυτή παρέμενε σταθερή για ένα μεγάλο διάστημα τότε το τελικό ΥΑΑ θα προέκυπτε από την επαλληλία ενός αριθμού ΜΥΓ όμοιων του αρχικού αλλά μετατοπισμένων κατά t_R το ένα από το άλλο (Σχ 11.9).



Σχ. 11.9: Υπολογισμός Αθροιστικού Υδρογραφήματος S.

Το υδρογράφημα άμεσης απορροής που προκύπτει έχει σχήμα S και είναι γνωστό ως αθροιστικό υδρογράφημα. Λόγω του ότι το αθροιστικό υδρογράφημα εξαρτάται από την ένταση του αντίστοιχου μοναδιαίου, χαρακτηρίζεται από την αντίστοιχη διάρκεια του ΜΥΓ από το οποίο προήλθε.

Το αθροιστικό υδρογράφημα S χρησιμοποιείται κυρίως για τη μετα-

Παράδειγμα ΥΔΡ8

Προσδιορισμός ΜΥΓ από δοθέν υδρογράφημα και υπολογισμός υδρογραφήματος πλημμύρας.

Δίνεται το υδρογράφημα το οποίο προήλθε από μια ραγδαία βροχή ομοιόμορφης έντασης και κατανομής σε μια λεκάνη απορροής με έκταση 2426 Km^2 , διάρκειας $t_R=6 \text{ hr}$ και συνολικού ύψους $h_r=32\text{mm}$ (στήλες 2 και 3 του πίνακα). Επίσης δίνεται η βασική απορροή (στήλη 4).

- α) Να βρεθεί το ΜΥΓ διάρκειας 6 hr**
- β) Να βρεθεί ο δείκτης Φ**
- γ) Να βρεθεί η απορροή μιας βροχής διάρκειας 12 hr και ύψους 40 mm το πρώτο εξάωρο και 60 mm το δεύτερο συνεχόμενο εξάωρο. Η βασική απορροή εκτιμάται σε $130 \text{ m}^3/\text{s}$.**

Παράδειγμα ΥΔΡ8

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

α/α i	Χρόνος t [hr]	Απορροή Q [m ³ /s]	Βασική απορροή B [m ³ /s]	Άμεση απορροή R [m ³ /s]	Μοναδιαίο Υδρογράφημα U [m ³ /s.cm]	Άμεση απορροή πλημμύρας			Βασική απορροή B [m ³ /s]	Απορροή πλημμύρας Q [m ³ /s]
						R ₁ [m ³ /s]	R ₂ [m ³ /s]	R [m ³ /s]		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
0	0	100	100.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	130	130
1	3	136	102.8	33.2	21.3	50.3	-	50.3	130	180
2	6	200	105.6	94.4	60.5	142.8	0.0	142.8	130	273
3	9	312	108.4	203.6	130.5	308.0	92.9	400.8	130	531
4	12	452	111.2	340.8	218.5	515.7	263.8	779.4	130	909
5	15	590	114.1	475.9	305.1	720.0	569.0	1289.0	130	1419
6	18	680	116.9	563.1	361.0	852.0	952.7	1804.6	130	1935
7	21	620	119.7	500.3	320.7	756.9	1330.2	2087.1	130	2217
8	24	530	122.5	407.5	261.2	616.4	1574.0	2190.4	130	2320
9	27	425	125.3	299.7	192.1	453.4	1398.3	1851.6	130	1982
10	30	340	128.1	211.9	135.8	320.5	1138.8	1459.3	130	1589
11	33	281	130.9	150.1	96.2	227.0	837.6	1064.6	130	1195
12	36	238	133.8	104.2	66.8	157.6	592.1	749.7	130	880
13	39	202	136.6	65.4	41.9	98.9	419.4	518.3	130	648
14	42	177	139.4	37.6	24.1	56.9	291.2	348.1	130	478
15	45	159	142.2	16.8	10.8	25.5	182.7	208.2	130	338
16	48	145	145.0	0.0	0.0	0.0	105.1	105.1	130	235
17	51	134	134.0	0.0			47.1	47.1	130	177
18	54	125	125.0	0.0			0.0	0.0	130	130
19	57	118	118.0	0.0						
20	60	112	112.0	0.0						
21	63	110	110.0	0.0						
22	66	110	110.0	0.0						
23	69	110	110.0	0.0						
24	72	110	110.0	0.0						

Παράδειγμα ΥΔΡ8

Λύση

α) Στη στήλη 5 δίνεται η άμεση απορροή R (=απορροή – βασική)

Το ύψος άμεσης απορροής δίνεται από τη σχέση:

$$h_R = V / A_D = 0.36 \frac{\Delta t}{A_D} \sum R_i \quad (h_R \text{ σε cm, } \Delta t \text{ σε ώρες, } A_D \text{ σε km}^2, R \text{ σε m}^3/\text{s})$$

Αντικαθιστώντας προκύπτει: $h_R = 0.36 * (3/2426) * 3504.5 = 1.56 \text{ cm}$

Οπότε το ΜΥΓ 6 hr προκύπτει από το υδρογράφημα άμεσης απορροής διαιρώντας τις τεταγμένες με 1.56 (στήλη 6).

β) Δείκτης Φ . Από τη βροχή 32 mm έγιναν απορροή τα 15.6 mm, άρα οι απώλειες είναι $32 - 15.6 = 16.4 \text{ mm}$. Άρα ο δείκτης Φ ισούται με $16.4/6 = 2.73 \text{ mm/hr}$.

Παράδειγμα ΥΔΡ8

Λύση

γ) Τα καθαρά ύψη βροχής είναι για τα 2 διαδοχικά εξάωρα:

$$h_{R1}=40-2.73*6=23.6 \text{ mm και } h_{R2}=60-2.73*6=43.6 \text{ mm}$$

Στη στήλη 7 δίνεται η απορροή του πρώτου εξαώρου βροχής (ΜΥΓ x 2.36)

Στη στήλη 8 δίνεται η απορροή του δεύτερου διαδοχικού εξαώρου βροχής (ΜΥΓ x 4.36) μετατοπισμένη κατά 6 ώρες.

Στη στήλη 9 δίνεται η συνολική απορροή της 12ωρης βροχής.

Στη στήλη 10 υπάρχει η βασική απορροή.

Στη στήλη 11 δίνεται η απορροή πλημμύρας, δηλαδή το άθροισμα άμεσης (στήλη 9) και βασικής απορροής (στήλη 10).

Παράδειγμα ΥΔΡ9

Προσδιορισμός ΜΥΓ από άλλο ΜΥΓ και υπολογισμός υδρογραφήματος πλημμύρας

Το ΜΥΓ μιας βροχής διάρκειας 6 hr μιας λεκάνης απορροής εκτάσεως 2688 Km² έχει προσδιοριστεί και δίνεται στις στήλες 2 και 3 του πίνακα. Ζητούνται:

α) Το ΜΥΓ διάρκειας 12 hr

β) Να προσδιοριστεί το υδρογράφημα πλημμύρας που προέρχεται από βροχή: 55 mm για τις 12 πρώτες ώρες, 95 mm για τις 12 επόμενες ώρες και 45 mm για τις τελευταίες 12 ώρες. Ο δείκτης Φ εκτιμήθηκε σε 2.5 mm/hr και η βασική απορροή σε 10% της αιχμής της άμεσης απορροής.

Παράδειγμα ΥΔΡ9

Λύση

Προσδιορίζεται πρώτα το ΜΥΓ των 12 ωρών με βάση το ΜΥΓ των 6 ωρών, του μετατοπισμένου κατά 6 ώρες ΜΥΓ των 6 ωρών και διαίρεσης διά του 2.0 (στήλες 3, 4, 5, και 6).

Με βάση τον δείκτη Φ οι απώλειες βροχόπτωσης για 12 ώρες είναι:
 $12\Phi = 12 * 2.5 = 30 \text{ mm}$.

Συνεπώς το περίσσευμα βροχόπτωσης για κάθε 12ωρο είναι:

$$h_{R1} = 55 - 30 = 25 \text{ mm ή } 2.5 \text{ cm}$$

$$h_{R2} = 95 - 30 = 65 \text{ mm ή } 6.5 \text{ cm}$$

$$h_{R3} = 45 - 30 = 15 \text{ mm ή } 1.5 \text{ cm}$$

Το υδρογράφημα απορροής κάθε μιας βροχής προέρχεται από τον πολλαπλασιασμό του ΜΥΓ 12 ωρών επί το αντίστοιχο ύψος περισσεύματος βροχόπτωσης, μετατοπισμένο κατάλληλα (βλέπε πίνακα).

Παράδειγμα ΥΔΡ9

Λύση

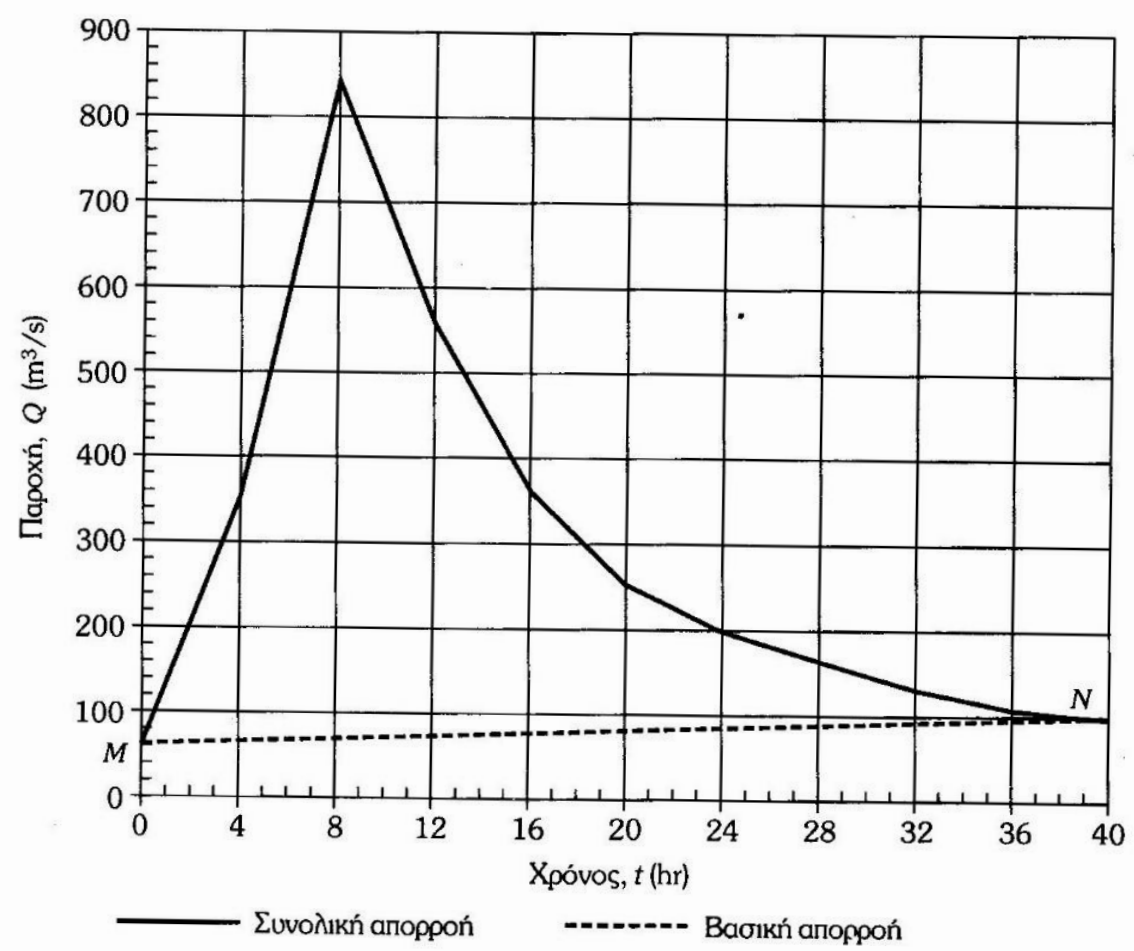
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΥΓ ΑΠΟ ΑΛΛΟ ΜΥΓ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

α/α i	Χρόνος t [hr]	ΜΥΓ 6 hr $U_1(t)$ [m ³ /s.cm]	ΜΥΓ 6 hr $U_1(t-6)$ [m ³ /s.cm]	Άθροισμα [m ³ /s.cm]	ΜΥΓ 12 hr U_2 [m ³ /s.cm]	Άμεση απορροή				Βασική απορροή B [m ³ /s]	Απορροή πλημμύρας Q [m ³ /s]
						R ₁ [m ³ /s]	R ₂ [m ³ /s]	R ₃ [m ³ /s]	R [m ³ /s]		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) + (4)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
0	0	0	-	0	0.0	0.0	-	-	0	278	278
1	3	24	-	24	12.0	30.0	-	-	30	278	308
2	6	67	0	67	33.5	83.8	-	-	84	278	362
3	9	145	24	169	84.5	211.2	-	-	211	278	489
4	12	242	67	309	154.5	386.2	0.0	-	386	278	664
5	15	338	145	483	241.5	603.8	78.0	-	682	278	960
6	18	400	242	642	321.0	802.5	217.8	-	1020	278	1298
7	21	355	338	693	346.5	866.2	549.2	-	1415	278	1693
8	24	289	400	689	344.5	861.2	1004.2	0.0	1865	278	2143
9	27	213	355	568	284.0	710.0	1569.8	18.0	2298	278	2576
10	30	150	289	439	219.5	548.8	2086.5	50.2	2686	278	2964
11	33	107	213	320	160.0	400.0	2252.2	126.8	2779	278	3057
12	36	74	150	224	112.0	280.0	2239.2	231.8	2751	278	3029
13	39	46	107	153	76.5	191.2	1846.0	362.2	2399	278	2677
14	42	27	74	101	50.5	126.2	1426.8	481.5	2034	278	2312
15	45	12	46	58	29.0	72.5	1040.0	519.8	1632	278	1910
16	48	0	27	27	13.5	33.8	728.0	516.8	1279	278	1557
17	51		12	12	6.0	15.0	497.2	426.0	938	278	1216
18	54		0	0	0.0	0.0	328.2	329.2	657	278	935
19	57						188.5	240.0	429	278	707
20	60						87.8	168.0	256	278	534
21	63						39.0	114.8	154	278	432
22	66						0.0	75.8	76	278	354
23	69							43.5	44	278	322
24	72							20.2	20	278	298
25	75							9.0	9	278	287
26	78							0.0	0	278	278
Άθροισμα		2489	2489	4978	2489	6222	16178	3734	26134	7506	33640

Παράδειγμα ΥΔΡ10 - συνολική εφαρμογή στη θεωρία του ΜΥΓ

i. Υπολογισμός Μοναδιαίου Υδρογραφήματος Διάρκειας 4 hr

Θεωρώντας ότι η βροχόπτωση (συνολικού ύψους $h_r = 3.5$ cm) ξεκίνησε όταν η παροχή στην έξοδο της λεκάνης ήταν $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (25 Ιανουαρ., ώρα 24:00), η χρονική βάση του υδρογραφήματος της άμεσης απορροής είναι $T = 40$ hr.



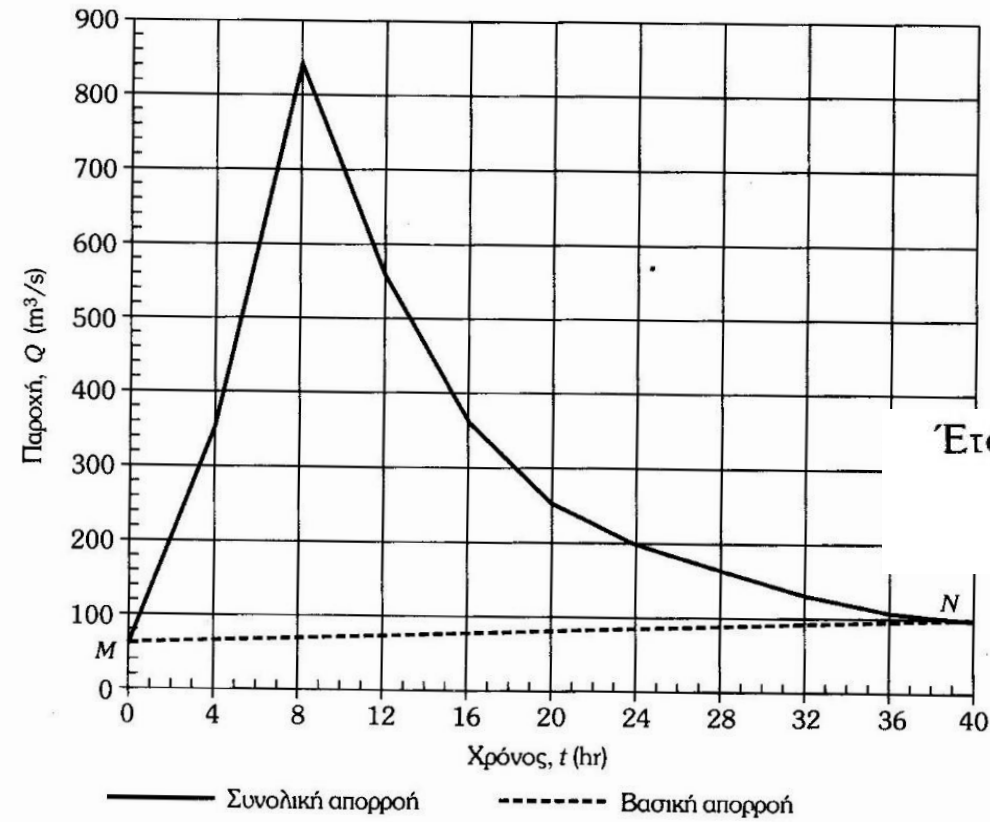
Παράδειγμα ΥΔΡ10 - συνολική εφαρμογή στη θεωρία του ΜΥΓ

Για να κατασκευαστεί το ΜΥΓ διάρκειας 4 hr απαιτείται ο διαχωρισμός της άμεσης από τη βασική απορροή.

Με την παραδοχή ότι η βασική απορροή μεταβάλλεται γραμμικά ως προς το χρόνο, επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός της άμεσης από τη βασική απορροή:

$$B(t) = Q_0 + \frac{Q_T - Q_0}{T} t \quad (11.23)$$

Η Εξ. 11.23 αντιστοιχεί ουσιαστικά στην ευθεία *MN* που ενώνει την αρχή και το τέλος της άμεσης απορροής (Σχ. 11.17).

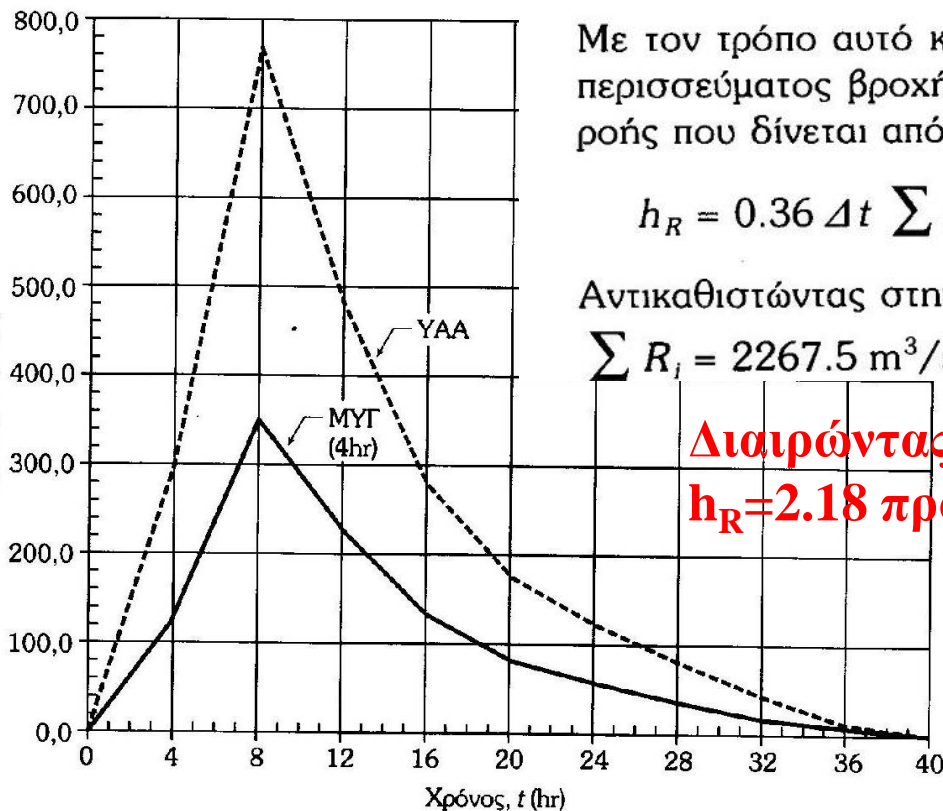


Έτσι η άμεση απορροή δίνεται από την εξίσωση:

$$R(t) = Q(t) - B(t)$$

Παράδειγμα ΥΔΡ10 - συνολική εφαρμογή στη θεωρία του ΜΥΓ

t (hr)	Q (m ³ /s)	B (m ³ /s)	R (m ³ /s)	U (m ³ /s)
0	60	60.0	0.0	0.00
4	360	63.5	296.5	136.21
8	840	67.0	773.0	355.11
12	560	70.5	489.5	224.87
16	360	74.0	286.0	131.39
20	250	77.5	172.5	79.24
24	200	81.0	119.0	54.67
28	160	84.5	75.5	34.68
32	130	88.0	42.0	19.29
36	105	91.5	13.5	6.20
40	95	95.0	0.0	0.00



Με τον τρόπο αυτό κατασκευάζεται το Υδρογράφημα Άμεσης Απορροής περισεύματος βροχής διάρκειας 4 hr με αντίστοιχο ύψος άμεσης απορροής που δίνεται από την εξίσωση:

$$h_R = 0.36 \Delta t \sum R_i / A \quad \begin{matrix} h_R \text{ σε cm, } \Delta t \text{ σε ώρες, } A_D \text{ σε km}^2, \\ R \text{ σε m}^3/\text{s} \end{matrix} \quad (11.25)$$

Αντικαθιστώντας στην τελευταία εξίσωση τα δεδομένα: $\Delta t = 4.0 \text{ hr}^*$, $\sum R_i = 2267.5 \text{ m}^3/\text{s}$, $A = 1500 \text{ Km}^2$, προκύπτει ότι $h_R = 2.18 \text{ cm}$.

Διαιρώντας τις τεταγμένες R_i δια του ύψους $h_R=2.18$ προκύπτουν οι τεταγμένες του ΜΥΓ 4 hr

ii. Εκτίμηση των Απωλειών της Βροχής στη Λεκάνη. Δείκτης Απωλειών Φ

Ο δείκτης Φ εκφράζει το ρυθμό απωλειών της λεκάνης και δίνεται για ομοιόμορφη ένταση βροχής από την εξίσωση:

$$\Phi = \frac{h_r - h_R}{t_R} \quad (11.26)$$

Αντικαθιστώντας στην Εξ. 11.26 τα δεδομένα: $h_r = 3.5 \text{ cm}$, $h_R = 2.18 \text{ cm}$, $t_R = 4 \text{ hr}$, προκύπτει ότι $\Phi = 0.33 \text{ cm/hr}$.

iii. Υπολογισμός Μοναδιαίου Υδρογραφήματος Διάρκειας 8 hr

Για την κατασκευή του ΜΥΓ των 8 hr χρησιμοποιούνται δύο ΜΥΓ των 4 hr με μετατόπιση 4 hr του ενός ως προς το άλλο. Έτσι με την επαλληλία των ΜΥΓ δημιουργείται το ΥΑΑ διάρκειας 8 hr που προκύπτει από ύψος περισσεύματος βροχόπτωσης $h_R = 2 \text{ cm}$.

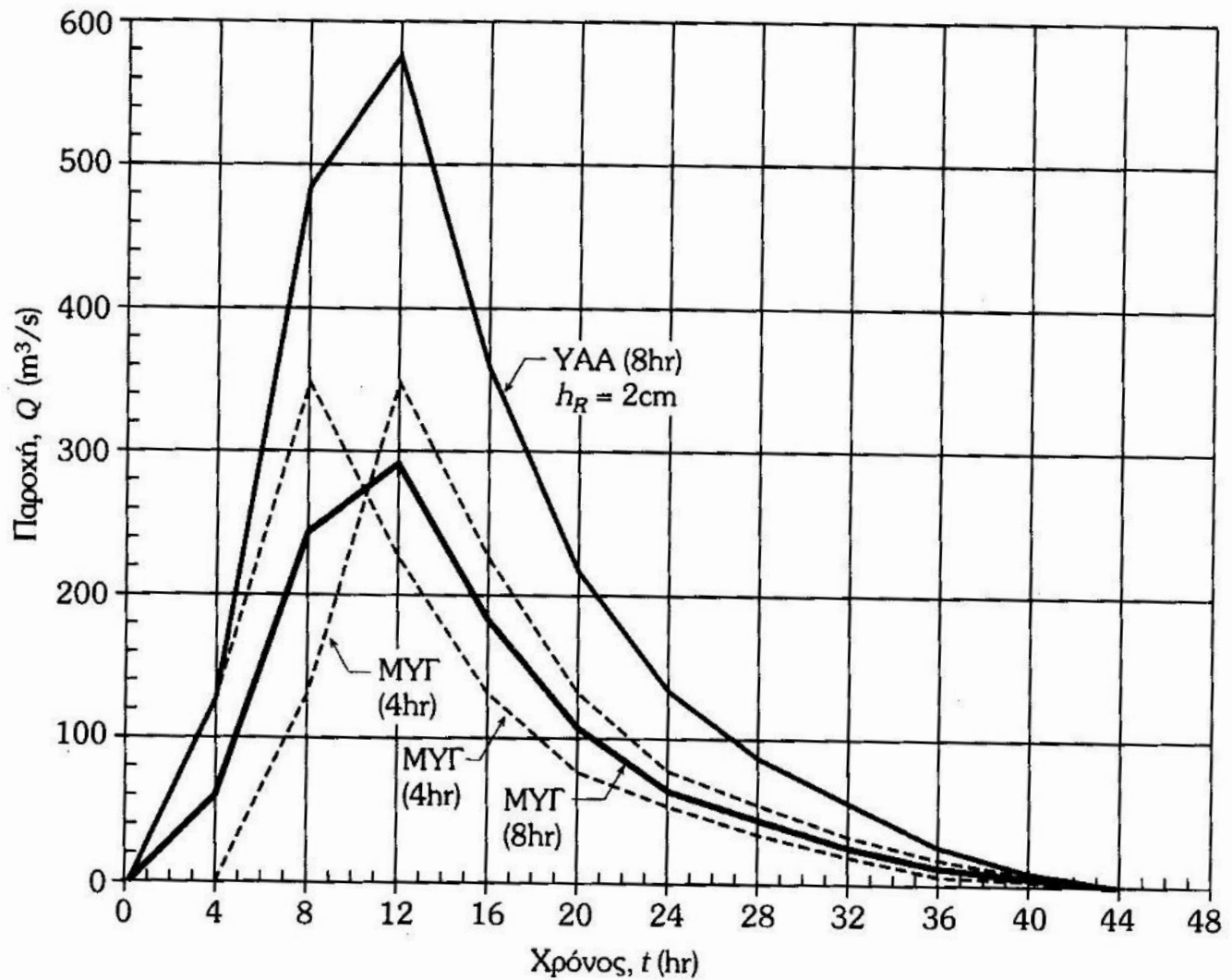
Στην συνέχεια σύμφωνα με την αρχή της αναλογίας προκύπτει το ζητούμενο ΜΥΓ των 8 hr, με διαίρεση των τεταγμένων R_i δια του $h_R = 2 \text{ cm}$. Στον πίνακα 11.4 που ακολουθεί φαίνονται όλοι οι σχετικοί υπολογισμοί.

Παράδειγμα ΥΔΡ10 - συνολική εφαρμογή στη θεωρία του ΜΥΓ

Πίν. 11.4: Υπολογισμός του ΜΥΓ 8 hr

t (hr)	ΜΥΓ (4 hr)	ΜΥΓ (4 hr) (Μετατοπισμένο κατά 4 hr)	ΥΑΑ (8 hr) (από $h_R = 2$ cm)	ΜΥΓ (8 hr)
0	0.00		0.00	0.00
4	136.21	0.00	136.21	68.10
8	355.11	136.21	491.32	245.66
12	224.87	355.11	579.98	289.99
16	131.39	224.87	356.26	178.13
20	79.24	131.39	210.63	105.32
24	54.67	79.23	133.91	66.96
28	34.68	54.67	89.35	44.68
32	19.29	34.68	53.98	26.99
36	6.20	19.29	25.50	12.75
40	0.00	6.20	6.20	3.10
44		0.00	0.00	0.00

Παράδειγμα ΥΔΡ10 - συνολική εφαρμογή στη θεωρία του ΜΥΓ



Σχ. 11.19: Υπολογισμός ΜΥΓ 8 hr.

Παράδειγμα ΥΔΡ10 - συνολική εφαρμογή στη θεωρία του ΜΥΓ

iv. Υδρογράφημα Συνολικής Απορροής από Βροχή Συνολικής Διάρκειας 24 hr με ύψη βροχής ανά 8ωρο 6.5, 10.0, 7.5 cm, αντίστοιχα.

Το ύψος απωλειών βροχής για κάθε διάστημα 8 hr είναι:

$$h_L = \Phi t_R = 0.33 \cdot 8 = 2.65 \text{ cm}$$

Έτσι το κάθε οκτάωρο θα έχει ύψος περισσεύματος βροχής:

α. $h_{R_1} = 6.5 - 2.65 = 3.85 \text{ cm}$

β. $h_{R_2} = 10.0 - 2.65 = 7.35 \text{ cm}$

γ. $h_{R_3} = 7.5 - 2.65 = 4.85 \text{ cm}$

Χρησιμοποιώντας τρία ΜΥΓ διάρκειας 8 hr μετατοπισμένα κατά 8 hr μεταξύ τους και με πολλαπλασιασμό με τα αντίστοιχα h_{R_i} , κατασκευάζεται το ΥΑΑ από τη βροχή συνολικής διάρκειας 24 hr.

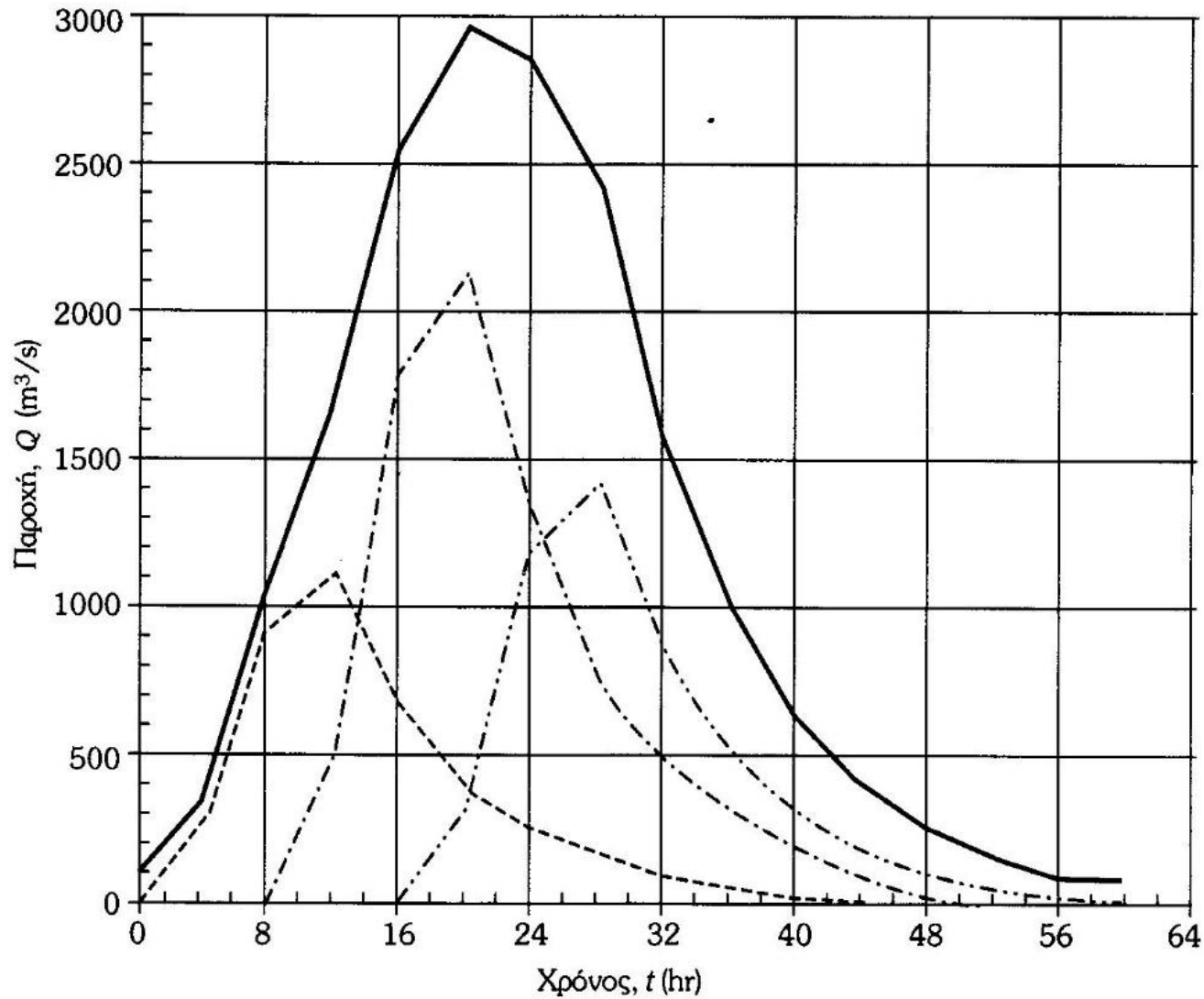
Προσθέτοντας στη συνέχεια και τη βασική απορροή ($100 \text{ m}^3/\text{s}$) προκύπτει το υδρογράφημα της συνολικής απορροής. Στον πίνακα 11.5 που ακολουθεί φαίνονται όλοι οι σχετικοί υπολογισμοί, ενώ στο Σχ. 11.20 παρουσιάζονται διαγραμματικά οι κύριες διαδικασίες υπολογισμού του Υδρογραφήματος της Συνολικής Απορροής από τη βροχή με συνολική διάρκεια 24 hr.

Παράδειγμα ΥΔΡ10 - συνολική εφαρμογή στη θεωρία του ΜΥΓ

Πίν. 11.5: Υπολογισμός του ΥΑΑ από τη σύνθετη βροχή (διάρκειας 24 hr)

t (hr)	ΜΥΓ (8 hr)	ΥΑΑ1 (8 hr) R'_i	ΥΑΑ2 (8 hr) R''_i	ΥΑΑ3 (8 hr) R'''_i	ΥΑΑ (24 hr) R_i	ΥΣΑ (24 hr) Q_i
0	0.00	0.00			0.00	100.00
4	68.10	262.20			262.20	362.20
8	245.66	945.79	0.00		945.79	1045.79
12	289.99	1116.46	500.57		1617.03	1717.03
16	178.13	685.79	1805.59	0.00	2491.39	2591.39
20	105.32	405.46	2131.43	330.31	2867.20	2967.20
24	66.96	257.78	1309.24	1191.45	2758.47	2858.47
28	44.68	172.00	774.07	1406.45	2352.52	2452.52
32	26.99	103.91	492.13	863.92	1459.96	1559.96
36	12.75	49.08	328.37	510.78	888.22	988.22
40	3.10	11.94	198.37	324.74	535.05	635.05
44	0.00	0.00	93.70	216.68	310.38	410.38
48			22.79	130.90	153.69	253.69
52			0.00	61.83	61.83	161.83
56				15.04	15.04	114.04
60				0.00	0.00	100.00

Παράδειγμα ΥΔΡ10 - συνολική εφαρμογή στη θεωρία του ΜΥΓ

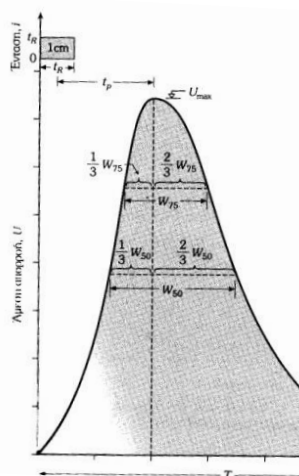


Σχ. 11.20: Υπολογισμός του ΥΑΑ για τη σύνθετη βροχή συνολικής διάρκειας 24 hr.

Συνθετικός προσδιορισμός του ΜΥΓ

Σε περίπτωση έλλειψης μετρήσεων απορροών και κατάλληλων βροχοπτώσεων, το ΜΥΓ μπορεί να προσδιορισθεί συνθετικά από τα γεωμετρικά στοιχεία της λεκάνης. Η πιο γνωστή μέθοδος συνθετικού ΜΥΓ είναι η μέθοδος Snyder, που βελτιωμένη από το Σώμα των Μηχανικών Στρατού των Η.Π.Α. χρησιμοποιείται ευρύτατα. Η μέθοδος προέκυψε από ανάλυση μεγάλου αριθμού βροχών στην περιοχή των Απαλλαχίων στη Βόρεια Αμερική.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται η χρονική επιβράδυνση (t_p), η αιχμή του ΜΥΓ (U_{max}), η χρονική βάση του ΜΥΓ (T) και τα πλάτη του ΜΥΓ (σε χρόνο) W_{50} και W_{75} στα 50% και 75% της αιχμής σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις:



$$t_p = 0.752 C_t (L * L_c)^{0.3} \quad (\text{hr}) \quad (11.12)$$

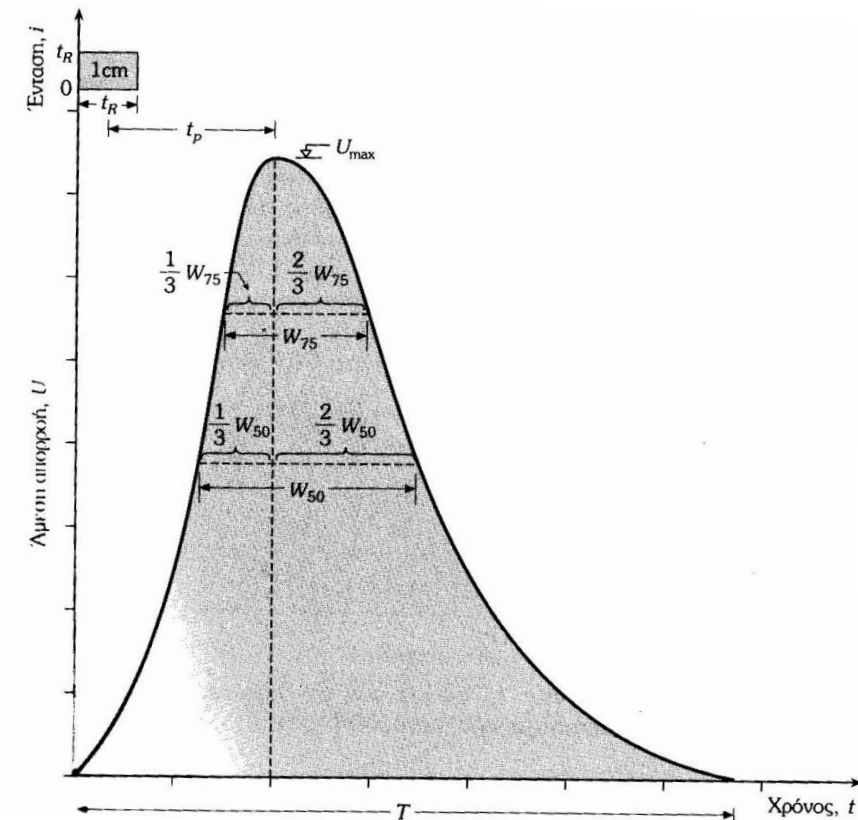
$$U_{max} = 2.78 \frac{C_p A}{t_p} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (11.13)$$

$$T = 24 + 3 t_p \quad (\text{hr}) \quad (11.14)$$

όπου η χρονική επιβράδυνση t_p αντιστοιχεί σε διάρκεια περισσεύματος βροχής t_R , που συνδέονται με την ακόλουθη σχέση

$$t_R = t_p / 5.5 \quad (\text{hr}) \quad (11.15)$$

Συνθετικός προσδιορισμός του ΜΥΓ



$$t_p = 0.752 C_t (L * L_c)^{0.3} \quad (\text{hr})$$

$$U_{\max} = 2.78 \frac{C_p A}{t_p} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$T = 24 + 3 t_p \quad (\text{hr})$$

όπου η χρονική επιβράδυνση t_p αντιστοιχεί σε διάρκεια περισσέυματος βροχής t_R

$$t_R = t_p / 5.5 \quad (\text{hr})$$

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

L_c = μήκος του κυρίου ρεύματος 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 χαμηλότερη 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 (Km²).

Συνθετικός προσδιορισμός του ΜΥΓ

Αν το ζητούμενο ΜΥΓ έχει διάρκεια t'_R μεγαλύτερη της t_R της Εξ. 11.12, η τελευταία αυτή εξίσωση αντικαθίσταται από την ακόλουθη:

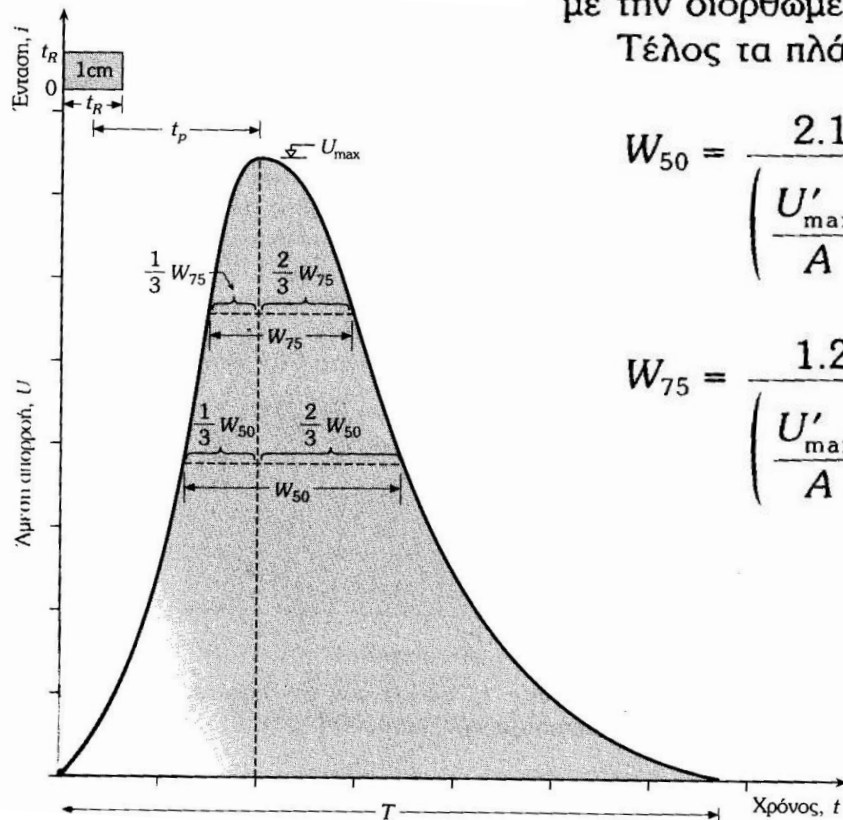
$$t'_p = t_p + (t'_R - t_R)/4 \quad (11.16)$$

Αντικαθιστώντας στις προηγούμενες σχέσεις την χρονική επιβράδυνση t_p με την διορθωμένη t'_p προκύπτουν οι νέες διορθωμένες τιμές U'_{max} και T' .

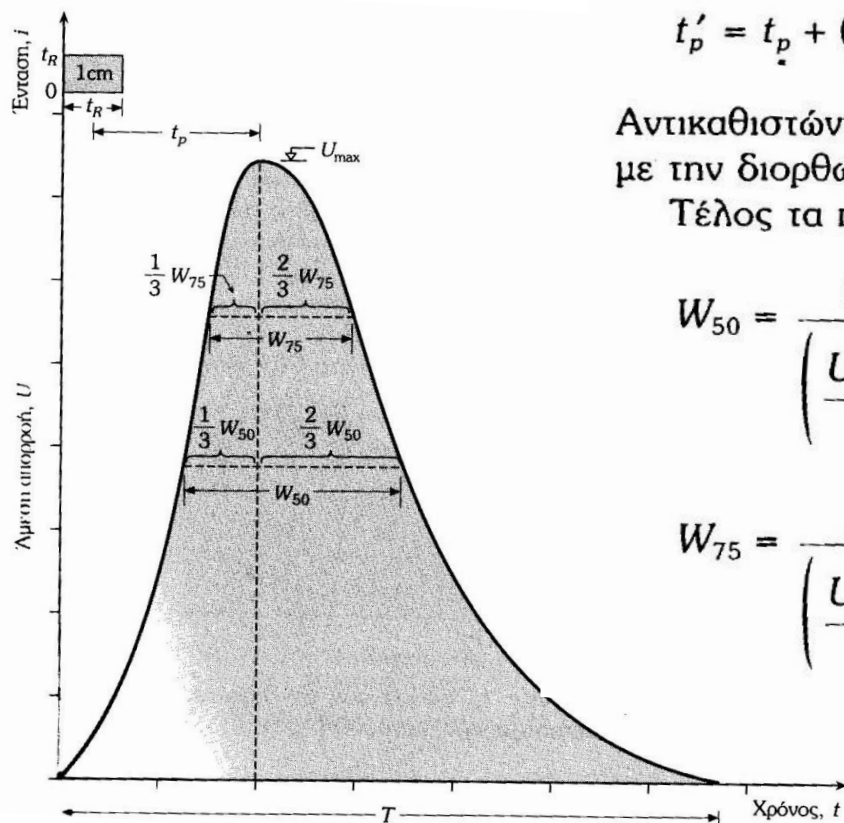
Τέλος τα πλάτη του ΜΥΓ W_{50} και W_{75} παρέχονται από τις σχέσεις

$$W_{50} = \frac{2.143}{\left(\frac{U'_{max}}{A}\right)^{1.08}} \quad (11.17)$$

$$W_{75} = \frac{1.225}{\left(\frac{U'_{max}}{A}\right)^{1.08}} \quad (11.18)$$



Συνθετικός προσδιορισμός του ΜΥΓ



$$t'_p = t_p + (t'_R - t_R)/4 \quad (11.16)$$

Αντικαθιστώντας στις προηγούμενες σχέσεις την χρονική επιβράδυνση t'_p με την διορθωμένη t'_p προκύπτουν οι νέες διορθωμένες τιμές U'_{max} και T' . Τέλος τα πλάτη του ΜΥΓ W_{50} και W_{75} παρέχονται από τις σχέσεις

$$W_{50} = \frac{2.143}{\left(\frac{U'_{max}}{A}\right)^{1.08}} \quad (11.17)$$

$$W_{75} = \frac{1.225}{\left(\frac{U'_{max}}{A}\right)^{1.08}} \quad (11.18)$$

Τα πλάτη αυτά πρέπει να παίρνονται κατά το 1/3 αριστερά και κατά τα 2/3 δεξιά της κατακορύφου της αιχμής.

Σημείωση. Η χρονική βάση του ΜΥΓ για μικρές λεκάνες υπολογίζεται ως 3 μέχρι 5 φορές της t_p κατά παρέκλιση της Εξ. 11.14.

Συνθετικός προσδιορισμός του ΜΥΓ. Παράδειγμα ΥΔΡ11

$$t_p = 0.752 C_t (L * L_c)^{0.3} \quad (\text{hr})$$

$$U_{\max} = 2.78 \frac{C_p A}{t_p} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$T = 24 + 3 t_p \quad (\text{hr})$$

όπου η χρονική επιβράδυνση t_p αντιβροχής t_R , που συνδέονται με την ακ

$$t_R = t_p / 5.5 \quad (\text{hr})$$

Εφαρμογή. Να βρεθεί η αιχμή και η χρονική βάση του ΜΥΓ 3 hr κατά Snyder για τα ακόλουθα δεδομένα: $A = 200 \text{ Km}^2$, $L = 15 \text{ Km}$, $L_c = 6 \text{ Km}$, $C_t = 2$ και $C_p = 0.60$.

Υπολογίζονται (Εξ. 11.12):

$$t_p = 0.752 \cdot 2 \cdot (15 \cdot 6)^{0.3} = 5.8 \text{ hr}$$

Η διάρκεια t_R στην οποία αντιστοιχεί είναι (Εξ. 11.15):

$$t_R = \frac{5.8}{5.5} \approx 1 \text{ hr}$$

Όμως το ζητούμενο ΜΥΓ είναι διάρκειας περισσεύματος $t'_R = 3 \text{ hr} > t_R$ συνεπώς σύμφωνα με την Εξ. 11.16:

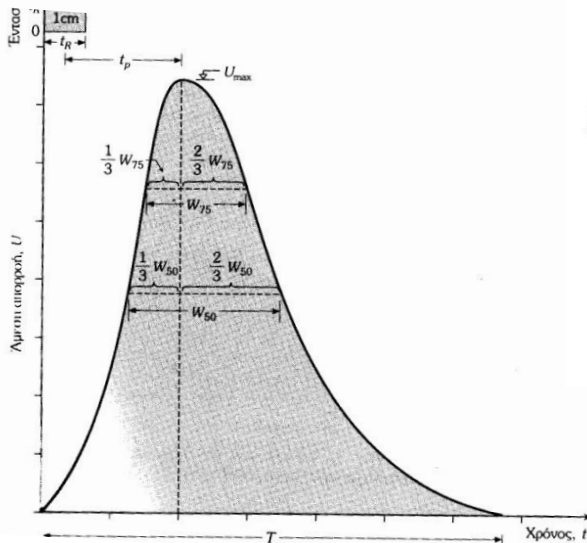
$$t'_p = 5.8 + (3 - 1)/4 = 6.3 \text{ hr}$$

Δηλαδή για το ΜΥΓ των 3 hr προκύπτουν:

$$U'_{\max} = 2.78 \frac{0.60 \cdot 200}{6.3} \approx 53 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{Εξ. 11.13})$$

$$T' = 24 + 3 \cdot 6.3 \approx 43 \text{ hr} \quad (\text{Εξ. 11.14})$$

$$t'_p = t_p + (t'_R - t_R)/4$$



Μέθοδος Snyder. Παράδειγμα ΥΔΡ12

Το αθροιστικό διάγραμμα βροχής σε μια ορεινή λεκάνη απορροής, το οποίο προήλθε από μια ραγδαία βροχή ομοιόμορφης κατανομής, συνολικού ύψους $h_r = 180$ mm είναι:

Χρόνος (hr)	0	2	4	6	8	10
Αθροιστικό ύψος βροχής (mm)	0	20	20	40	140	180

Να υπολογισθεί το υδρογράφημα πλημμύρας που θα προκύψει από την βροχόπτωση αυτή με την μέθοδο Snyder. Δίδονται:

Εμβαδόν λεκάνης 230 km²

Μήκος κυρίου ρεύματος 25 km

Απόσταση κέντρου λεκάνης απορροής και εξόδου 13 km

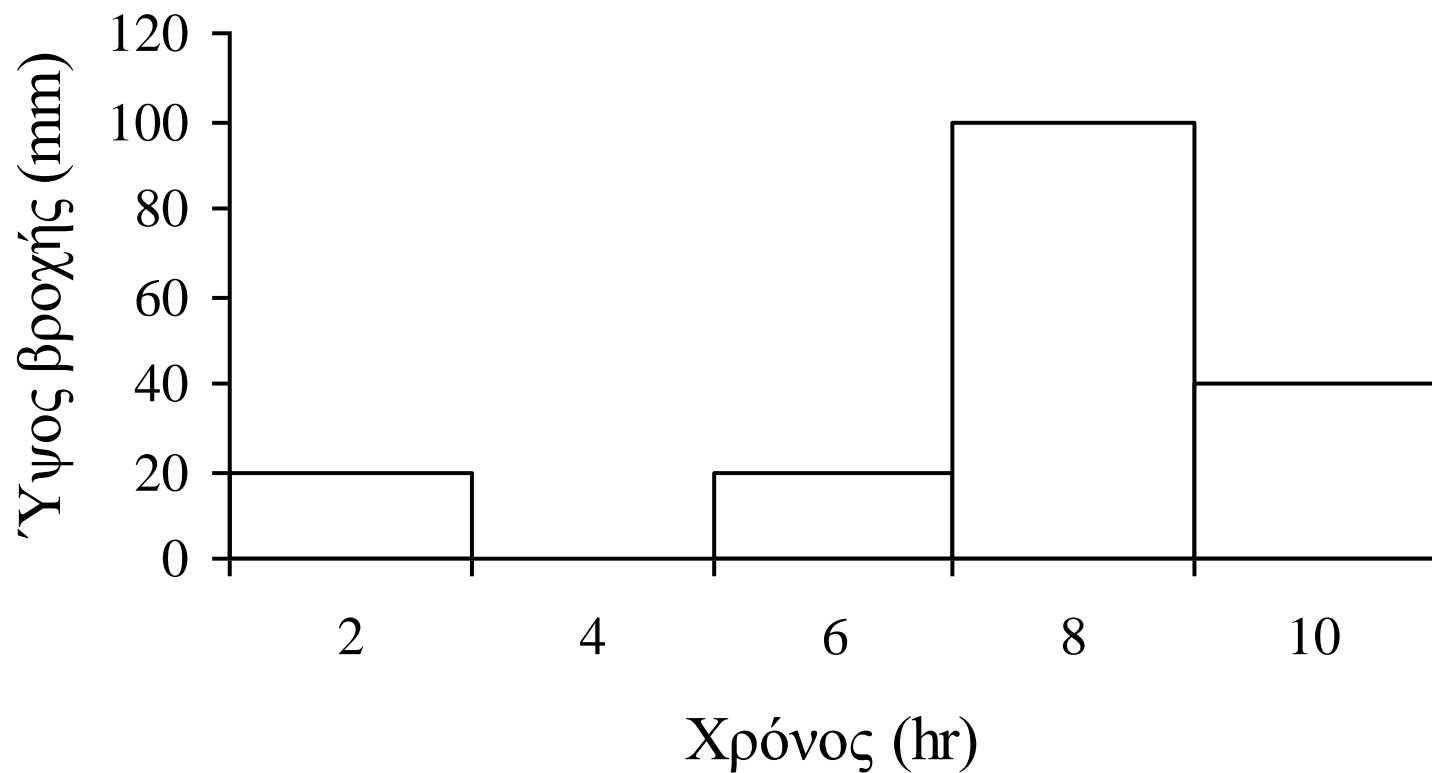
Συντελεστές: $C_t = 2$, $C_p = 0.60$

Ο δείκτης Φ δίνεται 5 mm/hr και η βασική απορροή 10 m³/s.

Το χρονικό βήμα Δt του υδρογραφήματος να ληφθεί ίσο με 2 ώρες

Μέθοδος Snyder. Παράδειγμα ΥΔΡ12 – Λύση

Το υετόγραμμα της βροχής προκύπτει με διαδοχικές αφαιρέσεις ανά δίωρο του αθροιστικού διαγράμματος βροχής και φαίνεται στο Σχήμα :



Χρόνος (hr)	0	2	4	6	8	10
Αθροιστικό ύψος βροχής (mm)	0	20	20	40	140	180

Από τύπους Snyder έχουμε:

Χρόνος επιβράδυνσης: $t_p = 0.752C_t (L * L_c)^{0.3} = 8.53 \text{ hr}$

Χρόνος βροχόπτωσης: $t_r = t_p / 5.5 = 1.55 \text{ hr}$

Το χρονικό βήμα Δt του υετογράμματος είναι 2 ώρες επομένως η διάρκεια του μοναδιαίου υδρογραφήματος που απαιτείται πρέπει να είναι $t_R = 2 \text{ hr}$. Η αντίστοιχη χρονική επιβράδυνση προκύπτει:

$$t_{p,R} = t_p + (t_R - t_r) / 4 = 8.53 + (2 - 1.55) / 4 = 8.64 \text{ hr}$$

Ο συνολικός χρόνος από την αρχή του υδρογραφήματος μέχρι τη στιγμή του μεγίστου θα είναι: $t_{p0} = t_{p,R} + t_R / 2 = 9.64 \approx 10 \text{ hr}$

Χρονική βάση: $T_R = 24 + 3t_{p,R} = 49.92 \text{ hr}$

Επειδή η χρονική βάση του υδρογραφήματος προκύπτει αρκετά μεγάλη λαμβάνομε σαν χρονική βάση από τη σχέση:

$$T_R = (3 \div 5)t_{p,R} \approx 4t_{p,R} = 34.56 \approx 34 \text{ hr}$$

Μέθοδος Snyder. Παράδειγμα ΥΔΡ12 – Λύση

Αιχμή του υδρογραφήματος:
$$U'_{\max} = 2.78 \frac{C_p A}{t_{p,R}} = 44,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Οι τετημημένες του Μοναδιαίου υδρογραφήματος υπολογίζονται καταμερίζοντας τις ποσότητες W_{50} και W_{75} κατά 1/3 αριστερά και κατά 2/3 δεξιά της μεγίστης τιμής U'_{\max} και σε ύψη αντίστοιχα $0.50U'_{\max}$ και $0.75U'_{\max}$:

$$0.50U'_{\max} = 22,2 \text{ m}^3/\text{s} \quad 0.75U'_{\max} = 33,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$W_{50} = \frac{2.143}{(U'_{\max} / A)^{1.08}} = 12,66 \text{ hr}$$

$$W_{75} = \frac{1.225}{(U'_{\max} / A)^{1.08}} = 7,24 \text{ hr} \quad \underline{\underline{(9)}}$$

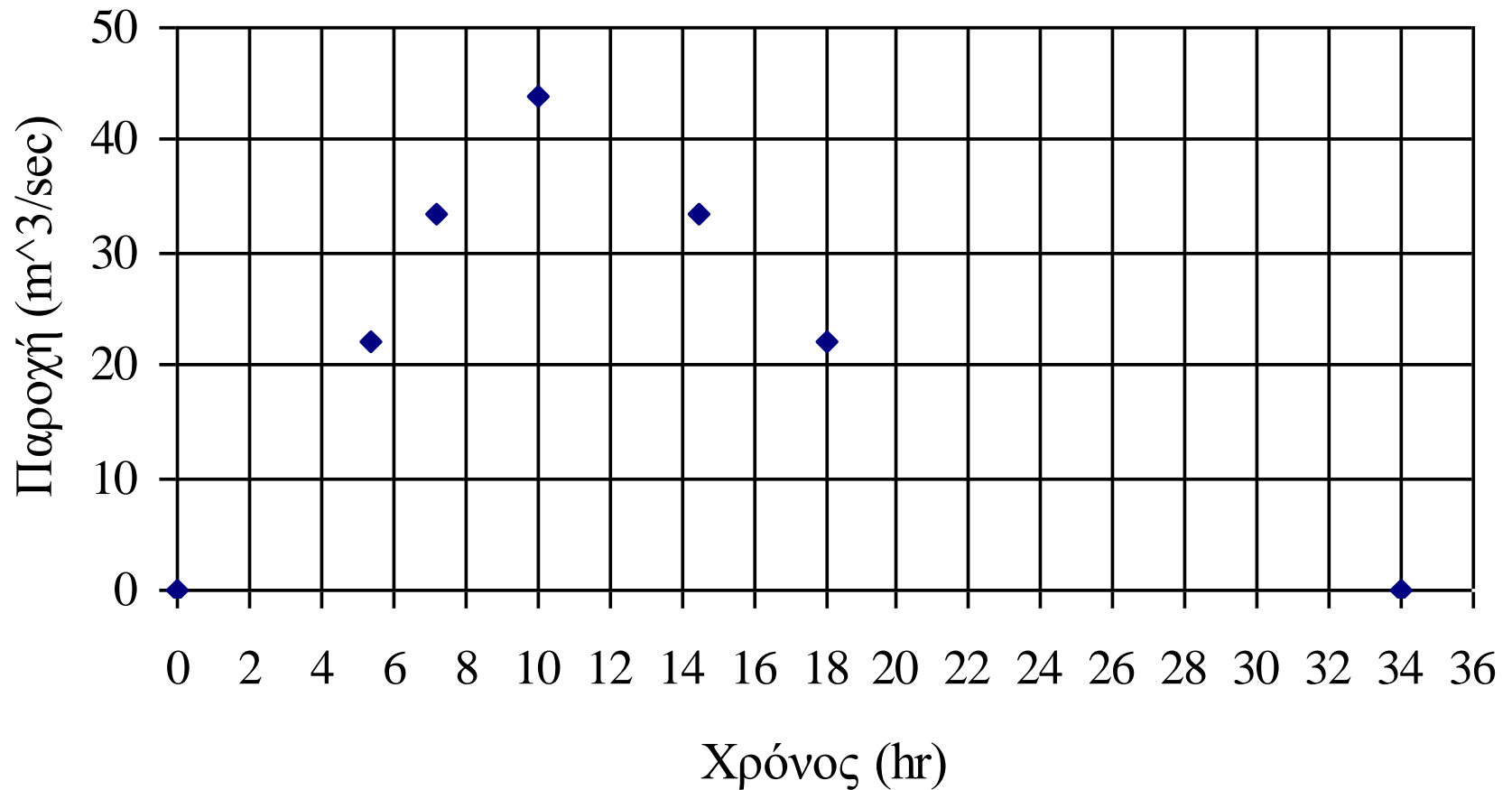
$$W_{\underline{50},\text{αφ.}} = 4,22 \text{ hr}$$

$$W_{\underline{75},\text{αφ.}} = 2,41 \text{ hr}$$

$$W_{\underline{50},\text{δεξ.}} = 8,44 \text{ hr}$$

$$W_{\underline{75},\text{δεξ.}} = 4,82 \text{ hr}$$

Μέθοδος Snyder. Παράδειγμα ΥΔΡ12 – Λύση



t (hr)	0	5.78	7.59	10	14.82	18.44	34
Q (m³/s)	0	22.2	33.3	44.4	33.3	22.2	0

Μέθοδος Snyder. Παράδειγμα ΥΔΡ12 – Λύση

Οι τιμές του Υδρογραφήματος προκύπτουν γραφικά (ή με παρεμβολές)

Χρόνος (hr)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Παροχή (m ³ /sec)	0	7	15	25	38	44	40	34	28	22	17	14	11	9	6	4	2	1	0

Οι απώλειες και τα αντίστοιχα περισσεύματα της βροχόπτωσης ανά δίωρο

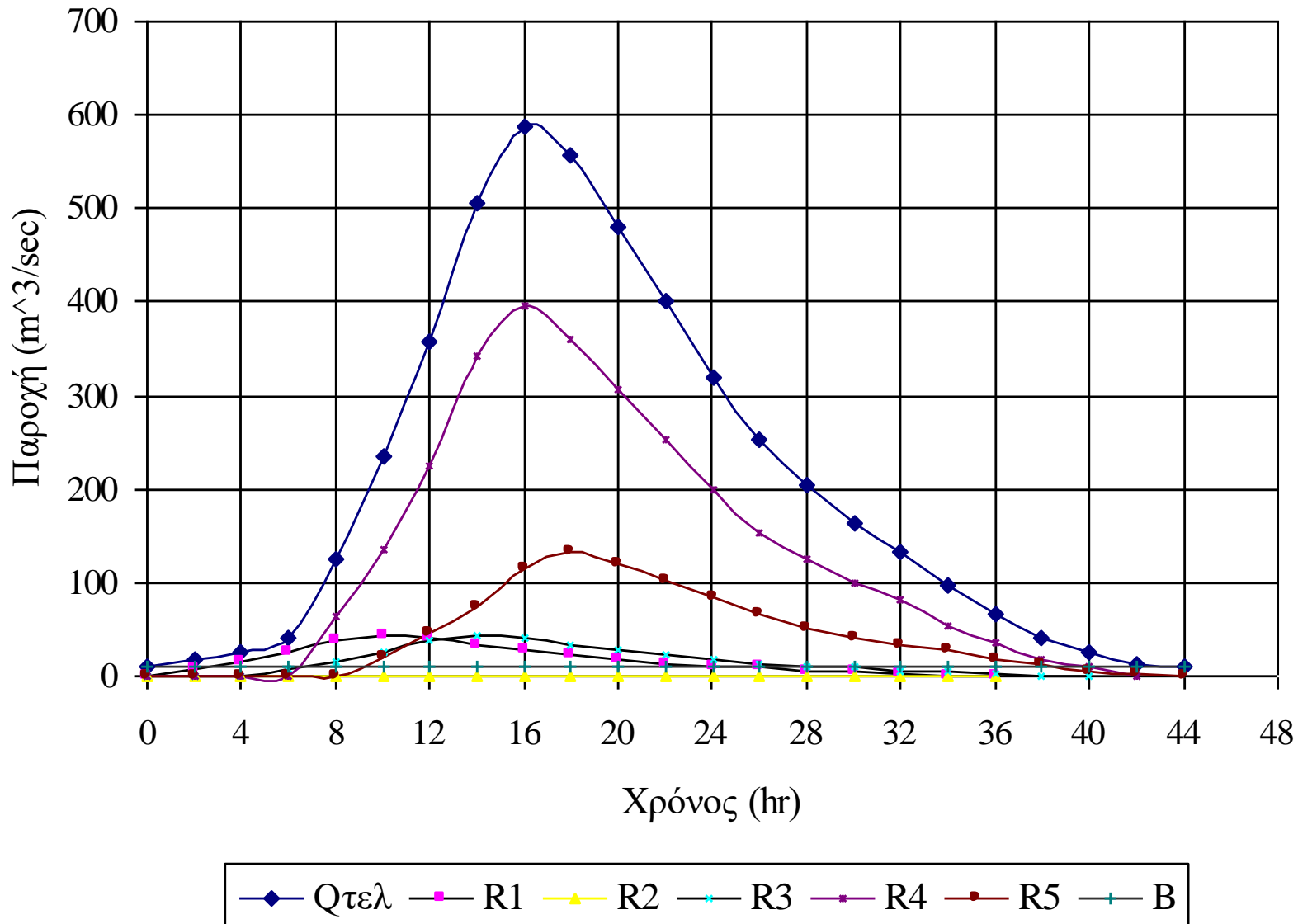
t (hr)	h_r (cm)	$h_L = \Phi t_R$ (cm)	$h_R = h_r - h_L$ (cm)
2	2	$0,5 * 2 = 1$ cm	1
4	0	$0,5 * 2 = 1$ cm	0
6	2	$0,5 * 2 = 1$ cm	1
8	10	$0,5 * 2 = 1$ cm	9
10	4	$0,5 * 2 = 1$ cm	3

Για τον υπολογισμό του τελικού υδρογραφήματος της πλημμύρας πολλαπλασιάζονται οι τιμές του μοναδιαίου υδρογραφήματος με τα αντίστοιχα περισσεύματα βροχόπτωσης (h_R) και προστίθενται τα αντίστοιχα αποτελέσματα μετατοπισμένα χρονικά κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης του ΜΥΓ η οποία είναι $t_R = 2$ hr.

Το άθροισμα που θα προκύψει, συν τη βασική απορροή δίνει τις τιμές του τελικού υδρογραφήματος πλημμύρας της βροχής των 10 ωρών

t	U(m³/s)	R1 (m³/s)	R2 (m³/s)	R3 (m³/s)	R4 (m³/s)	R5 (m³/s)	B (m³/s)	Q (m³/s)
0	0	0					10	10
2	7	7	0				10	17
4	15	15	0	0			10	35
6	25	25	0	7	0		10	42
8	38	38	0	15	63	0	10	126
10	44	44	0	25	135	21	10	235
12	40	40	0	38	225	45	10	358
14	34	34	0	44	342	75	10	505
16	28	28	0	40	396	114	10	588
18	22	22	0	34	360	132	10	558
20	17	17	0	28	306	120	10	481
22	14	14	0	22	252	102	10	400
24	11	11	0	17	198	84	10	320
26	9	9	0	14	153	66	10	252
28	6	6	0	11	126	51	10	204
30	4	4	0	9	99	42	10	164
32	2	2	0	6	81	33	10	132
34	0	0	0	4	54	27	10	95
36			0	2	36	18	10	66
38				0	18	12	10	40
40					0	6	10	16
42						0	10	10

Μέθοδος Snyder. Παράδειγμα ΥΔΡ12 – Λύση



Τελικό υδρογράφημα της πλημμύρας