



Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε το σύνδεσμο: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

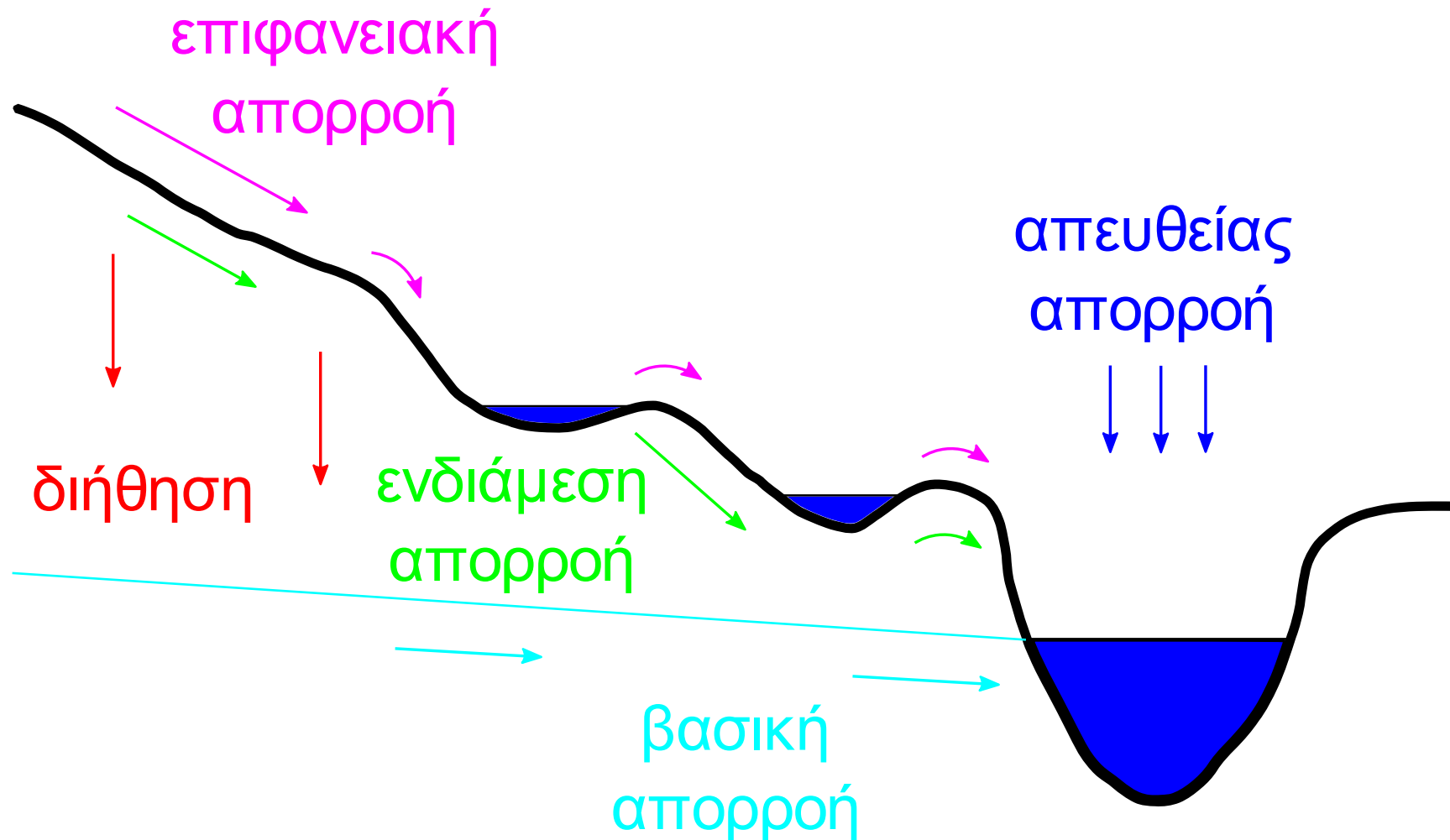
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

Βροχή σχεδιασμού

Δρ. Βασίλης Μπέλλος

Γενικά

Απορροή



Απορροή

- Το νερό που κινείται πάνω και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους
- Απορροή = Βροχόπτωση – Απώλειες
- Επάνω στην επιφάνεια του εδάφους → επιφανειακή απορροή
- Επιφανειακή απορροή + ενδιάμεση απορροή → άμεση απορροή
- Υπόγειο νερό που συμβάλλει στην κοίτη του ποταμού → βασική απορροή

Υδρογράφημα

- Η βασική μονάδα μέτρησης της απορροής είναι η παροχή σε μία διατομή ενός υδατορέματος
- Θεμελιώδεις μονάδες $\rightarrow [L^3T^{-1}]$
- Συνήθεις μονάδες $\rightarrow m^3/s$ ή L/s
- Υδρογράφημα \rightarrow η μεταβολή της παροχής σε σχέση με το χρόνο

Μέγεθος λεκανών

- **Μικρό μέγεθος**
 - Μέχρι 5~10 km²
- **Μεσαίο μέγεθος**
 - Μέχρι 100~5000 km²
- **Μεγάλο μέγεθος**
 - Μεγάλα ποτάμια συστήματα

Αριθμητικά μοντέλα

- Βροχόπτωσης-απορροής
- Διόδευσης υδρογραφήματος (routing) } «Υδρολογικά» μοντέλα
- Αποχέτευσης
- Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων } Αστική Υδρολογία
- Υδατορέματος/Ποταμού
- Πλημμυρικού πεδίου } «Υδραυλικά» μοντέλα
- Υπόγεια νερά

Αριθμητικά μοντέλα

- Βροχόπτωσης-απορροής
 - Διόδευσης υδρογραφήματος (routing)
- » «Υδρολογικά» μοντέλα
- Αποχέτευσης
 - Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων
- » Αστική Υδρολογία
- Υδατορέματος/Ποταμού
 - Πλημμυρικού πεδίου
- » «Υδραυλικά» μοντέλα
- Υπόγεια νερά

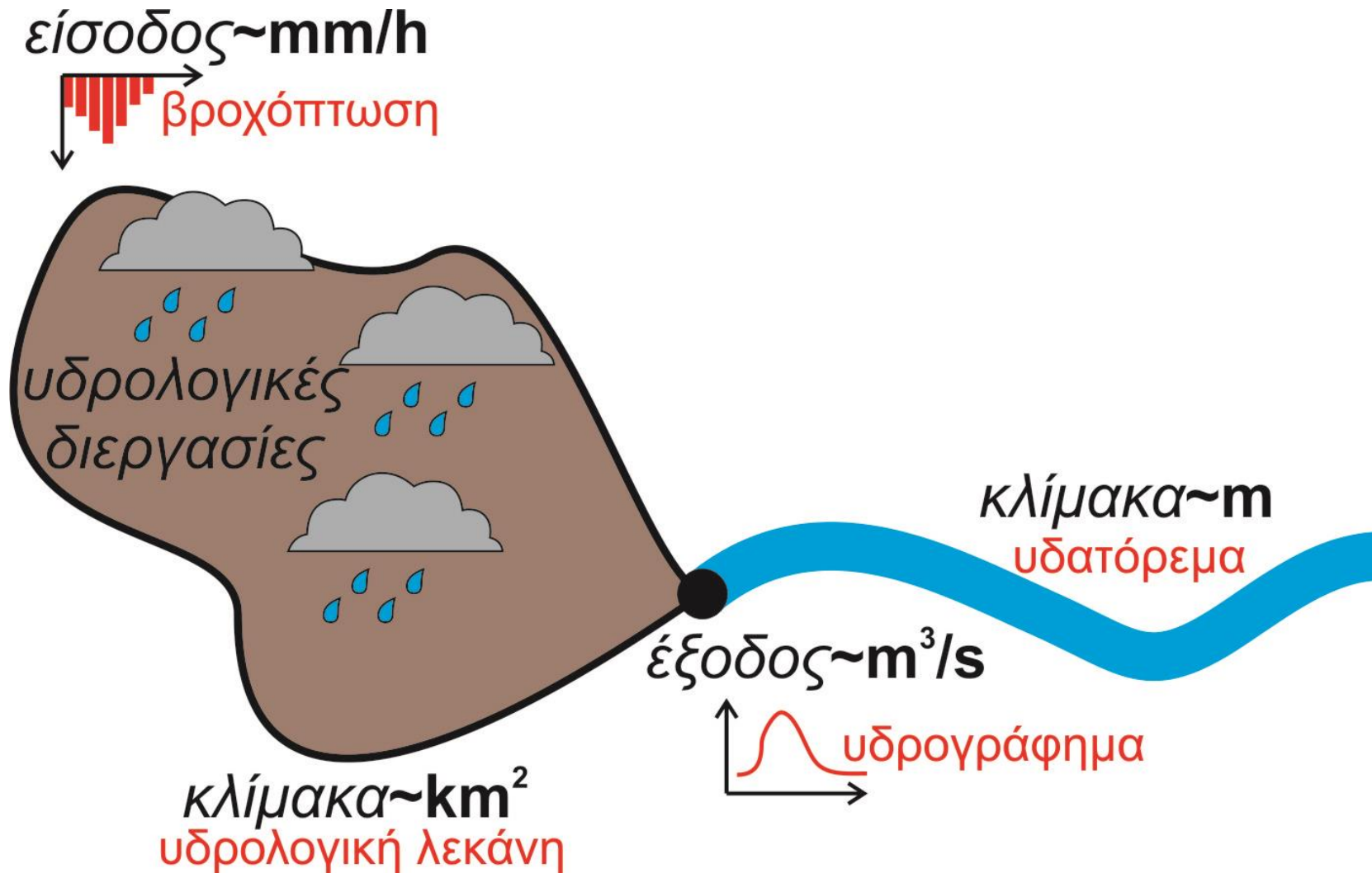
Μοντέλα βροχόπτωσης-απορροής

- **Ορθολογική μέθοδος → εμπειρικό μοντέλο**
 - Μόνο σε μικρές λεκάνες (<10 km²)
- **Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ) → εννοιολογικό μοντέλο**
 - Μετρήσεις
 - Συνθετικό ΜΥΓ
- **Μοντέλα φυσικής βάσης**
 - Κατανεμημένα
 - Λογισμικά

Εφαρμογή

	μικρές λεκάνες	μεσαίες λεκάνες	μεγάλες λεκάνες
ορθολογική μέθοδος	συνήθως	δεν εφαρμόζεται	δεν εφαρμόζεται
μοναδιαίο υδρογράφημα	δεν εφαρμόζεται	συνήθως	κατά περίπτωση
μοντέλα διόδευσης	κατά περίπτωση	κατά περίπτωση	συνήθως

Κλίμακες

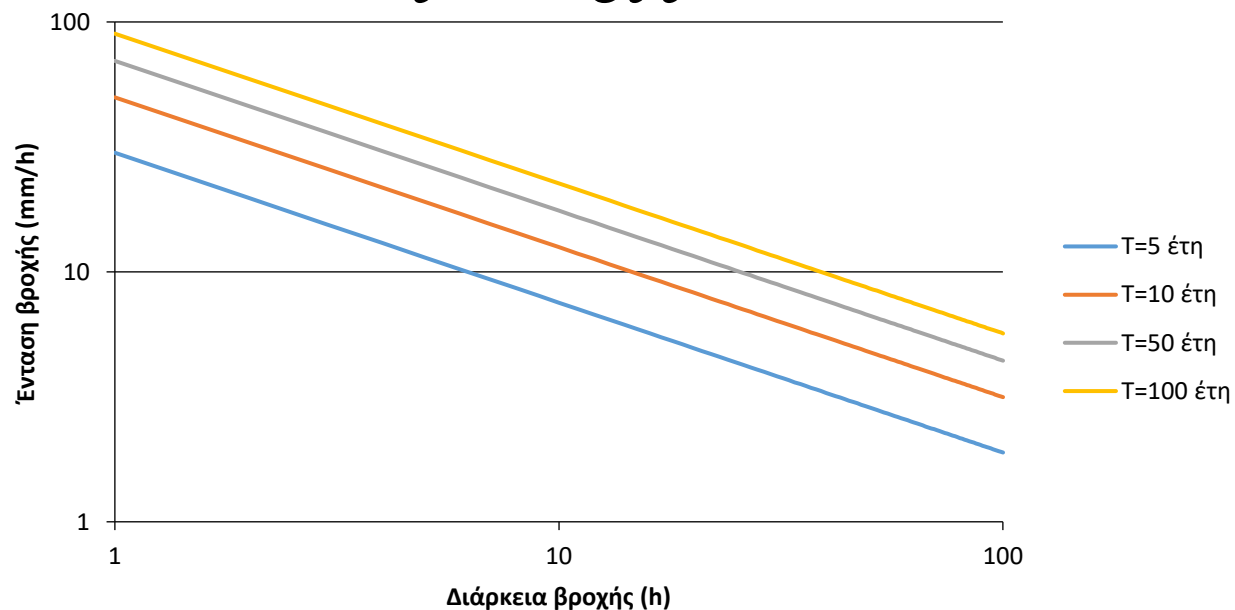


Βροχή σχεδιασμού

Όμβριες καμπύλες

- Σύνδεση έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς
- Στατιστική επεξεργασία μετρήσεων

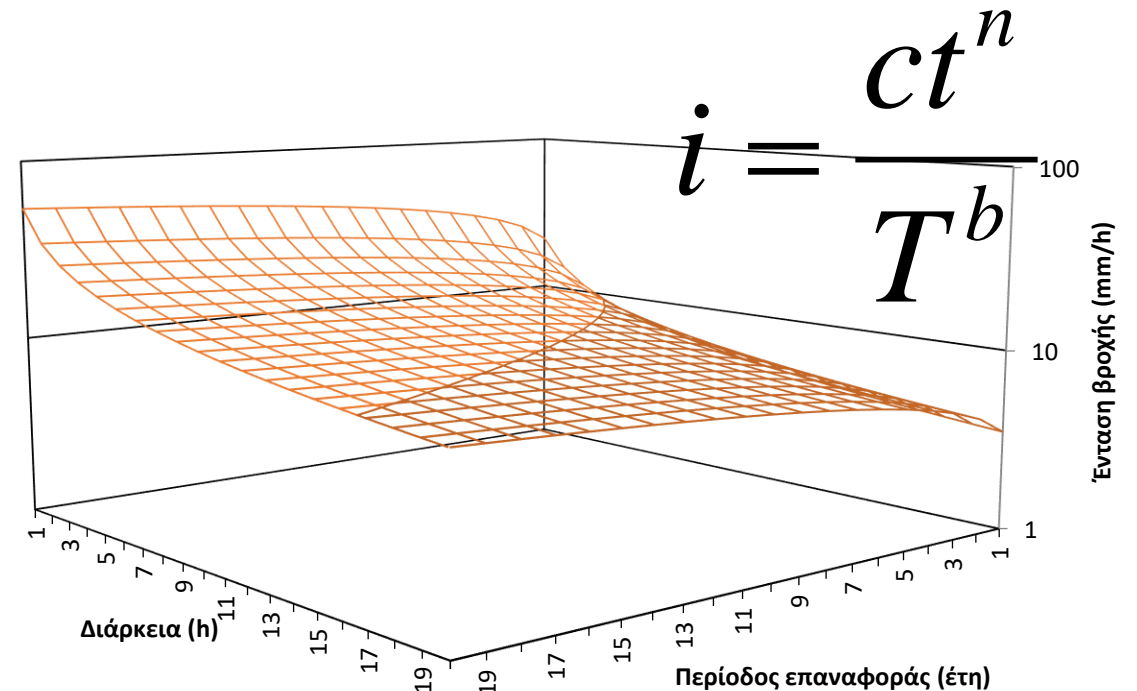
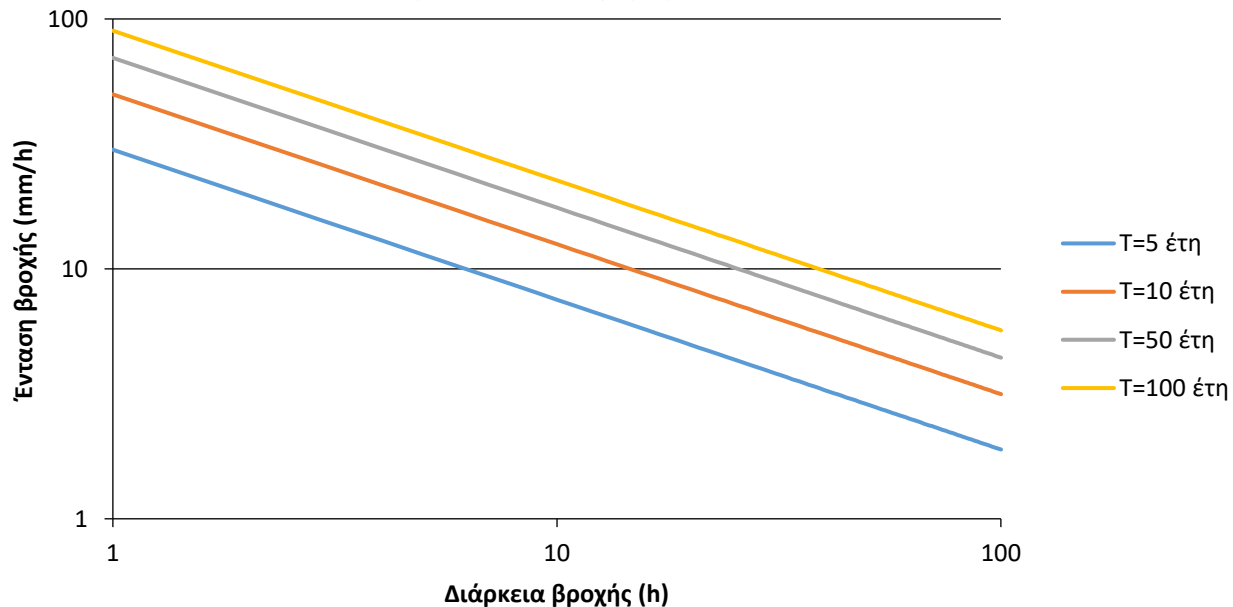
$$i = at^n$$



Όμβριες καμπύλες

- Σύνδεση έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς
- Στατιστική επεξεργασία μετρήσεων

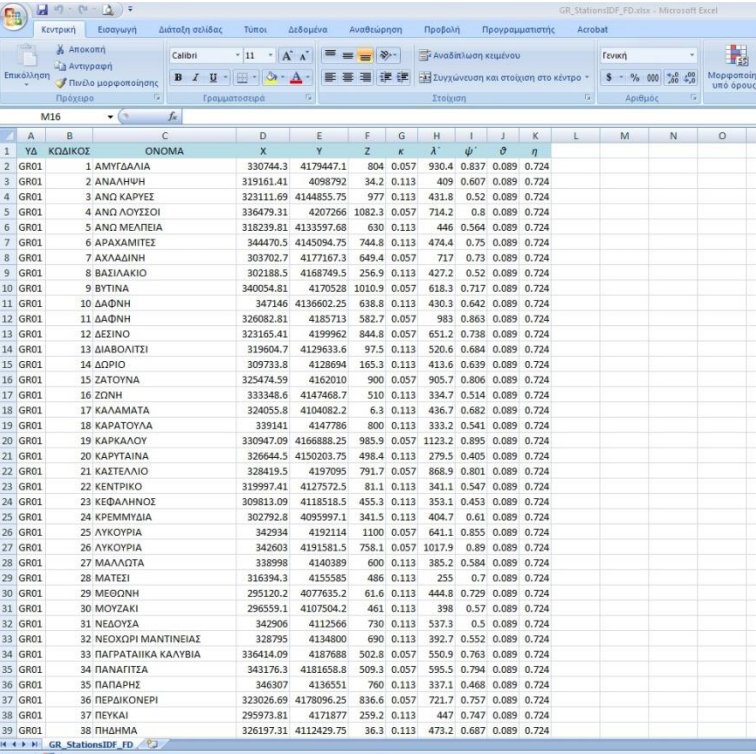
$$i = at^n$$



Ελληνική νομοθεσία

- Γενικευμένη σχέση με βάση τη ΓΑΤ $\rightarrow \lambda', \kappa, \psi', \theta, \eta$
- Οι παράμετροι υπάρχουν για σταθμούς σε όλη την Ελλάδα
- floods.ypeka.gr

$$i(t, T) = \frac{\lambda' (T^\kappa - \psi')}{\left(1 + \frac{t}{\theta}\right)^\eta}$$



ΥΔ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΝΟΜΑ	X	Y	Z	κ	λ'	ψ'	θ	η
GR01	1	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	330744.3	4179447.1	804	0.057	930.4	0.837	0.089	0.724
GR01	2	ΑΝΑΛΗΦΗ	319161.41	4098792	34.2	0.113	409	0.607	0.089	0.724
GR01	3	ΑΝΟ ΚΑΡΥΕΣ	323111.69	4144855.75	977	0.113	431.8	0.52	0.089	0.724
GR01	4	ΑΝΟ ΛΟΥΣΙΟΙ	336479.31	4207266	1082.3	0.057	714.2	0.8	0.089	0.724
GR01	5	ΑΝΟ ΜΕΛΠΕΙΑ	318239.81	4133597.68	630	0.113	446	0.564	0.089	0.724
GR01	6	ΑΡΑΧΑΜΙΤΕΣ	344470.5	4145094.75	744.8	0.113	474.4	0.75	0.089	0.724
GR01	7	ΑΧΛΑΔΙΝΗ	303702.7	4177167.3	649.4	0.057	717	0.73	0.089	0.724
GR01	8	ΒΑΣΙΛΑΚΙΟ	302188.5	4168749.5	256.9	0.113	427.2	0.52	0.089	0.724
GR01	9	ΒΥΤΙΝΑ	340054.81	4170528	1010.9	0.057	618.3	0.717	0.089	0.724
GR01	10	ΔΑΦΝΗ	347146	4136602.25	638.8	0.113	430.3	0.642	0.089	0.724
GR01	11	ΔΑΦΝΗ	326082.81	4185713	582.7	0.057	983	0.863	0.089	0.724
GR01	12	ΔΕΣΙΝΟ	323165.41	4199962	844.8	0.057	651.2	0.738	0.089	0.724
GR01	13	ΔΙΑΒΟΛΙΤΣΙ	319604.7	4129633.6	97.5	0.113	520.6	0.684	0.089	0.724
GR01	14	ΔΩΡΙΟ	309733.8	4128694	165.3	0.113	413.6	0.639	0.089	0.724
GR01	15	ΖΑΤΟΥΝΑ	325474.59	4162010	900	0.057	905.7	0.806	0.089	0.724
GR01	16	ΖΩΝΗ	333348.6	4147468.7	510	0.113	334.7	0.514	0.089	0.724
GR01	17	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	324055.8	4104082.2	6.3	0.113	436.7	0.682	0.089	0.724
GR01	18	ΚΑΡΑΤΟΥΛΑ	339141	4147786	800	0.113	333.2	0.541	0.089	0.724
GR01	19	ΚΑΡΚΑΛΟΥ	330947.09	4166888.25	985.9	0.057	1123.2	0.895	0.089	0.724
GR01	20	ΚΑΡΥΤΑΙΝΑ	326644.5	4150203.75	498.4	0.113	279.5	0.405	0.089	0.724
GR01	21	ΚΑΣΤΕΛΛΙΟ	328419.5	4197095	791.7	0.057	868.9	0.801	0.089	0.724
GR01	22	ΚΕΝΤΡΙΚΟ	319997.41	4127572.5	81.1	0.113	341.1	0.547	0.089	0.724
GR01	23	ΚΕΦΑΛΙΝΗΣ	309813.09	4118518.5	455.3	0.113	353.1	0.453	0.089	0.724
GR01	24	ΚΡΕΜΜΥΔΙΑ	302792.8	4095997.1	341.5	0.113	404.7	0.61	0.089	0.724
GR01	25	ΛΥΚΟΥΡΙΑ	342934	4192114	1100	0.057	641.1	0.855	0.089	0.724
GR01	26	ΛΥΚΟΥΡΙΑ	342803	4191581.5	758.1	0.057	1017.9	0.89	0.089	0.724
GR01	27	ΜΑΛΑΤΑ	338998	4140389	600	0.113	385.2	0.584	0.089	0.724
GR01	28	ΜΑΤΕΣΙ	316394.3	4155585	486	0.113	255	0.7	0.089	0.724
GR01	29	ΜΕΘΟΝΗ	295120.2	4077635.2	61.6	0.113	444.8	0.729	0.089	0.724
GR01	30	ΜΟΥΖΑΚΙ	296559.1	4107504.2	461	0.113	398	0.57	0.089	0.724
GR01	31	ΝΕΔΟΥΣΑ	342906	4112566	730	0.113	537.3	0.5	0.089	0.724
GR01	32	ΝΕΟΧΩΡΙ ΜΑΝΤΙΝΕΙΑΣ	328795	4134800	690	0.113	392.7	0.552	0.089	0.724
GR01	33	ΠΑΓΡΑΤΑΙΚΗ ΚΑΛΥΒΙΑ	336414.09	4187688	502.8	0.057	550.9	0.763	0.089	0.724
GR01	34	ΠΑΝΑΓΙΤΣΑ	343176.3	4181658.8	509.3	0.057	595.5	0.794	0.089	0.724
GR01	35	ΠΑΠΑΡΗΣ	346307	4136551	760	0.113	337.1	0.468	0.089	0.724
GR01	36	ΠΕΡΔΙΚΟΝΕΡΙ	323026.69	4178096.25	836.6	0.057	721.7	0.757	0.089	0.724
GR01	37	ΠΕΥΚΑΙ	295973.81	4171877	259.2	0.113	447	0.747	0.089	0.724
GR01	38	ΠΗΔΗΜΜΑ	326197.31	4112429.75	36.3	0.113	473.2	0.687	0.089	0.724

Περίοδοι επαναφοράς

- Αντιπλημμυρικά έργα $\rightarrow T=50-100$ έτη
- Δίκτυο ομβρίων $\rightarrow T=10-25$ έτη
- Οριοθέτηση ρέματος $\rightarrow T=50$ έτη
- Σχεδιασμός γέφυρας $\rightarrow T=500$ έτη
- Σχεδιασμός φράγματος (Κατηγορία 1) $\rightarrow T=10000$ έτη
- Σχεδιασμός φράγματος βαρύτητας (Κατηγορία 2) $\rightarrow T=1000$ έτη
- Σχεδιασμός γεωφράγματος (Κατηγορία 2) $\rightarrow T=5000$ έτη
- Σχεδιασμός φράγματος βαρύτητας (Κατηγορία 3) $\rightarrow T=200$ έτη
- Σχεδιασμός γεωφράγματος (Κατηγορία 2) $\rightarrow T=500$ έτη

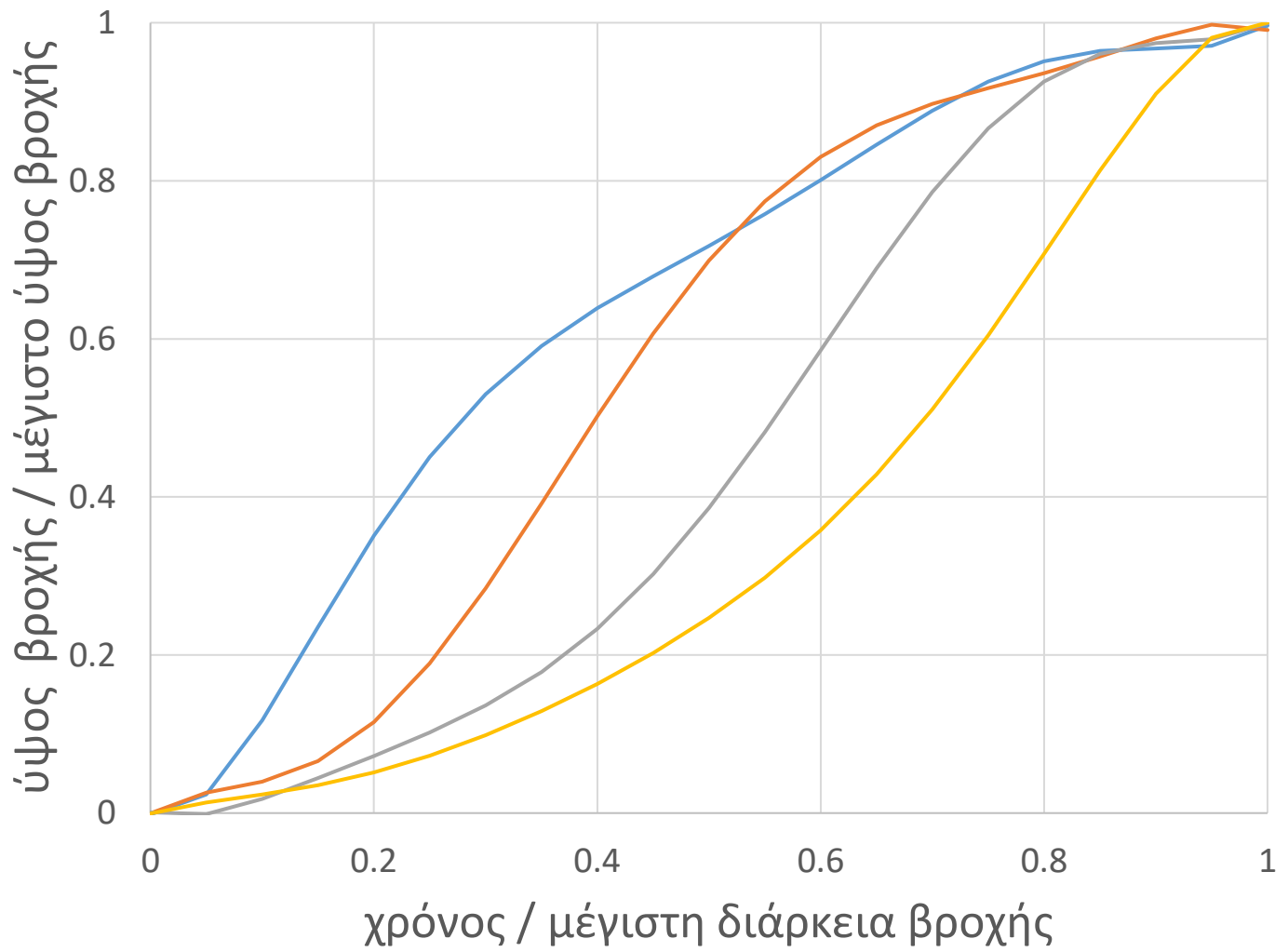
Βροχή vs. Πλημμύρα

- Η περίοδος επαναφοράς αφορά τη βροχή και όχι την πλημμύρα
→ δεν ταυτίζονται!
- Δεν υπάρχουν επαρκείς (και ασφαλείς) μετρήσεις παροχής για να γίνει η στατιστική ανάλυση για την πλημμύρα
- Το βροχομετρικό δίκτυο είναι πιο φθηνό, πιο αξιόπιστο και πιο πυκνό σε σχέση με το υδρομετρικό

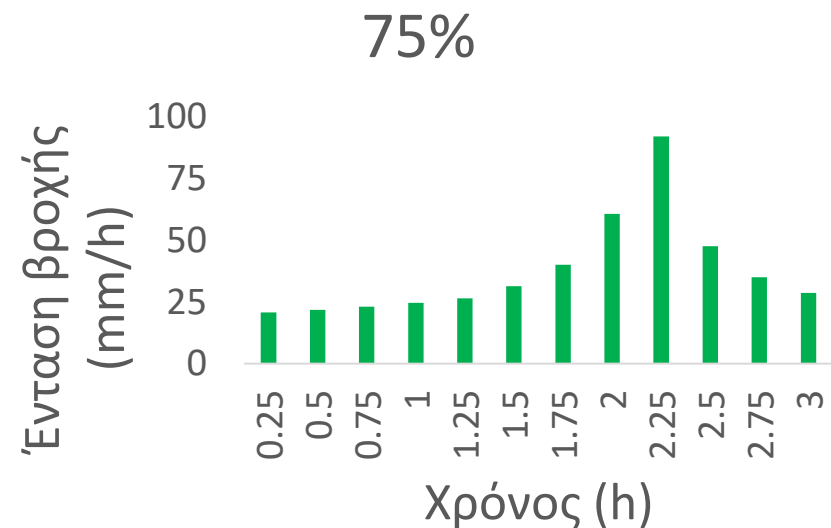
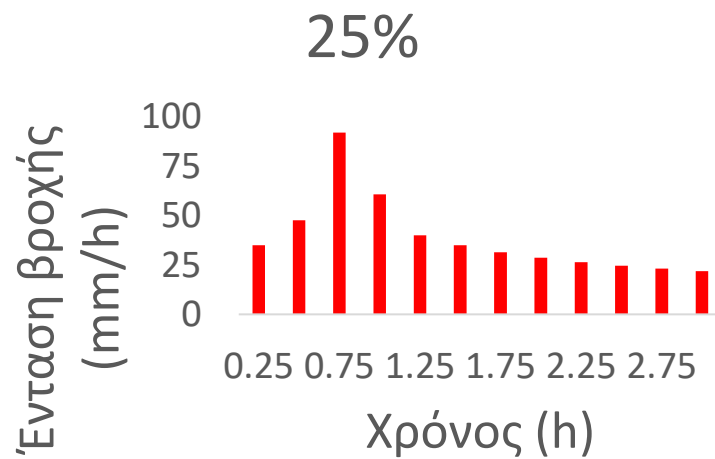
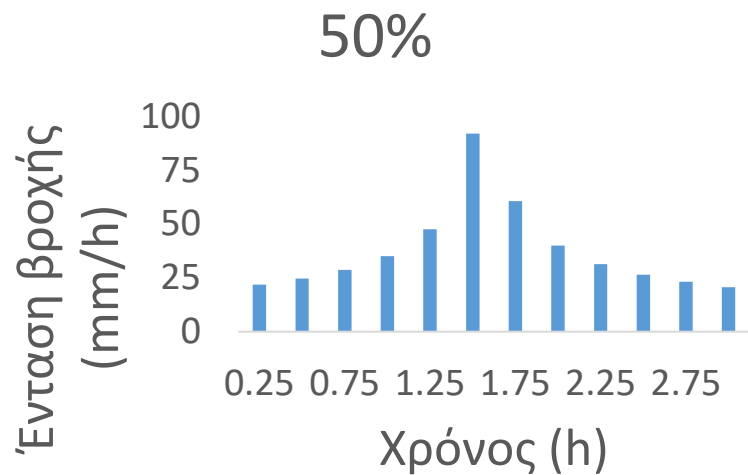
Κατανομή βροχής

- Η ένταση βρίσκεται θεωρώντας ότι η διάρκεια βροχής είναι ίση με το χρόνο συγκέντρωσης → ορθολογική μέθοδος
- Θεωρητικές κατανομές βροχής
- Μέθοδος εναλασσόμενων μπλοκ

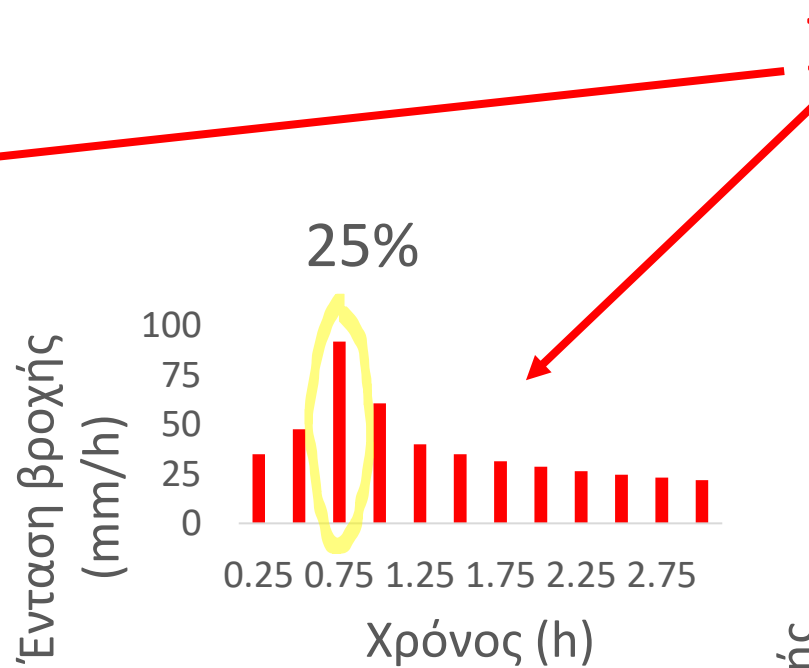
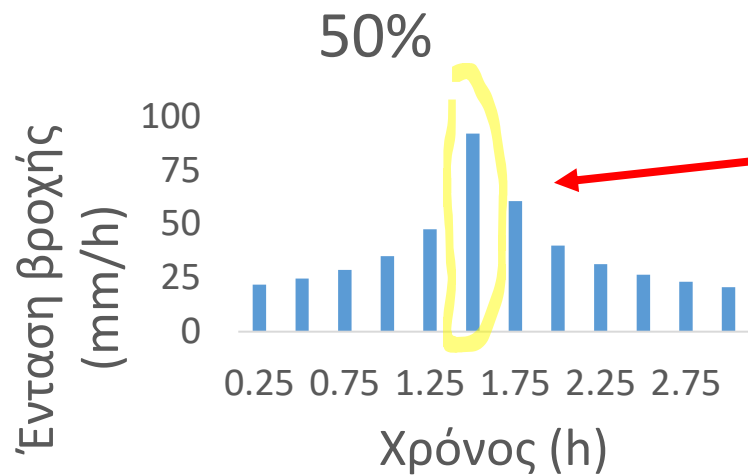
Κατανομές Huff



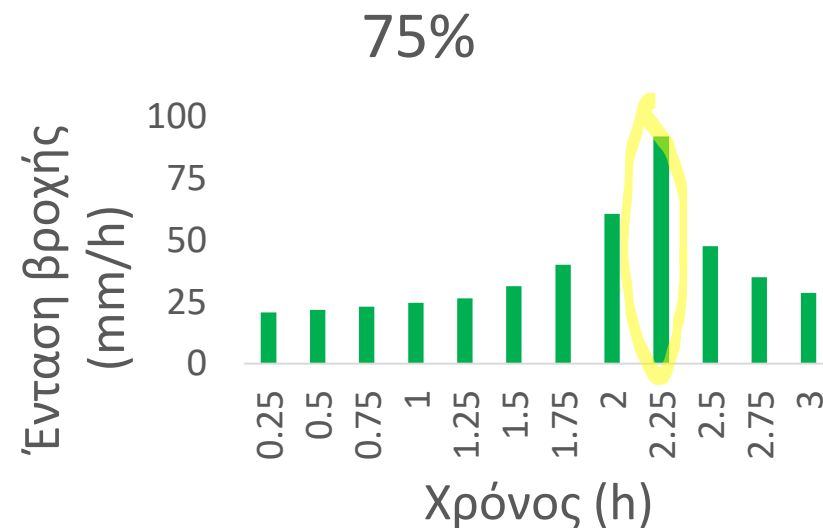
Εναλασσόμενα μπλοκ



Εναλασσόμενα μπλοκ



max



Απορροή

Μοναδιαίο Υδρογράφημα

- **Sherman 1932**
- **Χαρακτηριστικά βροχής**
 - Ομοιόμορφα κατανεμημένα στο χώρο
 - Ομοιόμορφη ένταση
- **Υδρογράφημα άμεσης απορροής για βροχή διάρκειας t και περισεύματος βροχής ύψους 1 cm**
 - ΜΥΓ 1 h
 - ΜΥΓ 2 h
 - ...

Παραδοχές ΜΥΓ για τη λεκάνη

- Οι βροχές ίσης διάρκειας δίνουν ίδιο τύπο υδρογραφήματος ανεξάρτητα από την ένταση βροχής
- Η άμεση απορροή που προκαλείται από μία βροχή είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες ή τις επόμενες βροχές
- Η υδρολογική κατάσταση παραμένει αμετάβλητη

Τυπικές διάρκειες

- **Sherman (1949)**

- $>2500 \text{ km}^2 \rightarrow \text{MYΓ } 12 \text{ h} \sim \text{MYΓ } 24 \text{ h}$
- $250 \text{ km}^2 \sim 2500 \text{ km}^2 \rightarrow \text{MYΓ } 6 \text{ h} \sim \text{MYΓ } 12 \text{ h}$
- $50 \text{ km}^2 \sim 250 \text{ km}^2 \rightarrow \text{MYΓ } 2 \text{ h} \sim \text{MYΓ } 6 \text{ h}$
- $<50 \text{ km}^2 \rightarrow \text{MYΓ } 1/3 \sim 1/4 t_c \text{ h}$

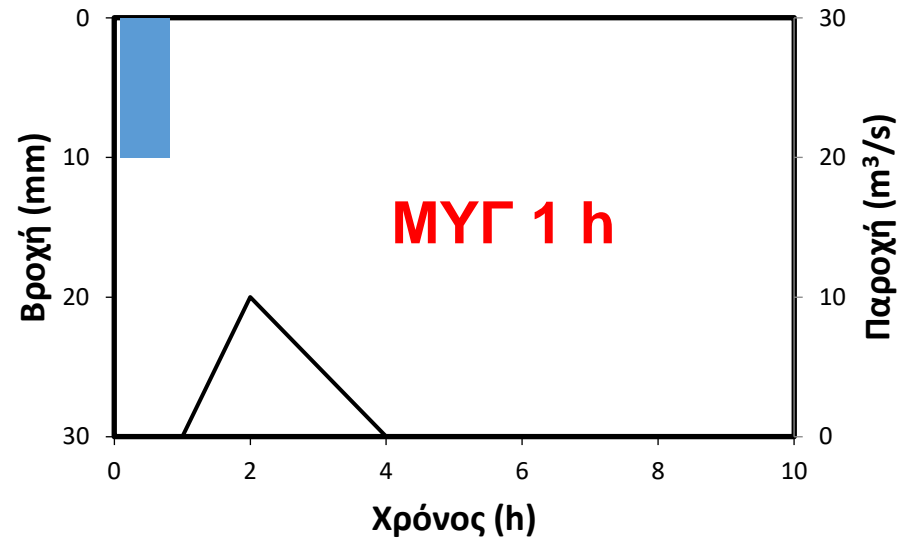
- **Linsey et al. (1949)**

- $\text{MYΓ } 1/4 t_L \text{ h}$

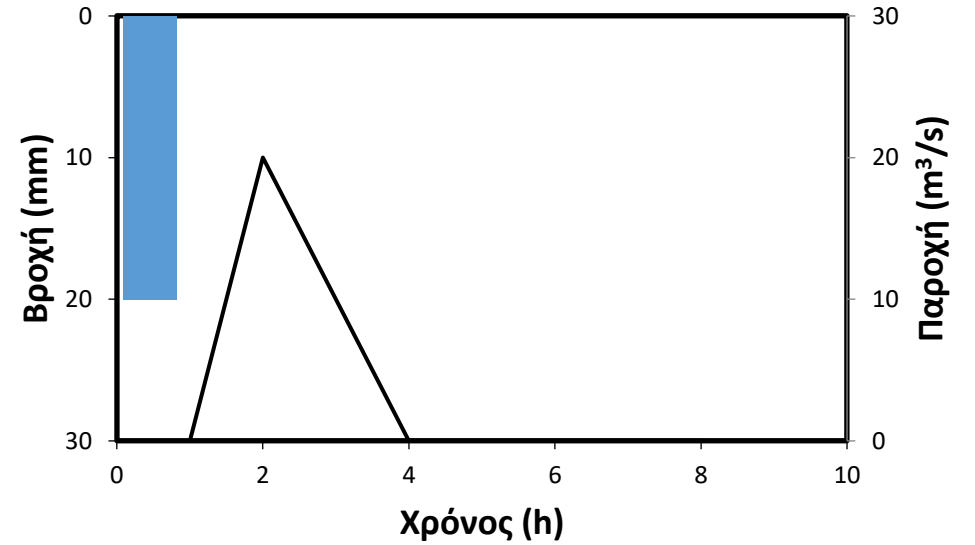
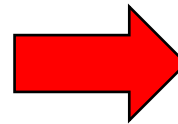
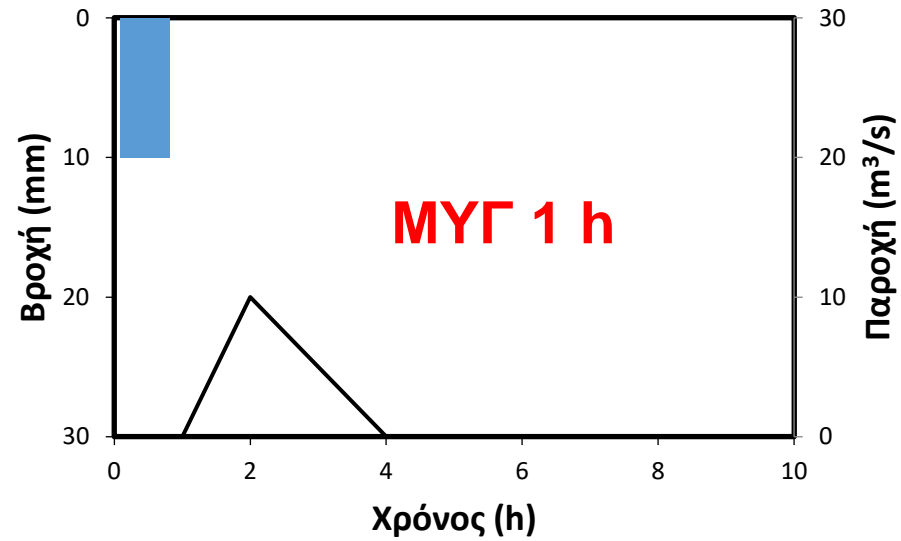
- **US Army Corps of Engineers (1948)**

- $<250 \text{ km}^2 \rightarrow \text{MYΓ } 1/2 t_L \text{ h}$

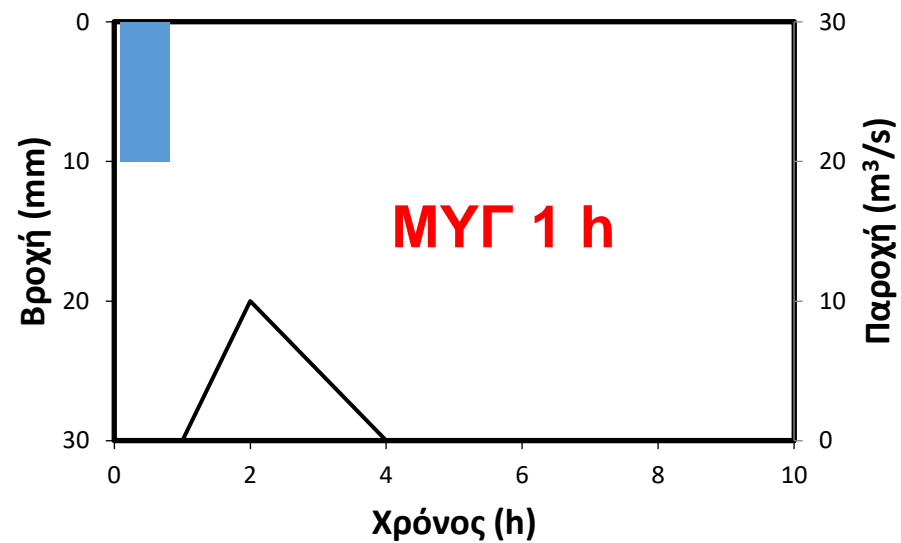
Αρχή της αναλογίας



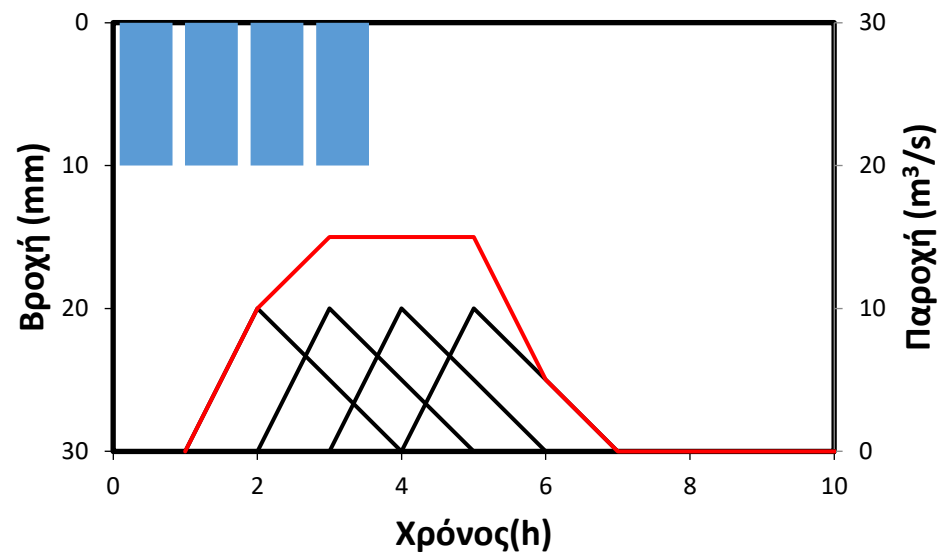
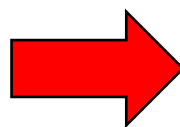
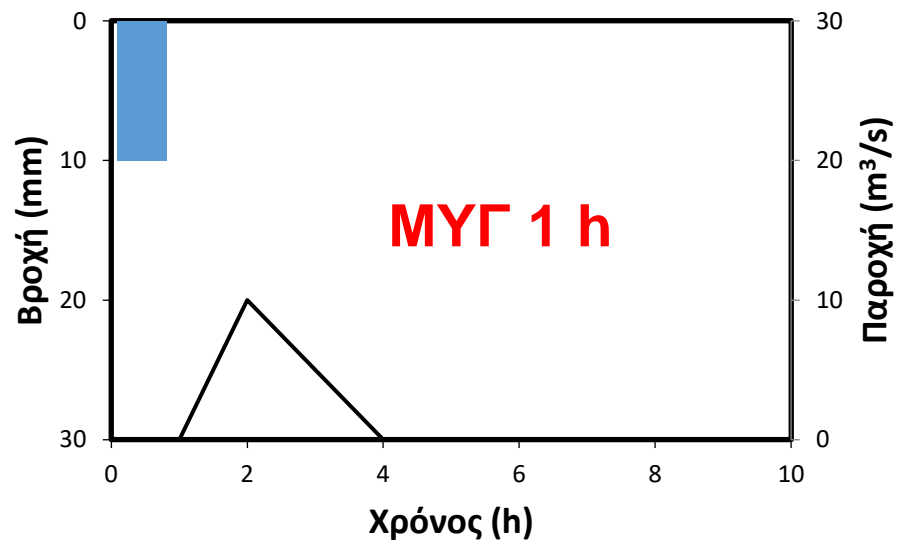
Αρχή της αναλογίας



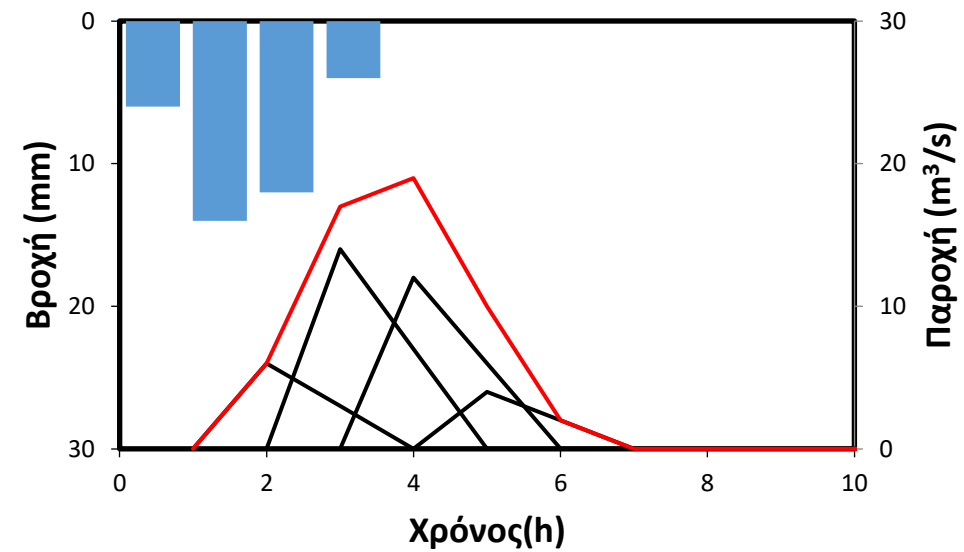
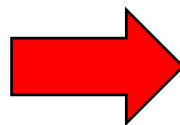
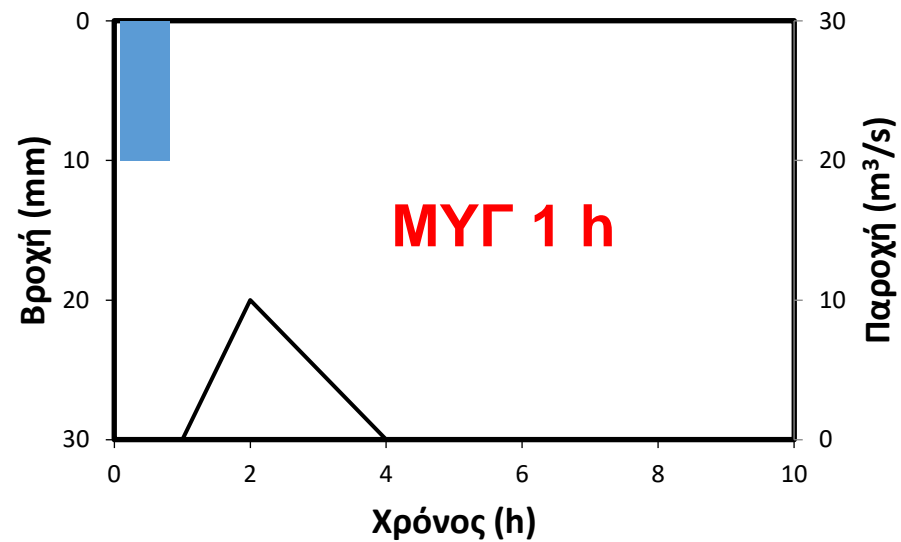
Αρχή της επαλληλίας



Αρχή της επαλληλίας



Σύνθετη βροχόπτωση



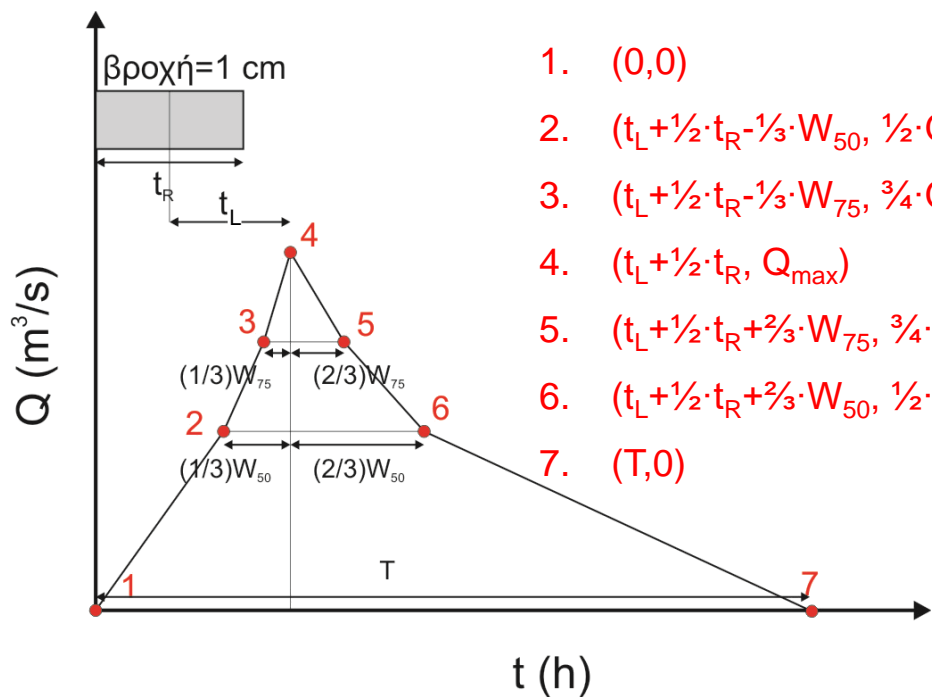
Εκτίμηση ΜΥΓ

- **Προσδιορισμός ΜΥΓ από μετρήσεις**
 - Μεμονωμένη ραγδαία βροχή
 - Σύνθετες ραγδαίες βροχές
- **Προσδιορισμός ΜΥΓ από ΜΥΓ άλλης διάρκειας**
- **Συνθετικά ΜΥΓ**
 - Snyder
 - SCS
 - British Hydrological Society
 - ...
- **Μοντέλα φυσικής βάσης**

Μεμονωμένη βροχή

- Μετρήσεις περισσεύματος βροχής-απορροής
- Διαχωρισμός άμεσης και βασικής απορροής
- Άμεση απορροή \times (10/ύψος βροχής) \rightarrow σε mm
- Διάρκεια ΜΥΓ = διάρκεια βροχής

Συνθετικό ΜΥΓ Snyder



1. (0,0)
2. $(t_L + \frac{1}{2} \cdot t_R - \frac{1}{3} \cdot W_{50}, \frac{1}{2} \cdot Q_{max})$
3. $(t_L + \frac{1}{2} \cdot t_R - \frac{1}{3} \cdot W_{75}, \frac{3}{4} \cdot Q_{max})$
4. $(t_L + \frac{1}{2} \cdot t_R, Q_{max})$
5. $(t_L + \frac{1}{2} \cdot t_R + \frac{2}{3} \cdot W_{75}, \frac{3}{4} \cdot Q_{max})$
6. $(t_L + \frac{1}{2} \cdot t_R + \frac{2}{3} \cdot W_{50}, \frac{1}{2} \cdot Q_{max})$
7. (T,0)

$$t_L = 0.752C_t(LL_c)^{0.3} + \frac{5.5t_R - 0.752C_t(LL_c)^{0.3}}{22}$$

$$Q_{max} = 2.780 \frac{C_t A}{t_L}$$

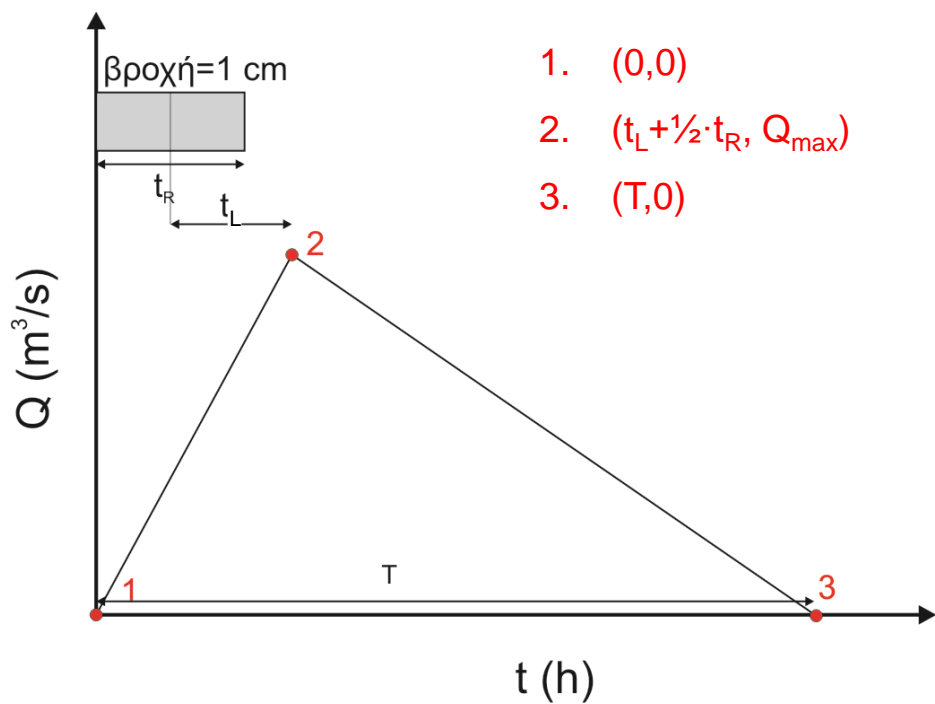
$$W_{50} = \frac{2.143}{\left(\frac{Q_{max}}{A}\right)^{1.08}}$$

$$W_{75} = \frac{1.225}{\left(\frac{Q_{max}}{A}\right)^{1.08}}$$

$$T = \frac{A}{0.09Q_{max}} - \frac{3}{2}W_{50} - W_{75}$$

- $A \rightarrow$ εμβαδόν λεκάνης (km²)
- $L \rightarrow$ μήκος κυρίου ρέματος (km)
- $L_c \rightarrow$ απόσταση από την έξοδο της λεκάνης μέχρι το σημείο του κυρίου ρέματος που βρίσκεται κοντύτερα στο κέντρο της λεκάνης (km)
- $C_t \rightarrow$ παράμετρος που σχετίζεται με την τοπογραφία και το εδαφικό υλικό της λεκάνης και κυμαίνεται μεταξύ 1.8-2.2, ενώ όσο πιο απότομη η λεκάνη, τόσο μικρότερη η τιμή της παραμέτρου (αδιάστατη)
- $C_p \rightarrow$ παράμετρος που σχετίζεται με τη διάδοση του πλημμυρικού κύματος, την αποθηκευτική ικανότητα της λεκάνης και η οποία κυμαίνεται μεταξύ 0.56-0.69 (αδιάστατη)

ΣΥΝΘΕΤΙΚΟ ΜΥΓ SCS



$$t_L = 0.6t_c$$

$$Q_{max} = \frac{A}{0.18T}$$

$$T = 2.67 \left(t_L + \frac{t_R}{2} \right)$$

- $A \rightarrow$ εμβαδόν λεκάνης (km^2)
- $t_c \rightarrow$ χρόνος συγκέντρωσης (h)

Χρόνος συγκέντρωσης

- **Kirpich (min)**

$$t_c = 0.02L^{0.77} S^{-0.385}$$

L	απόσταση κατά μήκος του κυρίου ρέματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο μέχρι την έξοδο της λεκάνης (m)
S	μέση κλίση κατά μήκος της διαδρομής (m/m)

- **Giandotti (h)**

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}}$$

- ...

A	εμβαδόν λεκάνης απορροής (km ²)
L	μήκος κυρίου ρέματος (km)
ΔH	υψομετρική διαφορά μεταξύ μέσου υψομέτρου λεκάνης και της κοίτης του ρέματος στην έξοδο της λεκάνης (m)

ΑΠΩΛΕΙΕΣ

SCS

- Έμμεσος υπολογισμός διήθησης → υπολογισμός περισσεύματος βροχόπτωσης

$$h_R = \begin{cases} 0 & h_r \leq 0.2S \\ \frac{(h_r - 0.2S)^2}{h_r + 0.8S} & h_r > 0.2S \end{cases} \quad S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

h_R περίσσευμα βροχής (mm)

h_r βροχόπτωση (mm)

S αποθηκευτικότητα λεκάνης (mm)

CN αριθμός καμπύλης

Curve Number

Έδαφος	Κατηγορία
Υψηλός ρυθμός διήθησης	A
Μέτριος ρυθμός διήθησης	B
Χαμηλός ρυθμός διήθησης	C
Πολύ μικρός ρυθμός διήθησης	D

Συνθήκες εδαφικής υγρασίας	Κατάσταση
Στεγνά εδάφη	I
Μέση κατάσταση	II
Σχεδόν κορεσμένο έδαφος	III

Curve Number

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. ^A	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. ^B	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 ^C	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm). ^D	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. ^E	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	59	74	82	86

Curve Number

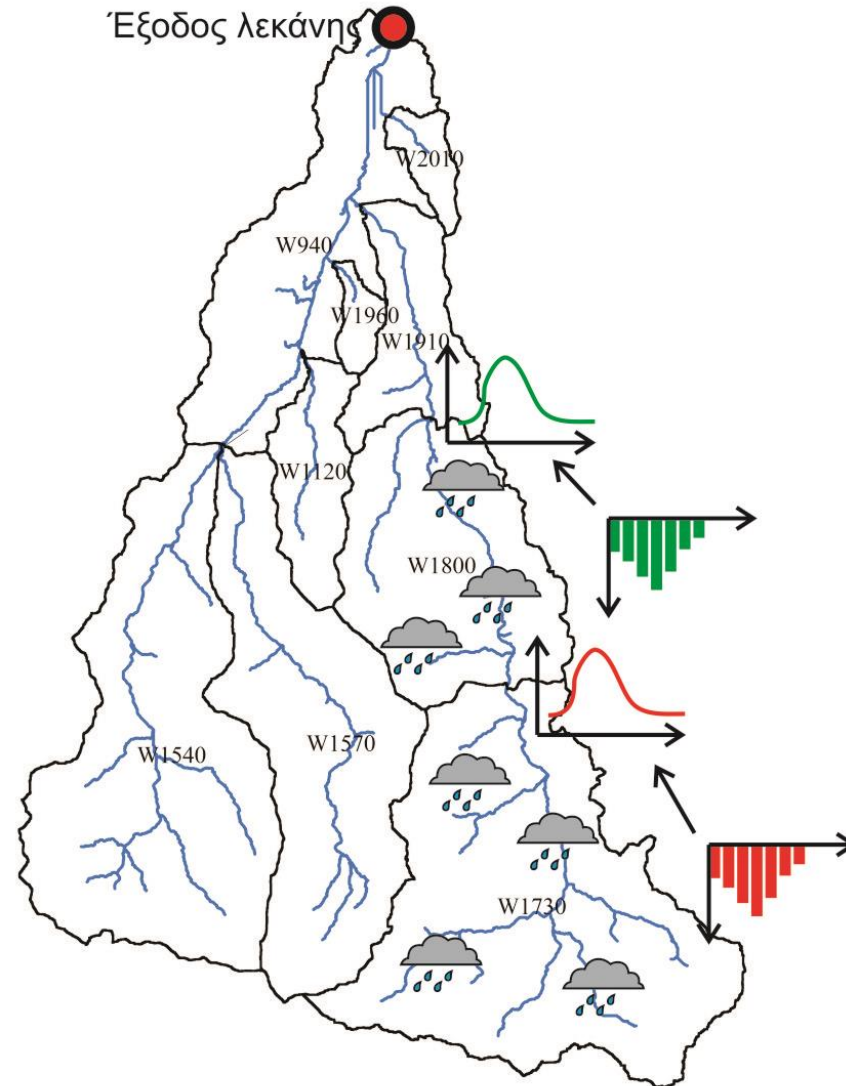
Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.)	Poor condition (grass cover <50%)	68	79	86	89
	Fair condition (grass cover 50 to 75%)	49	69	79	84
	Good condition (grass cover >75%)	39	61	74	80
Impervious areas	Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right of way)	98	98	98	98
Streets and roads	Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)	98	98	98	98
	Paved; open ditches (including right-of-way)	83	89	92	93
	Gravel (including right of way)	76	85	89	91
	Dirt (including right-of-way)	72	82	87	89
Western desert urban areas	Natural desert landscaping (pervious area only)	63	77	85	88
	Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)	96	96	96	96
Urban districts	Commercial and business (85% imp.)	89	92	94	95
	Industrial (72% imp.)	81	88	91	93
Residential districts by average lot size	1/8 acre or less (town houses) (65% imp.)	77	85	90	92
	1/4 acre (38% imp.)	61	75	83	87
	1/3 acre (30% imp.)	57	72	81	86
	1/2 acre (25% imp.)	54	70	80	85
	1 acre (20% imp.)	51	68	79	84
	2 acres (12% imp.)	46	65	77	82

Διόδευση

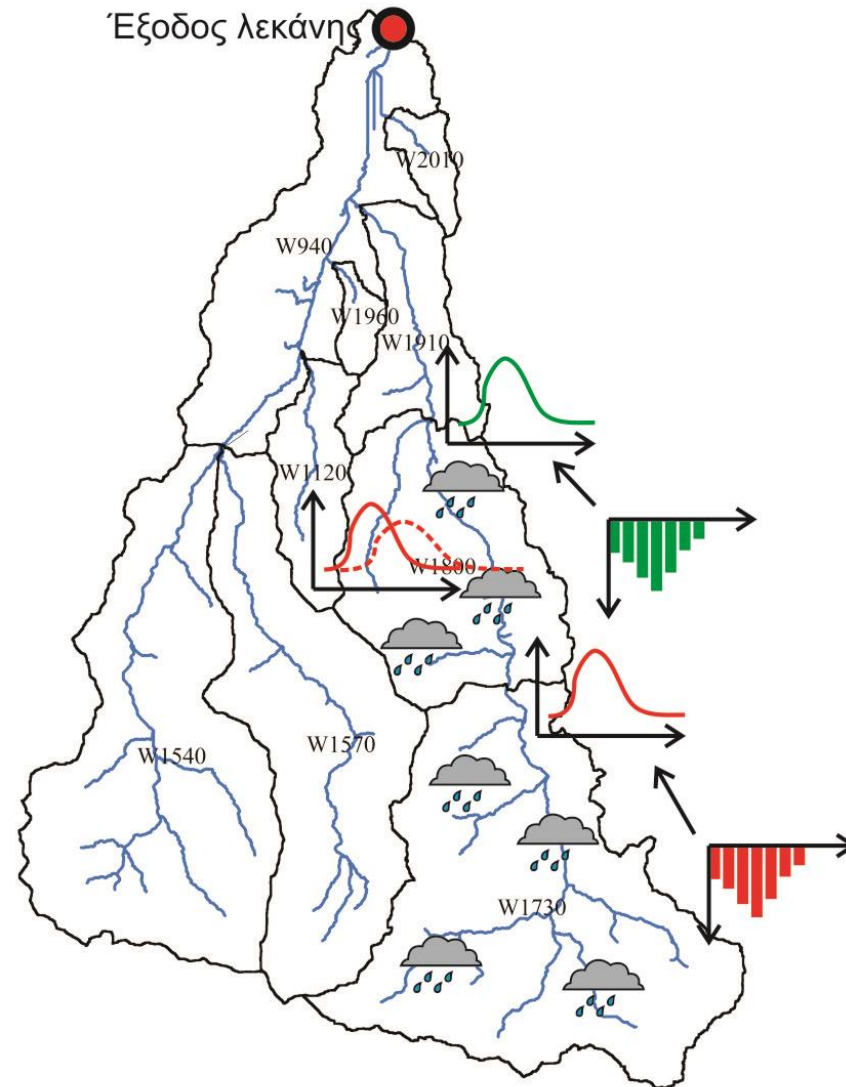
Υπολεκάνες

- Χωρισμός λεκάνης απορροής σε υπολεκάνες
- Σε κάθε υπολεκάνη → **μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής**
- Διόδευση απορροής υπολεκάνης μέσω της κατάντη υπολεκάνης → **μοντέλα διόδευσης**
- **Μη ομογενές σύστημα**
 - Διαφορετική βροχόπτωση (είσοδος)
 - Διαφορετικές παράμετροι στο μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής
 - Διαφορετικές παράμετροι στο μοντέλο διόδευσης

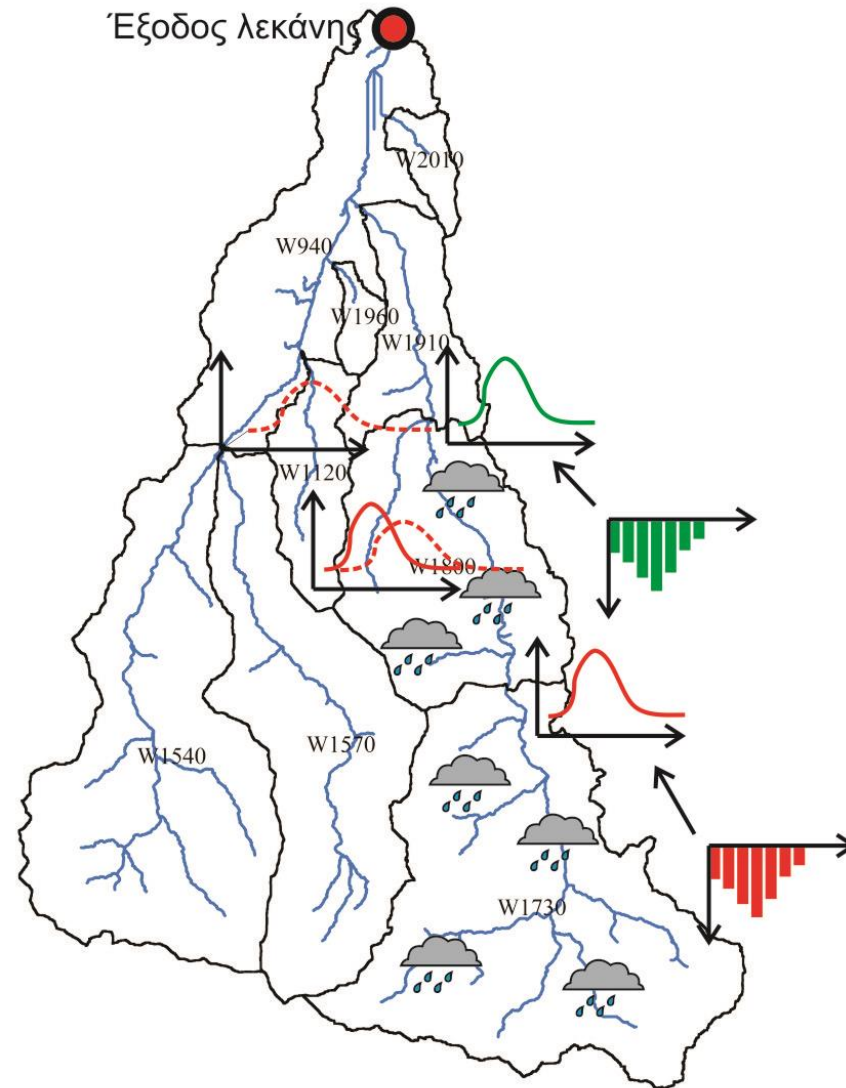
Υπολεκάνες



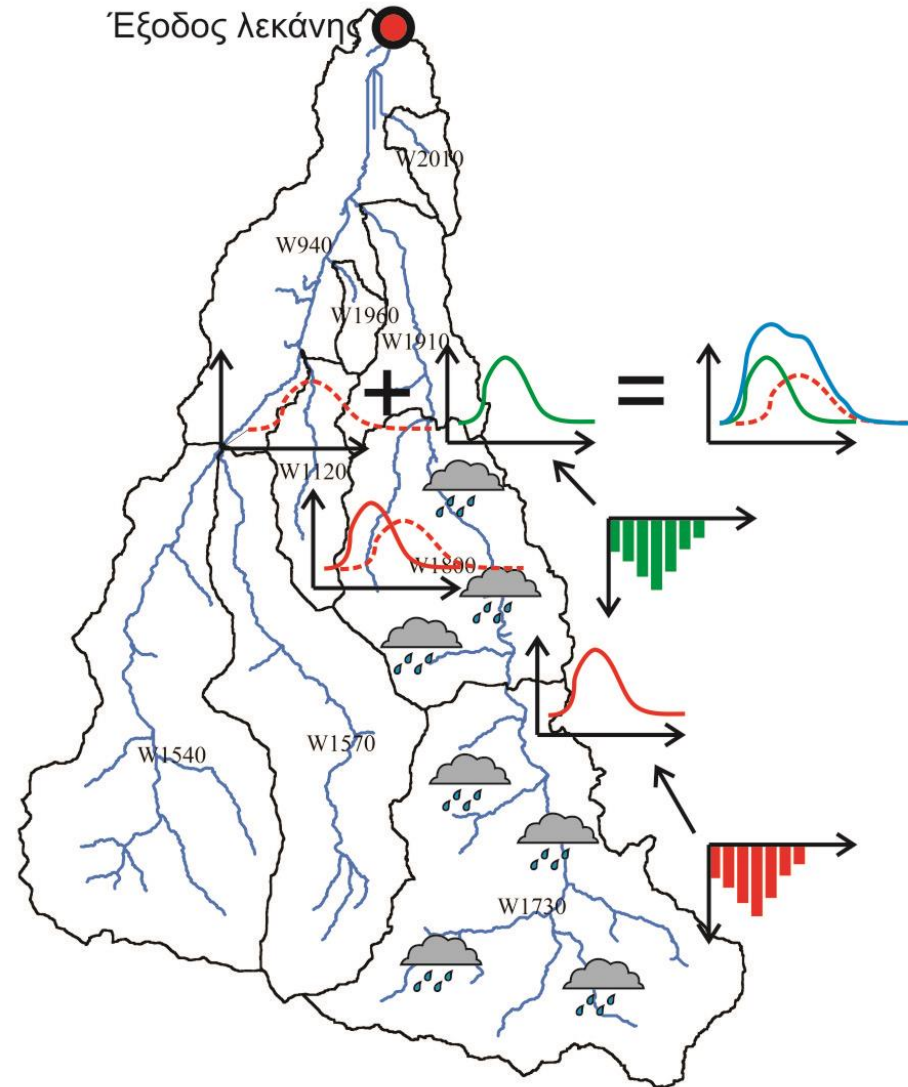
Διόδευση



Διόδευση



Σύνθεση



Μοντέλα διόδευσης

- Μοντέλα αποθήκευσης → **Συνήθης Διαφορική Εξίσωση**

$$\frac{dS}{dt} = I - O \quad S = K[XI + (1 - X)O]$$

→ παράμετρος K → μέσος χρόνος διαδρομής (μονάδες χρόνου)

- Μέθοδος Muskingum

→ παράμετρος X → βάρος συμμετοχής εισροής με τιμές $[0, 1]$ (αδιάστατη)

$$O_{i+1} = \frac{-KX + 0.5\Delta t}{K(1 - X) + 0.5\Delta t} I_{i+1} + \frac{KX + 0.5\Delta t}{K(1 - X) + 0.5\Delta t} I_i + \frac{K(1 - X) - 0.5\Delta t}{K(1 - X) + 0.5\Delta t} O_i$$

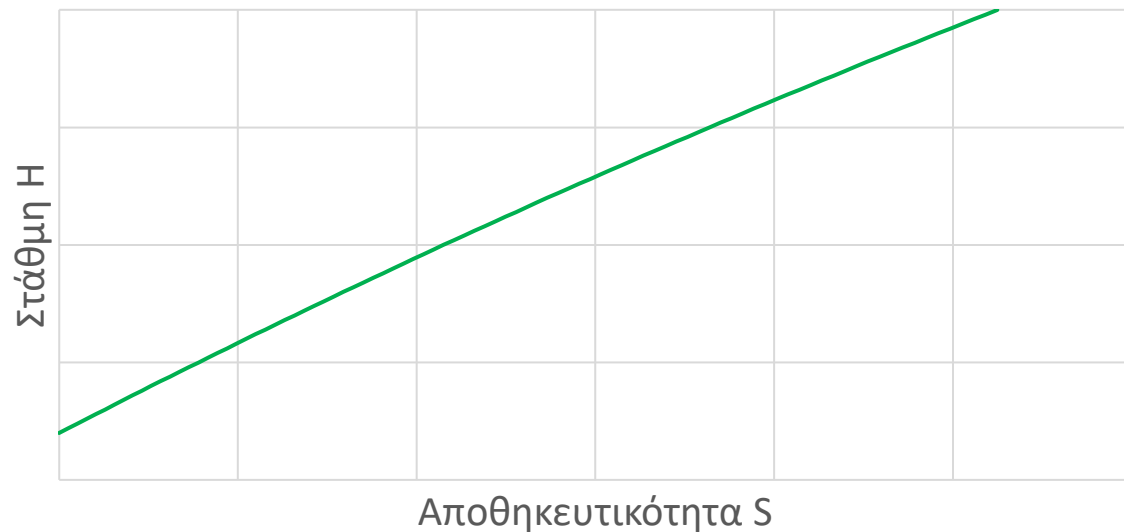
Διόδευση μέσω ταμειευτήρα

Θεωρητικό υπόβαθρο

- Μοντέλο αποθήκευσης → ΣΔΕ

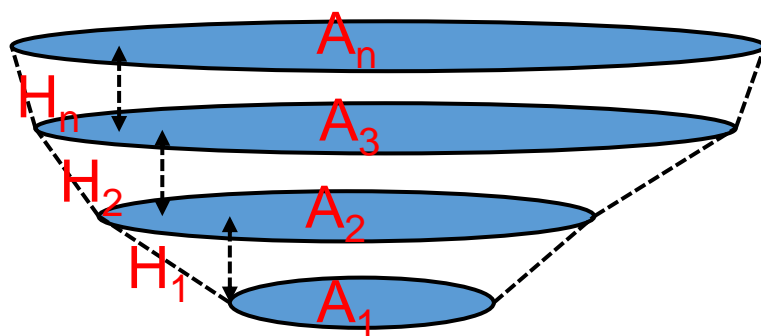
$$\frac{dS}{dt} = \bar{I} - \bar{Q}$$

Καμπύλες

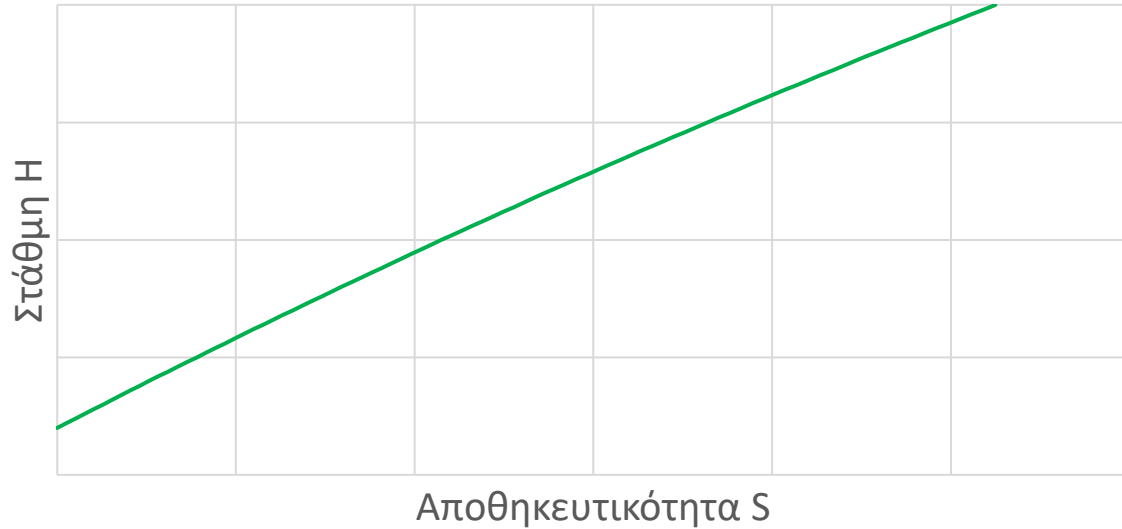


$$S = f_1(H)$$

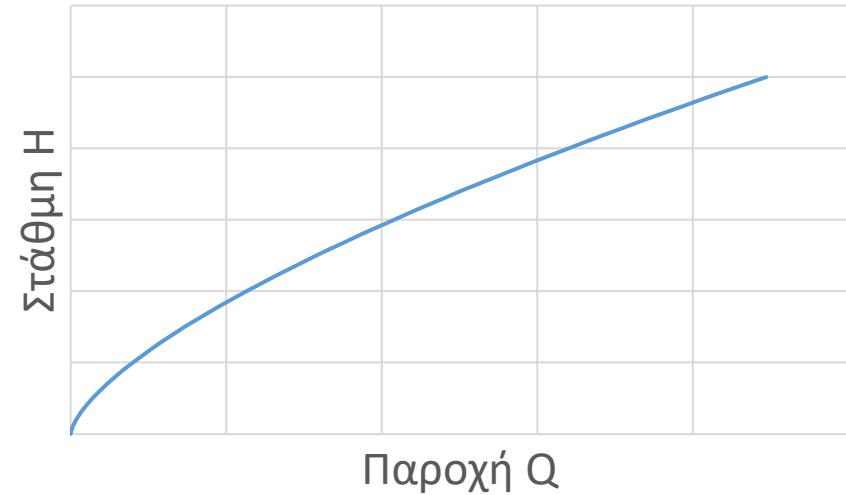
Συνάρτηση του
τοπογραφικού
ανάγλυφου



Καμπύλες

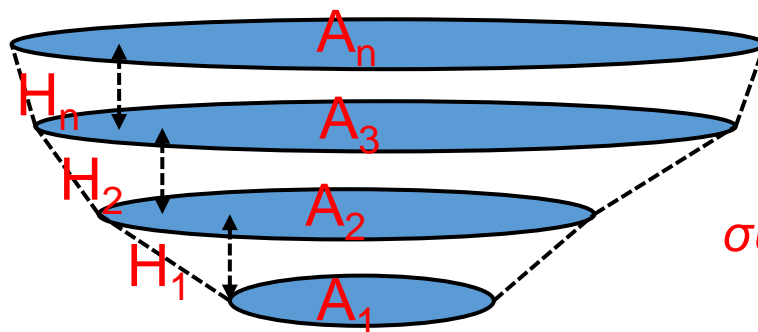


$$S = f_1(H)$$



$$Q = f_2(H)$$

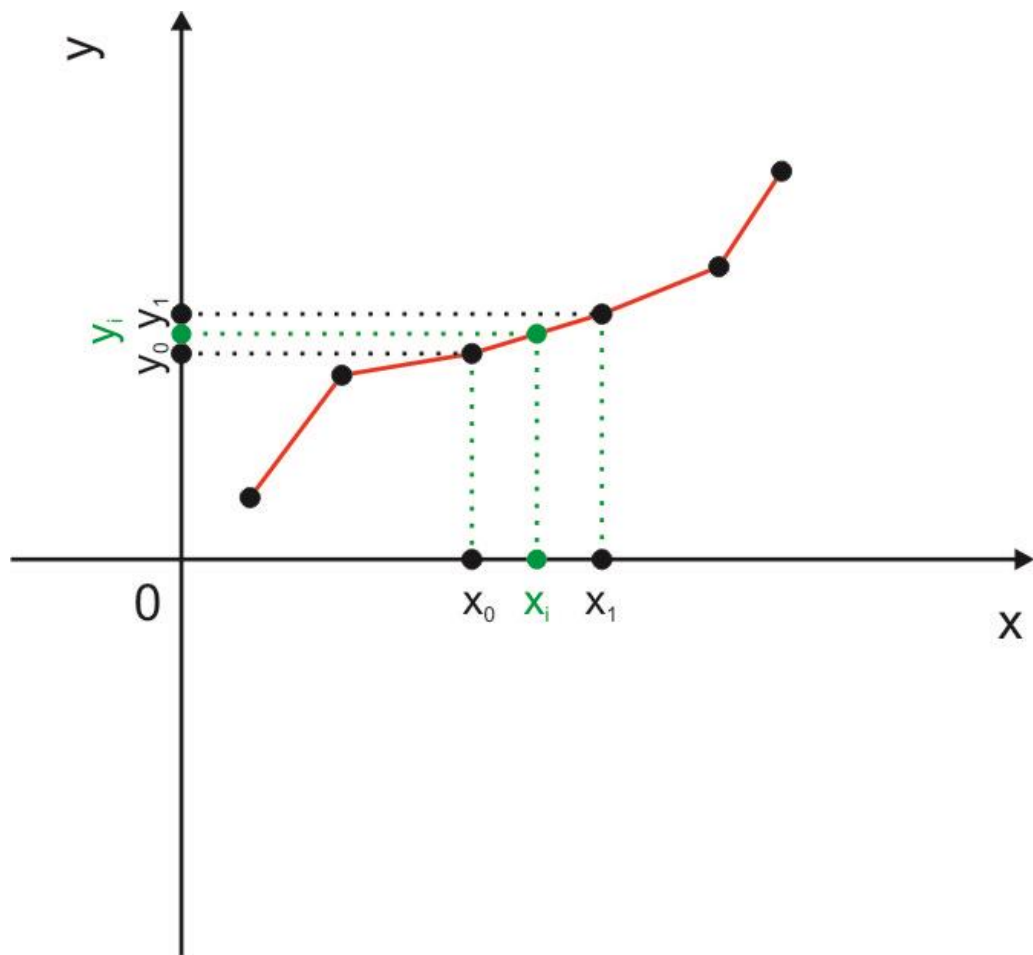
Συνάρτηση του
τοπογραφικού
ανάγλυφου



$$C_d \times L \times (H - z_0)^{3/2}$$

← συντελεστής παροχής
↓ μήκος υπερχείλισης
↘ υδραυλικό φορτίο

Γραμμική παρεμβολή



$$\frac{y_i - y_0}{x_i - x_0} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}$$



$$y_i = y_0 + (x_i - x_0) \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}$$

Διακριτοποίηση

- Εμπρόσθια διαφορά

$$\frac{S_{i+1} - S_i}{\Delta t} = \frac{I_{i+1} + I_i}{2} - \frac{Q_{i+1} + Q_i}{2}$$

Διακριτοποίηση

- Εμπρόσθια διαφορά

$$\frac{S_{i+1} - S_i}{\Delta t} = \frac{I_{i+1} + I_i}{2} - \frac{Q_{i+1} + Q_i}{2} \rightarrow \frac{S_{i+1}}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}}{2} = \frac{S_i}{\Delta t} - \frac{Q_i}{2} + \frac{I_{i+1} + I_i}{2}$$

Διακριτοποίηση

$$-\frac{Q_i}{2} = \frac{Q_i}{2} - Q_i$$

- Εμπρόσθια διαφορά

$$\frac{S_{i+1} - S_i}{\Delta t} = \frac{I_{i+1} + I_i}{2} - \frac{Q_{i+1} + Q_i}{2} \rightarrow \frac{S_{i+1}}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}}{2} = \frac{S_i}{\Delta t} - \frac{Q_i}{2} + \frac{I_{i+1} + I_i}{2}$$

Διακριτοποίηση

$$-\frac{Q_i}{2} = \frac{Q_i}{2} - Q_i$$

- Εμπρόσθια διαφορά

$$\frac{S_{i+1} - S_i}{\Delta t} = \frac{I_{i+1} + I_i}{2} - \frac{Q_{i+1} + Q_i}{2} \quad \longrightarrow \quad \frac{S_{i+1}}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}}{2} = \frac{S_i}{\Delta t} - \frac{Q_i}{2} + \frac{I_{i+1} + I_i}{2}$$

$$\frac{S_{i+1}}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}}{2} = \frac{S_i}{\Delta t} + \frac{Q_i}{2} + \frac{I_{i+1} + I_i}{2} - Q_i$$

Διακριτοποίηση

$$-\frac{Q_i}{2} = \frac{Q_i}{2} - Q_i$$

- Εμπρόσθια διαφορά

$$\frac{S_{i+1} - S_i}{\Delta t} = \frac{I_{i+1} + I_i}{2} - \frac{O_{i+1} + O_i}{2} \rightarrow \frac{S_{i+1}}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}}{2} = \frac{S_i}{\Delta t} - \frac{Q_i}{2} + \frac{I_{i+1} + I_i}{2}$$

$$\left(\frac{S_{i+1}}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}}{2} \right) = \left(\frac{S_i}{\Delta t} + \frac{Q_i}{2} \right) + \frac{I_{i+1} + I_i}{2} - Q_i \rightarrow N_{i+1} = N_i + \bar{I} - Q_i$$

$$N = \frac{S}{\Delta t} + \frac{Q}{2}$$

$$\bar{I} = \frac{I_{i+1} + I_i}{2}$$

Διακριτοποίηση

$$-\frac{Q_i}{2} = \frac{Q_i}{2} - Q_i$$



- Εμπρόσθια διαφορά

$$\frac{S_{i+1} - S_i}{\Delta t} = \frac{I_{i+1} + I_i}{2} - \frac{O_{i+1} + O_i}{2} \rightarrow \frac{S_{i+1}}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}}{2} = \frac{S_i}{\Delta t} - \frac{Q_i}{2} + \frac{I_{i+1} + I_i}{2}$$

$$\left(\frac{S_{i+1}}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}}{2} \right) = \left(\frac{S_i}{\Delta t} + \frac{Q_i}{2} \right) + \frac{I_{i+1} + I_i}{2} - Q_i \rightarrow N_{i+1} = N_i + \bar{I} - Q_i$$

$$N = \frac{S}{\Delta t} + \frac{Q}{2}$$

$$\bar{I} = \frac{I_{i+1} + I_i}{2}$$

$$\Delta N = \bar{I} - Q_i$$

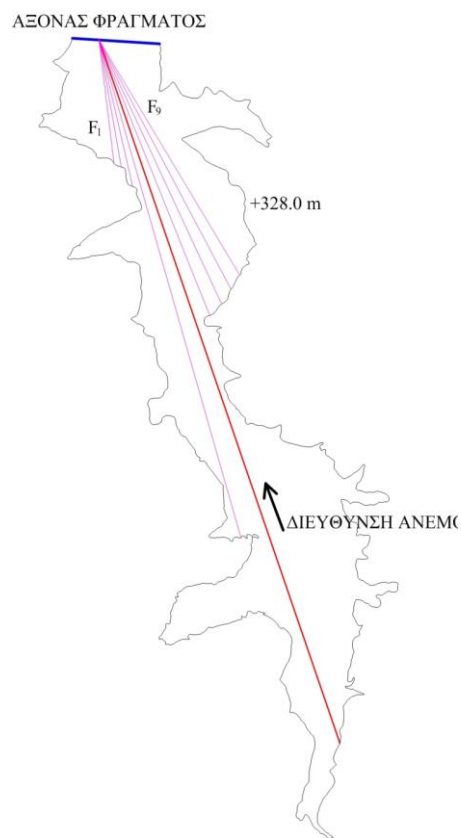
Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας και στέψη
φράγματος

Υψόμετρο στέψης φράγματος

- **Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας** → **$A_{SP} = A_{SL} + H$**
 - Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας
 - Υδραυλικό φορτίο υπερχείλισης
- **Στέψη Φράγματος** → **$A_{SP} + E_{PA}$**
 - Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας
 - Ελεύθερο Περιθώριο Ασφαλείας (EPA)
- **Ελεύθερο Περιθώριο Ασφαλείας** → **ελάχιστη τιμή 1 m**
 - Ανύψωση στάθμης λόγω ανέμου
 - Αναρρίχηση κυματισμών στο πρανάς του φράγματος
 - Κάθιση στέψης φράγματος λόγω σεισμού
 - Αβεβαιότητες + κατασκευαστικοί λόγοι

Ανύψωση στάθμης λόγω ανέμου

$$F_w = \frac{V_w^2 F_{eff}}{63000D} \cos\varphi$$

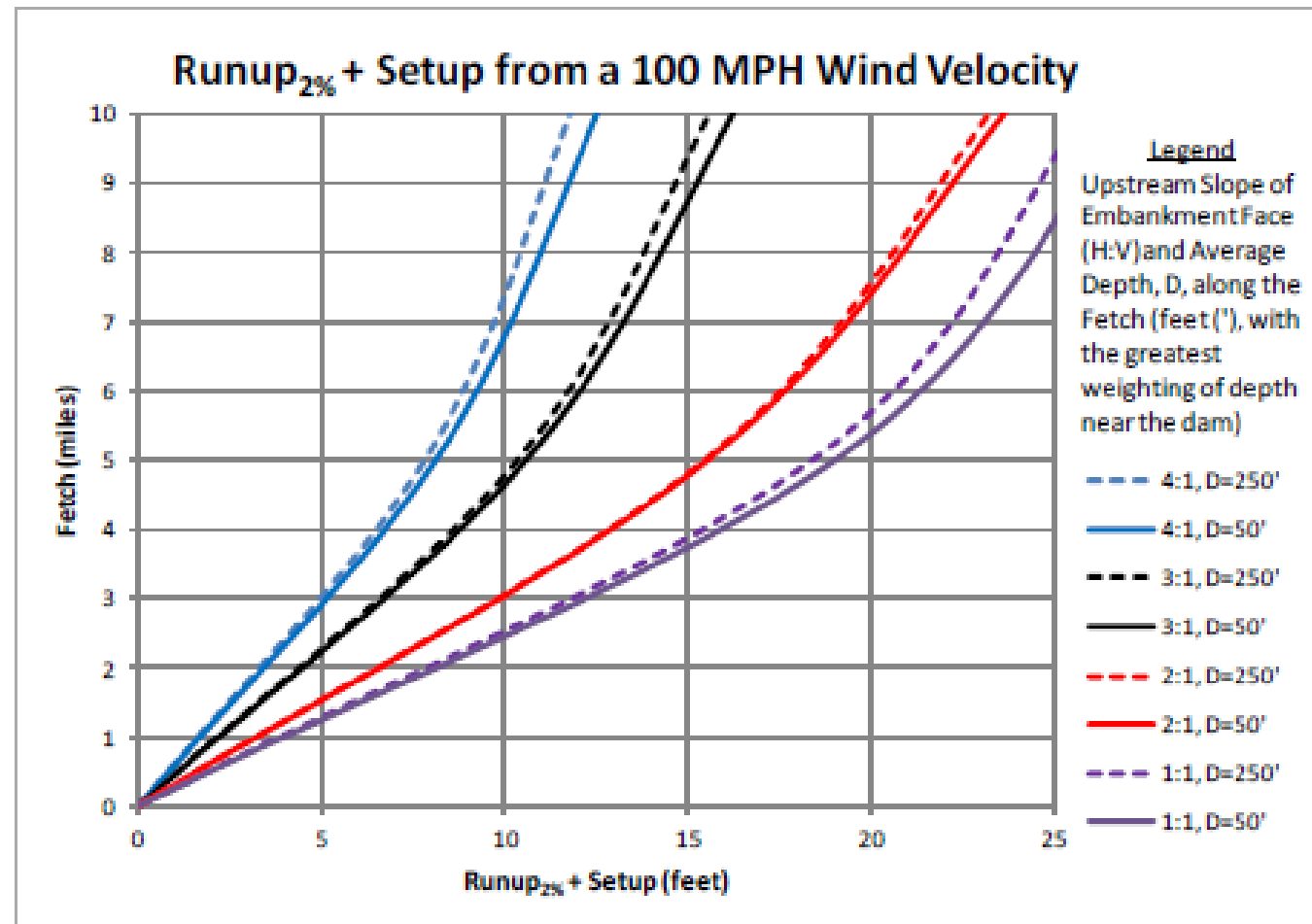


- V_w ταχύτητα ανέμου (km/h)
- F_{eff} ενεργό ανάπτυσμα ταμιευτήρα

$$F_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^{i=9} F_i}{9}$$

- F_i προκύπτει στρίβοντας κατά 3° κάθε φορά από τη μέγιστη απόσταση μεταξύ κέντρου άξονα φράγματος και ταμιευτήρα
- φ γωνία διεύθυνσης ανέμου σε σχέση με τον άξονα του φράγματος

Αναρρίχηση λόγω κυματισμών



Θέμα εξαμήνου 1

Ενότητα 2

Να θεωρήσετε ότι η λεκάνη που απορρέει στον ταμιευτήρα που σχηματίζεται μετά την τοποθέτηση του φράγματος χωρίζεται σε δύο ίσες υπολεκάνες (μία άνω και μία κάτω). Η άνω υπολεκάνη διοδεύει τα νερά της μέσω της κάτω υπολεκάνης.

- Να βρεθεί η 12ωρη βροχή σχεδιασμού για το φράγμα που σχεδιάζεται με βάση τις [όμβριες καμπύλες](#) του κοντινότερου μετεωρολογικού σταθμού και χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των εναλασσομένων μπλοκ. Το βήμα χρόνου να είναι $\Delta t=0.5$ h και η περίοδος επαναφοράς $T=1000$ έτη.
- Να υπολογιστεί το περίσσειμα της βροχής για κάθε υπολεκάνη με τη μέθοδο SCS, αν στην άνω υπολεκάνη ισχύει ότι $CN=50$ και στην κάτω υπολεκάνη $CN=60$.
- Να εξαχθεί σε κάθε υπολεκάνη το ΜΥΓ 0.5 h αν για την άνω υπολεκάνη ο χρόνος συγκέντρωσης είναι 4 h και για την κάτω 5 h, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της SCS. Το βήμα χρόνου του ΜΥΓ να είναι 0.1 h.
- Να βρεθούν τα υδρογραφήματα απορροής που προκύπτουν και στις δύο υπολεκάνες με βάση τη θεωρία του ΜΥΓ.
- Να γίνει η διόδευση του υδρογραφήματος που απορρέει στην άνω υπολεκάνη δια μέσω της κάτω υπολεκάνης, δεδομένου ότι $K=1$ h και $x=0.1$.
- Να γίνει η τελική σύνθεση των υδρογραφημάτων στην έξοδο της κάτω υπολεκάνης η οποία είναι και είσοδος στον ταμιευτήρα.

Θέμα εξαμήνου 1

Ενότητα 3

- Να διοδευθεί το πλημμυρικό υδρογράφημα που προέκυψε από τη βροχή σχεδιασμού στην προηγούμενη ενότητα μέσω του ταμιευτήρα που έχετε σχεδιάσει. Ο συντελεστής παροχής να ληφθεί ίσος με $C_d=2$ ενώ το μήκος υπερχείλισης να επιλεγεί από εσάς.
- Να εκτιμηθεί η Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας.
- Να εκτιμηθεί η στέψη του φράγματος με τις ελάχιστες απαιτήσεις για Ελεύθερο Περιθώριο Ασφαλείας.