

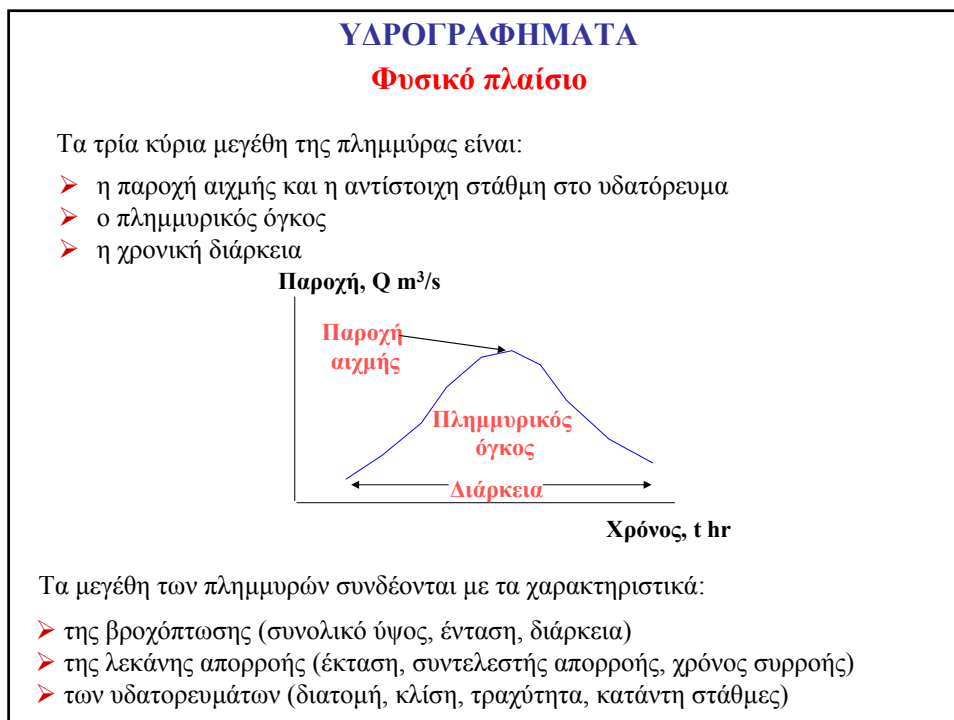
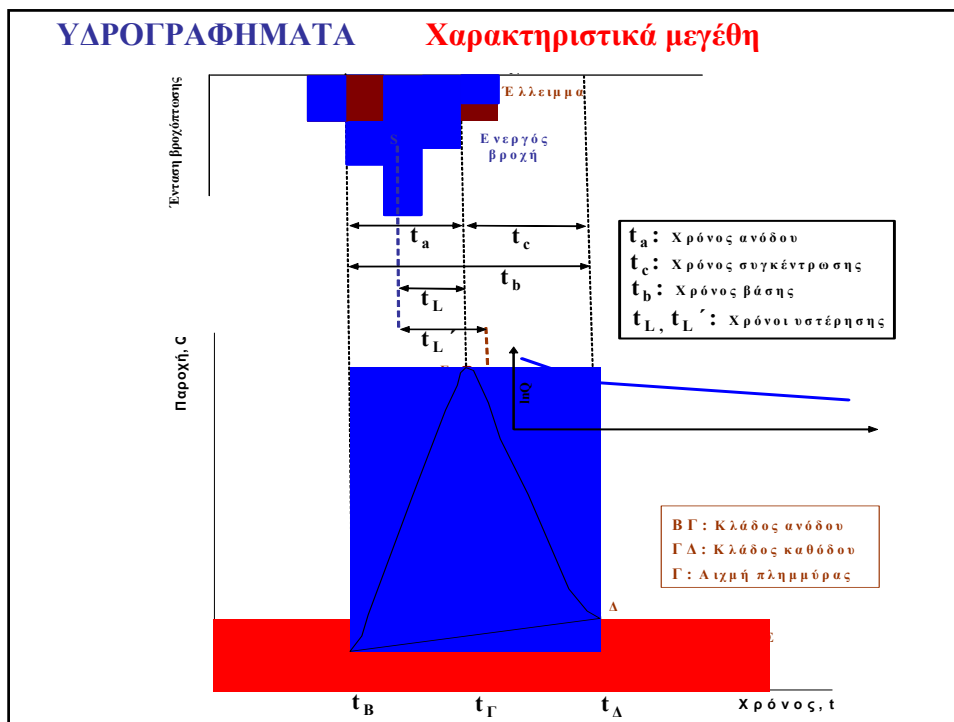
Υδρογραφήματα-Διόδευση-Στερεοπαροχή



Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων
Αθήνα 2009

ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: *ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ-ΔΙΟΔΕΥΣΗ*

- ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ
- ΚΑΜΠΥΛΗ S
- ΣΥΝΘΕΤΙΚΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ
- ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ
- ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ
- ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗ



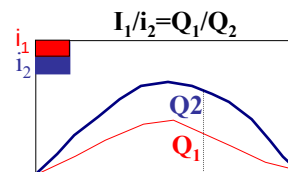
ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

Παραδοχές

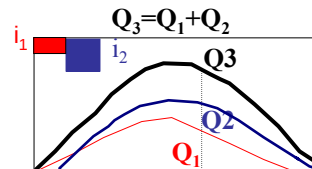
- Σε μια συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη, βροχές ίσης διάρκειας που προκαλούν απορροή, δίνουν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια περίπου χρονική βάση ανεξάρτητα από την ένταση της βροχής.
- Σε μια δεδομένη υδρολογική λεκάνη, η άμεση απορροή που προκαλείται από μια συγκεκριμένη βροχή είναι ανεξάρτητη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

Αρχές

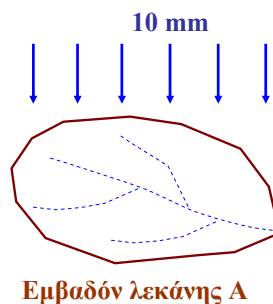
Αρχή της αναλογίας: Δύο ενεργές βροχές της ίδιας διάρκειας αλλά διαφορετικής έντασης δημιουργούν υδρογραφήματα με την ίδια χρονική βάση ενώ ο λόγος των παροχών σε κάθε χρονική είναι ίσος με το λόγο των εντάσεων.



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

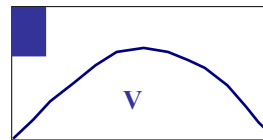


ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ



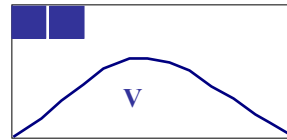
$$V = 10 \text{ mm} * A$$

10 mm/h MY 1h



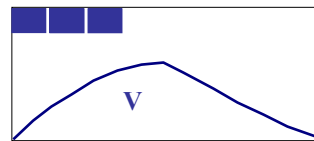
Χρόνος βάσης D (hr)

5 mm/h MY 2h



Χρόνος βάσης D+1 (hr)

3.33 mm/h MY 3h



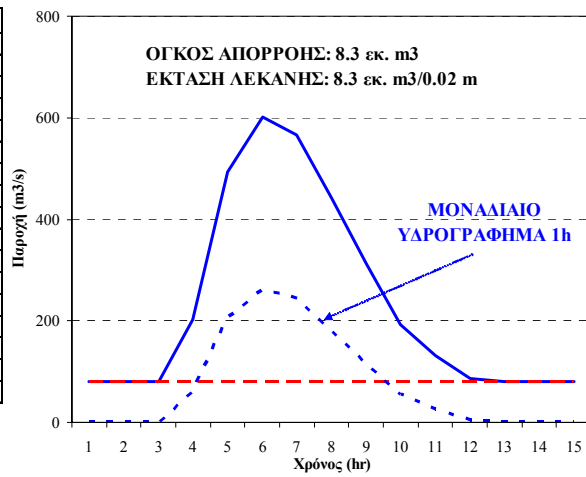
Χρόνος βάσης D+2 (hr)

ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

Αριθμητικά παραδείγματα

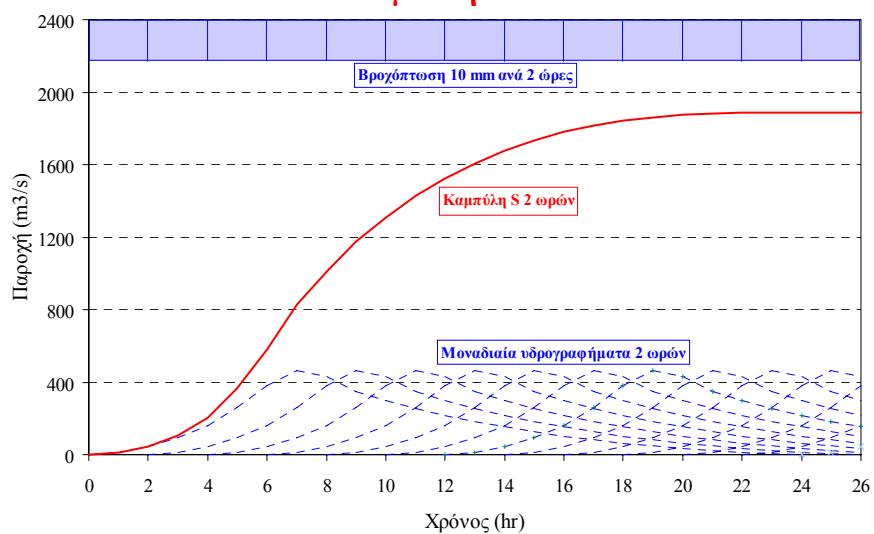
T (h)	Q (m ³ /s)	ΚΑΘΑΡΟ	QΜΥΓ
0	80	0	0,0
1	80	0	0,0
2	80	0	0,0
3	202	122	61,0
4	494	414	207,0
5	602	522	261,0
6	567	487	243,5
7	442	362	181,0
8	312	232	116,0
9	192	112	56,0
10	132	52	26,0
11	87	7	3,5
12	80	0	0,0
13	80	0	0,0
14	80	0	0,0

ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ 8316000 4158000
ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ 415800000 m²

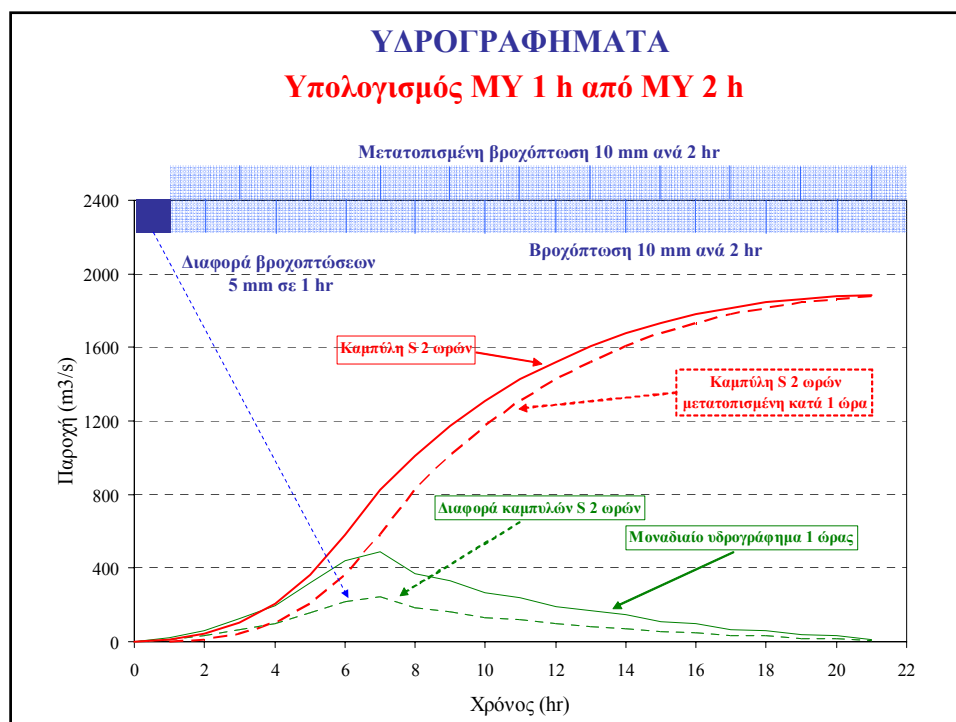


ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

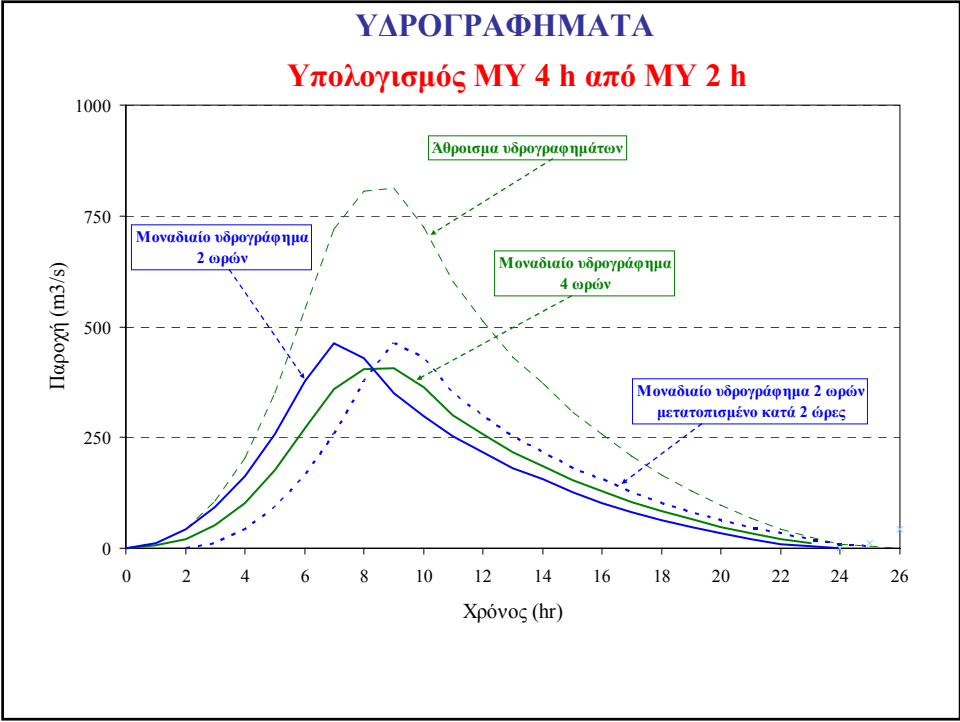
Καμπύλη S



ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ															S 2 hr
Χρόνος (hrs)	M.Y. 2h m ³ /sec	Αριθμητικά παραδείγματα												m ³ /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		1886,0	
24	0	9	33	63	102	156	216	297	428	378	162	42	0	1886,0	
25		4	20	48	81	126	180	252	350	462	258	93	12	1886,0	
26		0	9	33	63	102	156	216	297	428	378	162	42	1886,0	



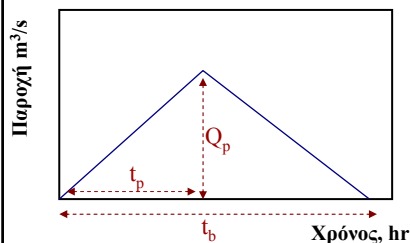
ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ							
Αριθμητικά παραδείγματα							
S 2 hr	S 2 hr	lagged	Diafora	MY 1 hr	MY 4 hr	ogkos hm3	
m ³ /sec	m ³ /sec	m ³ /sec	m ³ /sec				
0	0		0	0	0	0,0	
12	12	0	12	24	12	0,0	
42	42	12	30	60	42	0,2	
105	105	42	63	126	105	0,3	
204	204	105	99	198	204	0,6	
363	363	204	159	318	351	0,9	
582	582	363	219	438	540	1,4	
825	825	582	243	486	720	1,7	
1010	1010	825	185	370	806	1,5	
1175	1175	1010	165	330	812	1,3	
1307	1307	1175	132	264	725	1,1	
1427	1427	1307	120	240	602	0,9	
1523	1523	1427	96	192	513	0,8	
1607	1607	1523	84	168	432	0,6	
1679	1679	1607	72	144	372	0,6	
1733	1733	1679	54	108	306	0,5	
1781	1781	1733	48	96	258	0,4	
1814	1814	1781	33	66	207	0,3	
1844	1844	1814	30	60	165	0,2	
1862	1862	1844	18	36	129	0,2	
1877	1877	1862	15	30	96	0,1	
1882	1882	1877	5	10	68	0,1	
1886,0	1886	1882	4	8	42	0,0	
1886,0	1886	1886	0	0	24	0,0	
1886,0	1886	1886	0		9	0,0	
1886,0			0		4		
1886,0					0		
SV m3/s			1886	3772	3772	SV hm3	13,58
SVhm3			6,79	13,58			
						Broxi mm	10
						Broxi m	0,01
						A km2	1357,92



ΣΥΝΘΕΤΙΚΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

Μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας

Υπολογισμός Μοναδιαίου Υδρογραφήματος 1 ώρας



$$t_b = 2.52 * t_p$$

$$10 \text{ mm} * A \text{ km}^2 = 0.5 * t_b \text{ hr} * Q_p \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow$$

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

$$Q_p = 2.2 * A / t_p$$

t_p	χρόνος ανόδου σε hr
Q_p	παροχή αιχμής σε m³/s
t_b	χρόνος βάσης σε hr
A	έκταση λεκάνης απορροής σε km²

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

$$t_b = 7 \text{ hr} \quad A = 100 \text{ km}^2$$

$$\text{Υβροχής} = 10 \text{ mm} * 100 \text{ km}^2 = 1 * 10^6 \text{ m}^3$$

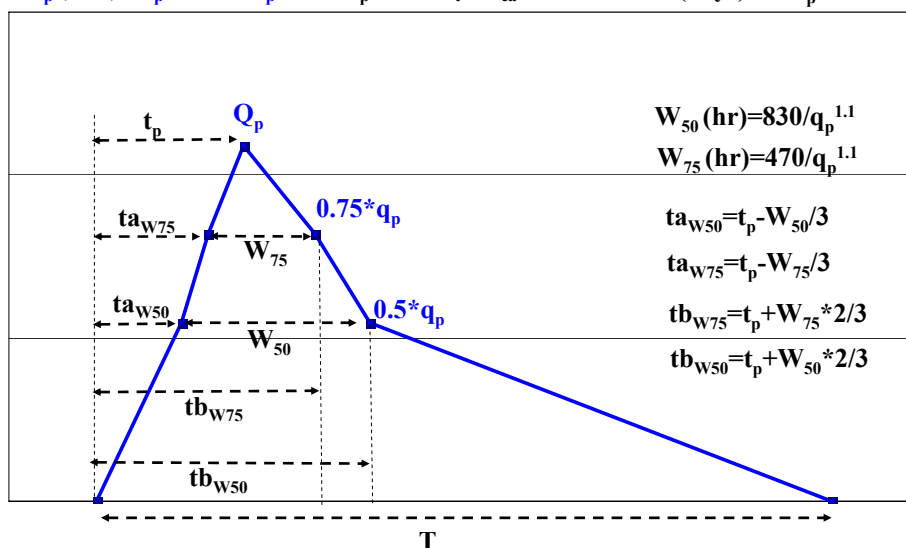
$$\text{Υαπορροής} = 0.5 * t_b \text{ hr} * Q_p \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow Q_p \text{ m}^3/\text{s} = 1 * 10^6 \text{ m}^3 / (0.5 * 7 * 3600 \text{ s}) \Rightarrow Q_p = 79.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

ΣΥΝΘΕΤΙΚΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΚΑΤΑ SNYDER

$$Q_p \text{ (ft}^3/\text{s)} = C_p * 640 * A / t_p$$

$$t_p \text{ (hr)} = C_t * (L_{ca} * L)^{0.3}$$

$$T \text{ (days)} = 3 + t_p / 8$$



$$W_{50} \text{ (hr)} = 830 / q_p^{1.1}$$

$$W_{75} \text{ (hr)} = 470 / q_p^{1.1}$$

$$ta_{W50} = t_p - W_{50} / 3$$

$$ta_{W75} = t_p - W_{75} / 3$$

$$tb_{W75} = t_p + W_{75} * 2/3$$

$$tb_{W50} = t_p + W_{50} * 2/3$$

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΥ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΣ ΟΓΚΟΣ (ft³)
 $A \text{ (mi}^2) * 1 \text{ inch} = A * 5250^2 * (1/12)$

Παροχή (m³/s)

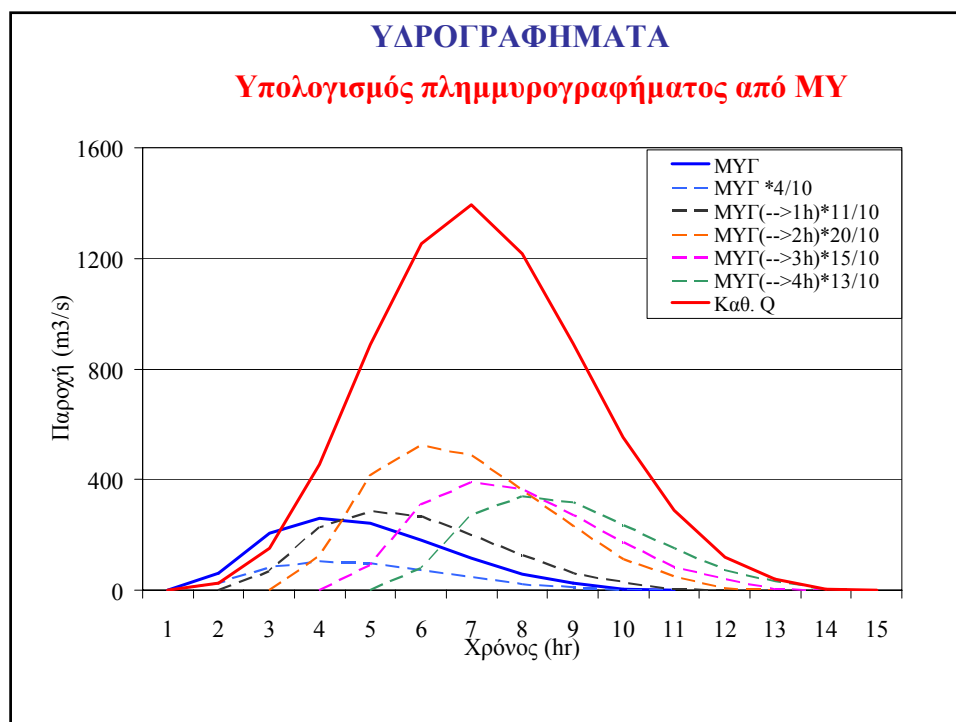
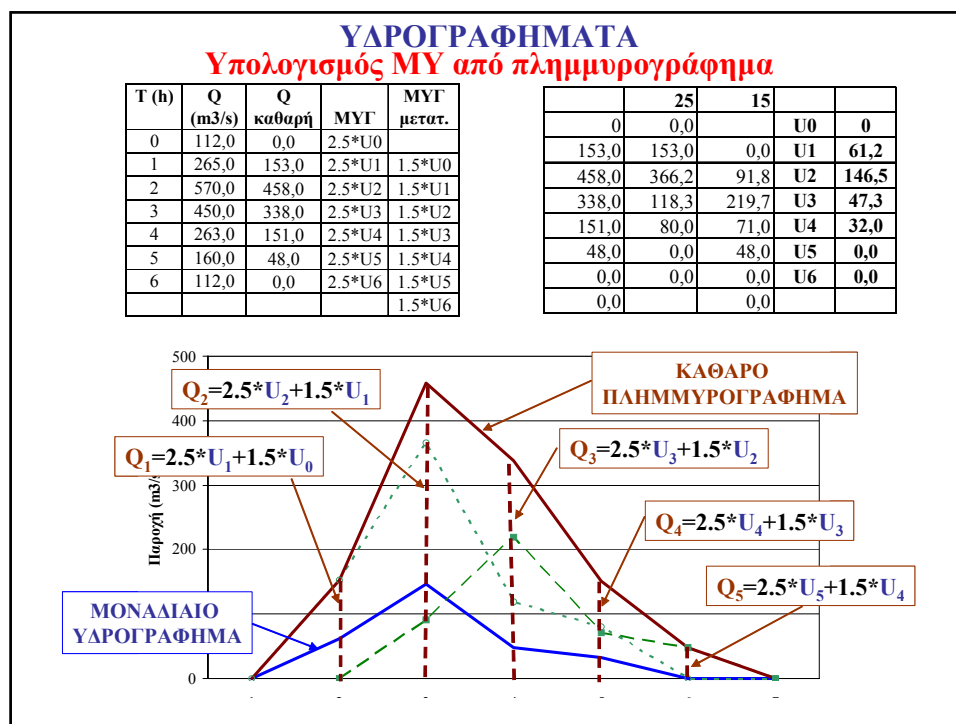
Χρόνος (hr)

$V/V_{\mu ov}=1$

$V/V_{\mu ov}=2.90$

$V/V_{\mu ov}=1.23$





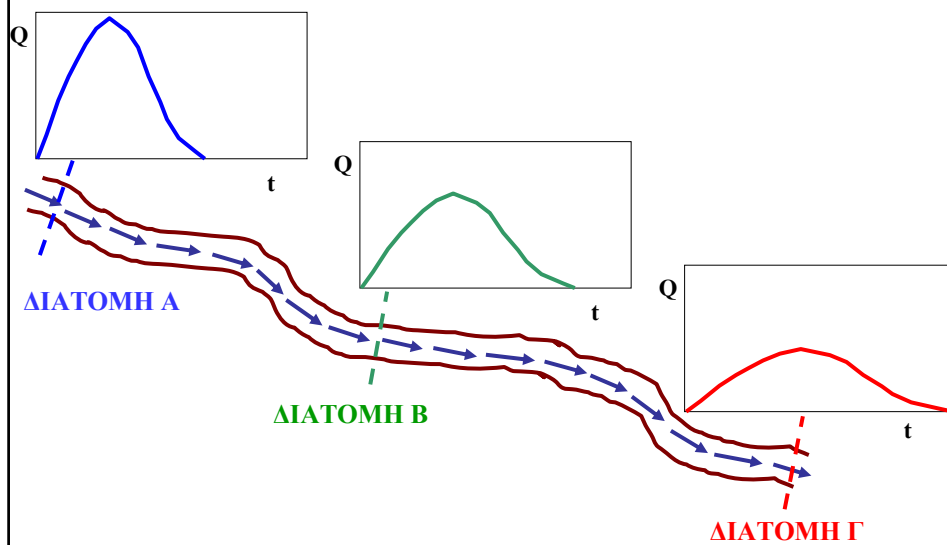
ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

Αριθμητικά παραδείγματα

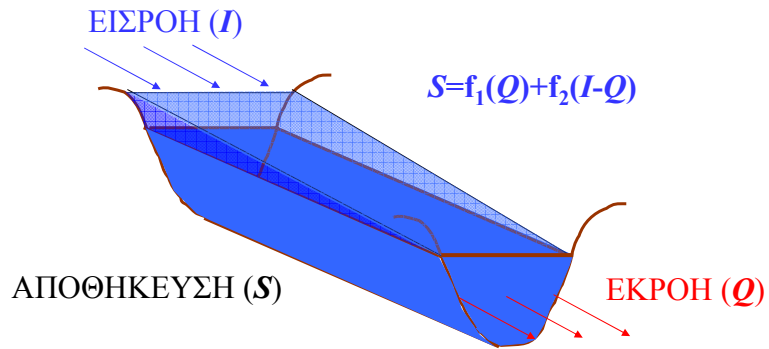
T (h)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5
I	4	11	20	15	13

T(h)	MYΓ	MYΓ *4/10	MYΓ(→1h)*11/10	MYΓ(→2h)*20/10	MYΓ(→3h)*15/10	MYΓ(→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

ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ



ΜΕΘΟΔΟΣ MUSKINGUM



$$f_1(Q) = K * Q$$

$$f_2(I - Q) = b * (I - Q)$$

$$S = K * Q + b * (I - Q) = b * I + (K - b) * Q = K [I * b/K + (1 - b/K) * Q]$$

Θέτοντας $x = b/K$ προκύπτει

$$S = K * [x * I + (1 - x) * Q]$$

x : αδιάστατη σταθερά συγκεκριμένης ευθυγραμμίας ποταμού

K : σταθερά χωρητικότητας, με διαστάσεις χρόνου, που υπολογίζεται από τα υδρογραφήματα εισόδου και εξόδου

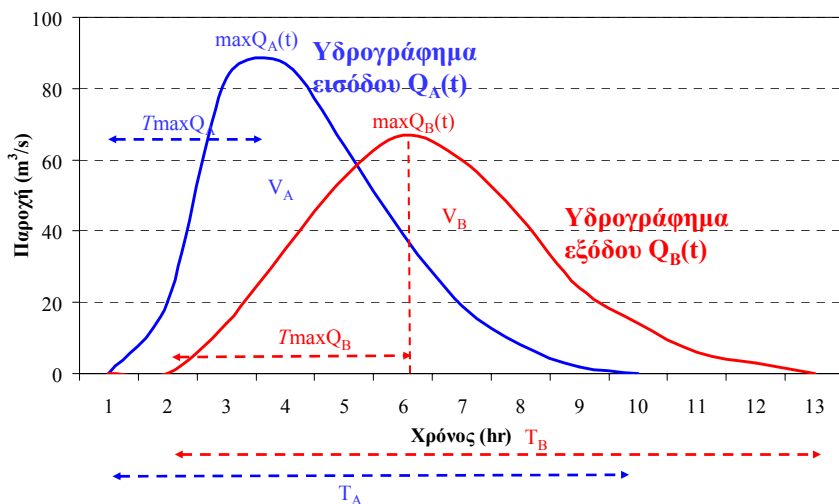
ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

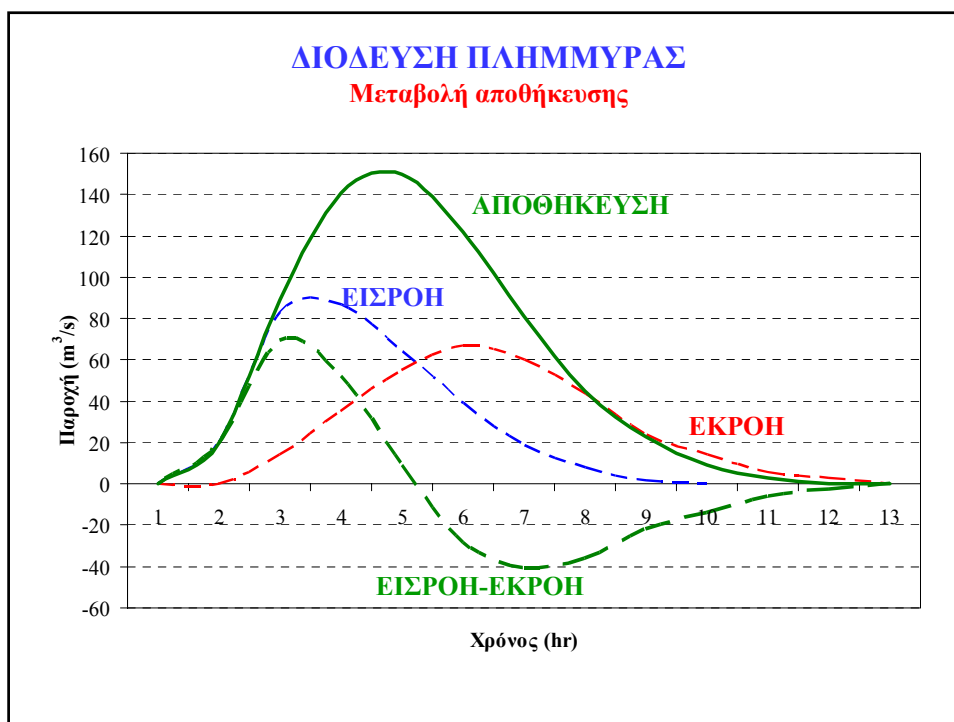
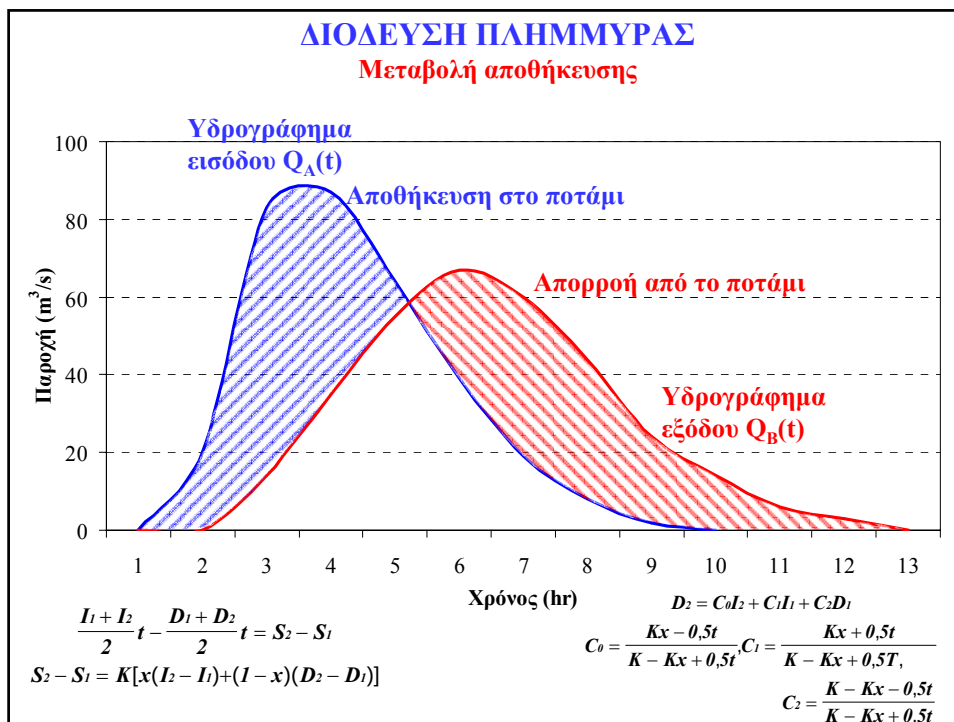
Υδρογραφήματα εισόδου και εξόδου

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Μέγιστη παροχή $\max Q_A(t) > \max Q_B(t)$ Διάρκεια $T_A < T_B$

Χρόνος ανόδου $T_{\max Q_A} < T_{\max Q_B}$ Πλημμυρικός όγκος $V_A = V_B$



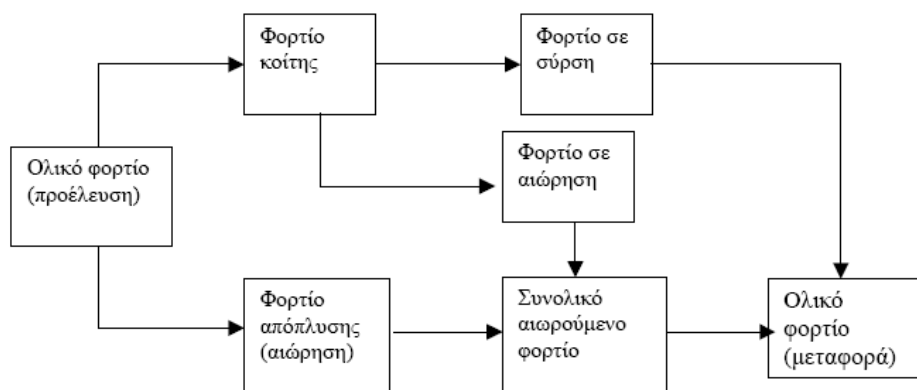


ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗ

Βασικές έννοιες

- **Επιφανειακή διάβρωση (sheet erosion):** είναι το αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης της ενέργειας της βροχής και της διαβρωτικής και μεταφορικής ικανότητας της επιφανειακής ροής.
- **Διάβρωση ρυακιών (rill erosion):** προκαλείται από τοπικές συγκεντρώσεις ασταθούς μορφής της επιφανειακής απορροής.
- **Διάβρωση χαντακιών (gully erosion):** οφείλεται στο νερό που ρέει σε σαφώς σχηματισμένη κοίτη (χαντάκι).
- **Εδαφική απώλεια (soil loss):** είναι η ποσότητα του εδαφικού υλικού που τελικά απομακρύνεται από μία εδαφική έκταση σε δεδομένο χρόνο. Περιγράφει τη διαφορά της ποσότητας εδαφικού υλικού που διαβρώθηκε μείον την ποσότητα που αποτέθηκε ξανά στην ίδια εδαφική έκταση. Συνήθως εκφράζεται σε μονάδες μάζας ανά επιφάνεια.
- **Στερεοαπορροή (sediment yield):** είναι η ποσότητα των φερτών υλών που διέρχονται από μία διατομή αναφοράς (π.χ. διατομή ποταμού) σε μία καθορισμένη χρονική διάρκεια. Εκφράζεται σε μονάδες μάζας και συχνά ανάγεται στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής ανάντη της διατομής αναφοράς (μάζα / επιφάνεια).
- **Στερεοπαροχή (sediment discharge):** περιγράφει το στιγμιαίο ρυθμό μεταφοράς των φερτών που παρατηρείται στη διατομή αναφοράς (μάζα / χρόνος).

Μορφές στερεομεταφοράς



Η διάκριση των φερτών υλικών μπορεί να γίνει ως προς δύο παράγοντες

Τρόπος μεταφοράς

Προέλευση

- Φορτίο σε αιώρηση (suspended load), όταν τα στερεά υλικά μεταφέρονται με την τύρβη χωρίς καμία επαφή με την κοίτη για μεγάλο χρονικό διάστημα,
- Φορτίο σε σύρση (bed load), όταν τα στερεά υλικά μεταφέρονται σχεδόν σε απόλυτη επαφή με την κοίτη.
- Φορτίο κοίτης (bed material load) το οποίο μπορεί να είναι είτε σε αιώρηση είτε σε σύρση, είναι φερτά υλικά τα οποία ήδη βρίσκονται στις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου και αποτελεί τη μοναδική πηγή φερτών υλικών σε ξηρές περιόδους
- Φορτίο απόπλυσης (wash load) που παράγεται μόνο κατά τη διάρκεια πλημμυρικών γεγονότων και προέρχεται από τη διάβρωση της λεκάνης απορροής

ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗ

Μέτρηση-εκτίμηση

Συνήθεις μέθοδοι μέτρησης στερεοπαροχής είναι οι ακόλουθες:

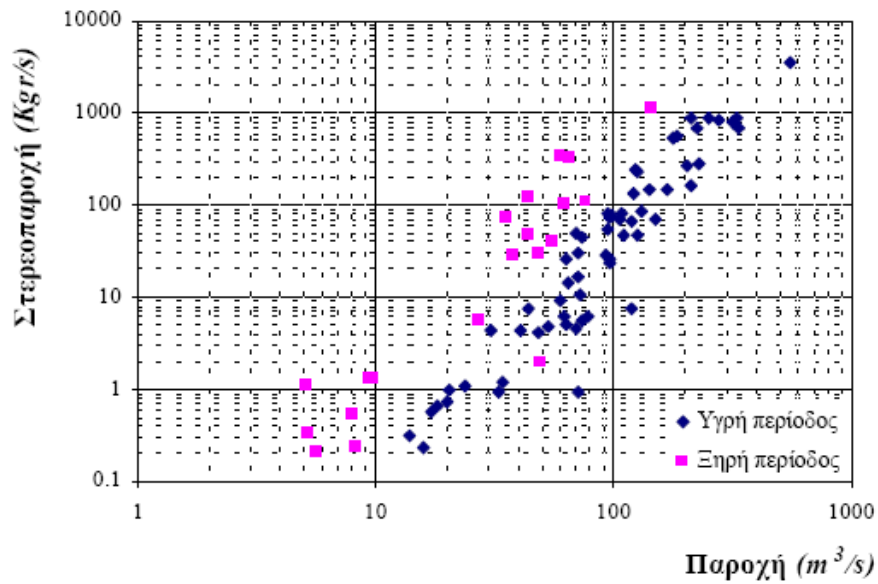
- χρήση δειγματολήπτη φερτών, δηλαδή συσκευής τοποθετημένης προσωρινά στην κοίτη, η οποία διακόπτει κατά το δυνατό λιγότερο την κίνηση του φορτίου κοίτης.
- έρευνες των αποθέσεων φερτών στην εκβολή του ποταμού ή σε μικρότερα ρεύματα που συλλέγονται σε τάφρους,
- διαφορικές μετρήσεις αιωρούμενου φορτίου φερτών και ολικού φορτίου, συμπεριλαμβανομένου φορτίου κοίτης που βρίσκεται προσωρινά σε αιώρηση σε τμήμα ποταμού με φυσική ή τεχνητή αύξηση της στροβιλότητας (σωλήνες στροβιλισμού),
- διαδρομή σωρού άμμου
- ανίχνευση από απόσταση
- δείκτες
- ηχητικούς ανιχνευτές
- εφαρμόζοντας εξισώσεις μεταφοράς των φερτών από κοινού με τις υδραυλικές παραμέτρους ενός ποταμού. Ωστόσο, οι υπολογισμοί μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλα σφάλματα και τα αποτελέσματα να διαφέρουν κατά τάξεις μεγέθους.

Η δειγματοληψία αποτελεί την πλέον αξιόπιστη μέθοδο μέτρησης της στερεοπαροχής σε έναν ποταμό.

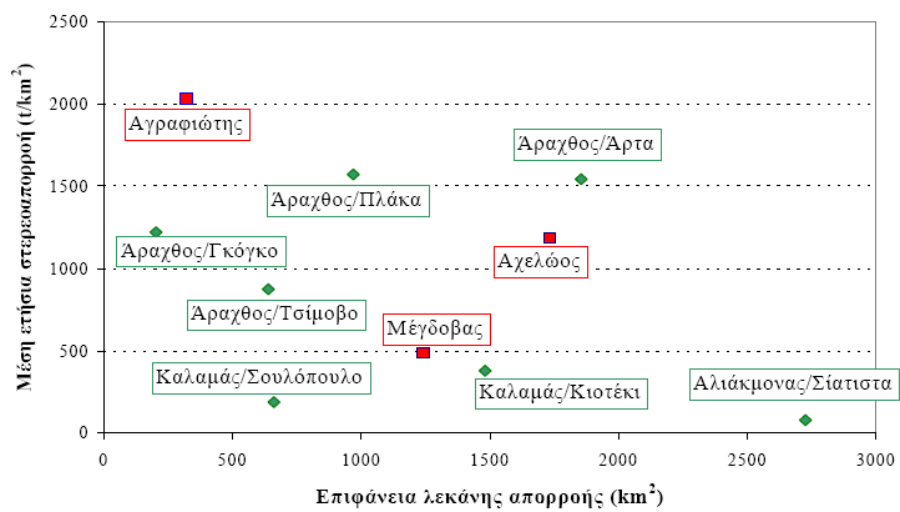
Εμπειρική σχέση παροχής στερεοπαροχής

- Η παροχή ενός υδατορεύματος αντιπροσωπεύει τόσο τις υδραυλικές παραμέτρους της ροής όσο και τις υδρολογικές παραμέτρους της λεκάνης απορροής και για το λόγο αυτό οι τιμές της παροχής (Q) έχουν συνήθως αρκετά καλή συσχέτιση με τις τιμές της στερεοπαροχής (Q_s) σε μία διατομή υδατορεύματος. Έτσι, έχει καθιερωθεί η χρήση καμπύλης παροχής – στερεοπαροχής για εκτίμηση του ενός μεγέθους από τις τιμές του άλλου.
- Η σχέση $Q-Q_s$ καταρτίζεται με ταυτόχρονες μετρήσεις των δύο μεγεθών. Τα σημεία, όμως παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. Οι τιμές της Q_s έχουν αποκλίσεις που συνήθως υπερβαίνουν τη μία τάξη μεγέθους για την ίδια τιμή της Q . Οι αποκλίσεις αυτές οφείλονται σε υδρολογικούς κυρίως, αλλά και υδραυλικούς παράγοντες, οι οποίοι δε λαμβάνονται υπόψη στην κατάρτιση της σχέσης. Καλύτερα αποτελέσματα λαμβάνονται με την κατάρτιση εποχιακών καμπυλών $Q-Q_s$ (για υγρή και ξηρή περίοδο), εφόσον διατίθεται επαρκής αριθμός δεδομένων για κάθε εποχή. Έτσι, με έμμεσο τρόπο, λαμβάνονται υπόψη μετρικές ακόμη παράμετροι, όπως είναι η θερμοκρασία του νερού, τα εποχιακά χαρακτηριστικά των υδρολογικών παραμέτρων (π.χ. τύπος καταιγίδων), εποχιακές διακυμάνσεις της φυτοκάλυψης στη λεκάνη απορροής
- Οι καμπύλες $Q-Q_s$ έχουν συνήθως τη μορφή $Q_s = a \cdot Q^b$, όπου a , b σταθερές.
- Σε συστηματική μελέτη των σταθερών a και b της προηγούμενης σχέσης στη ΒΔ Ελλάδα αποδείχτηκε ότι οι σταθερές αυτές εξαρτώνται από τη βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής και συγκεκριμένες τοπογραφικές παραμέτρους της (Μιμίκου, 1982).

Εμπειρική σχέση παροχής στερεοπαροχής



Μετρημένες τιμές στερεοαπορροής στην Ελλάδα



Εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης στερεοπαροχής

ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΙΣΩΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ (USLE)

