

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

Υδρομετεωρολογία – Υδρολογία και
Κλιματική Αλλαγή

Αγγελίδης Π., Καθηγητής

Υδρολογική προσομοίωση με χρήση όμβριων καμπυλών

Οι όμβριες καμπύλες:

- Είναι οι καμπύλες Έντασης (i) της βροχόπτωσης συναρτήσει της Διάρκειας (d) και της Περίοδου Επαναφοράς (T) της βροχόπτωσης.
- Αποτελούν βασικό εργαλείο στα χέρια του μηχανικού για το σχεδιασμό και την κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων.
- Δεν είχαν ενιαίο τρόπο και μέθοδο προσδιορισμού στη χώρα μας, με αποτέλεσμα την ύπαρξη ποικίλων διαγραμμάτων όμβριων καμπυλών στις διάφορες περιοχές.
- Όμως στα πλαίσια εκπόνησης Σχεδίων Διαχείρισης έχουν συνταχθεί τα τελευταία χρόνια για όλη τη χώρα με ενιαίο τρόπο όμβριες καμπύλες, λύνοντας έτσι ένα χρόνιο πρόβλημα.

Η σημασία του προσδιορισμού των όμβριων καμπυλών στη χώρα μας.

- Ο προσδιορισμός των όμβριων καμπυλών με τον βέλτιστο τρόπο και με ενιαία μέθοδο, μπορεί να συμβάλλει ουσιαστικά στον ολοκληρωμένο και καλύτερο σχεδιασμό των αντιπλημμυρικών έργων.
- Ιδιαίτερα στη χώρα μας όπου:
 - ❖ Παρουσιάζονται έντονα πλημμυρικά φαινόμενα,
 - ❖ Ξεσπάνε πολλές πυρκαγιές οι οποίες καταστρέφουν δασικές εκτάσεις που προσφέρουν φυσική προστασία από τις πλημμύρες,
 - ❖ Η αντιπλημμυρική προστασία είναι ανεπαρκής,
 - ❖ Συμβάλλει αρνητικά το παγκόσμιο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.

Δύο μέθοδοι παραγωγής όμβριων καμπυλών

- Προσδιορισμός των εν λόγω καμπυλών με τη χρήση Gumbel Max
- Προσδιορισμός των εν λόγω καμπυλών με τη χρήση GEV Max.

- Προσδιορισμός των εν λόγω καμπυλών με τη χρήση Gumbel Max

Όμβριες καμπύλες

Έστω ότι h_i είναι ετήσιες τιμές ύψους βροχής και i_i είναι αντίστοιχα οι εντάσεις βροχής διατεταγμένες σε φθίνουσα τάξη μεγέθους σε ένα σταθμό μέτρησης βροχής για κάποια συγκεκριμένη διάρκεια t βροχής μέσα σε n χρόνια μετρήσεων.

Οι όμβριες καμπύλες προκύπτουν με ανάλυση συχνότητας αυτών των σειρών με μεθόδους όπως π.χ. παράγοντα συχνότητας ή άλλες.

Επειδή όμως στην περίπτωση των βροχών μπαίνει και μια δεύτερη μεταβλητή, η διάρκειά της, που την προσδιορίζει πέρα από το μέγεθός της, γι αυτό η ανάλυση συνήθως συνεχίζεται, έτσι ώστε να συμπεριληφθεί και αυτή η μεταβλητή.

Αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης είναι ο υπολογισμός των σχέσεων (i, t, T) ή (h, t, T) , που λέγονται όμβριες καμπύλες.

Όμβριες καμπύλες

Οι όμβριες καμπύλες είναι απαραίτητες για τον σχεδιασμό μεγάλου αριθμού έργων.

Με βάση αυτές μπορεί κανείς οποιαδήποτε στιγμή να υπολογίσει για κάθε διάρκεια και περίοδο επαναφοράς το ύψος και την ένταση της βροχής και γενικά να υπολογίσει ένα από τα τρία μεγέθη (h ή i , t , T) όταν ξέρει τα άλλα δύο.

Από μια τέτοια εκτίμηση προκύπτει η καταιγίδα σχεδιασμού ενός έργου με συγκεκριμένη συχνότητα επανάληψης και διάρκεια, στοιχεία που συνήθως επιλέγονται σαν κριτήρια σχεδιασμού.

Η διαδικασία, μετά την ήδη γνωστή ανάλυση συχνότητας, συνίσταται στην επανάληψη της ανάλυσης συχνότητας μεγίστων h_i ή i_i μερικών άλλων ακόμα διαρκειών.

Όμβριες καμπύλες

Ο σχεδιασμός των υδραυλικών έργων όπως ταμιευτήρες, πλημυρικές κοίτες ποταμών, εκχειλιστές ασφαλείας, φραγμάτων, δικτύων όμβριων υδάτων κ.ά., απαιτεί τον προσδιορισμό της σχέσης ύψους βροχόπτωσης και περιόδου επαναφοράς για συγκεκριμένη διάρκεια βροχόπτωσης.

Η ένταση της βροχόπτωσης είναι συνάρτηση του ύψους βροχόπτωσης και της διάρκειας, οπότε είναι δυνατό να σχεδιαστούν οι καμπύλες έντασης – περιόδου επαναφοράς με παράμετρο τη διάρκεια και οι καμπύλες έντασης διάρκειας βροχόπτωσης με παράμετρο την περίοδο επαναφοράς.

Ανάλογες καμπύλες προκύπτουν αν αντί της έντασης έχουμε ύψος βροχόπτωσης. Για μικρής διάρκειας βροχές η ένταση μπορεί να εκφραστεί με μια υπερβολική εξίσωση της μορφής:

$$i = \frac{a}{t + b}$$

όπου a και b προσδιορίζονται κατά περίπτωση.

Όμβριες καμπύλες

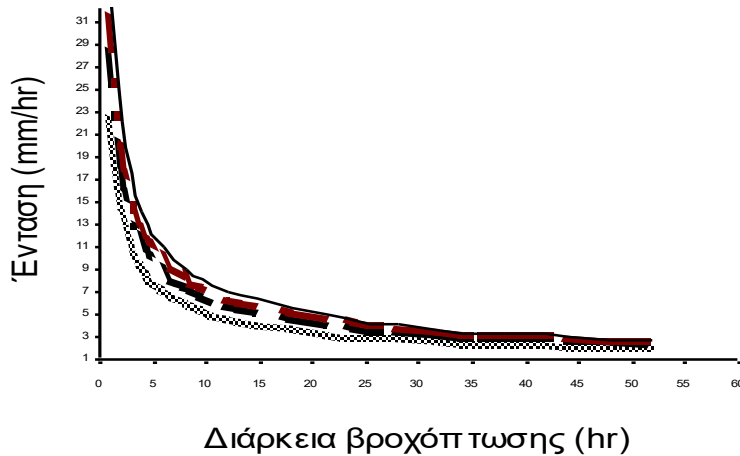
Γενικότερα η ένταση συναρτήσει της περιόδου και της διάρκειας δίδεται από την εξίσωση του **Bernard**.

$$i = \frac{kT^a}{(t + b)^m}$$

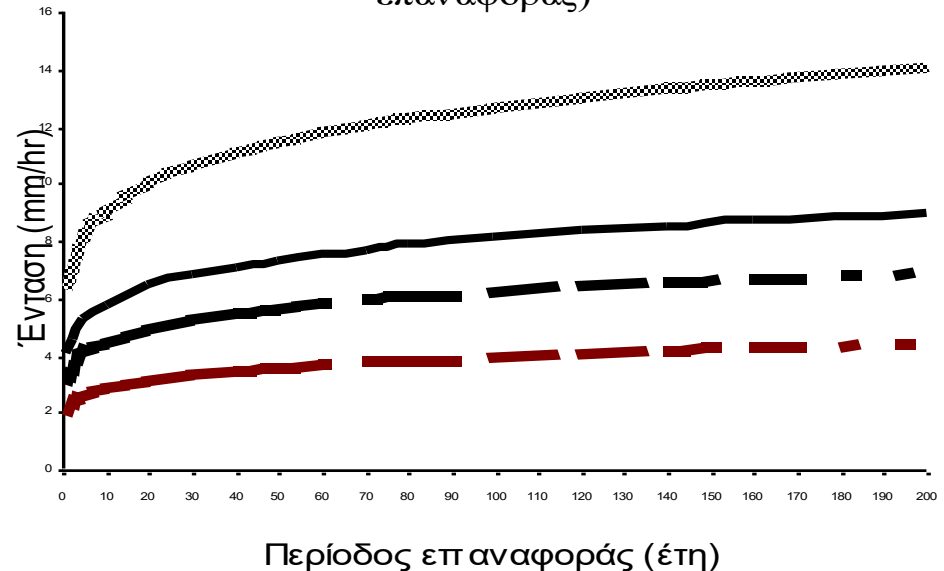
όπου k , a , m , n και b προσδιορίζονται από τα δεδομένα.

Οι παραμετρικές καμπύλες που παριστάνει η παραπάνω εξίσωση λέγονται όμβριες καμπύλες

Όμβριες καμπύλες (ένταση - διάρκεια βροχόπτωσης)



Όμβριες καμπύλες (ένταση - περίοδος επαναφοράς)

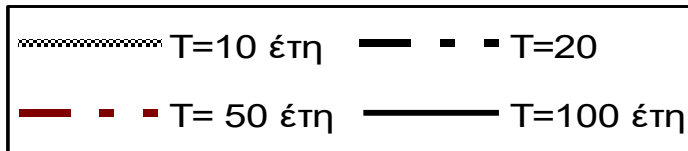
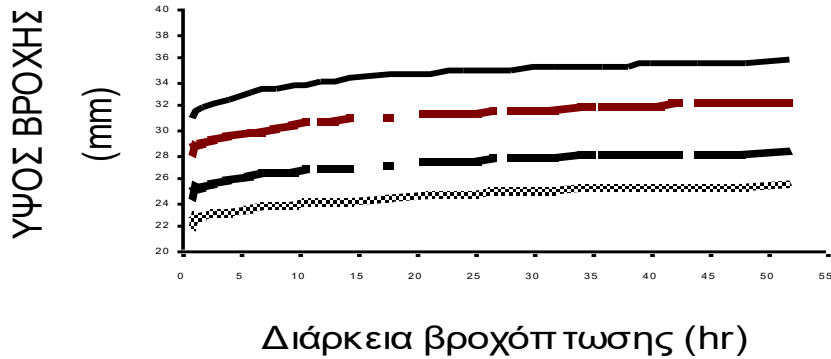


..... T=10 έτη - - - T=50 έτη
- . - T= 100 έτη — T=200 έτη

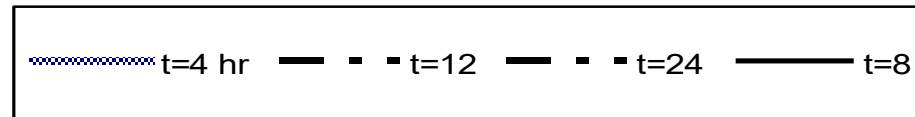
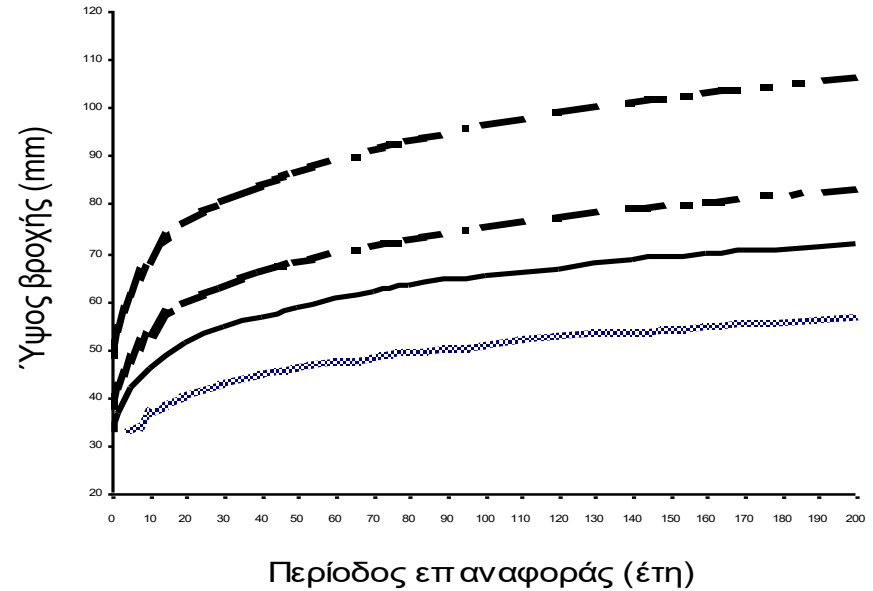
..... t=4 hr — t=12 - - - t=24 - . - t=8

Όμβριες καμπύλες

Όμβριες καμπύλες (ύψος βροχόπτωσης - διάρκεια βροχόπτωσης)



Όμβριες καμπύλες (ύψος βροχόπτωσης - περίοδος επαναφοράς)



Μεθοδολογία κατασκευής των όμβριων καμπυλών:

➤ Η κατασκευή στηρίζεται σε δεδομένα εντάσεων βροχής.

- I. Βρίσκεται για χρονική κλίμακα (d) το ετήσιο μέγιστο ύψος βροχής ($h(d)$),
- II. Υπολογίζεται η ετήσια μέγιστη μέση ένταση: $i(d) = h(d) / d$,
- III. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία για όλα τα έτη και προκύπτει το στατιστικό δείγμα ετήσιων μέγιστων υψών ή εντάσεων βροχής,
- IV. Προσδιορίζονται οι όμβριες καμπύλες για τις διάφορες διάρκειες (d) και περιόδους επαναφοράς (T).

Μέγιστα ύψη βροχής για διάρκειες βροχής από 10 min έως 48 h.

Μετεωρολογικός σταθμός Ωραίου Ξάνθης

	Μέγιστα Ετήσια Ύψη Βροχής (mm)											
	Διάρκεια Βροχοπτώσεως											
<u>ΕΤΟΣ</u>	10min	20min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	12h	18h	24h	48h
2006	12	19,6	22,2	40,6	44,2	47	47,4	50,8	63,2	78	86,6	107,8
2007	11	14	15,8	22,8	34,2	38,2	44,2	52,2	86	101,6	124,8	124,8
2008	12,4	20	23,6	25,8	25,8	28,4	32,6	41	54,8	67,4	77	79,8
2009	12,4	16	18	25,2	39,4	45,8	48,4	49	52	61,2	69,6	82
2010	9,4	16,6	18,6	28,4	45,6	61,8	73,2	90,8	122,4	135,6	139,8	143,2
2011	8,4	12	13,4	14,2	23,4	23,8	24,8	41,8	44,4	44,4	44,4	44,4
2012	16,1	30,7	37	47,1	56,8	57	57,1	58,9	70,2	80,2	82,2	84,6
2013	10,7	18,2	23,5	35,9	37,4	37,5	40,2	47,6	61,2	71,8	82,2	87,2
2014	9,8	14,4	20	33,8	54	61,8	66,6	66,6	100,4	100,8	102,8	103,6
2015	9,6	13,2	16,4	21,2	36,1	47,6	54,9	58,2	85,8	90,2	91,6	145,4
2016	8	13,4	15,8	21,2	24,4	26,6	32,2	47,4	71	85,6	92,8	103,4
2017	6,2	9	10,8	15	26	29,6	33,2	40	48,4	48,6	51,4	69,2

Υπολογίζονται οι Εντάσεις βροχοπτώσεων
για διάρκειες βροχής από 10 min έως 48 h. :
 $i=h/d$ (mm/hr).

ΕΤΟΣ	ΕΝΤΑΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm/hr)											
	10min	20min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	12h	18h	24h	48h
2006	72	58,8	44,4	40,6	22,1	15,7	11,85	8,5	5,3	4,3	3,7	2,3
2007	66	42	31,6	22,8	17,1	12,7	11,05	8,7	7,2	5,6	5,2	2,6
2008	74,4	60	47,2	25,8	12,9	9,5	8,15	6,8	4,5	3,7	3,2	1,7
2009	74,4	48	36	25,2	19,7	15,3	12,1	8,2	4,3	3,4	2,9	1,7
2010	56,4	49,8	37,2	28,4	22,8	20,6	18,3	15,1	10,2	7,5	5,9	3
2011	50,4	36	26,8	14,2	11,7	7,9	6,2	6,9	3,7	2,5	1,9	0,9
2012	96,6	92,1	74	47,1	28,4	19	14,275	9,8	5,9	4,5	3,4	1,7
2013	64,2	54,6	47	35,9	18,7	12,5	10,05	7,9	5,1	4	3,4	1,8
2014	58,8	43,2	40	33,8	27	20,6	16,65	11,1	8,4	5,6	4,3	2,2
2015	57,6	39,6	32,8	21,2	18,1	15,9	13,725	9,7	7,2	5	3,8	3
2016	48	40,2	31,6	21,2	12,2	8,9	8,05	7,9	5,9	4,8	3,8	2,2
2017	37,2	27	21,6	15	13	9,9	8,3	6,7	4	2,7	2,2	1,4

Όμβριες καμπύλες

$$i = \frac{kT^a}{(t+b)^m}$$

Οι όμβριες μίας περιοχής υπολογίζονται ως εξής με την ακόλουθη διαδικασία. Με λογαρίθμηση προκύπτει:

$$\log i = \log(kT^a) - m \log(t+b)$$

Οι παραμετρικές αυτές εξισώσεις με παράμετρο m σε διπλό λογαριθμικό χαρτί με άξονες τα μεγέθη i και $(t+b)$ παριστάνουν ευθείες παράλληλες με κλίση m .

Ο υπολογισμός των σταθερών k , a , m γίνεται σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία:

Κατ'αρχάς η παράμετρος b προσδιορίζεται με κριτήριο τον καλύτερο συσχετισμό των μεγεθών $\log i$ και $\log(t+b)$.

Όμβριες καμπύλες

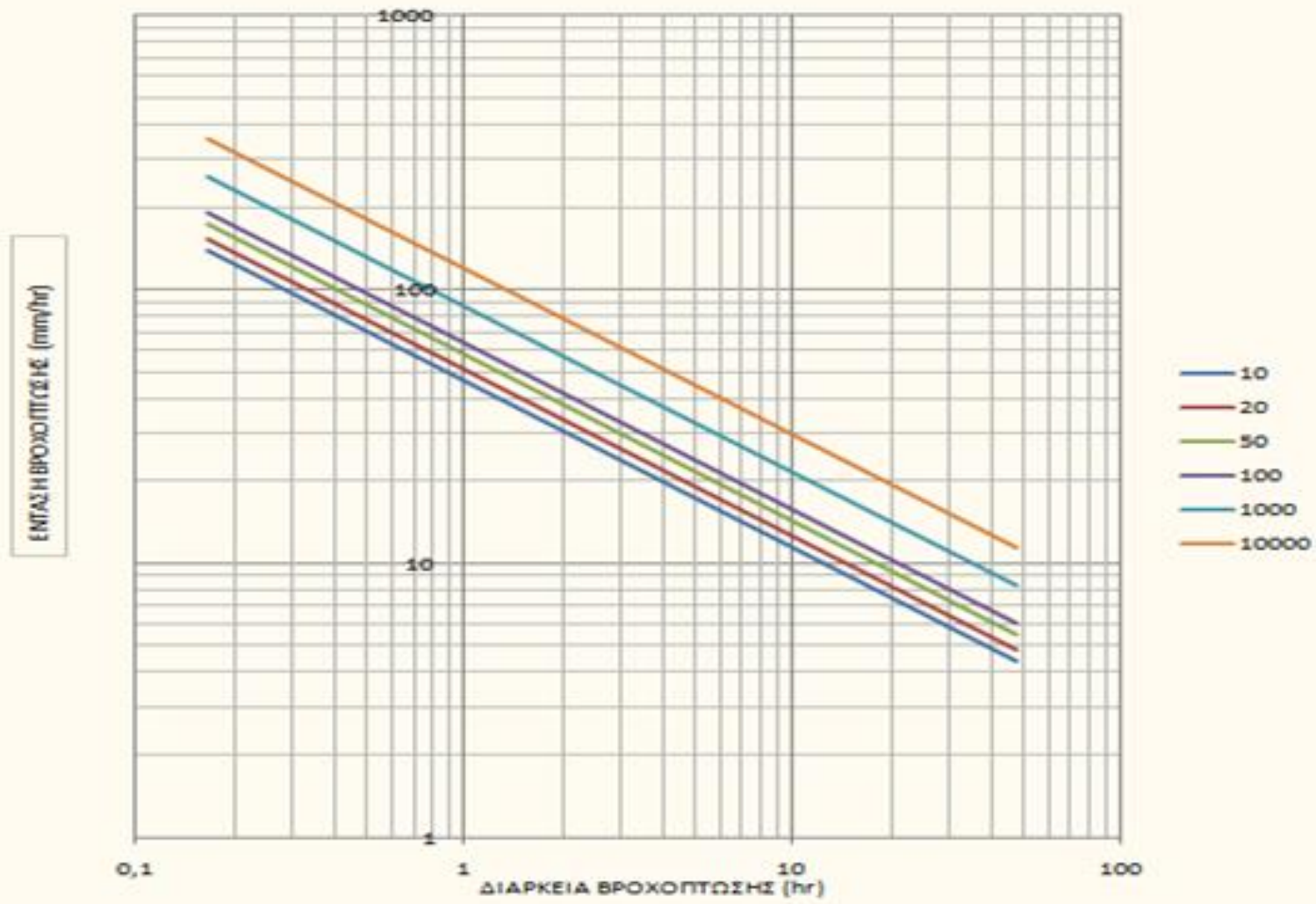
$$\log i = \log(kT^a) - m \log(t + b)$$

Από την ανάλυση των μεγίστων βροχών διαφόρων διαρκειών υπολογίζεται η σχέση έντασης–περιόδου επαναφοράς για κάθε διάρκεια βροχόπτωσης προσαρμόζοντας κάποια κατανομή στα αντίστοιχα δείγματα. Η κατανομή Gumbel συνήθως προσαρμόζεται ικανοποιητικά σε δείγματα μεγίστων βροχοπτώσεων. Κατόπιν υπολογίζονται για διάφορες περιόδους επαναφοράς οι αντίστοιχες εντάσεις και σχηματίζεται ο Πίνακας

	t_1	t_2	t_n	kT^a	m
T_1						
T_2						
...						
T_k						

Στον πίνακα αυτόν συσχετίζονται οι τιμές των εντάσεων της βροχής για διάρκειες $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ με τις τιμές της αντίστοιχης διάρκειας σε κάθε περίοδο επαναφοράς T_1, T_2, \dots, T_k . Από τη γραμμική συσχέτιση αυτή προκύπτουν οι τιμές των k και m .

Ομβριες καμπύλες: Ένταση – Διάρκεια Βροχόπτωσης σε λογαριθμική κλίμακα.



Όμβριες καμπύλες (ένταση -διάρκεια βροχόπτωσης) σε λογαριθμική κλίμακα.

Όμβριες καμπύλες

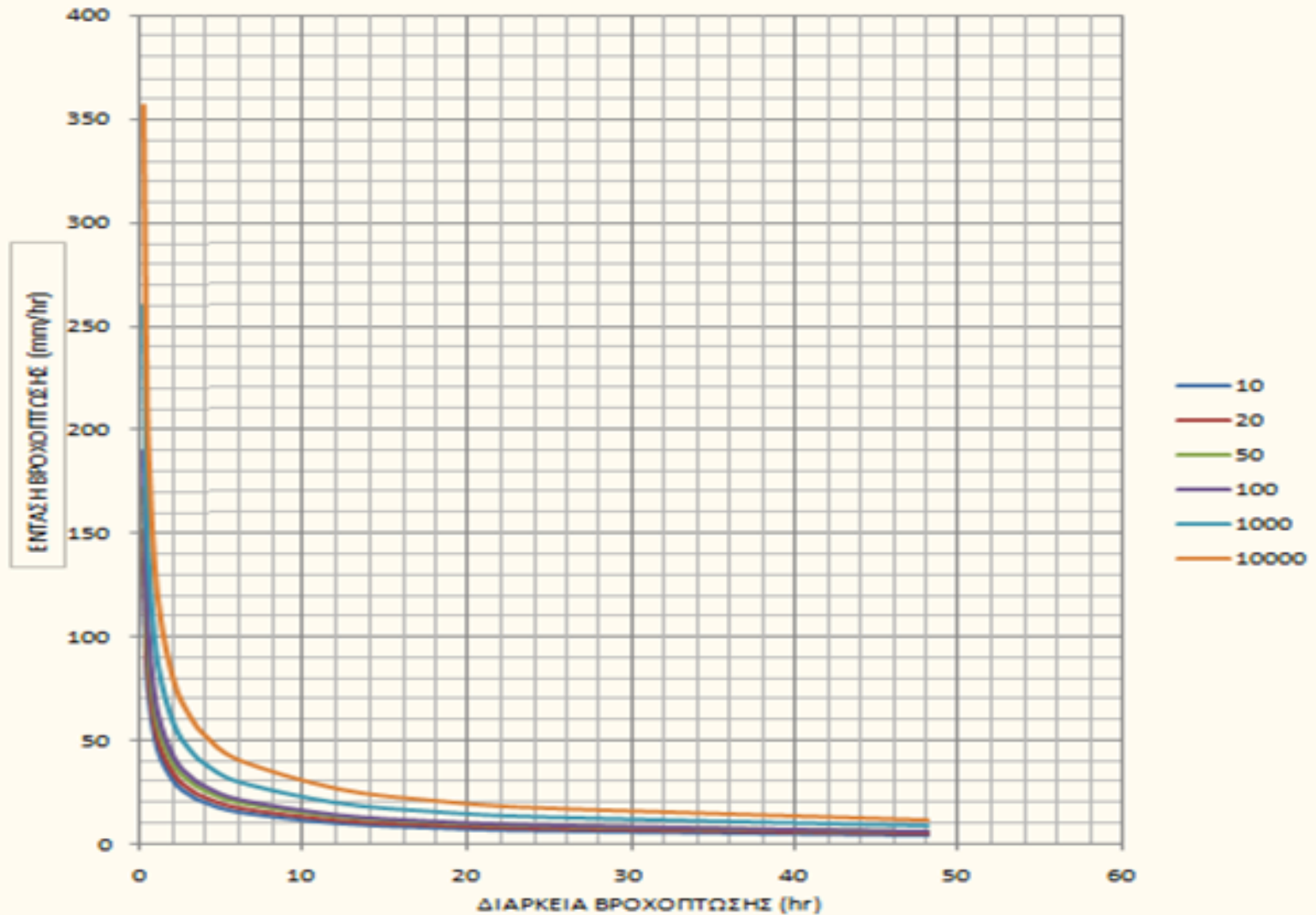
$$\log i = \log(kT^a) - m \log(t + b)$$

Στη συνέχεια από τις τιμές των KT^a με λογαρίθμηση προκύπτει:

$$\log(kT^a) = \log k + a \log T$$

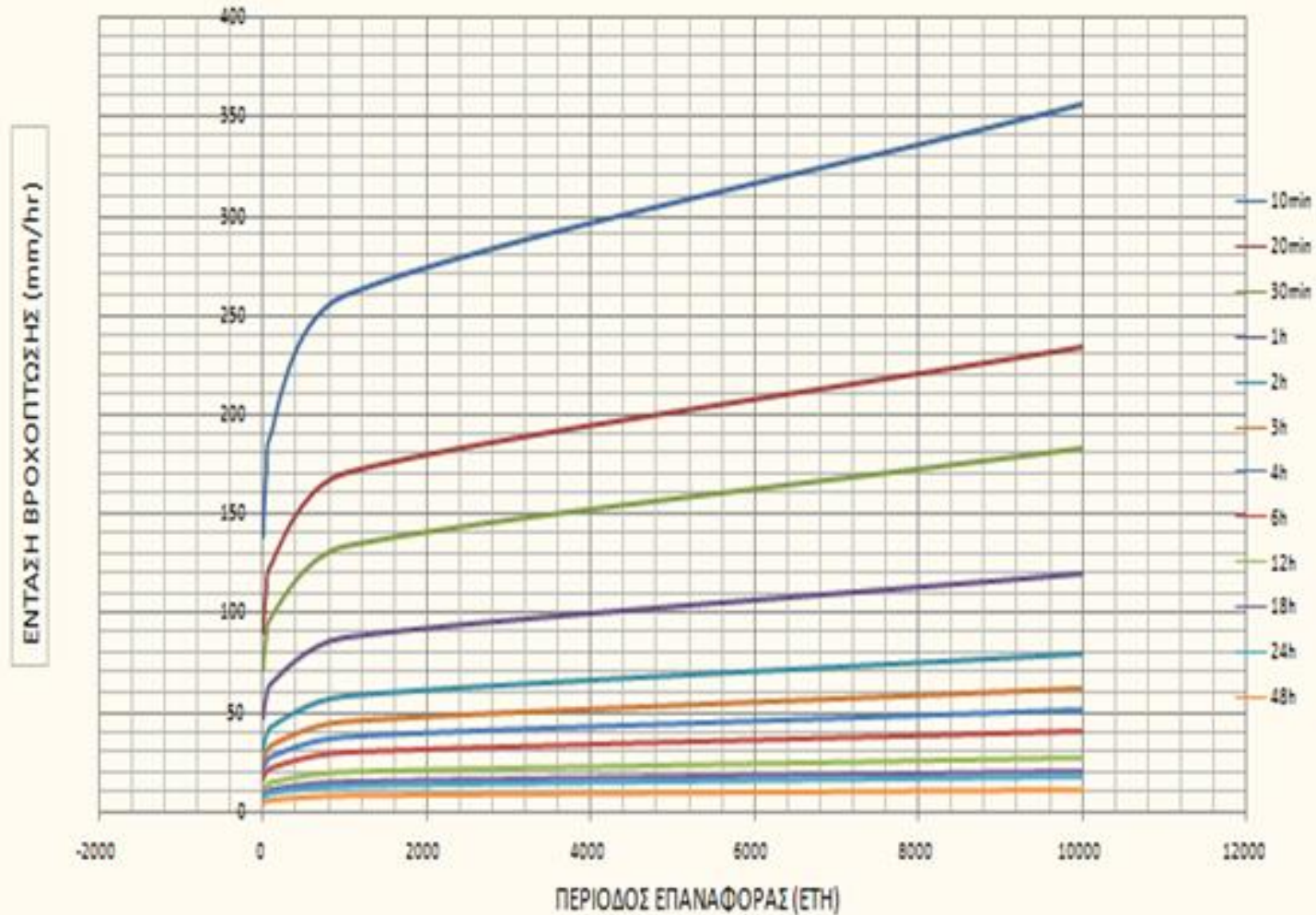
Από την παραπάνω εξίσωση με γραμμικό συσχετισμό προκύπτουν οι σταθερές k και a .

Ομβριες καμπύλες: Ένταση – Διάρκεια Βροχόπτωσης



Σχήμα 3.15 Όμβριες καμπύλες (ένταση -διάρκεια βροχόπτωσης).

Ομβριες καμπύλες: Ένταση – Περίοδος Επαναφοράς



Σχήμα 3.16 Όμβριες καμπύλες (ένταση -περίοδος επαναφοράς).

Παράδειγμα υπολογισμού όμβριων καμπύλων

Δίνονται οι μέγιστες μέσες τιμές βροχοπτώσεων $h(\text{mm})$ για διάρκειες: $t=12, 24, 36, 48$ και 72 ωρών σε μια υδρολογική λεκάνη και για μια σειρά $n=18$ ετών. Να υπολογιστούν οι όμβριες καμπύλες.

Μέγιστες ετήσιες βροχοπτώσεις (mm)

ΕΤΟΣ	12-ωρο	24-ωρο	36-ωρο	48-ωρο	72-ωρο
1965	58.7	89.8			
1966	60.4	67.1		77.9	82.9
1967	48.5	51.2	64.4		
1968	46.8	52.9	54.7	62.7	79.8
1969	35.4	52.9	71.0	76.4	91.8
1970	61.3	65.7	101.6	112.1	113.5
1971	22.2	43.1	45.1	56.1	63.7
1972	27.3	45.9	58.1	73.0	73.8
1973	33.8	38.2	44.5	50.4	53.6
1974	36.7	38.6	43.1	50.9	68.2
1975	33.0	38.0	42.5	44.1	50.6
1976	51.8	56.1	75.2	84.7	126.3
1977	39.7	47.7	63.8	70.8	92.6
1978	60.2	67.4	69.7	80.6	89.2
1979	45.5	57.7	60.2		93.2
1980	36.5	45.2	51.9	74.9	90.3
1981	52.9	75.0	78.7	82.9	
1982	48.7	60.1	90.4	102.6	118.6

Παράδειγμα υπολογισμού όμβριων καμπύλων

Από τα ύψη των βροχοπτώσεων και την αντίστοιχη διάρκεια βροχόπτωσης υπολογίζονται οι αντίστοιχες μέσες εντάσεις

Μέγιστες ετήσιες εντάσεις (mm/hr)

ΕΤΟΣ	12-ωρο	24-ωρο	36-ωρο	48-ωρο	72-ωρο
1965	4.89	3.74			
1966	5.03	2.80		1.62	1.15
1967	4.04	2.13	1.79		
1968	3.90	2.20	1.52	1.31	1.11
1969	2.95	2.20	1.97	1.59	1.28
1970	5.11	2.74	2.82	2.34	1.58
1971	1.85	1.80	1.25	1.17	0.88
1972	2.28	1.91	1.61	1.52	1.03
1973	2.82	1.59	1.24	1.05	0.74
1974	3.06	1.61	1.20	1.06	0.95
1975	2.75	1.58	1.18	0.92	0.70
1976	4.32	2.34	2.09	1.76	1.75
1977	3.31	1.99	1.77	1.48	1.29
1978	5.02	2.81	1.94	1.68	1.24
1979	3.79	2.40	1.67		1.29
1980	3.04	1.88	1.44	1.56	1.25
1981	4.41	3.13	2.19	1.73	
1982	4.06	2.50	2.51	2.14	1.65

Παράδειγμα υπολογισμού όμβριων καμπύλων

Υπολογίζονται οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση της κατανομής πιθανοτήτων ακραίων τιμών (τύπου Gumbel). Οι τιμές y_n και σ_n προκύπτουν από πίνακες.

ΕΤΟΣ	12-ωρο	24-ωρο	36-ωρο	48-ωρο	72-ωρο
$\chi_{\text{μέσο}} =$	3.70	2.30	1.76	1.53	1.19
$s =$	0.99	0.58	0.48	0.39	0.31
	12	24	36	48	72
y_n	0.5202	0.5202	0.5157	0.5128	0.5128
σ_n	1.0493	1.0493	1.0316	1.02057	1.02057

Τιμές των ανοιγμένων μεταβλητών \bar{y}_n , σ_n για διάφορα μεγέθη δείγματος

Κατανομή μεγίστων ακραίων τιμών (GUMBEL)

Τιμές των ανοιγμένων μεταβλητών \bar{y}_N και σ_N του τύπου

$$k = - \frac{\ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) + \bar{y}_N}{\sigma_N}$$

για διάφορες τιμές του δείγματος N στην κατανομή τύπου I (Gumbel)

N	\bar{y}_N	σ_N	N	\bar{y}_N	σ_N	N	\bar{y}_N	σ_N
8	0.48430	0.90430	35	0.54034	1.12847	64	0.55330	1.17930
9	0.49020	0.92880	36	0.54100	1.13130	66	0.55380	1.18140
10	0.49520	0.94970	37	0.54180	1.13390	68	0.55430	1.18340
11	0.49960	0.96760	38	0.54240	1.13630	70	0.55477	1.18536
12	0.50350	0.98330	39	0.54300	1.13880	72	0.55520	1.18730
13	0.50700	0.99720	40	0.54362	1.14132	74	0.55570	1.18900
14	0.51000	1.00950	41	0.54420	1.14360	76	0.55610	1.19060
15	0.51280	1.02057	42	0.54480	1.14580	78	0.55650	1.19230
16	0.51570	1.03160	43	0.54530	1.14800	80	0.55688	1.19382
17	0.51810	1.04110	44	0.54580	1.14990	82	0.55720	1.19530
18	0.52020	1.04930	45	0.54630	1.15185	84	0.55760	1.19670
19	0.52200	1.05660	46	0.54680	1.15380	86	0.55800	1.19800
20	0.52355	1.06283	47	0.54730	1.15570	88	0.55830	1.19940
21	0.52520	1.06960	48	0.54770	1.15740	90	0.55860	1.20073
22	0.52680	1.07540	49	0.54810	1.15900	92	0.55890	1.20200
23	0.52830	1.08110	50	0.54854	1.16066	94	0.55920	1.20320
24	0.52960	1.08640	51	0.54890	1.16230	96	0.55950	1.20440
25	0.53086	1.09145	52	0.54930	1.16380	98	0.55980	1.20550
26	0.53200	1.09610	53	0.54970	1.16530	100	0.56002	1.20649
27	0.53320	1.10040	54	0.55010	1.16670	150	0.56461	1.22534
28	0.53430	1.10470	55	0.55040	1.16810	200	0.56715	1.23598
29	0.53530	1.10860	56	0.55080	1.16960	250	0.56878	1.23292
30	0.53622	1.11238	57	0.55110	1.17080	300	0.56993	1.24786
31	0.53710	1.11590	58	0.55150	1.17210	400	0.57144	1.25450
32	0.53800	1.11930	59	0.55180	1.17340	500	0.57240	1.25880
33	0.53880	1.12260	60	0.55208	1.17467	750	0.57377	1.26506
34	0.53960	1.11550	62	0.55270	1.17700	1000	0.57450	1.26851

Παράδειγμα υπολογισμού όμβριων καμπύλων

Χρησιμοποιούμε την μέθοδο του παράγοντα συχνότητας όπως αυτή προκύπτει από την ανάλυση ακραίων τιμών (Gumbel) έχοντας σαν παράμετρο την περίοδο επαναφοράς T . Για διάφορες τιμές του T λοιπόν υπολογίζεται ο παράγοντας συχνότητας K_T και στη συνέχεια η ένταση της βροχόπτωσης από την σχέση:

$$i = \bar{i} + sK_T$$

$$K = -\frac{\ln(\ln \frac{T}{T-1}) + \bar{y}_n}{\sigma_n}$$

όπου \bar{i} : η μέση ένταση βροχόπτωσης

s : η τυπική απόκλιση

K_T : ο παράγοντας συχνότητας

Παράδειγμα υπολογισμού όμβριων καμπύλων

Για τις παρακάτω περιόδους επαναφοράς έχουμε τις αντίστοιχες τιμές του παράγοντα συχνότητας για κάθε χρονική διάρκεια

Τιμές του παράγοντα συχνότητας K					
T	12	24	36	48	72
10	1.6489	1.6489	1.6815	1.7025	1.7025
20	2.3349	2.3349	2.3793	2.4079	2.4079
50	3.2229	3.2229	3.2825	3.3208	3.3208
100	3.8883	3.8883	3.9593	4.0050	4.0050
1000	6.0870	6.0870	6.1958	6.2656	6.2656
10000	8.2818	8.2818	8.4283	8.5222	8.5222

Παράδειγμα υπολογισμού όμβριων καμπύλων

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι αντίστοιχες εντάσεις για κάθε περίοδο επαναφοράς

Εντάσεις βροχής (GUMBEL) για διάφορες T και διάρκειες t						
T	12	24	36	48	72	
10	5.34	3.25	2.57	2.20	1.72	
20	6.02	3.65	2.90	2.47	1.94	
50	6.90	4.17	3.33	2.83	2.22	
100	7.56	4.55	3.66	3.10	2.43	
1000	9.75	5.83	4.73	3.99	3.13	
10000	11.93	7.10	5.79	4.87	3.82	

Παράδειγμα υπολογισμού όμβριων καμπύλων

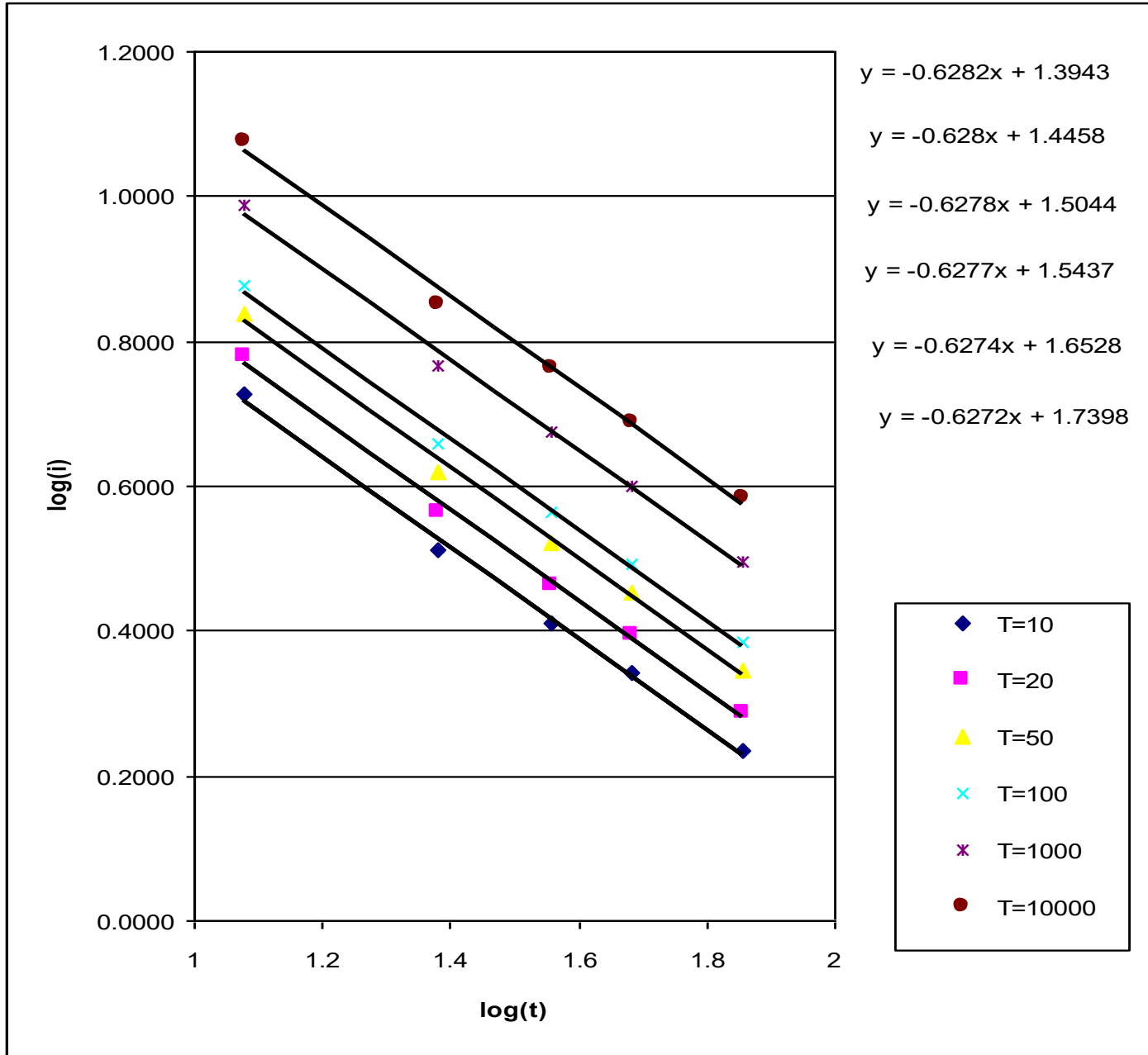
Κατόπιν καταρτίζεται ο πίνακας $\log(t) - \log(i)$ για κάθε περίοδο επαναφοράς

$$\log i = \log(kT^a) - m \log(t + b)$$

	$\log(t) - \log(i)$				
T	1.0792	1.3802	1.5563	1.6812	1.8573
10	0.7275	0.5125	0.4093	0.3416	0.2351
20	0.7797	0.5626	0.4624	0.3932	0.2869
50	0.8391	0.6199	0.5227	0.4519	0.3459
100	0.8788	0.6584	0.5630	0.4913	0.3854
1000	0.9890	0.7656	0.6744	0.6006	0.4951
10000	1.0767	0.8515	0.7629	0.6877	0.5824

Με παράμετρο την περίοδο επαναφοράς, τοποθετούνται σε διάγραμμα οι εντάσεις $[\log(i)]$ των βροχοπτώσεων σαν συνάρτηση της διάρκειας τους $[\log(t)]$ και έτσι προκύπτει

Παράδειγμα υπολογισμού όμβριων καμπύλων



Παράδειγμα υπολογισμού όμβριων καμπύλων

Η σχέση $\log i = \log(kT^\alpha) - m \log t$ αντιστοιχεί σε ευθεία

της μορφής: $Y = A_T + bX$

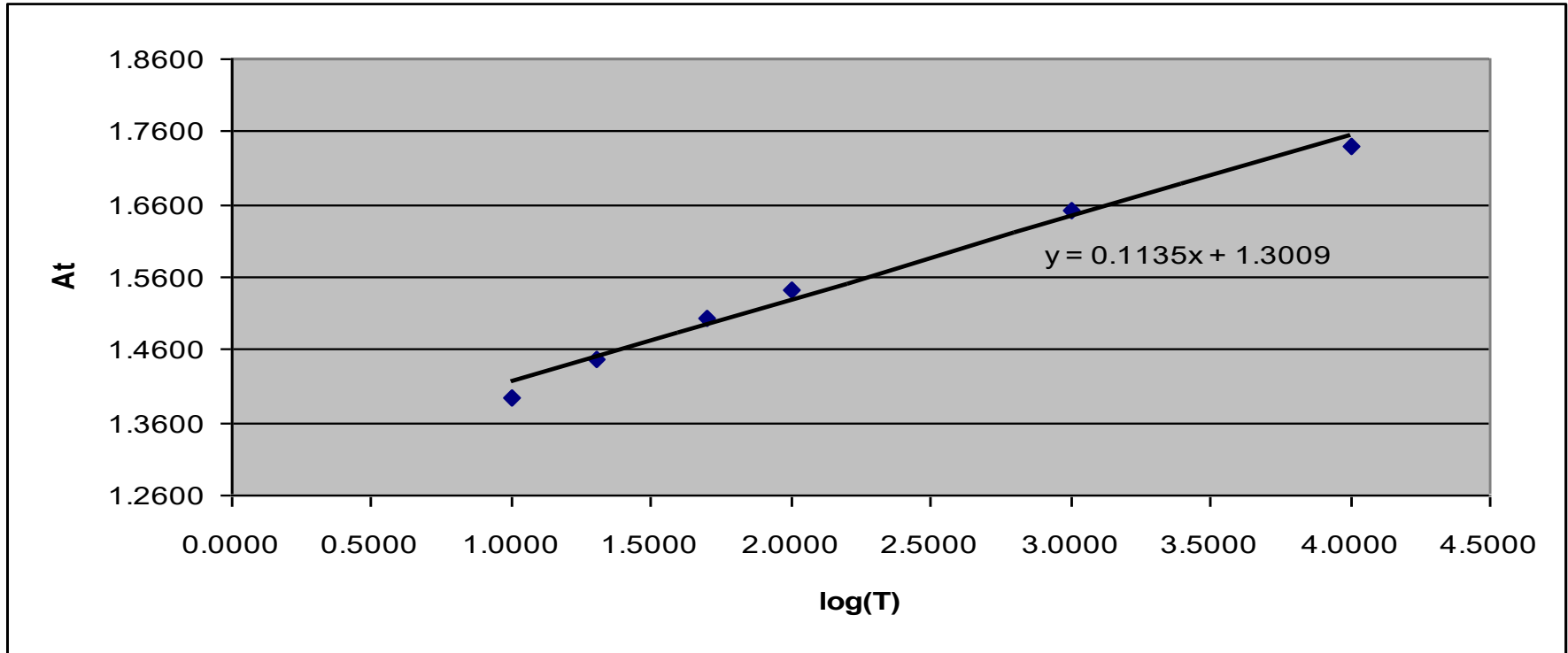
όπου: $Y = \log i$, $A_T = \log(kT^\alpha)$, $b = -m$

T	LOG(T)	A _T	m=-b
10	1.0000	1.3943	0.6282
20	1.3010	1.4458	0.6280
50	1.6990	1.5044	0.6278
100	2.0000	1.5437	0.6277
1000	3.0000	1.6528	0.6274
10000	4.0000	1.7398	0.6272
			0.6277

Άρα $m=0.63$. Για τον προσδιορισμό του K και του α σχεδιάζω σε διάγραμμα τα A_T και $\text{LOG}(T)$.

Παράδειγμα υπολογισμού όμβριων καμπύλων

$$A_T = \log(kT^\alpha), \Rightarrow A_T = \log k + \alpha \log T$$



Άρα $\alpha=0.1135$, $\log(K)=1.3009$ και συνεπώς $K=19.99$

Εξίσωση ομβρίων:

$$i = \frac{kT^\alpha}{(t+b)^m}$$

$$i = \frac{19,99 \times T^{0,1135}}{t^{0,63}}$$

Άσκηση 3.3 από βιβλίο Κ. Μπέλλου

Δίνονται τα μέγιστα ετήσια ύψη βροχής διάρκειας 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 6, 12 και 24 ωρών στο σταθμό των Θερμών Ξάνθης, για την περίοδο παρατηρήσεων 1979-2000.

Να υπολογιστούν οι όμβριες καμπύλες για την περιοχή.

Έτη	Διάρκεια Βροχοπτώσεως (hr)							
	0,25h	0,5h	1h	2h	4h	6h	12h	24h
1979	3	1	2,5	6	19	6	27	
1980								
1981								
1982								
1983								
1984	2	1	8	20	15	5	23	
1985	5	11	10	26	46	19	71	74
1986	22	10	6	23	21	95	36	30
1987	3	2	20	8	10	25	18	
1988	11	7	8	16	22	20	67	38
1989	3	13	17	9	9	28	22	56
1990	4	10	20	10	9	6	64,5	27
1991	11,5	17	10,5	10	24,5	12	40	52
1992		10	12	6	13		26	12
1993								
1994			5	4	8	15	33	30
1995	2	8	15	27	65	31	98	103
1996	11	20	8	18	31	36	148	112
1997	14	10	7	17	18,5	15	45	64
1998	5	4	13	16	29	20	113	36
1999	3	6	11	43	14	12	28	
2000	3	1	2,5	6	19	6	27	

Λύση. Από τα ύψη των βροχοπτώσεων και την αντίστοιχη διάρκεια βροχόπτωσης υπολογίζονται οι αντίστοιχες μέσες εντάσεις

Ένταση βροχής (mm/hr)								
ΕΤΟΣ	0,25h	0,5h	1h	2h	4h	6h	12h	24h
1	12.00	2.00	2.50	3.00	4.75	1.00	2.25	3.08
2	8.00	2.00	8.00	10.00	3.75	0.83	1.92	1.25
3	20.00	22.00	10.00	13.00	11.50	3.17	5.92	0.00
4	88.00	20.00	6.00	11.50	5.25	15.83	3.00	1.58
5	12.00	4.00	20.00	4.00	2.50	4.17	1.50	2.33
6	44.00	14.00	8.00	8.00	5.50	3.33	5.58	1.13
7	12.00	26.00	17.00	4.50	2.25	4.67	1.83	2.17
8	16.00	20.00	20.00	5.00	2.25	1.00	5.38	0.50
9	46.00	34.00	10.50	5.00	6.13	2.00	3.33	1.25
10	8.00	20.00	12.00	3.00	3.25	2.50	2.17	4.29
11	44.00	16.00	5.00	2.00	2.00	5.17	2.75	4.67
12	56.00	40.00	15.00	13.50	16.25	6.00	8.17	2.67
13	20.00	20.00	8.00	9.00	7.75	2.50	12.33	1.50
14	12.00	8.00	7.00	8.50	4.63	3.33	3.75	
15	12.00	12.00	13.00	8.00	7.25	2.00	9.42	
16		2.00	11.00	21.50	3.50	1.00	2.33	
17			2.50	3.00	4.75		2.25	
ΕΤΟΣ	0,25h	0,5h	1h	2h	4h	6h	12h	24h
χμέσο=	27.33	16.38	10.32	7.79	5.49	3.66	4.35	2.03
s=	23.25	11.30	5.37	5.07	3.68	3.61	3.09	1.37

Υπολογίζονται οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση της κατανομής πιθανοτήτων ακραίων τιμών (τύπου Gumbel). Οι τιμές y_n και σ_n προκύπτουν από πίνακες.

	0,25h	0,5h	1h	2h	4h	6h	12h	24h
χμέσο=	27.33	16.38	10.32	7.79	5.49	3.66	4.35	2.03
s=	23.25	11.30	5.37	5.07	3.68	3.61	3.09	1.37
n=	15	16	17	17	17	16	17	13
y_n	0.5128	0.5157	0.5181	0.5181	0.5181	0.5157	0.5181	0.5035
σ_n	1.02057	1.0316	1.0411	1.0411	1.0411	1.0316	1.0411	0.9833

Χρησιμοποιούμε την μέθοδο του παράγοντα συχνότητας όπως αυτή προκύπτει από την ανάλυση ακραίων τιμών (Gumbel) έχοντας σαν παράμετρο την περίοδο επαναφοράς T . Για διάφορες τιμές του T λοιπόν υπολογίζεται ο παράγοντας συχνότητας K_T και στη συνέχεια η ένταση της βροχόπτωσης από την σχέση:

$$i = \bar{i} + sK_T$$

$$K = -\frac{\ln(\ln \frac{T}{T-1}) + \bar{y}_n}{\sigma_n}$$

όπου \bar{i} : η μέση ένταση βροχόπτωσης

s : η τυπική απόκλιση

K_T : ο παράγοντας συχνότητας

Για τις παρακάτω περιόδους επαναφοράς έχουμε τις αντίστοιχες τιμές του παράγοντα συχνότητας για κάθε χρονική διάρκεια

Τιμές του παράγοντα συχνότητας K									$K = - \frac{\ln(\ln \frac{T}{T-1}) + \bar{y}_n}{\sigma_n}$
T	0,25h	0,5h	1h	2h	4h	6h	12h	24h	
10	1.7025	1.6815	1.6639	1.6639	1.6639	1.6815	1.6639	1.7765	
20	2.4079	2.3793	2.3553	2.3553	2.3553	2.3793	2.3553	2.5086	
50	3.3208	3.2825	3.2503	3.2503	3.2503	3.2825	3.2503	3.4562	
100	4.0050	3.9593	3.9209	3.9209	3.9209	3.9593	3.9209	4.1662	
1000	6.2656	6.1958	6.1369	6.1369	6.1369	6.1958	6.1369	6.5125	
10000	8.5222	8.4283	8.3490	8.3490	8.3490	8.4283	8.3490	8.8547	

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι αντίστοιχες εντάσεις για κάθε περίοδο επαναφοράς

$$i = \bar{i} + sK_T$$

Εντάσεις βροχής (GUMBEL) για διάφορες T και διάρκειες t

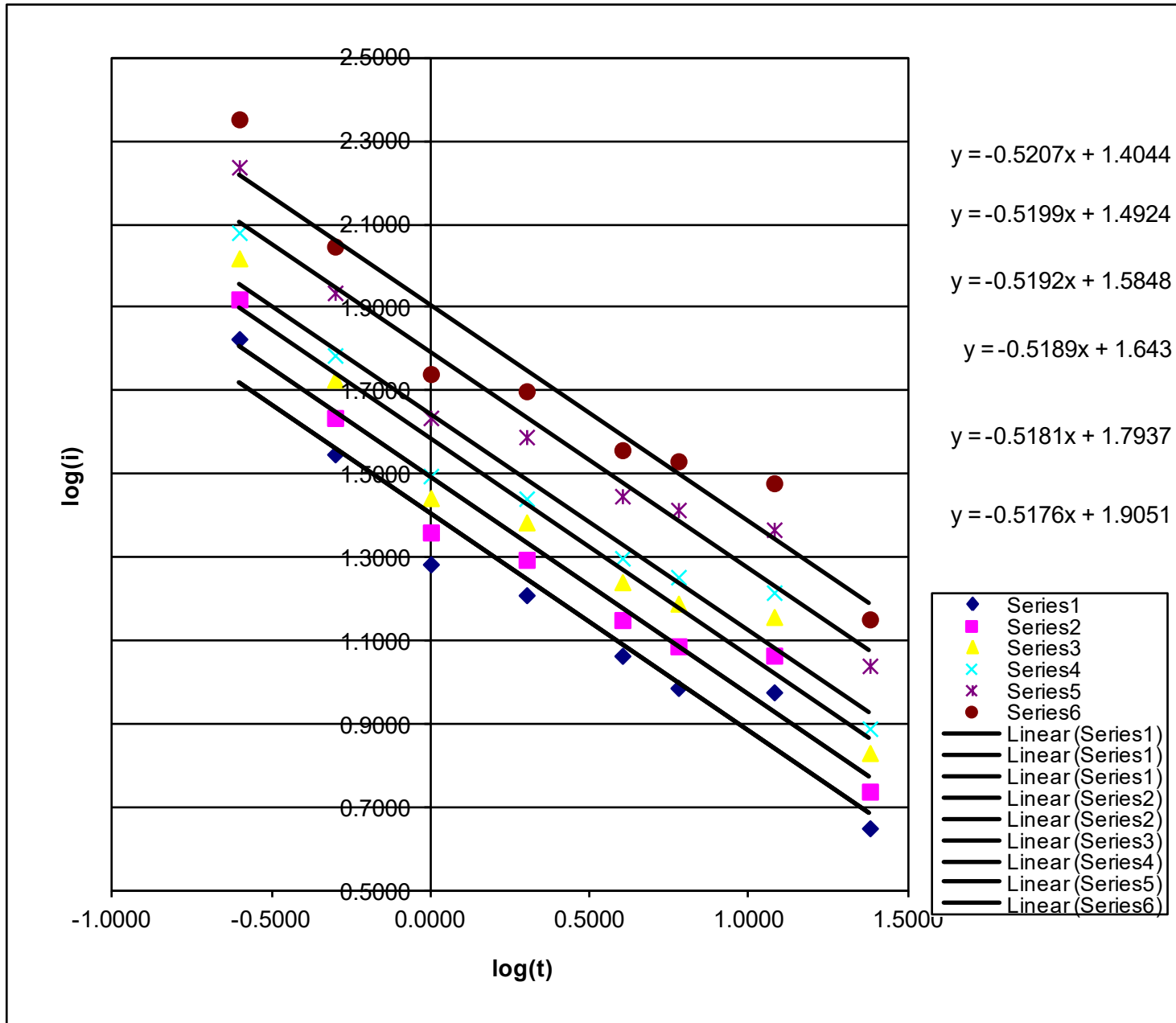
T	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00	12.00	24.00
10	66.91	35.37	19.25	16.23	11.61	9.72	9.49	4.47
20	83.31	43.25	22.97	19.74	14.15	12.24	11.63	5.48
50	104.53	53.45	27.77	24.28	17.44	15.49	14.39	6.78
100	120.43	61.10	31.37	27.68	19.91	17.93	16.46	7.76
1000	172.98	86.36	43.26	38.92	28.06	26.00	23.31	10.98
10000	225.44	111.57	55.14	50.14	36.20	34.05	30.15	14.20

Κατόπιν καταρτίζεται ο πίνακας $\log(t) - \log(i)$ για κάθε περίοδο επαναφοράς

	$\log(t) - \log(i)$							
T	-0.6021	-0.3010	0.0000	0.3010	0.6021	0.7782	1.0792	1.3802
10	1.8255	1.5486	1.2845	1.2104	1.0647	0.9877	0.9772	0.6507
20	1.9207	1.6360	1.3611	1.2953	1.1508	1.0876	1.0654	0.7388
50	2.0192	1.7280	1.4436	1.3852	1.2416	1.1901	1.1581	0.8314
100	2.0807	1.7860	1.4965	1.4422	1.2991	1.2537	1.2165	0.8898
1000	2.2380	1.9363	1.6361	1.5901	1.4481	1.4149	1.3676	1.0407
10000	2.3530	2.0476	1.7414	1.7002	1.5587	1.5321	1.4793	1.1524

Με παράμετρο την περίοδο επαναφοράς, τοποθετούνται σε διάγραμμα οι εντάσεις $[\log(i)]$ των βροχοπτώσεων σαν συνάρτηση της διάρκειας τους $[\log(t)]$ και έτσι προκύπτει

Διάγραμμα logt - logi



Η σχέση $\log i = \log(kT^\alpha) - m \log t$ αντιστοιχεί σε ευθεία

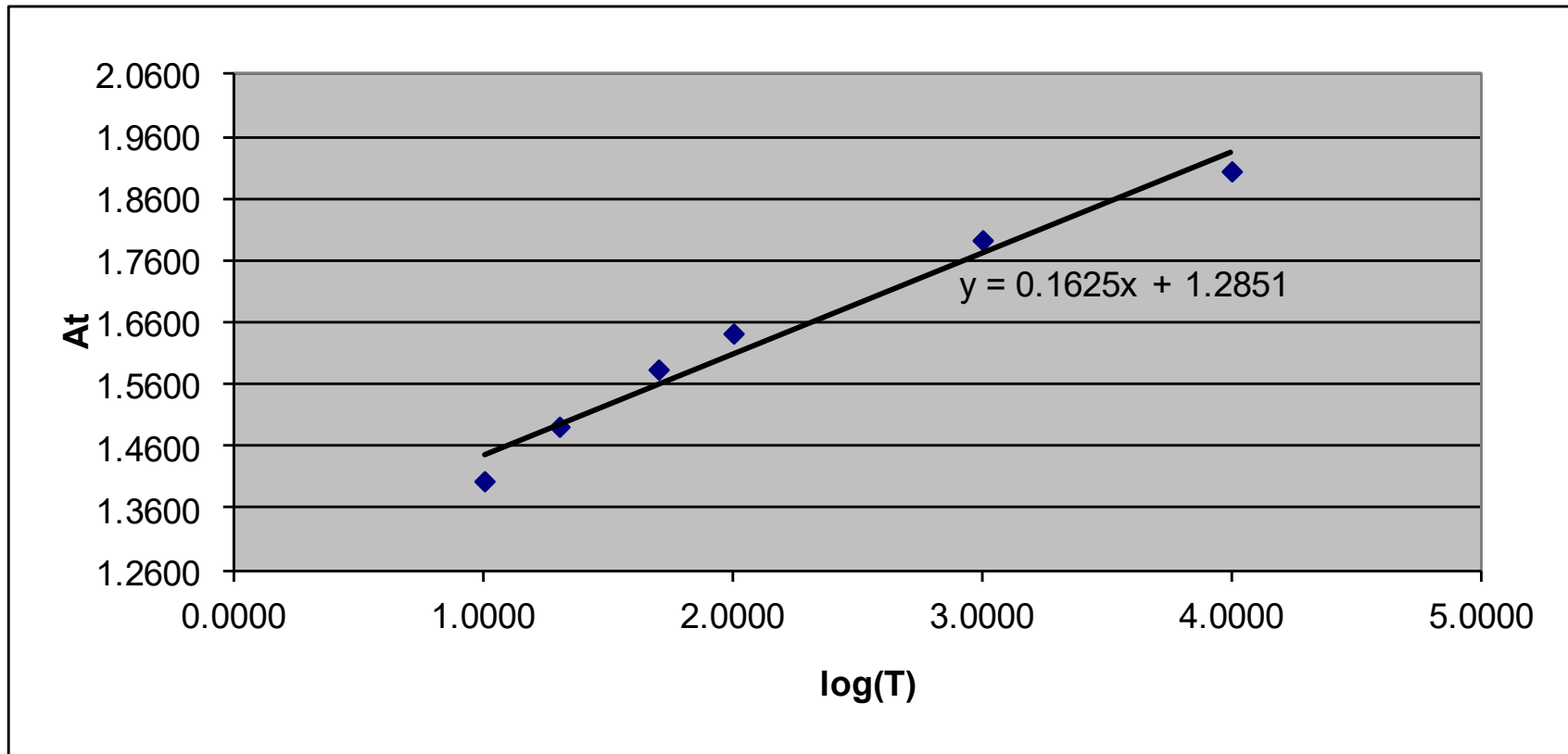
της μορφής: $Y = A_T + bX$

όπου: $Y = \log i$, $A_T = \log(kT^\alpha)$, $b = -m$

T	LOG(T)	A _T	m=-b
10	1.0000	1.4044	0.5207
20	1.3010	1.4924	0.5199
50	1.6990	1.5848	0.5192
100	2.0000	1.6430	0.5189
1000	3.0000	1.7937	0.5181
10000	4.0000	1.9051	0.5176
			0.5191

Άρα $m=0.5191$. Για τον προσδιορισμό του K και του α σχεδιάζω σε διάγραμμα τα A_T και $\text{LOG}(T)$.

$$A_T = \log(kT^\alpha), \Rightarrow A_T = \log k + \alpha \log T$$



Άρα $\alpha=0.1625$, $\log(K)=1.2851$ και συνεπώς $K=19.28$

Εξίσωση ομβρίων:

m=	0.5191
α =	0.1625
k=	19.28
b=	0

$$i = \frac{19,28 \times T^{0,1625}}{t^{0,5191}}$$

$$i = \frac{kT^a}{(t+b)^m}$$

- Προσδιορισμός των εν λόγω καμπυλών με τη χρήση GEV Max.

Για τον προσδιορισμό των όμβριων καμπυλών
η εξίσωση που θα χρησιμοποιηθεί είναι:

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

i είναι η ένταση βροχής σε mm/h

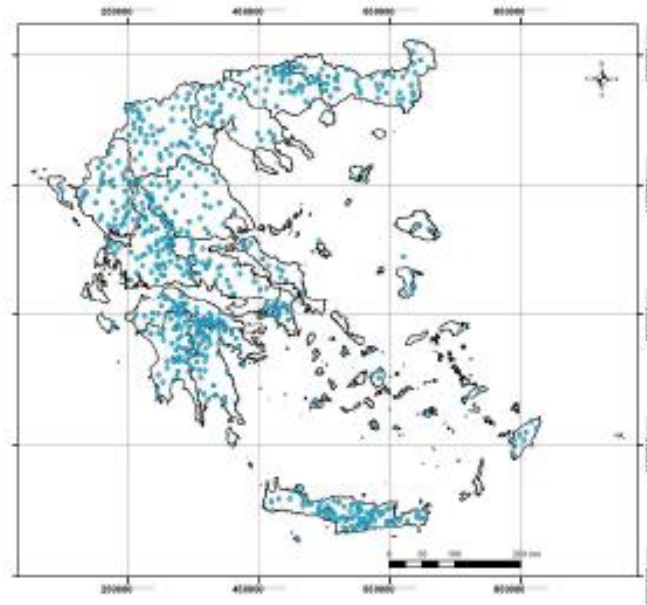
T είναι η περίοδος επαναφοράς σε έτη

d είναι η διάρκεια βροχής σε h

λ', κ, η, ψ', θ λαμβάνονται από πίνακες

Όμβριες καμπύλες για την Ελλάδα

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΔΗΓΙΑΣ 2007/60/ΕΚ
ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΧΩΡΑΣ



Αθήνα, Μάιος 2016



ΕΙΔΙΚΗ
ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ
ΥΛΑΤΩΝ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ
ΤΑΜΕΙΟ



www.εππεραα.gr



ΕΣΠΑ
2007-2013
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Όμβριες καμπύλες για την Ελλάδα

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΘΡΑΚΗΣ (GR12)

ΥΔ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΌΝΟΜΑ	X	Y	Z	κ	λ'	ψ'	θ	η
GR12	536	ΑΒΑΣ	661209.19	4532691.4	114	0.093	449.8	0.747	0.082	0.708
GR12	515	ΑΙΣΥΜΗ	664356.02	4542180.19	325.1	0.04	1323.4	0.878	0.082	0.708
GR12	540	ΑΡΙΣΒΗ	632573.94	4546922.62	41.3	0.151	243.6	0.564	0.082	0.708
GR12	546	ΓΕΡΑΚΑΣ	569119.81	4560764.2	308.3	0.151	529.5	0.591	0.082	0.708
GR12	539	ΓΡΑΤΙΝΗ	628659.8	4555221.65	120	0.151	267.7	0.609	0.082	0.708
GR12	530	ΔΙΔΥΜΟΤΕΙΧΟ	708877.68	4580788.42	24.7	0.093	499.1	0.839	0.082	0.708
GR12	528	ΔΙΚΑΙΑ	690558.56	4619342.71	50.4	0.093	391.7	0.723	0.082	0.708
GR12	559	ΘΑΣΟΣ	559760.94	4514292.19	2	0.151	403.1	0.706	0.082	0.708
GR12	518	ΘΕΡΜΕΣ	584528.67	4577595.09	439.7	0.04	1348.4	0.877	0.082	0.708
GR12	543	ΙΑΣΜΟΣ	599538.46	4553393.92	22.2	0.151	366.1	0.623	0.082	0.708
GR12	547	ΚΑΡΥΟΦΥΤΟ	555473.72	4567256.5	515.6	0.151	226.8	0.472	0.082	0.708
GR12	549	ΚΕΧΡΟΚΑΜΠΟΣ	553470.48	4556323.64	354.8	0.151	426	0.675	0.082	0.708
GR12	510	ΚΕΧΡΟΣ	655352.05	4566181.75	700	0.04	1342.5	0.91	0.082	0.708
GR12	544	ΚΟΜΟΤΗΝΗ	604027.41	4546982.98	30	0.151	295.3	0.601	0.082	0.708
GR12	541	ΚΡΩΒΥΛΗ	631338.38	4534337.05	120	0.151	271.6	0.558	0.082	0.708
GR12	529	ΚΥΠΡΙΝΟΣ	685134.1	4604776.46	70.1	0.093	393.6	0.732	0.082	0.708
GR12	553	ΛΕΚΑΝΗ	546427.96	4556396.34	730.9	0.151	266.5	0.423	0.082	0.708
GR12	532	ΛΕΥΚΙΜΗ	684766.57	4543210.53	135.5	0.093	489.6	0.73	0.082	0.708
GR12	548	ΛΥΚΟΔΡΟΜΙΟ	565129.01	4563104.42	394	0.151	314.4	0.638	0.082	0.708
GR12	511	ΜΕΓΑΛΟ ΔΕΡΕΙΟ	669344.06	4566205.17	381.6	0.04	1108.9	0.87	0.082	0.708
GR12	513	ΜΕΤΑΞΑΔΕΣ	685821.45	4587217.54	138.7	0.04	982.6	0.886	0.082	0.708
GR12	537	ΜΙΚΡΑ ΞΙΔΙΑ	637114.85	4554426.04	70	0.151	255.2	0.592	0.082	0.708
GR12	526	ΜΙΚΡΟ ΔΕΡΕΙΟ	675836.05	4575682.98	116.2	0.04	981.2	0.891	0.082	0.708
GR12	525	ΜΙΚΡΟΚΛΕΙΣΟΥΡΑ	504583.98	4581406.55	457.4	0.04	1113.3	0.906	0.082	0.708
GR12	509	ΜΥΡΤΙΣΚΗ	648833.34	4571165.74	546.9	0.04	1056.1	0.85	0.082	0.708
GR12	516	ΝΙΨΑ	669640.31	4532854.42	174.7	0.04	984.1	0.859	0.082	0.708
GR12	538	ΝΥΜΦΑΙΑ	621324.5	4565278.14	500	0.151	352.9	0.743	0.082	0.708
GR12	554	ΞΑΝΘΗ	544370.35	4547487.69	83	0.151	500	0.671	0.082	0.708
GR12	508	ΟΡΓΑΝΗ	641051.73	4567926.22	400.4	0.04	1316	0.896	0.082	0.708
GR12	557	ΠΑΡΑΝΕΣΤΗ	541724.17	4568262.38	122.4	0.151	202.3	0.511	0.082	0.708
GR12	545	ΠΟΡΠΗ	603808.15	4541108.23	32.1	0.151	288.7	0.61	0.082	0.708
GR12	512	ΠΡΩΤΟΚΚΛΗΣΙ	688715.39	4573261.24	50.2	0.04	901.8	0.863	0.082	0.708
GR12	558	ΠΤΕΛΕΑ	537441.09	4562135.21	421.4	0.151	237	0.532	0.082	0.708
GR12	517	ΣΑΠΕΣ	643904.12	4542494.31	120	0.04	998.8	0.877	0.082	0.708

Όμβριες καμπύλες για την Ελλάδα

ΥΔ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΌΝΟΜΑ	Χ	Υ	Ζ	κ	λ'	ψ'	θ	η
GR12	517	ΣΑΠΕΣ	643904.12	4542494.31	120	0.04	998.8	0.877	0.082	0.708
GR12	551	ΣΕΜΕΛΗ	570498.84	4548484.74	65	0.151	480.5	0.712	0.082	0.708
GR12	514	ΣΙΤΟΧΩΡΙ	696445.8	4592295.19	130.7	0.04	956.2	0.888	0.082	0.708
GR12	552	ΣΤΕΝΟ	551613.22	4545945.52	340	0.151	225.3	0.277	0.082	0.708
GR12	550	ΤΟΞΟΤΕΣ	566130.95	4548474.98	75.4	0.151	382.1	0.719	0.082	0.708
GR12	542	ΤΡΙΚΟΡΦΟ	599025.49	4561239.48	200	0.151	289.5	0.574	0.082	0.708
GR12	533	ΤΡΙΦΥΛΛΙ	685935.86	4539168.52	69.8	0.093	591.9	0.734	0.082	0.708
GR12	534	ΦΕΡΡΕΣ	682838.57	4529220.44	43.2	0.093	471.9	0.781	0.082	0.708
GR12	519	ΩΡΑΙΟ	569539.84	4569271.72	656.4	0.04	2029.9	0.916	0.082	0.708
GR12	535	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	664200.33	4524760.35	2.5	0.093	447.3	0.741	0.082	0.708
GR12	531	ΣΟΥΦΛΙ	682026.2	4554062.24	15	0.093	382.8	0.661	0.082	0.708
GR12	522	ΑΧΛΑΔΙΑ	500699.41	4582615	591.5	0.04	772.6	0.878	0.082	0.708
GR12	555	ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ	558739.57	4536487.23	15.5	0.151	262.6	0.638	0.082	0.708
GR12	523	ΒΩΛΑΚΑΣ	500042.81	4573573.5	836.9	0.04	1229.4	0.872	0.082	0.708
GR12	556	ΜΕΣΟΧΩΡΙ	539944.19	4568364.5	135.5	0.151	217.9	0.491	0.082	0.708
GR12	527	ΜΙΚΡΟΜΗΛΙΑ	512822.91	4584199.5	661	0.04	891.6	0.88	0.082	0.708
GR12	524	ΠΟΤΑΜΟΙ	507902.69	4582216	389	0.04	787.3	0.85	0.082	0.708
GR12	520	ΠΡΑΣΙΝΑΔΑ	545945.13	4578819.5	674	0.04	891.6	0.882	0.082	0.708
GR12	521	ΣΙΔΗΡΟΝΕΡΟ	519415.31	4579421	650	0.04	1029.6	0.905	0.082	0.708

Για τον προσδιορισμό των όμβριων καμπυλών η εξίσωση που θα χρησιμοποιηθεί είναι:

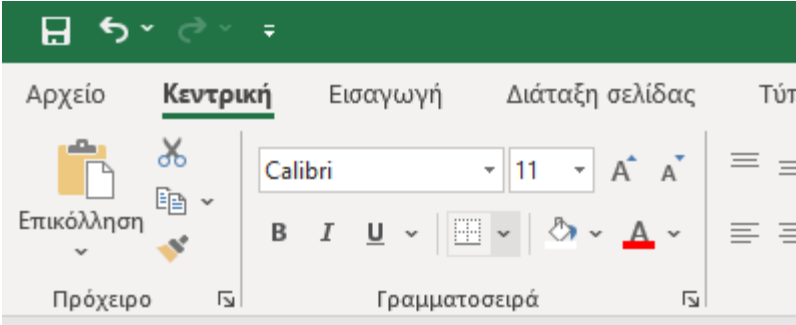
$$i(d, T) = \frac{\lambda'(T^{\kappa} - \psi')}{(1 + d/\theta)^{\eta}}$$

i είναι η ένταση βροχής σε mm/h

T είναι η περίοδος επαναφοράς σε έτη

d είναι η διάρκεια βροχής σε h

$\lambda', \kappa, \eta, \psi', \theta$ λαμβάνονται από πίνακες



The screenshot shows the Microsoft Excel interface. The ribbon is set to 'Κεντρική' (Home). The font is Calibri, size 11. The formula bar shows the result 0.609 for cell C4. Below the formula bar is a table with 9 rows and 2 columns (A and B). The table contains the following data:

	A	B
1	περιοχη	ΚΟΜΟΤΗΝΗ ΓΡ
2	παράμετρος σχήματος κ	0.151
3	παράμετρος κλίμακας λ'	295.3
4	παράμετρος θέσης της συν. Κατανομής ψ'	0.601
5	παράμετρος συνάρτησης διάρκειας θ	0.082
6	παράμετρος συνάρτησης διάρκειας η	0.708
7	περίοδος επαναφοράς T (έτη)	50
8	διάρκεια βροχής d (hr)	0.167
9	ένταση βροχής I (mm/hr)	162.13
10		
11		
12		
13		

Below the table, the formula $i(d, T) = \frac{\lambda'(T^{\kappa} - \psi')}{(1 + d/\theta)^{\eta}}$ is displayed.