

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

**Απώλειες βροχής
Μετασχηματισμός
βροχόπτωσης σε απορροή
συνιστώσες της απορροής
υδρομετρήσεις
Δρ Μ.Σπηλιώτης**

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

- Η περιοχή της επιφάνειας της γης που περικλείεται από τον υδροκρίτη
- Το όριο μεταξύ δύο γειτονικών λεκανών απορροής → υδροκρίτης
- Στην περιοχή αυτή συγκεντρώνονται τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, που στη συνέχεια καταλήγουν σε ένα κεντρικό σύστημα απομάκρυνσής τους. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι ένα ποτάμι, που καταλήγει στη θάλασσα, ένας χείμαρρος, μία καταβόθρα ή μία λίμνη όπου το νερό συγκεντρώνεται και εξατμίζεται ή απορροφάται από το έδαφος.
- Σε κάθε διατομή υδατορέματος αντιστοιχεί μία λεκάνη απορροής (ή υπολεκάνη για ακρίβεια)
- Για λόγους διευκόλυνσης (σε κατανεμημένα μοντέλα) → η λεκάνη υποδιαιρείται σε επιμέρους **ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ**
- **Μετασχηματισμός βροχής σε απορροή ...στη λεκάνη απορροής**
- **2000/60/ΕΚ Διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής (σύστημα)**

- Λεκάνη απορροής:

- Αναφέρεται σε συγκεκριμένη διατομή ενός ρεύματος
- Εδαφική επιφάνεια, από την οποία έχουν συλλεχθεί τα επιφανειακά νερά που καταλήχουν στην εν λόγω διατομή

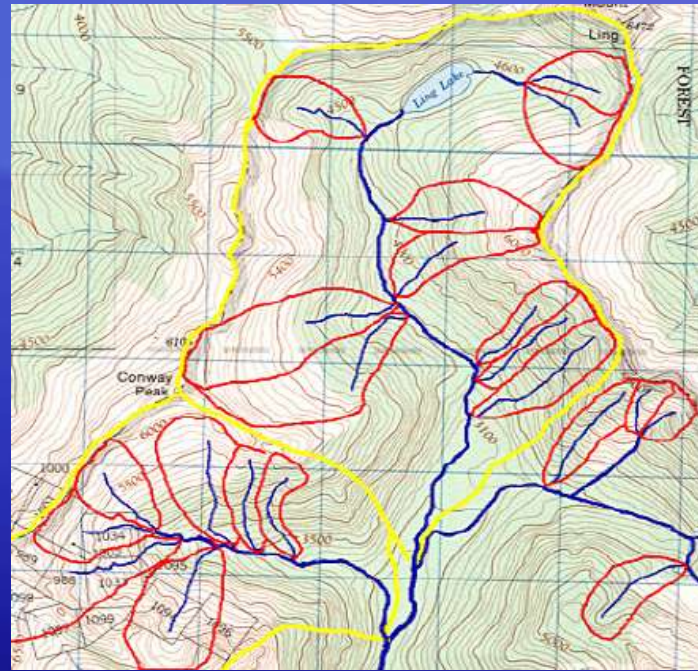


Μετασχηματισμός
απορροής σε
βροχόπτωση στα
πλαίσια της λεκάνης
απορροής

Χρυσάνθου, 20014
όπως και όλες οι
χειρόγραφες
διαφάνειες

ΥΔΡΟΚΡΙΤΗΣ

- Η νοητή γραμμή που συνδέει τα ψηλότερα σημεία των υψωμάτων της επιφάνειας του εδάφους και διαχωρίζει τη ροή των όμβριων υδάτων.



Εννοιολογικά μοντέλα υδατικού ισοζυγίου συνεχούς χρόνου λεκάνης απορροής

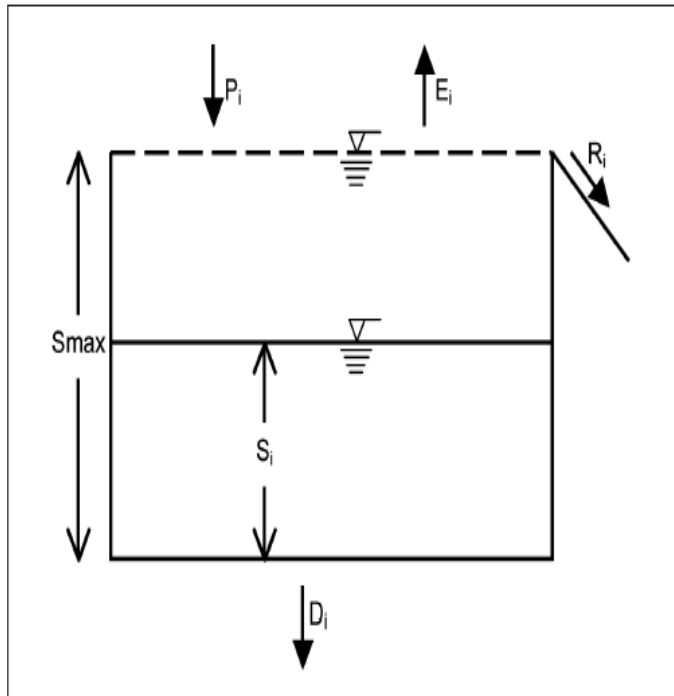


Fig. 2. Simplified Medbasin monthly water balance model.

- Ανάλογο ταμιευτήρα (εδαφική υγρασία)
- Αν η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή λεκάνης τότε ο ταμιευτήρας γεμίζει. Αφού γεμίσει έχουμε υπερχείλιση σε επιφανειακή απορροή και υπόγεια νερά. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι ίση με την πραγματική.
- Όταν η βροχόπτωση είναι μικρότερη από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή ο ταμιευτήρας αδειάζει (μηδενική διήθηση και απορροή). Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι προφανώς μικρότερη με τη δυνητική

Λεκάνη απορροής:
Μετασχηματισμός βροχόπτωσης
σε απορροή

KATATAΞΗ...

Πίνακας 6.1: Ταξινόμηση μοντέλων βροχόπτωσης – απορροής.

Κριτήριο	Κατηγορία	Περιγραφή
Χωρική μεταβλητότητα διεργασιών	Αδρομερή (lumped)	Η λεκάνη είναι μια χωρική ενότητα με ενιαία υδρολογικά μεγέθη και άλλα χαρακτηριστικά
	Κατανεμημένα (distributed)	Η λεκάνη διασπάται σε τμήματα με διαφορετικά υδρολογικά μεγέθη και άλλα χαρακτηριστικά
Είδος εξισώσεων	Μοντέλα “μαύρου κουτιού” (black box)	Σχέσεις της θεωρίας της ανάλυσης συστημάτων χωρίς θεώρηση φυσικών νόμων ούτε και εμπειρικών σχέσεων
	Εννοιολογικά μοντέλα (conceptual)	Μαθηματικές σχέσεις που έχουν καταρτιστεί με εμπειρικό τρόπο
	Μοντέλα φυσικής βάσης (physics – based)	Μαθηματικές σχέσεις που αναπαριστούν φυσικούς νόμους
Χειρισμός αβεβαιότητας	Αιτιοκρατικά (deterministic)	Τα υδρολογικά μεγέθη έχουν σταθερές τιμές χωρίς αβεβαιότητα
	Στοχαστικά (stochastic)	Ορισμένα εκ των υδρολογικών μεγεθών έχουν αβεβαιότητα
Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο	Μοντέλα υδρολογικού γεγονότος (event-based)	Λειτουργούν ανά πλημμυρικό γεγονός και αναπαράγουν μόνον τις κύριες φυσικές διεργασίες των πλημμυρών
	Μοντέλα συνεχούς χρόνου (continuous – time)	Αναπαριστούν την πλήρη χρονική εξέλιξη των υδρολογικών διεργασιών, (σε υγρές και σε ξηρές περιόδους)

Ταξινόμηση μοντέλων βροχόπτωσης απορροής Ναλμπάντης 2007

Ταξινόμηση μοντέλων βροχής-απορροής

Κριτήριο 1: Χωρική κατανομή των φυσικών διεργασιών μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε απορροή

- Αδρομερή (lumped): ενιαία λεκάνη απορροής
- Κατανεμημένα (distributed): η λεκάνη απορροής διασπάται σε στοιχειώδη τμήματα

Κριτήριο 2: Είδος μαθηματικών εξισώσεων και σχέσεων για την αναπαράσταση των φυσικών διεργασιών

- Μοντέλα "μαύρου κουτιού" (black box): οι φυσικές διεργασίες αναπαρίστανται από σχέσεις της γενικής θεωρίας της ανάλυσης ευστημάτων χωρίς καμία δέωση των φυσικών νόμων και εμπειρικών σχέσεων της λεκάνης απορροής.
- Εννοιολογικά ή παραμετρικά μοντέλα (conceptual): οι φυσικές διεργασίες αναπαρίστανται με απλές εμπειρικές μαθηματικές σχέσεις, που περιλαμβάνουν άγνωστες παραμέτρους που εκτιμώνται με βαθμονόμηση (calibration).
- Μοντέλα φυσικής βάσης (physically-based): οι μαθηματικές σχέσεις αναπαριστούν τους φυσικούς νόμους που διέπουν το μετασχηματισμό της βροχόπτωσης σε απορροή.

Εννοιολογικό
μοντέλο, χρήση
φυσικού αναλόγου
Π.χ. ταμιευτήρα

Κριτήριο 3: Χειρισμός αβεβαιότητας των υδρολογικών μεθετών

- Διτιοκρατικά (deterministic): τα υδρολογικά μεθέτη έχουν συγκεκριμένες τιμές (γνωστές ή όχι) χωρίς αβεβαιότητα.
- Στοχαστικά (stochastic): ορισμένα υδρολογικά μεθέτη περιέχουν αβεβαιότητα και συνήθως αναπαρίστανται ως στοχαστικές ανελίξεις (stochastic processes).

Κριτήριο 4: Λειτουργία μοντέλου σε σχέση με το χρόνο

- Μοντέλα υδρολογικού γεγονότος (event-based): για μεμονωμένα επεισόδια βροχής ή πλημμυρικά γεγονότα
- Μοντέλα συνεχούς χρόνου (continuous time): αναπαριστούν την πλήρη χρονική εξέλιξη των υδρολογικών διεργασιών, τόσο σε νηρές όσο και σε ήπρες χρονικές περιόδους. Για την εκτίμηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού χρησιμοποιούνται αποκλειστικά τα μοντέλα συνεχούς χρόνου.

Βαθμονόμηση μοντέλων βροχής-απορροής

- Τα εννοιολογικά μοντέλα βροχής-απορροής, καθώς και τα μοντέλα "black box" περιέχουν άγνωστες παραμέτρους στις μαθηματικές σχέσεις τους.

- Οι παραμέτροι αυτές ενσωματώνουν πληροφορίες σχετικά με
- (α) τις φυσικές διεργασίες στη θεωρούμενη λεκάνη απορροής
 - (β) τις διεργασίες που δεν λαμβάνονται υπόψη
 - (γ) το βαθμό επηρεασμού της απορροής από την κάθε υδρολογική διεργασία
 - (δ) τα σφάλματα προσέγγισης των πραγματικών διεργασιών

Χρυσάνθου, 2013

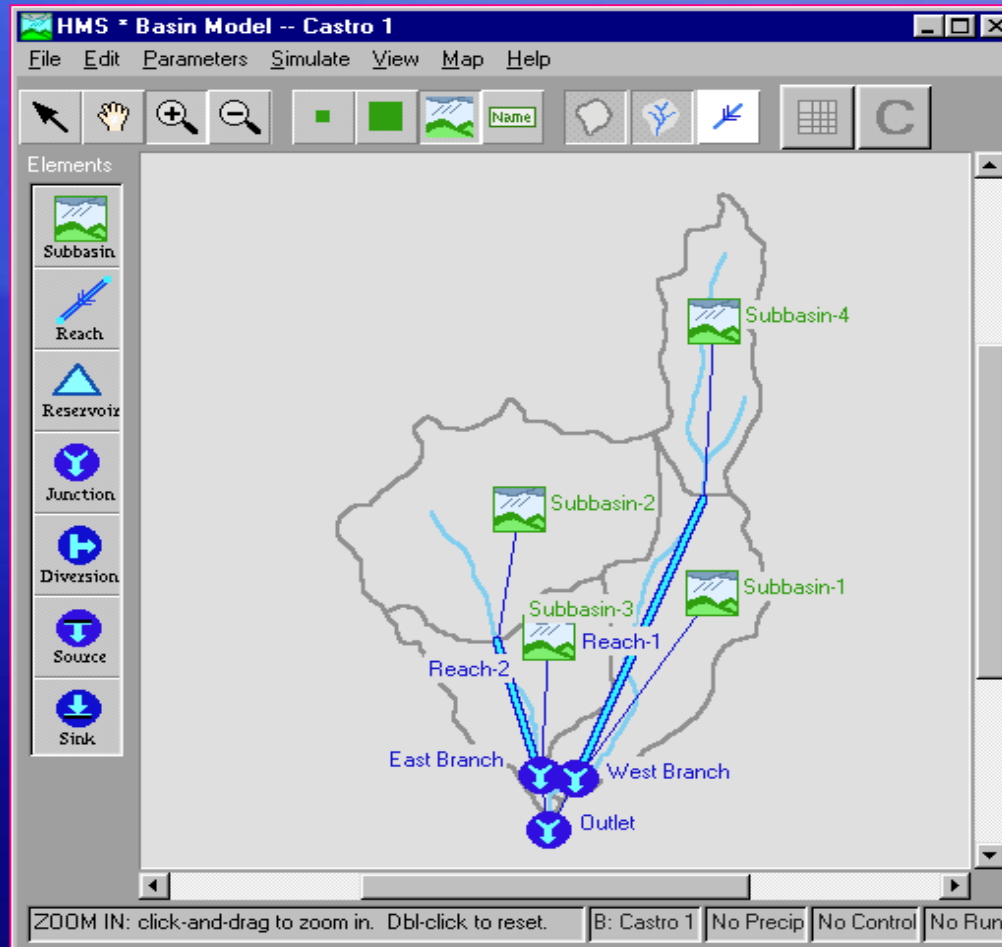
μοντέλο

- Απαιτείται εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων για κάθε λεκάνη που εξετάζεται.

- Βαθμονόμηση (calibration): Εκτίμηση των παραμέτρων ενός μοντέλου βροχής-απορροής με βάση μετρήσεις των υδρολογικών μεγεθών εισόδου και εξόδου (δηλαδή της βροχής και της απορροής)

HEC – HMS

ενσωματώνει τη μέθοδο SCS



ΟΡΙΣΜΟΣ-ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Ορισμός Μοντέλου: Η Αναπαραγωγή της Συμπεριφοράς και Απόκρισης ενός Φυσικού Συστήματος



Hydrologic Engineering Center

<http://www.hec.usace.army.mil/>

- Οργανισμός του Ειδικού Σώματος Μηχανικών του Στρατού που υπάγεται στο Ινστιτούτο Υδατικών Πόρων των ΗΠΑ.
- Ειδικοί σε θέματα επιφανειακής και Υπόγειας Υδρολογίας, Υδραυλικής Ποταμών, Μεταφοράς Φερτών, Στατιστικής Υδρολογίας, Ανάλυσης Διακινδύνευσης, Ανάλυσης Συστημάτων Ταμιευτήρων, Υδρολογικού Σχεδιασμού, Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και άλλων συναφών Τεχνικών Αντικειμένων.
- Υποστηρίζει υπηρεσίες και εργαστήρια παρέχοντας τεχνικές μεθόδους και επιστημονική καθοδήγηση σε θέματα Υδατικών Πόρων.
- Προσφέρει στην έρευνα και ανάπτυξη και παρέχει τεχνική βοήθεια σε σημαντικά έργα.
- Τα προϊόντα των εργασιών του είναι διαθέσιμα στο κοινό μέσω της ιστοσελίδας.

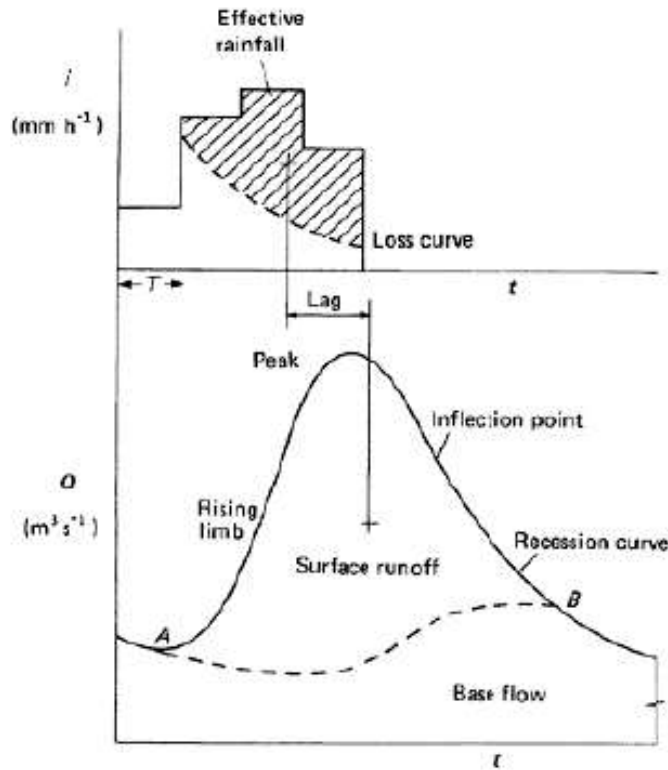
Hydrologic Modeling System

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

- Συγκεντρωτικό ή Κατανεμημένο, Μεμονωμένου Υδρολογικού Γεγονότος ή Συνεχές, Εννοιολογικό.
- Σχεδιασμένο για την Προσομοίωση των διαδικασιών βροχής-απορροής σε λεκάνες απορροής δενδριτικού τύπου.
- Εφαρμόζεται τόσο σε μεγάλες αγροτικές λεκάνες όσο και σε μικρές αστικές ή ημιαστικές.
- Τα υδρογραφήματα που παράγονται χρησιμοποιούνται για μελέτες:
 - Διαθεσιμότητας νερού
 - Πρόγνωσης πλημμυρών
 - Συνεπειών μελλοντικής αστικοποίησης λεκάνης απορροής
 - Σχεδιασμούς υπερχειλιστών φραγμάτων
 - Σχεδιασμού αντιμετώπισης καταστροφών από πλημμύρες

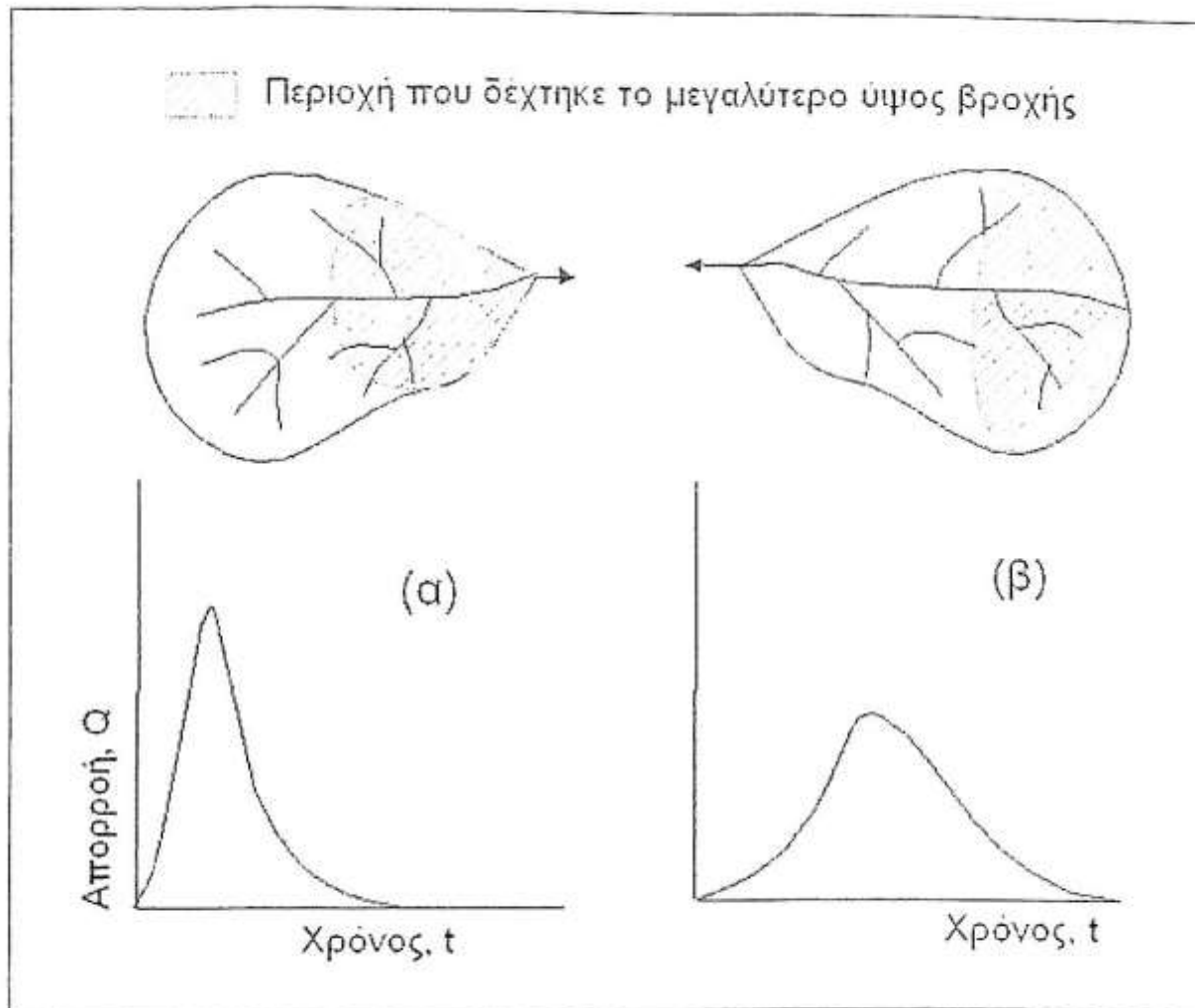


Μελέτη σε επίπεδο γεγονότος



- Διάκριση σε βασική και άμεση απορροή
- Ενεργός βροχόπτωση: (καταλήγει σε άμεση απορροή)
- Χαρακτηριστικά υδρογραφήματος
- Χρόνος συγκέντρωσης: Χρόνος που χρειάζεται το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης να φθάσει στην έξοδο
- Χρόνος υστέρησης: Χρόνος μεταξύ κέντρου βάρους (ενεργούς) βροχόπτωσης και κ.βάρους πλημμύρας

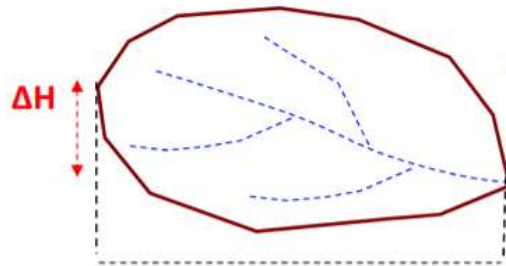
- Παράγοντες που επιδρούν στην απορροή
- Κλιματικοί παράγοντες:
 - βροχόπτωση
 - ευκρασία από τη βλάστηση
 - εξάτμιση
 - διαπνοή
- Φυσιολογικοί παράγοντες:
 - γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής
 - φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής
 - χαρακτηριστικά των υδατορρευμάτων



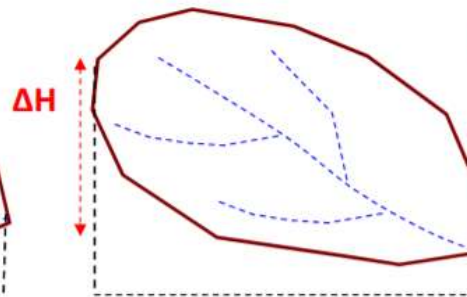
Σχήμα 5.16 Επίδραση της κατανομής της βροχής στο σχήμα του υδρογραφήματος.

Επίδραση της κλίσης στην απορροή

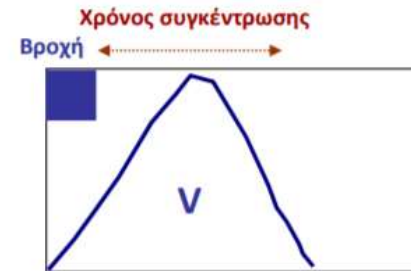
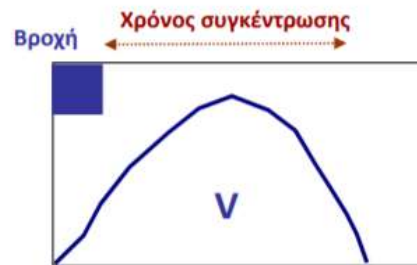
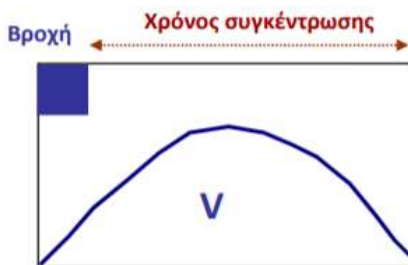
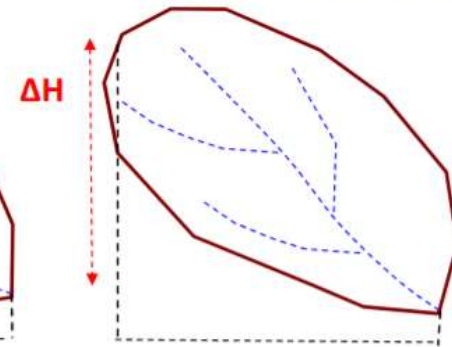
Μικρή κλίση
Μεγάλος χρόνος συγκέντρωσης



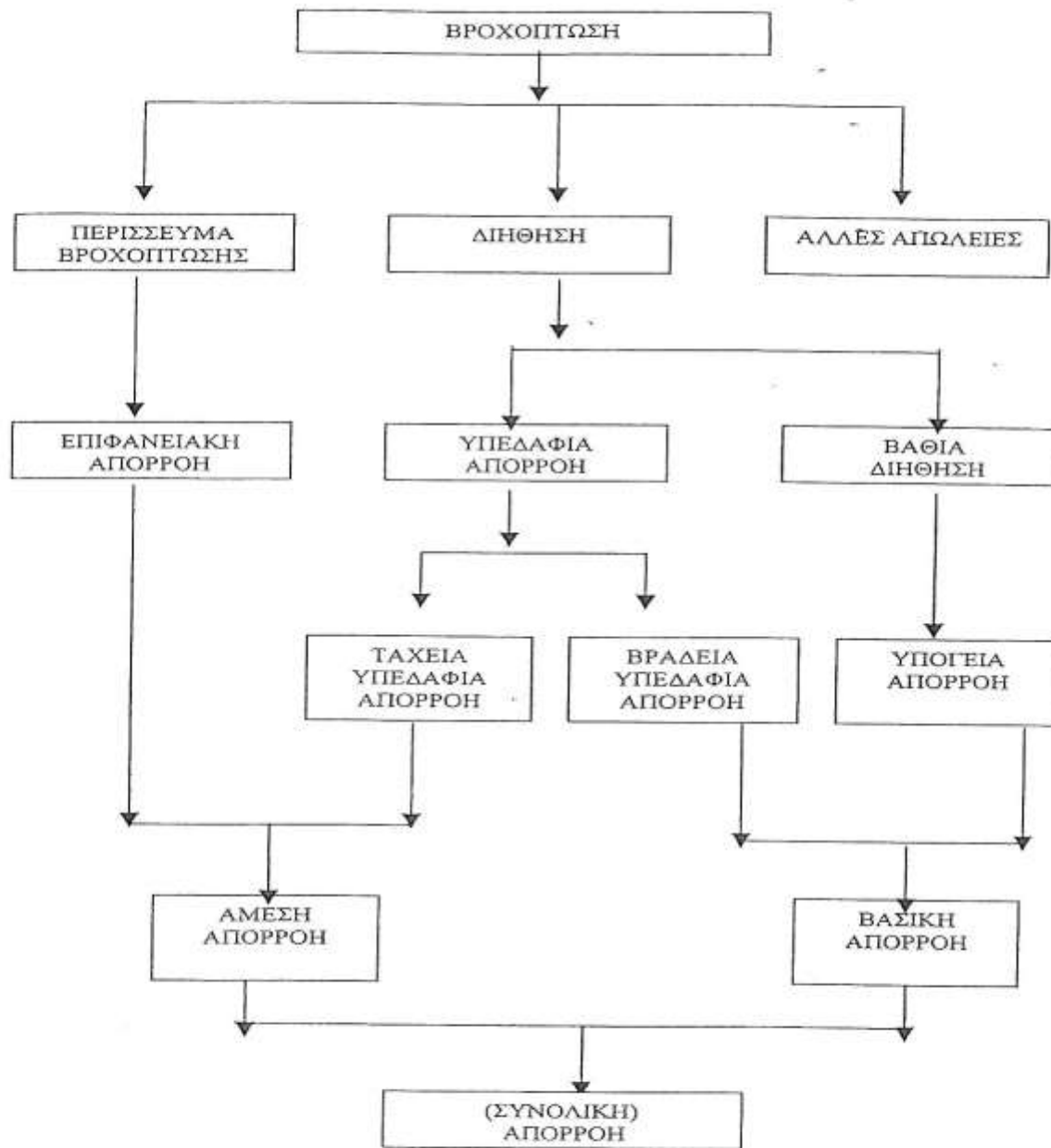
Μέτρια κλίση
Μέτριος χρόνος συγκέντρωσης



Μεγάλη κλίση
Μικρός χρόνος συγκέντρωσης



Απορροή: Βασικές έννοιες



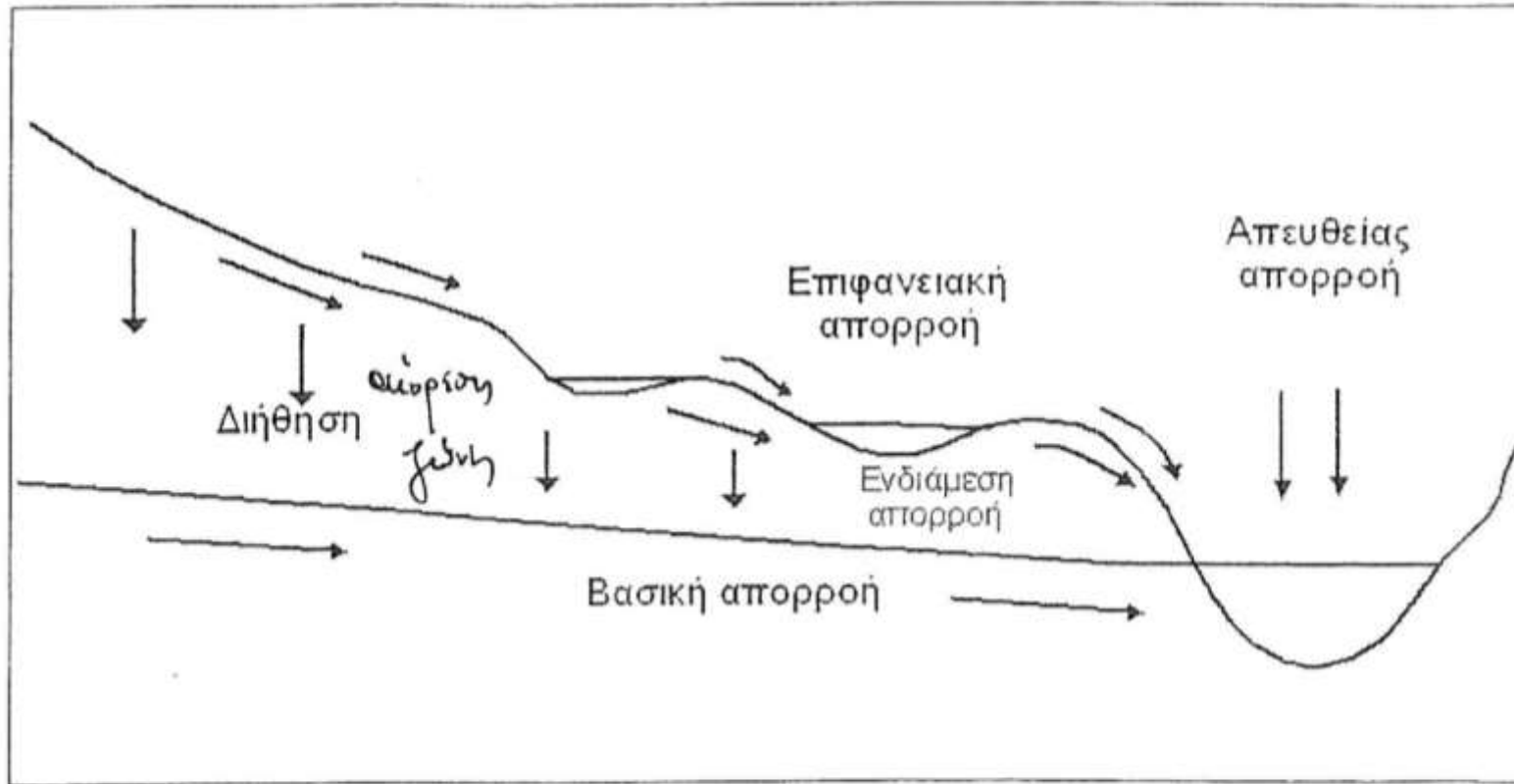
Μπέλλος, 2014
 Απώλειες
 βροχόπτωσης,
 άμεση απορροή
 ΜΟΝΟ από
 περίσσειμα
 βροχόπτωσης

Σχ. 4.1 Σχηματική παράσταση των συνιστωσών της απορροής

Βασικές έννοιες

- ✓ Υδρολογική λεκάνη: Υποδοχέας κατακρημνισμάτων και μετατροπή τους σε απορροή με βάση εδαφολογικά, μορφολογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά
- ✓ Υδρογράφημα: Είναι η γραφική παράσταση της απορροής ως συνάρτηση του χρόνου σε μία διατομή υδατορεύματος:
 - ✓ Επιφ. Ροή
 - ✓ Ενδορή (πλευρική κίνηση στην ακόρεστη ζώνη)
 - ✓ Βασική ροή
 - ✓ Απευθείας απορροή στο υδατόρευμα
- ✓ Υδρογράφημα διαφέρει από λεκάνη σε λεκάνη και από διάρκεια βροχής

Βασική Απορροή (δεν εξαρτάται άμεσα από το πλημμυρικό γεγονός)



Σχήμα 5.6 Σκαρίφημα που δείχνει τους παράγοντες που διαμορφώνουν την παροχή του ρεύματος

- Επιφανειακή απορροή:

- Μέρος των βροχοπτώσεων, το οποίο ρέει αρχικά στην εδαφική επιφάνεια και εν συνεχεία διαμέσου του συστήματος των υδατορρευμάτων, μέχρις ότου καταλήξει στην έξοδο της λεκάνης απορροής.
- Συμπληρώνεται σε μικρό χρονικό διάστημα.

- Υπεδαφια απορροή:

- Τμήμα των βροχοπτώσεων, το οποίο διηθήθηκε αρχικά μέσα στο έδαφος και εν συνεχεία με πλευρική κίνηση βρήκε διέξοδο προς ένα επιφανειακό ρεύμα.
- Συμπληρώνεται συνήθως σε μικρό χρονικό διάστημα.

(5)

- Υπόχεια απορροή:

- Τμήμα των βροχοπτώσεων, το οποίο διηθήθηκε αρχικά μέσα στο έδαφος και εν συνεχεία κινήθηκε μέσω του υποχείου υδροφόρου στρώματος.
- Απαιτεί μεγάλα χρονικά διαστήματα για τη συμπλήρωσή της.

- Άμεση και βασική απορροή

- Άμεση απορροή: Ειδέρχεται στα υδατορρέυματα αμέσως μετά τη βροχόπτωση ή την τήξη του χιονιού και αποτελείται από την επιφανειακή και την υπεδάφια απορροή.
- Βασική απορροή: Αποτελεί τη ροή των ρευμάτων κατά τα μεταξύ των βροχοπτώσεων χρονικά διαστήματα. Προέρχεται κυρίως από την υπόγεια απορροή.

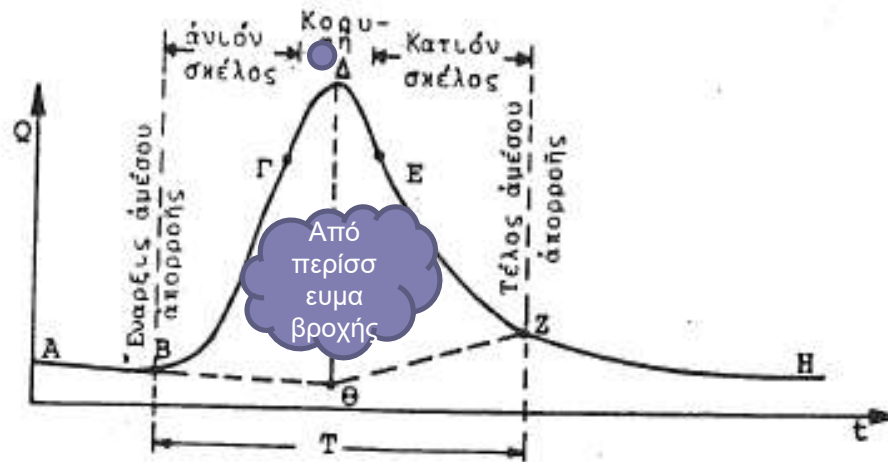
- Περίβλεμμα βροχόπτωσης - Απώλειες βροχής

- **Περίβλεμμα βροχόπτωσης:** Τμήμα της βροχόπτωσης, το οποίο συντελεί αμέσως στη δημιουργία επιφανειακής (και υπεδάφιας) απορροής.
- **Απώλειες βροχής:** Συγκράτηση από τη βλάστηση, εξάτμιση, διαπνοή, επιφανειακή αποθήκευση στο έδαφος, διήθηση

- Περίβευμα βροχόπτωσης - Απώλειες βροχής

- Περίβευμα βροχόπτωσης: Τμήμα της βροχόπτωσης, το οποίο συντελεί αμέσως στη δημιουργία επιφανειακής (και υπεδάφιας) απορροής.

Μορφή υδρογραφήματος



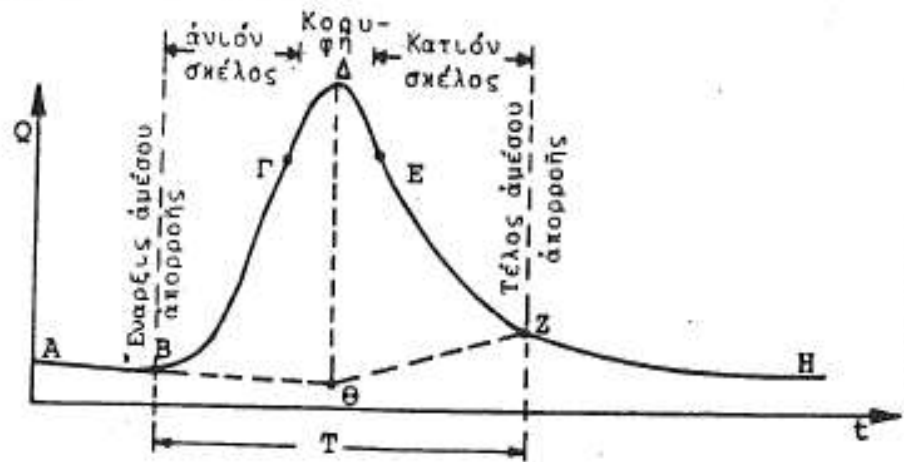
Παροχή κατά τη διάρκεια πλ. γεγονότος

Αποτελείται από:

- Βασική απορροή
- Άμεση απορροή
 - Επιφανειακή απορροή
 - Υπεδάφια απορροή

Περίσσειμα
βροχής

Μορφή υδρογραφήματος

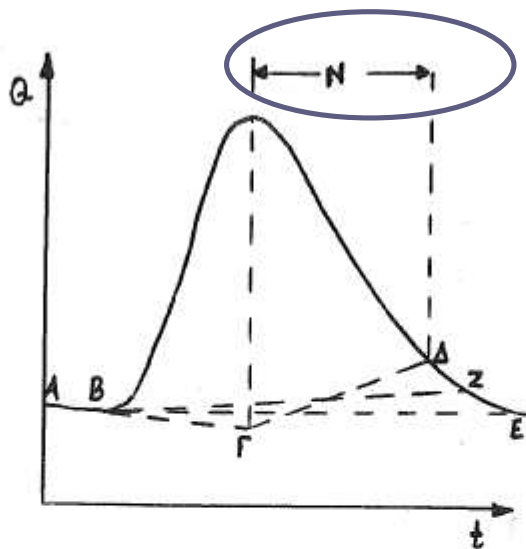


Ανιόν σκέλος : Η μορφή του εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της βροχής και της λεκάνης απορροής

Κατιόν σκέλος : Η μορφή του είναι ανεξάρτητη των χαρακτηριστικών της βροχής

Αιχμή : Κορυφή του υδρογραφήματος, μέγιστη παροχή. Συνήθως μετά το πέρας της βροχόπτωσης

Διαχωρισμός της βασικής απορροής



- Δι' ενός οριζοντίου ευθυγράμμου τμήματος (BE)
- Δι' ενός κεκλιμένου ευθυγράμμου τμήματος (BZ)
- Διὰ δύο ευθυγράμμων τμημάτων (BΓ και ΓΔ)

$$N = 0.63 A_d^{0.2}$$

N : [μέρες]

A_d : εμβαδόν της λεκάνης απορροής [km^2]

Σε μοντέλα που στηρίζονται στο πλ. γεγονός πρέπει να διαχωρίσω τη ροή σε άμεση και βασική

Ανάγκη υπόθεσης για βασική απορροή, π.χ. ευθεία



Χρονική επιβράδυνση της λεκάνης απορροής (t_R):

Χρονική διάρκεια μεταξύ του κέντρου βάρους της βροχοπτώσεως και της αιχμής του υδρογραφήματος.

Χρονική βάση του υδρογραφήματος (T):

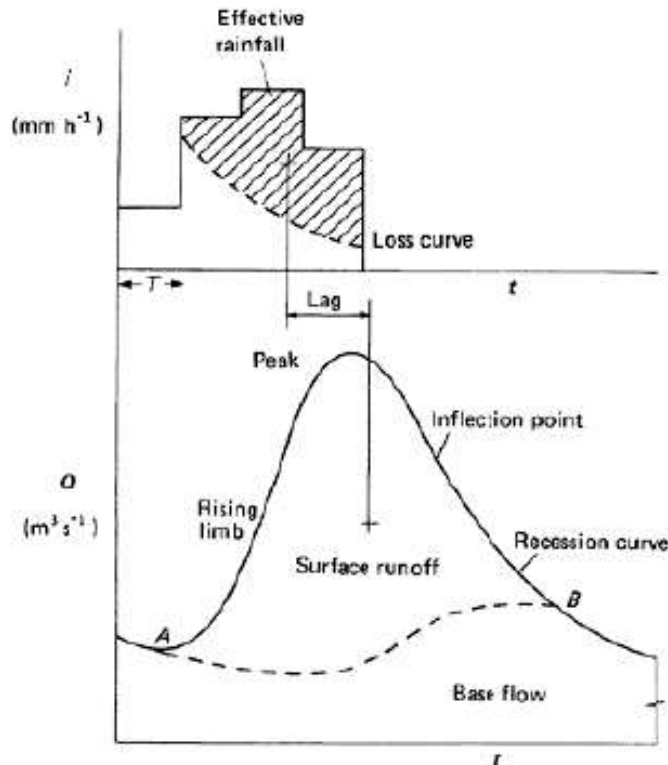
Χρονική περίοδος κατά την οποία λαμβάνει χώραν επιφανειακή απορροή διά της δειωμένης διατομής του ρεύματος.

$$T = t_R + t_C$$

t_R : διάρκεια (περισσέυματος) βροχοπτώσεως

t_C : χρόνος συγκεντρώσεως για την δειωμένη λεκάνη απορροής

Μελέτη σε επίπεδο γεγονότος



- Διάκριση σε βασική και άμεση απορροή
- Ενεργός βροχόπτωση: (καταλήγει σε άμεση απορροή)
- Χαρακτηριστικά υδρογραφήματος
- Χρόνος συγκέντρωσης: Χρόνος που χρειάζεται το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης να φθάσει στην έξοδο
- Χρόνος υστέρησης: Χρόνος μεταξύ κέντρου βάρους (ενεργούς) βροχόπτωσης και κ.βάρους πλημμύρας

Χρόνος συγκέντρωσης λεκάνης

- Εντός της υπολεκάνης απορροής γίνεται η διάκριση στους παρακάτω διαδοχικούς χρόνους:
 - Κίνηση νερού σε επιφάνειες, εμπειρικές εξισώσεις.
 - Κίνηση νερού σε μη ικανοποιητικά διαμορφωμένη κοίτη, υπόθεση ρηχής ροής, χρήση μεθόδων της Υδραυλικής π.χ. Εξίσωση Manning
 - Κίνηση νερού σε ικανοποιητικά διαμορφωμένη κοίτη, χρήση μεθόδων της Υδραυλικής π.χ. Εξίσωση Manning

Στην πραγματικότητα ο κλάδος αποτελεί και υδραυλικό φορέα της απορροής της υπολεκάνης που κείται

Πλημμυρικό γεγονός (Τσακίρης και Βαγγέλης,2010)

Βασικές Έννοιες

Υδρογράφημα. Η γραφική παράσταση της απορροής σε μια διατομή ενός υδατορεύματος ως συνάρτηση του χρόνου.

Χρονική βάση του υδρογραφήματος (T). Η χρονική περίοδος κατά την οποία παρατηρείται άμεση απορροή σε μια διατομή υδατορεύματος.

Πλημμύρα. Το γεγονός κατά το οποίο η άμεση απορροή είναι τόσο σημαντική ώστε η συνολική παροχή να υπερβαίνει τη διοχετευτική ικανότητα του υδατορεύματος και να κατακλύζει τις γύρω περιοχές.

Χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης (t_c). Ο χρόνος που απαιτείται ώστε μια σταγόνα νερό να διανύσει την απόσταση από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης (και μέσω του υδρογραφικού δικτύου) ως την έξοδο της λεκάνης.

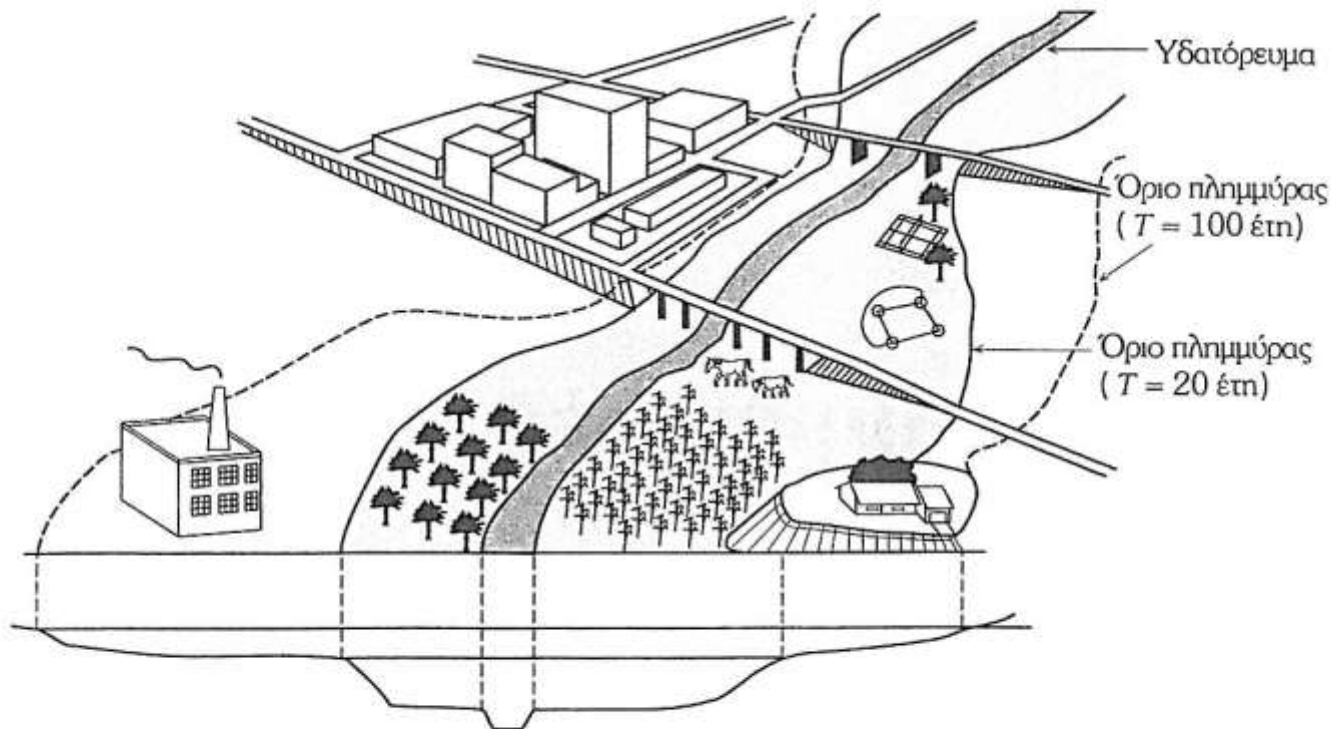
Συνιστώσες της απορροής. Η απορροή αποτελείται από δύο συνιστώσες, την άμεση και τη βασική απορροή. Η άμεση απορροή αποτελείται από την επιφανειακή απορροή R_s , την ταχεία υπεδάφια απορροή $R_{i,f}$ και την απ' ευθείας στα ρεύματα απορροή R_c . Η βασική απορροή αποτελείται από την υπόγεια απορροή R_g και τη βραδεία υπεδάφια απορροή $R_{i,s}$.

Υδρογράφημα άμεσης απορροής (ΥΑΑ). Είναι το υδρογράφημα που προκύπτει από το περίσσειμα βροχόπτωσης μιας ραγδαίας βροχής, h_R , με το διαχωρισμό άμεσης και βασικής απορροής.

Πλημμυρικές απορροές θεωρούνται οι απορροές που ακολουθούν κάποια ραγδαία βροχόπτωση ή απότομη τήξη μεγάλων ποσοτήτων χιονιού και χαρακτηρίζονται από απότομη αύξηση της παροχής και οφείλονται κυρίως σε επιφανειακή απορροή. Η διάρκειά τους κυμαίνεται από λίγες ώρες μέχρι μερικές μέρες. Η απότομη αύξηση και οι μεγάλες τιμές των πλημμυρικών παροχών θέτουν σε δοκιμασία τη δυνατότητα διόδευσης των παροχών αυτών από τις υπάρχουσες κοίτες των ποταμών με αποτέλεσμα την πρόκληση καταστροφών. Για το λόγο αυτό η μελέτη των πλημμυρικών απορροών με σκοπό το βέλτιστο σχεδιασμό αντιπλημμυρικών έργων είναι ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια της Υδρολογίας.

Υδρογράφημα πλημμυρικής απορροής είναι το διάγραμμα της παροχής συναρτήσεως του χρόνου που αφορά ένα πλημμυρικό γεγονός.

402

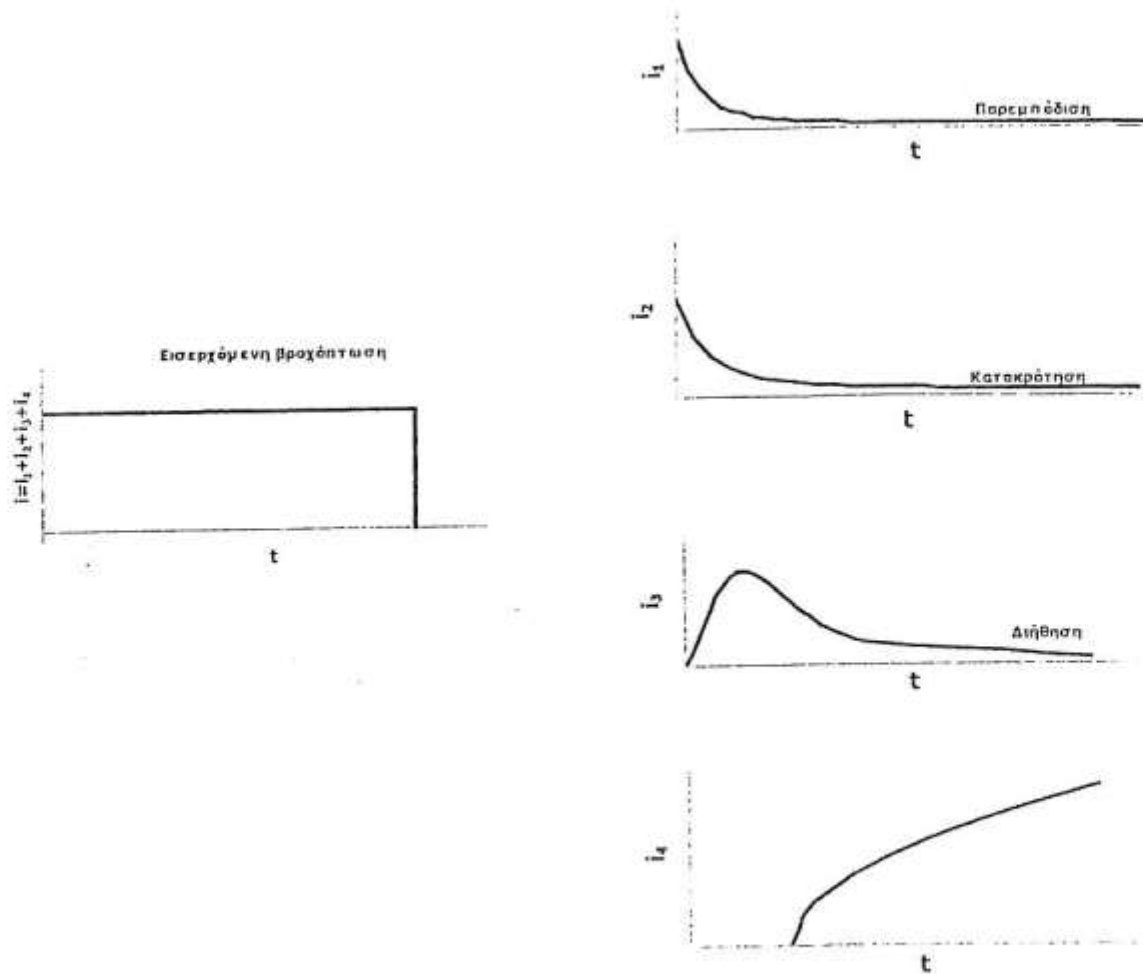


Σχ. 11.1: Όρια πλημμυρών ορισμένης περιόδου επαναφοράς.

Απώλειες βροχής Περίσσειμα βροχόπτωσης

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

Το νερό των κατακρημνισμάτων ακολουθεί διάφορες διαδρομές στην πορεία του προς την επιφάνεια της γης. Αρχικά συναντά επιφάνειες που αναχαιτίζουν την πορεία του, όπως είναι τα δέντρα, τα φυτά, το γρασίδι και οι διάφορες κατασκευές. Το φαινόμενο αυτό λέγεται παρεμπόδιση (interception). Το νερό που υπερβαίνει την ικανότητα παρεμπόδισης αρχίζει να γεμίζει επιφανειακές κοιλότητες (κατακράτηση). Ένα φιλμ νερού σχηματίζεται επίσης στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτό είναι γνωστό ως εδαφική συγκράτηση (surface detention). Μέρος αυτού του νερού εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα, ενώ το υπόλοιπο εισέρχεται και αρχίζει να κινείται μέσα στο έδαφος, δημιουργώντας το φαινόμενο της διήθησης. Στο Σχήμα 4.1, δίνεται μια ποιοτική εικόνα της κατανομής της ποσότητας βροχόπτωσης στα φαινόμενα της παρεμπόδισης, κατακράτησης, διήθησης και επιφανειακής απορροής.



Σχήμα 4.1 Διάκριση της εισερχόμενης βροχόπτωσης σε παρεμπόδιση, κατακράτηση, διήθηση και επιφανειακή απορροή.

4.2 ΔΙΗΘΗΣΗ

Διήθηση (infiltration) είναι η διαδικασία με την οποία το νερό εισχωρεί από την επιφάνεια του εδάφους μέσα σε αυτό. Αν και η έννοια της διήθησης διαφέρει από αυτήν της διείσδυσης (penetration), που αναφέρεται στην κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος, συχνά ο πρώτος όρος περιγράφει και τα δύο φαινόμενα, λόγω της άμεσης συσχέτισής τους.

- Η διήθηση είναι σημαντική υδρολογική συνιστώσα αφού επηρεάζει:
 - – την επιφανειακή απορροή
 - – την εξατμισοδιαπνοή και κατά συνέπεια το βιολογικό κύκλο των φυτών
 - – την επαναφόρτιση των υδροφορέων
 - – τη μεταφορά διαλυμένων ουσιών στο έδαφος

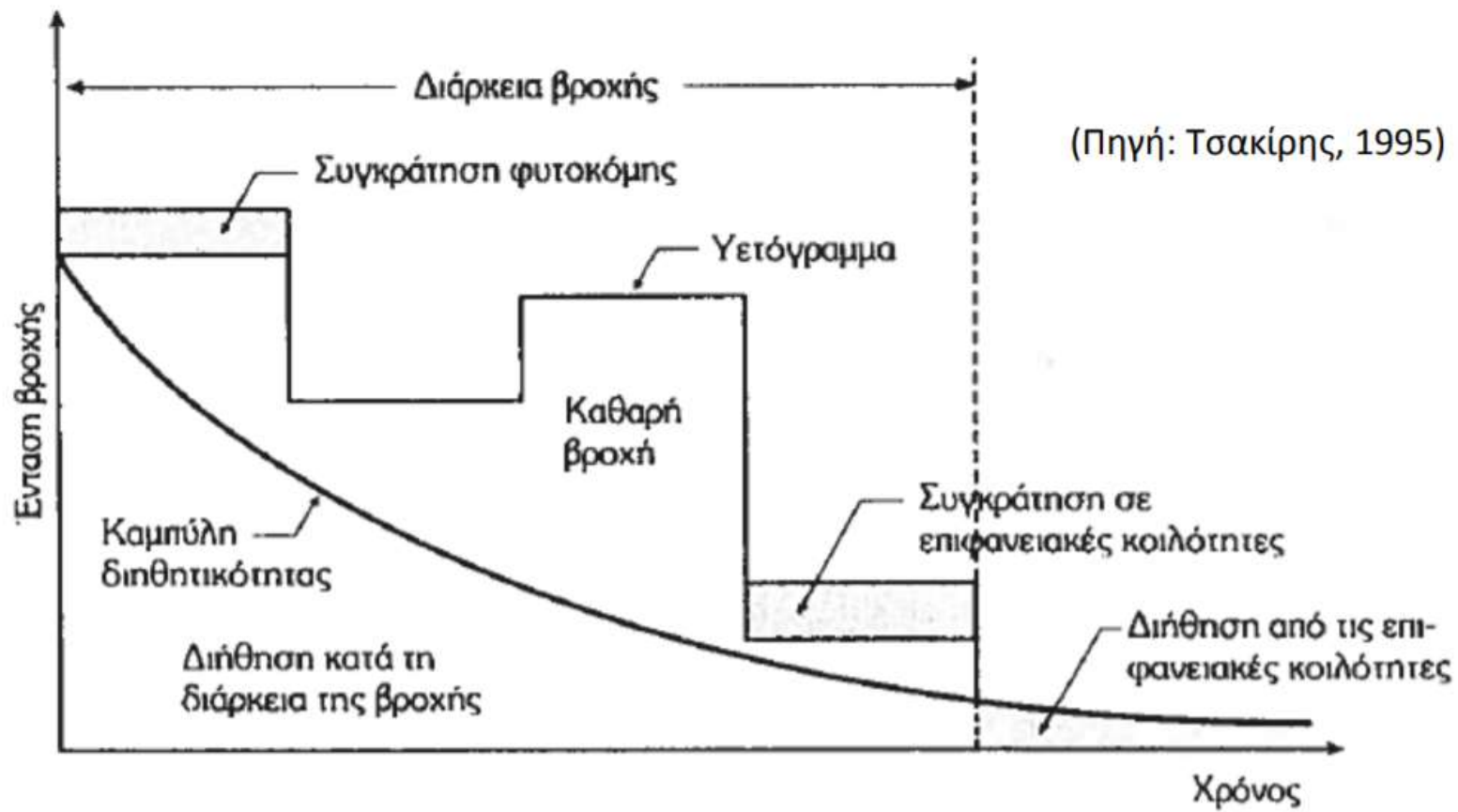


Υπολογισμός απωλειών βροχής

- Οι απώλειες βροχής οφείλονται στην
 - εξάτμιση και διαπνοή
 - συκράτηση από τη βλάστηση και τις κοιλότητες του εδάφους
 - διήθηση

Διηθητικότητα του εδάφους: Ταχύτητα διήθησης του νερού μέσα στο έδαφος

Απώλειες βροχής



Μέθοδοι Εκτίμησης Απωλειών Βροχής

Η εκτίμηση των απωλειών της βροχής είναι συνήθως δύσκολο πρόβλημα που εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης όσο και από τα χαρακτηριστικά της βροχής. Περίσσευμα βροχής (rainfall excess) είναι το τμήμα της βροχής που προκύπτει μετά την αφαίρεση των διαφόρων απωλειών. Εκτός από την αναλυτική εκτίμηση των απωλειών (συγκράτηση και διήθηση) υπάρχει και η ανάγκη αδρομερούς εκτίμησης των συνολικών απωλειών με τρόπο ώστε να μπορούν να συσχετιστούν με την άμεση απορροή. Για το λόγο αυτό προσδιορίζονται διάφοροι δείκτες απωλειών που μπορούν μετά να χρησιμοποιούνται για τη λεκάνη και οποιαδήποτε βροχή για τον προσδιορισμό του περισσεύματος της βροχής. Σύμφωνα με μια προσέγγιση οι συνολικές απώλειες μπορούν αδρομερώς να εκτιμηθούν ως περίπου ίσες με την αθροιστική ποσότητα διήθησης που ακολουθεί το φαινόμενο της βροχής.

Εκτίμηση απωλειών, δείκτης Φ

Δείκτης Φ . Ο δείκτης Φ είναι η μέση ιδεατή σταθερή ένταση βροχής πάνω από την οποία ο επιπλέον όγκος βροχόπτωσης ισούται με τον όγκο της άμεσης απορροής. Προσδιορίζεται από μετρηθέντες όγκους βροχόπτωσης και απορροής μιας λεκάνης και μετράται με τις συνήθεις μονάδες έντασης βροχής (π.χ. mm/h).

Για τον προσδιορισμό του δείκτη Φ λαμβάνεται μια αρχική τιμή του Φ (mm/h) και ελέγχεται αν ο επιπλέον όγκος βροχόπτωσης που προκύπτει είναι ίσος με αυτόν της άμεσης απορροής που μετρήθηκε από τη λεκάνη. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με άλλη τιμή του Φ μέχρι να γίνουν ίσοι οι όγκοι της άμεσης απορροής με το περίσσειμα της βροχής.

Ο δείκτης Φ περιλαμβάνει εκτός από την ποσότητα διήθησης και όλες τις άλλες απώλειες και κατά προσέγγιση εκφράζει τις ανά μονάδα χρόνου απώλειες της βροχόπτωσης.

Υπολογισμός του συντελεστή απορροής

$$\int_T Q_D \cdot dt = \int_T (Q - Q_B) dt$$

$$\int_T Q_D \cdot dt = A \cdot \int_T I_{eff} \cdot dt$$

$$\int_T I_V \cdot dt = \int_T (I - I_{eff}) dt$$

$$C = \frac{\int_T Q_D \cdot dt}{A \cdot \int_T I dt}$$

Q_D : άμεση απορροή [L^3/T]

Q : ολική απορροή [L^3/T]

Q_B : βασική απορροή [L^3/T]

I : ένταση της ολικής βροχόπτωσης [L/T]

I_{eff} : ένταση του περιβεύματος βροχόπτωσης [L/T]

I_V : ένταση απωλειών βροχής [L/T]

A : επιφάνεια λεκάνης απορροής [L^2]

C : συντελεστής απορροής [-]

[L] : μονάδα μήκους

[T] : μονάδα χρόνου

4.2.3 Υπολογισμός του περισσέυματος βροχόπτωσης με τη μέθοδο της SCS

Η Soil Conservation Service των Η.Π.Α. (SCS 1972) ανέπτυξε μια μέθοδο για τον υπολογισμό του περισσέυματος βροχής η οποία χρησιμοποιείται αρκετά τα τελευταία χρόνια από τους Υδρολόγους μηχανικούς, κυρίως σε εμπορικά λογισμικά προγράμματα βροχόπτωσης – απορροής. Στη μέθοδο αυτή ο υπολογισμός γίνεται από δεδομένη βροχή με τη βοήθεια του ύψους βροχής, της αρχικής κατάστασης υγρασίας και των υδρολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης ήτοι γεωμορφολογία, λιθολογία, βλάστηση, τα οποία συμπεριλαμβάνονται σε κάποιο δείκτη που ονομάζεται **αριθμός καμπύλης απορροής CN** (Curve number).

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή το ύψος του περισσέυματος βροχής ή άμεση απορροή h_R είναι μικρότερη ή ίση με το ύψος της βροχόπτωσης h_r αντίστοιχα, αφού αρχίσει η βροχή, το επιπρόσθετο βάθος νερού που κατακρατείται στη λεκάνη απορροής F_a είναι ίσο ή μικρότερο του μέγιστου θεωρητικής ύψους απωλειών S (Σχήμα 4.3). Έως κάποιο ύψος βροχόπτωσης (αρχική συγκράτηση) I_a , δεν υπάρχει απορροή. Έτσι η υποθετική εν

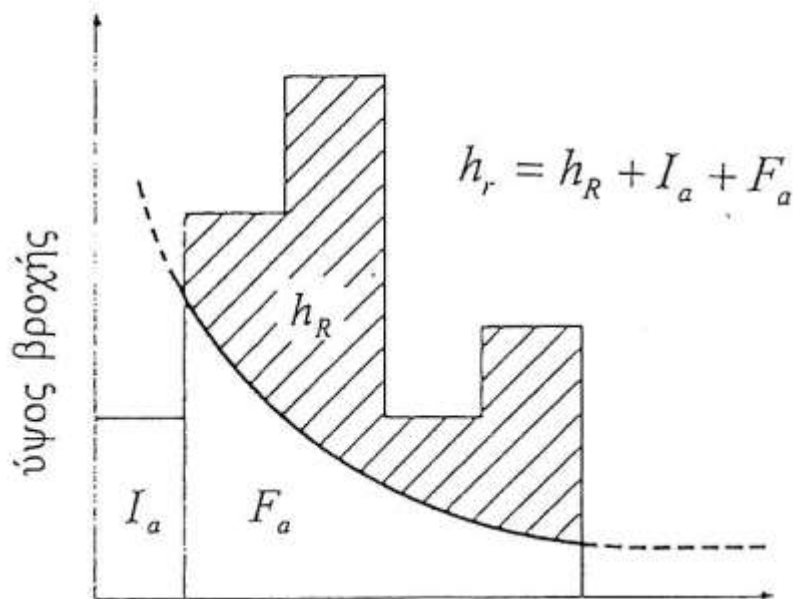
Μπέλλος, 2014

δυνάμει απορροή είναι $h_r - I_a$. Η υπόθεση της SCS είναι ότι η αναλογία των δύο πραγματικών με των δύο θεωρητικών εν δυνάμει ποσοτήτων είναι :

$$\frac{F_a}{S} = \frac{h_R}{h_r - I_a} \quad (4.13)$$

σύμφωνα με την διατήρηση της συνέχειας (Σχ. 4.3) :

$$h_r = h_R + I_a + F_a \quad (4.14)$$



Σχ. 4.3 Σχηματική παράσταση των απωλειών βροχής

Από το συνδυασμό των εξισώσεων 4.13, 4.14 προκύπτει :

$$h_R = \frac{(h_r - I_a)^2}{h_r - I_a + S} \quad (4.15)$$

Η Εξ. 4.15 είναι η εξίσωση υπολογισμού του ύψους περισσέυματος βροχής. Από τα αποτελέσματα σε πολλές πειραματικές λεκάνες απορροής προέκυψε η εμπειρική σχέση :

$$\underline{I_a = 0,2S} \quad (\text{όχι πανάκεια}) \quad (4.16)$$

Η Εξ. 4.15 μετασχηματίζεται :

$$\boxed{h_R = \frac{(h_r - 0.2S)^2}{h_r + 0.8S}} \quad S \leq S_{max} \quad (4.17)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{mm}) \quad (4.18)$$

όπου CN είναι ο αριθμός καμπύλης που προσδιορίζεται με τη βοήθεια πινάκων ως συνάρτηση των χρήσεων γης, της υδρολογικής ομάδας εδάφους και των συνθηκών εδαφικής υγρασίας ($0 < CN < 100$).

Στον Πίνακα 6 του παραρτήματος δίδονται οι τιμές του αριθμού καμπύλης CN για διάφορους τύπους εδαφών.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ

Προσοχή στις μονάδες mm

Μέθοδος της SCS
Αριθμός καμπύλης CN

Εξαρτάται από:

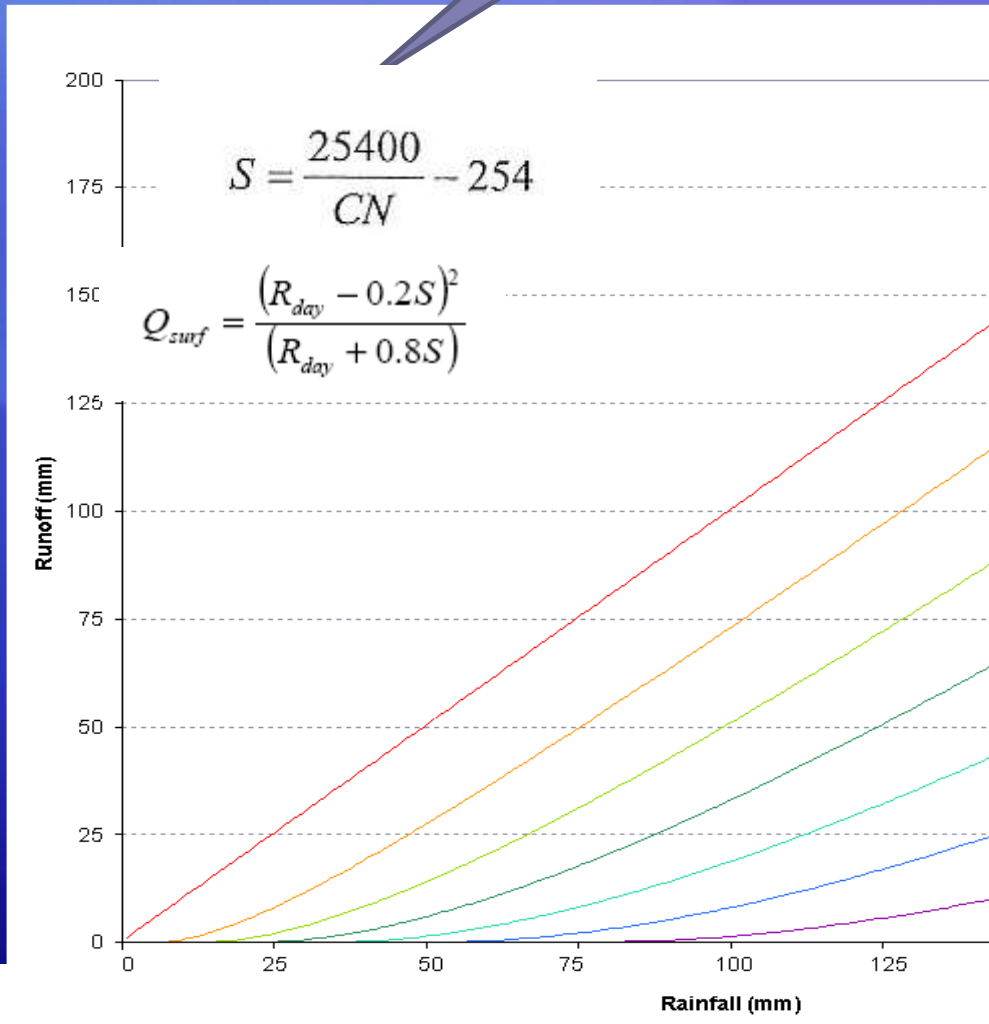
- Εδαφική Διαπερατότητα
- Εδαφοκάλυψη
- Συνθήκες Υγρασίας

SCS: Soil Conservation Service

S: max κατακράτηση εδάφους

Qsurf: επιφανειακή απορροή

Rday: βροχόπτωση



ΑΡΙΘΜΟΙ ΚΑΜΠΥΛΗΣ CN (αδιάστατοι)

Χρήση γης	Υδρολογική Κατάσταση	Κατηγορία εδάφους			
		A	B	C	D
Καλλιέργειες	Φτωχή	72	81	88	91
	Μέτρια	67	76	83	86
	Καλή	62	71	78	81
Βοσκότοπος	Φτωχή	68	79	86	89
	Μέτρια	49	69	79	84
	Καλή	39	61	74	80
Δάσος	Φτωχή	45	66	77	83
	Μέτρια	36	60	73	79
	Καλή	25	55	70	77
Δρόμος (χώμα)	-	72	82	87	89
Δρόμος (σκληρή επιφάνεια)	-	74	84	90	92

Μέθοδος CN της SCS

- Δε υπάρχουν ταυτόχρονες παρατηρήσεις
- Μέθοδος Soil Conservation Service των U.S
- Αρχική συγκράτηση νερού (I_a)= 20% μέγιστης ικανότητας συγκράτησης εδάφους (S)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (mm)$$

CN Αποροικός συντελεστής

- Πρέπει $CN > 40$
- Ύψος άμεσης απορροής = ύψος άμεσης απορροή:

$$P_e = \begin{cases} \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} & , P > 0.2S \\ 0, & P \leq 0.2S \end{cases}$$

Εφαρμογή:

Έστω πλημμυρικό επεισόδιο με συνολικό ύψος βροχής 9.4 cm. Έστω CN=78 (αδιάστατος αριθμός χαρακτηρίζει τις συνθήκες εδαφικής υγρασίας, υδρολογική ομάδα εδάφους, χρήσεις γης, γενικά με βάση πίνακες από τη βιβλιογραφία). Να προσδιοριστεί το περίσσειμα βροχής (αθροιστικό ύψος βροχής για άμεση απορροή, η SCS μέθοδος δουλεύει μόνο με αθροιστικά ύψη βροχής).

Λύση:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (mm)$$

$$S = \frac{25400}{78} - 254(mm) = \left(\frac{25400}{78} \cdot \frac{1}{10} - 254 \cdot \frac{1}{10} (cm) \right) =$$

$$\frac{2540}{78} - 25.4(cm) = 7.16cm$$

Επομένως το περίσσειμα βροχής (για άμεση απορροή) θα είναι:

$$P_e = \begin{cases} \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} & , P > 0.2S \\ 0, & P \leq 0.2S \end{cases} , \text{δηλαδή:}$$

Έλεγχος:

$$P = 9.4 \text{ cm} > 0.2 \cdot 7.16 \text{ cm},$$

άρα πράγματι θα υπάρχει άμεση απορροή από το πλημμυρικό γεγονός συνολικού ύψους:

$$\frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} = (\text{προσοχή ίδιες μονάδες}) = \frac{(9.4 - 0.2 \cdot 7.16)^2}{(9.4 + 0.8 \cdot 7.16)} = 4.2cm$$

Χρόνος συγκέντρωσης υπολεκάνης

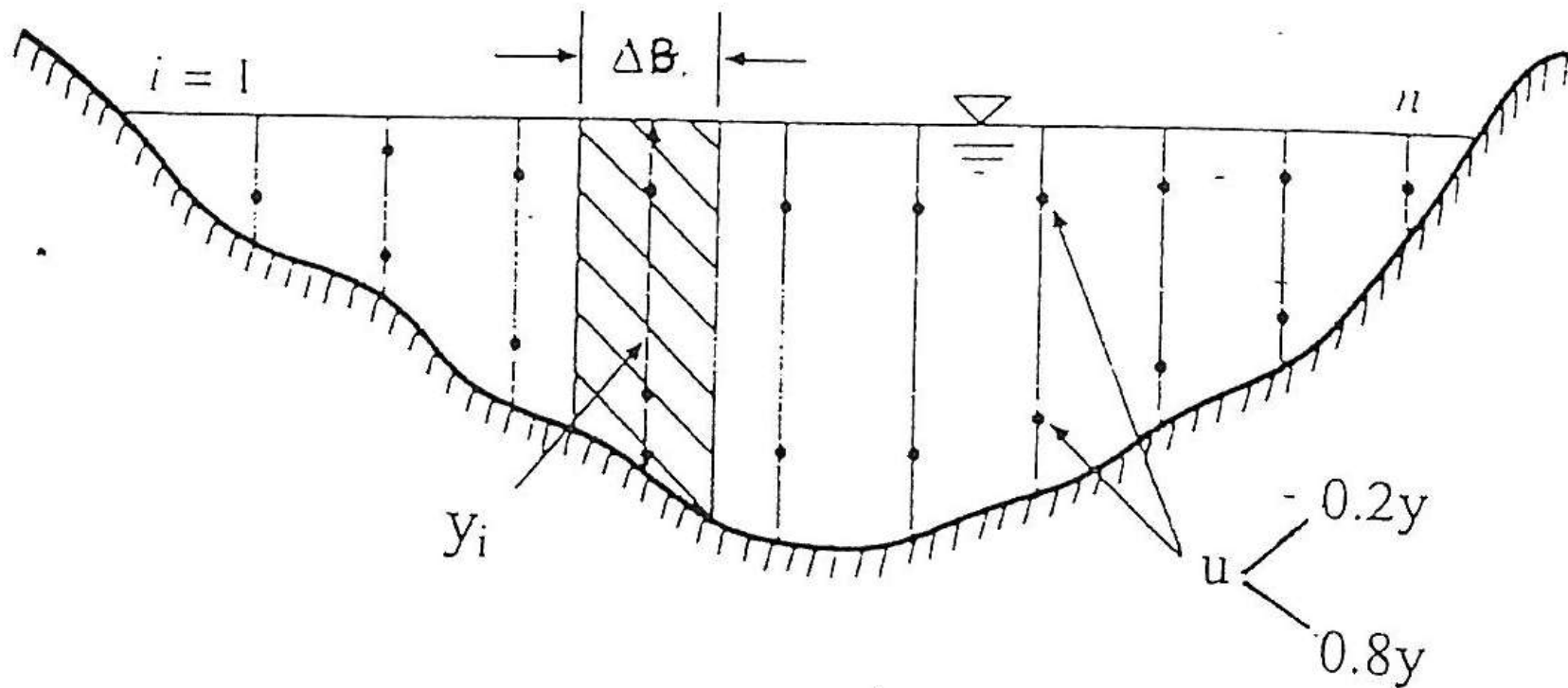
- Εντός της υπολεκάνης απορροής γίνεται η διάκριση στους παρακάτω διαδοχικούς χρόνους:
 - Κίνηση νερού σε επιφάνειες, εμπειρικές εξισώσεις.
 - Κίνηση νερού σε μη ικανοποιητικά διαμορφωμένη κοίτη, υπόθεση ρηχής ροής, χρήση μεθόδων της Υδραυλικής π.χ. Εξίσωση Manning
 - Κίνηση νερού σε ικανοποιητικά διαμορφωμένη κοίτη, χρήση μεθόδων της Υδραυλικής π.χ. Εξίσωση Manning

Στην πραγματικότητα ο κλάδος αποτελεί και υδραυλικό φορέα της απορροής της υπολεκάνης που κείται

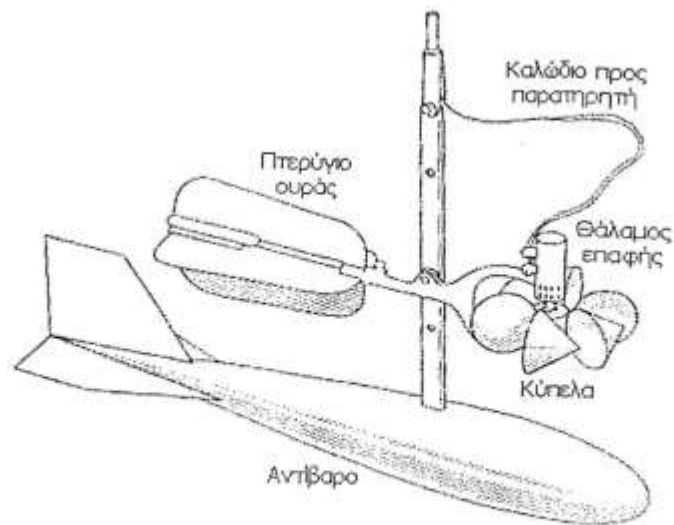
Μέτρηση παροχών

Πρακτικά, για τη μέτρηση της παροχής σε ένα σημείο ενός υδατορρεύματος, εξετάζεται μια διατομή κάθετη με τη διεύθυνση του ρεύματος και σε σημεία που ο πυθμένας και τα πρανή είναι κατά το δυνατόν σταθερά. Η διατομή αυτή διαιρείται σε κατακόρυφες νοητές λωρίδες. Ως μέση ταχύτητα κάθε λωρίδας λαμβάνεται ο μέσος όρος των σημειακών ταχυτήτων σε βάθη $0.2y$ και $0.8y$ μετρούμενα από την επιφάνεια του νερού. Για βάθη νερού μικρότερα του 1 m λαμβάνεται μία σημειακή ταχύτητα σε βάθος $0.6y$ (Σχ. 4.5).

Η συνολική παροχή προκύπτει από την ολοκλήρωση των γινομένων ήτοι $Q = \sum A_i u_i$ όπου A_i και u_i είναι το εμβαδόν κάθε λωρίδας και η μέση ταχύτητα αντίστοιχα.



Σχ. 4.5 Μέτρηση παροχής με ολοκλήρωση στοιχειωδών σημειακών ταχυτήτων



Σχήμα 5.23 Τυπική διάταξη μυλίσκου.

Η ταχύτητα σε κάθε σημείο της κατακόρυφου προκύπτει ως γραμμική συνάρτηση της συχνότητας περιστροφής της έλικας στο σημείο αυτό. Ένα θέμα που προκύπτει σε αυτό το σημείο, είναι σε ποιο βάθος πρέπει να βυθιστεί ο μυλίσκος, έτσι ώστε η σημειακή ταχύτητα u_i που θα μετρηθεί, να είναι αντιπροσωπευτική για τη συγκεκριμένη κατακόρυφο και άρα για το αντίστοιχο τμήμα και διαστομή, αφού είναι γνωστό ότι η τιμή της ταχύτητας αυξάνεται με την απόσταση από το οριακό στρώμα. Σύμφωνα με το λογαριθμικό νόμο, προκύπτει ότι η μετρούμενη σημειακή ταχύτητα, είναι πιο αντιπροσωπευτική της μέσης, σε απόσταση από την επιφάνεια ίση με το 60% του ύψους. Συνεπώς, αν λαμβάνεται μόνο μια μέτρηση σε κάθε κατακόρυφο, ο μυλίσκος βυθίζεται σε βάθος ίσο με το 60% του συνολικού. Στην πράξη, για μεγάλα βάθη υδατορεύματος, είναι επιθυμητό να παίρνονται περισσότερες της μιας μετρήσεις σε κάθε κατακόρυφο, συνήθως δύο. Αυτές λαμβάνονται σε απόσταση από την επιφάνεια ίση με το 20% και 80% του βάθους αντίστοιχα. Η δε μέση ταχύτητα σε κάθε κατακόρυφο (και άρα σε κάθε τμήμα), προσεγγίζεται ικανοποιητικά από το μέσο όρο αυτών των δύο τιμών και δίνεται από την εξίσωση:

$$v_l = \frac{u_{0.2} + u_{0.8}}{2} \quad (5.14)$$

Καμπύλη Στάθμης-Παροχής

Πειραματική καμπύλη Στάθμης-Παροχής

Με την ταυτόχρονη μέτρηση στάθμης και παροχής σε ένα υδατόρευμα προκύπτουν ζεύγη σημείων στάθμης-παροχής ($H - Q$), που αναφέρονται σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο μετρήσεων. Τα ζεύγη αυτά παράγουν μια πειραματική καμπύλη, που είναι η καμπύλη στάθμης παροχής.

Η πειραματική καμπύλη $H - Q$ λόγω της μεγάλης διασποράς των μετρήσεων προσεγγίζεται με μια αναλυτική σχέση εκθετικού ή παραβολικού τύπου:

$$Q = a(H - H_0)^b \quad \text{ή} \tag{5.1}$$

$$Q = a + b(H - H_0) + c(H - H_0)^2$$

Οι παράμετροι a , b και c προσδιορίζονται με βάση τα πειραματικά ζεύγη σημείων (Q , H) με μια από τις γνωστές μεθόδους βέλτιστης προσαρμογής. Η τιμή H_0 αποτελεί το απόλυτο υψόμετρο σε m που έχει μηδενική παροχή, ενώ H είναι το απόλυτο υψόμετρο της παρατηρούμενης ένδειξης της στάθμης στη σταθμημετρική κλίμακα, επίσης σε m . Ως ένδειξη αξιοπιστίας της καμπύλης στάθμης παροχής χρησιμοποιείται η τυπική απόκλιση $\hat{\sigma}$ και το οριζόμενο διάστημα εμπιστοσύνης συνολικού εύρους $2 \cdot \hat{\sigma}$ που περιβάλλει τα πειραματικά σημεία.

Προσοχή, εφαρμόζω
γραμμική
παλινδρόμηση σε
τιμές λογαρίθμων

$$Q = \alpha(H - H_0)^b$$

$$Q = \alpha(H - H_0)^b$$

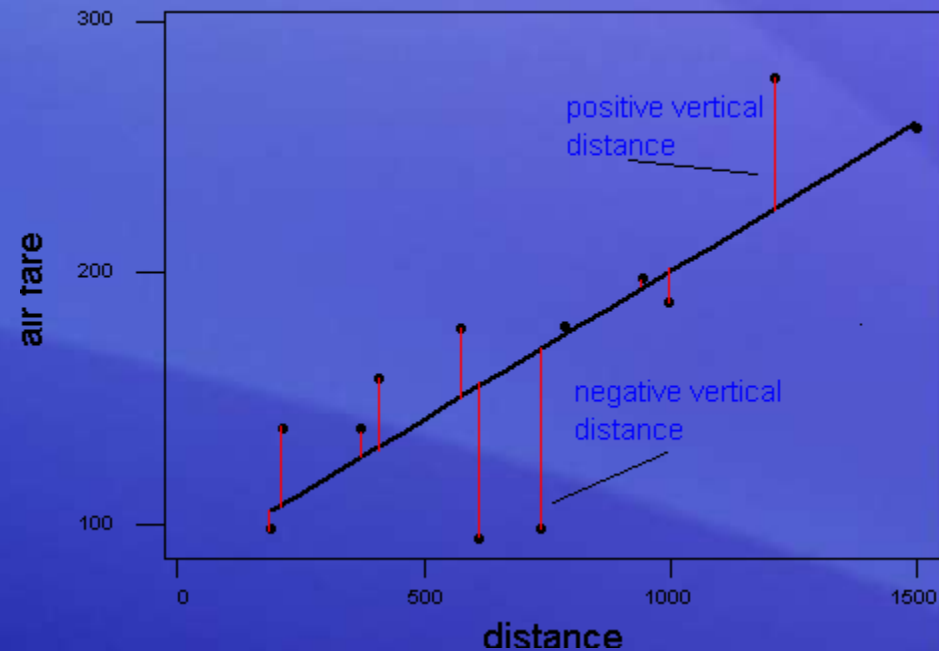
$$\ln Q = \ln\left(\alpha \cdot (H - H_0)^b\right) = \ln \alpha + \ln(H - H_0)^b = \ln \alpha + b \cdot \ln(H - H_0)$$

$$\ln Q = \ln \alpha + b \cdot \ln(H - H_0)$$

y β₀ β₁ x

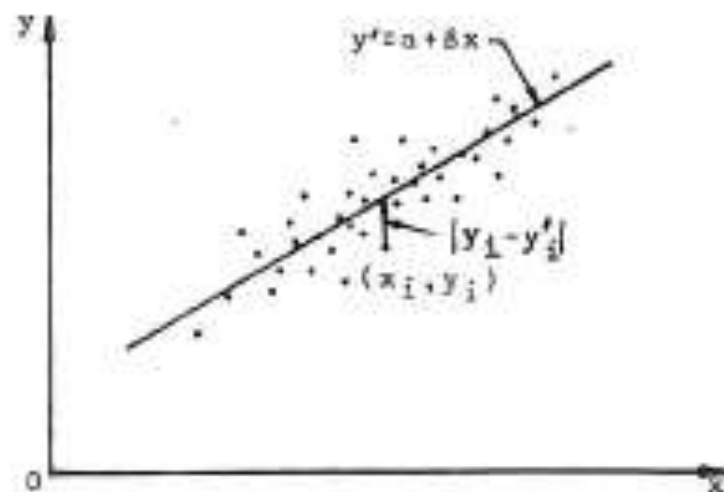
Επιλογή γραμμής παλινδρόμησης

- Σφάλμα κατακόρυφη απόσταση = $(Y - Y')$
 - Θετικό ή αρνητικό
- Γραμμή παλινδρόμησης,
 $Y' = \beta_0 + \beta_1 X$,
ώστε
 $\sum(Y - Y')^2$, ελάχιστο



$y'_1 = a + \beta x_1$. Η βέλτιστη γραμμική σχέση είναι εκείνη της οποίας οι παράμετροι a και β ελαχιστοποιούν το άθροισμα των τετραγώνων των λαθών — δηλαδή, ελαχιστοποιούν το

$$\Delta^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - \beta x_i)^2$$



Εικόνα 7.1 Ανάλυση Γραμμικής Παλινδρόμησης Δύο Μεταβλητών

$$\hat{y}_i = a x + b$$

$$y = b_1 x + b_0 \text{ (συμβασιμ.) Τσεϊν)}$$

Η μέθοδος αυτή προσδιορισμού των α και β ονομάζεται μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων. Για την ελαχιστοποίηση της Δ^2 έχουμε:

(εξίσωση χωρίς παραρτηρήσεις)

$$\frac{\partial \Delta^2}{\partial \alpha} = \sum_{i=1}^n 2(y_i - \alpha - \beta x_i)(-1) = 0 \quad \text{όπου} \quad \alpha = b_0$$

$$\frac{\partial \Delta^2}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^n 2(y_i - \alpha - \beta x_i)(-x_i) = 0 \quad \beta = b_1$$

Από τις σχέσεις αυτές προκύπτουν οι εξής εκτιμήσεις για τις παράμετρος α και β :

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{n} \sum y_i - \frac{\hat{\beta}}{n} \sum x_i = \bar{y} - \hat{\beta} \bar{x} \quad (7.2)$$

και

$$\hat{\beta} = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \bar{x}^2} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (7.3)$$

όπου $\sum_{i=1}^n$. Η κλίση β ονομάζεται συντελεστής παλινδρόμησης.

Η εξίσωση της ευθείας είναι της μορφής $\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X$ και θα προσδιορισθεί με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή οι παράμετροι β_1 και β_0 δίνονται από τις σχέσεις:

$$\beta_1 = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i) \cdot (\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

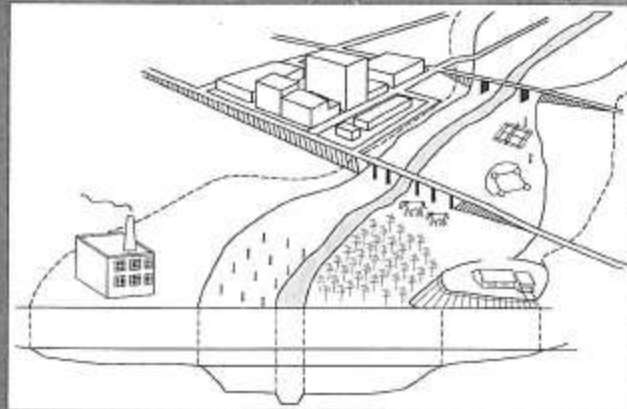
$$\beta_0 = \frac{n \sum y_i - \beta_1 \sum x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Προσοχή, εφαρμόζω
γραμμική
παλινδρόμηση σε
τιμές λογαρίθμων

Γ. ΤΣΑΚΙΡΗΣ - Χ. ΒΑΓΓΕΛΗΣ

ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ:

II. Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας



Εκδόσεις Συμμετρία

Αθήνα 2009

Άσκηση 5.2

Στην έξοδο μιας λεκάνης απορροής έκτασης 24 km^2 είναι εγκατεστημένος σταθμηγράφος. Μετά από ένα γεγονός βροχής διάρκειας 1 h , του οποίου η ένταση ήταν σταθερή και ίση με 12.5 mm/h , ο σταθμηγράφος έδινε στο τέλος κάθε ώρας τις ακόλουθες ενδείξεις:

Πίν. 5.4: Ενδείξεις σταθμυδογράφου

t (h)	H (m)	t (h)	H (m)
Αρχική στάθμη	0.910		
1	1.864	7	1.084
2	2.297	8	1.030
3	2.067	9	0.995
4	1.835	10	0.983
5	1.475	11	0.977
6	1.128	12	0.971

Η καμπύλη στάθμης-παροχής δίνεται από τη σχέση $Q = 14.516 (H - 0.4)^{3/2}$, όπου H η ένδειξη του σταθμηγράφου σε m και Q η παροχή σε m^3/s .

Ζητούνται:

- Οι τιμές της παροχής στο τέλος κάθε ώρας κατά τη διάρκεια των 12 h από την έναρξη της βροχής.
- Η σχεδίαση του υετογράμματος και του αντίστοιχου υδρογραφήματος.
- Ο διαχωρισμός της βασικής απορροής, ο υπολογισμός των τιμών του υδρογραφήματος άμεσης απορροής και ο υπολογισμός του περισεύματος βροχής.
- Ο δείκτης απωλειών Φ της λεκάνης που προκύπτει από το παραπάνω γεγονός βροχής και απορροής.

Θέμα 1^ο (1.5/10)

Στην έξοδο μιας λεκάνης απορροής έκτασης 24 km² είναι εγκατεστημένος σταθμηγράφος. Μετά από ένα νέο πλημμυρικό επεισόδιο ο σταθμός έδειξε τις ακόλουθες ενδείξεις

t (h)	H (m)
0 (αρχική στάθμη)	0.90
1	1.81
2	2.21
3	2.02
4	1.83
5	1.46
6	1.12
7	1.10
8	1.02
9	0.98
10	0.94
11	0.93
12	0.925

Η καμπύλη στάθμης - παροχής δίνεται από τη σχέση:

$$Q = 14(H - 0.39)^{3/2}, \quad (E)$$

όπου H, η ένδειξη του σταθμηγράφου σε m και Q η παροχή σε m³/s.

Ζητείται:

- Οι τιμές της παροχής στο τέλος κάθε ώρας
- Ο διαχωρισμός βασικής και άμεσης απορροής. Πρόκειται για μία αδιαφιλονίκητη υπόθεση?
- Ποιό είναι το περίσσειμα βροχής?
- Να προσδιοριστεί ο δείκτης Φ αν το πλημμυρικό γεγονός αντιστοιχεί σε βροχή 1 h συνολικού ύψους 23 mm.
- Μπορεί η ίδια σχέση καμπύλης παροχής (E) να χρησιμοποιηθεί σε άλλα σημεία του ίδιου φυσικού υδατορεύματος ανάντη ή σε άλλη λεκάνη απορροής?

Εφαρμόζοντας την καμπύλη στάθμης-παροχής για κάθε μια από τις στάθμες που καταγράφηκαν στο τέλος κάθε ώρας προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές παροχής:

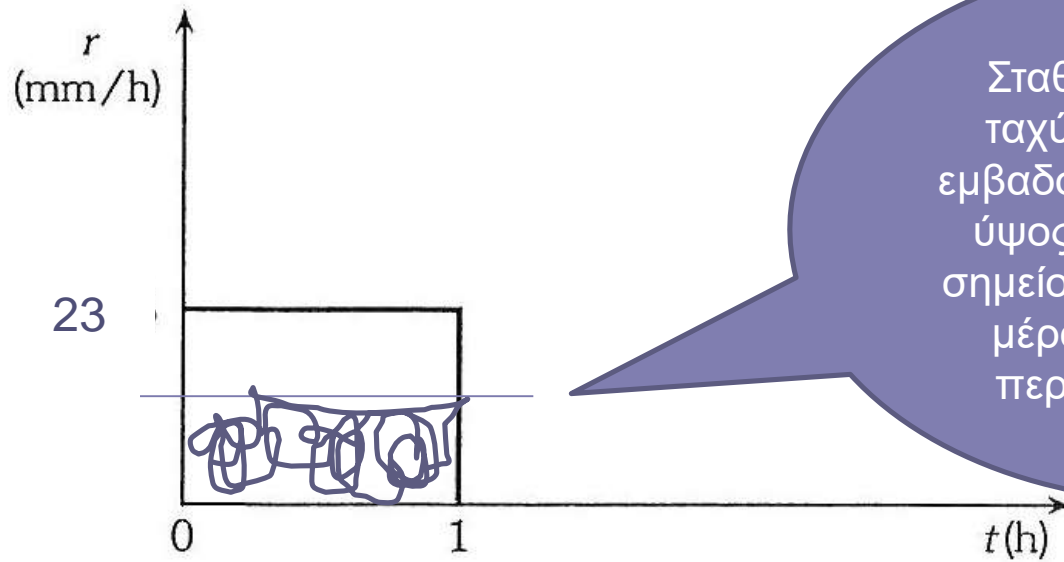
t(h)	h(m)	Q(m ³ /s)
0	0.9	5.09898
1	1.81	23.68975
2	2.21	34.3744
3	2.02	29.13463
4	1.83	24.192
5	1.46	15.49543
6	1.12	8.731972
7	1.1	8.375593
8	1.02	7.000658
9	0.98	6.344626
10	0.94	5.710473
11	0.93	5.555443
12	0.925	5.478463

Με βάση τα δεδομένα

$$Q = 14(H - 0.39)^{3/2} \quad 179.1824$$

β₁) Υετόγραμμα

Η σχεδίαση του υετογράμματος γίνεται με την τοποθέτηση σε διάγραμμα με στήλες της έντασης της βροχής σε σχέση με το χρόνο. Η ένταση θεωρείται σταθερή και ίση με 23 mm/h για διάρκεια βροχής 1 h. Το υετόγραμμα παρουσιάζεται τελικά στο Σχήμα 5.3 που ακολουθεί.



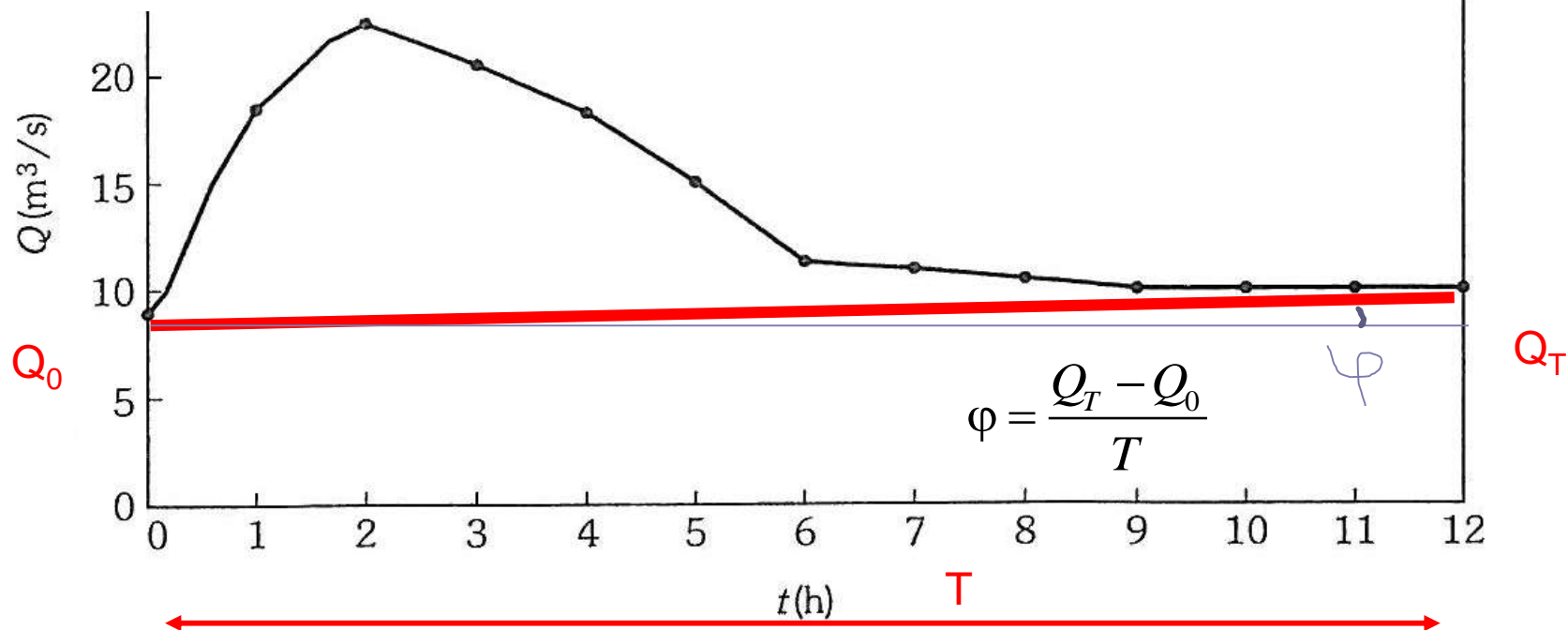
Σταθερή ένταση (δλδ ταχύτητα) βροχής, το εμβαδόν είναι το συνολικό ύψος βροχής (σε κάθε σημείο της λεκάνης). Ένα μέρος αυτού είναι το περίσσειμα βροχής

Σχ. 5.3: Το υετόγραμμα.

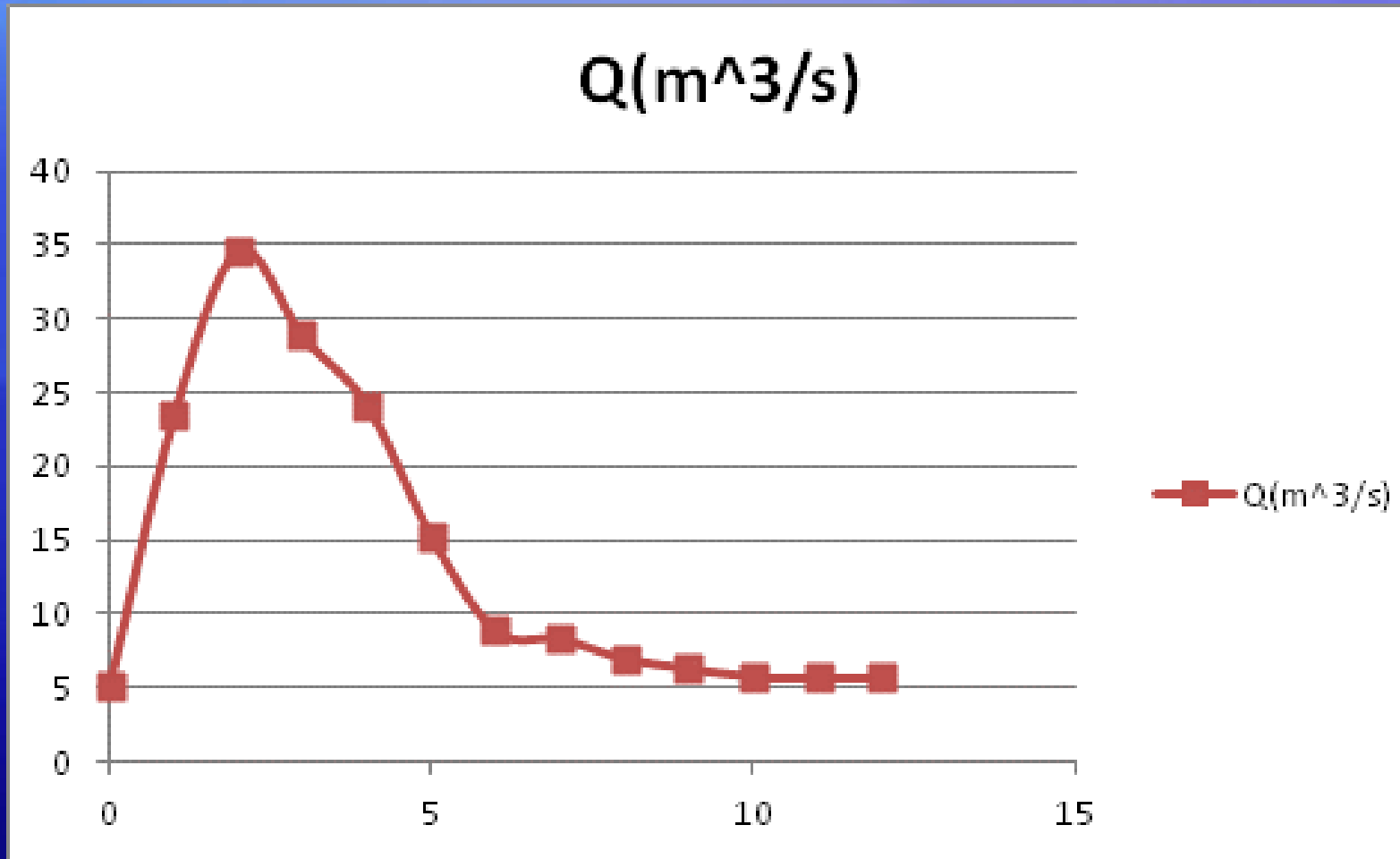
Ανάγκη υπόθεσης για το
διαχωρισμό άμεσης και βασικής
απορροής

Έστω ευθεία που ενώνει αρχικό
και τελικό σημείο (πράγματι είναι
της αυτής τάξης μεγέθους)

Τσακίρης
και
Βαγγέλης,



Σχ. 5.4: Το υδρογράφημα.



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

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

Η εξίσωση αντιστοιχεί ουσιαστικά στην ευθεία που ενώνει την αρχή και το τέλος της άμεσης απορροής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η χρονική βάση του υδρογραφήματος άμεσης απορροής είναι $T = 12$ h. Επίσης η αρχική και τελική παροχή είναι αντίστοιχα:

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

$$B(t) = 5.099 + \frac{5.478 - 5.099}{12} t$$

t(h)	h(m)	Q(m ³ /s)	B (m ³ /s)	R (m ³ /s)
0	0.9	5.09898	5.09898	0
1	1.81	23.68975	5.130603	18.55915
2	2.21	34.3744	5.162227	29.21217
3	2.02	29.13463	5.193851	23.94078
4	1.83	24.192	5.225474	18.96653
5	1.46	15.49543	5.257098	10.23833
6	1.12	8.731972	5.288721	3.443251
7	1.1	8.375593	5.320345	3.055248
8	1.02	7.000658	5.351968	1.64869
9	0.98	6.344626	5.383592	0.961034
10	0.94	5.710473	5.415216	0.295257
11	0.93	5.555443	5.446839	0.108604
12	0.925	5.478463	5.478463	0
Σ		179.1824		110.429

Με δεδομένες τις τιμές της παροχής αλλά και της βασικής απορροής στο τέλος κάθε ώρας, μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές της άμεσης απορροής με βάση την εξίσωση:

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

Οι τιμές της άμεσης απορροής στο τέλος κάθε ώρας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6. Με τον τρόπο αυτό κατασκευάζεται το Υδρογράφημα Άμεσης Απορροής, $R(t)$, περισσεύματος βροχής διάρκειας 1 h.

Το αντίστοιχο περίσσευμα βροχής δίνεται από την εξίσωση:

$$h_R = \frac{0.36 \cdot \Delta t \cdot \sum R_i}{A}$$

Εμβαδόν υδρογραφήματος άμεσης απορροής, μετατροπή σε ύψος διαιρώντας με το εμβαδόν τη λεκάνης προσοχή στις μονάδες

όπου το Δt δίνεται σε h, το R_i σε m^3/s , το A σε km^2 και το h_R προκύπτει σε cm.

$$h_R = \frac{0.36 \cdot \Delta t \cdot \sum R}{A} = \frac{0.36 \cdot 1^{hr} \cdot 110.429^{m^3/s}}{25^{Km^2}} = 1.59 \text{ cm}$$

Επομένως το περίσσευμα βροχής του γεγονότος διάρκειας 1 h είναι $h_R = 7.99$ mm, τιμή που είναι αποδεκτή αφού είναι μικρότερη από το συνολικό ύψος βροχόπτωσης που είναι 12.5 mm.

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

$$\Phi = \frac{h_r - h_R}{t_R}$$

Η «ταχύτητα «χαμένης» βροχής», Φ , θα είναι το ύψος που δεν προορίζεται για άμεση απορροή (χαμένο) προς το χρόνο βροχόπτωσης

όπου τα h_r και h_R δίνονται σε mm, το t_R δίνεται σε h και το Φ προκύπτει σε mm/h.

Αντικαθιστώντας τα δεδομένα στην εξίσωση έχουμε:

$$\Phi = \frac{h_r - h_R}{t_R} = \frac{(23 - 15.90)^{mm}}{1^{hr}}$$

Συνολικό
ύψος
βροχής

Διάρκεια
βροχόπτω
σης

Περίσσευμα βροχής
(από άμεση
απορροή)