

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Μάθημα 6.1: ΑΠΟΡΡΟΗ



Περίγραμμα των Διαλέξεων/ Διδασκαλιών

Ενότητα I: Κύκλος Νερού – Υδρολογικό Ισοζύγιο

Ενότητα II: Τα Κατακρημνίσματα

Ενότητα III: Εξάτμιση και Διαπνοή (Εξατμισοδιαπνοή)

Ενότητα IV: Απορροή

Ενότητα V: Κατακράτηση και διήθηση

Βασικές Έννοιες -I-

Από το νερό που φθάνει
στην επιφάνεια της γης
ως κατακρήμνισμα

Ένα μέρος του συγκρατείται από το φύλλωμα των φυτών.

Η ποσότητα του νερού που συγκρατείται εξαρτάται από: i) το είδος και το ποσοστό της φυτοκάλυψης και ii) τα χαρακτηριστικά του κατακρημνίσματος.

Ένα άλλο μέρος του συγκρατείται από τις εδαφικές κοιλότητες.

Ποσότητα αυτού επιστρέφει μέσω των διαδικασιών της εξάτμισης και της διαπνοής στην ατμόσφαιρα .

Το υπόλοιπο:

Είτε κινείται στην επιφάνεια του (**επιφανειακή απορροή**)

Είτε διηθείται μέσα σ' αυτό.

Ένα μέρος αυτού κινείται πλευρικά, αμέσως κάτω απ' την επιφάνεια του εδάφους, και ξαναεμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους ή τις κοίτες των ρευμάτων (**ενδιάμεση απορροή**).

Το υπόλοιπο εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς από τους οποίους, πάλι κινούμενο πλευρικά, μπορεί να φθάσει στην κοίτη κάποιου ρεύματος ή και διαφύγει απ' τα όρια της υδρολογικής λεκάνης (**βασική απορροή**).

Βασικές Έννοιες -II-

Το νερό που κινείται πάνω και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους με κάποιον απ' τους προαναφερθέντες τρόπους αποτελεί την **απορροή**.

Το μέρος του νερού που κινείται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί την **επιφανειακή απορροή**

$$\text{Επιφανειακή απορροή} + \text{Ενδιάμεση απορροή} = \text{Άμεση απορροή}$$

Το νερό που κινείται υπογείως και συμβάλλει στις κοίτες των ρευμάτων, αποτελεί τη **βασική απορροή**

Λεκάνη Απορροής -I-

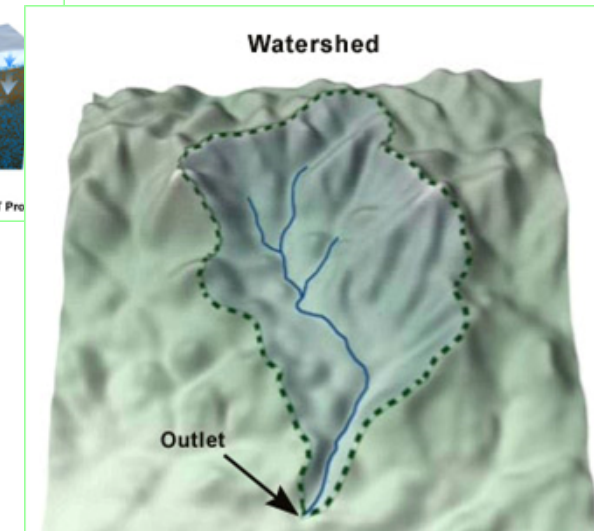
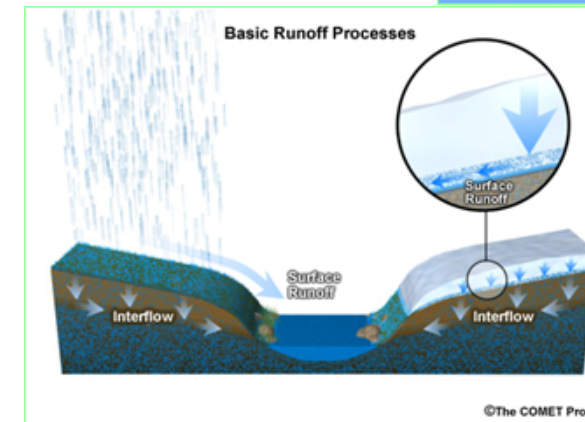
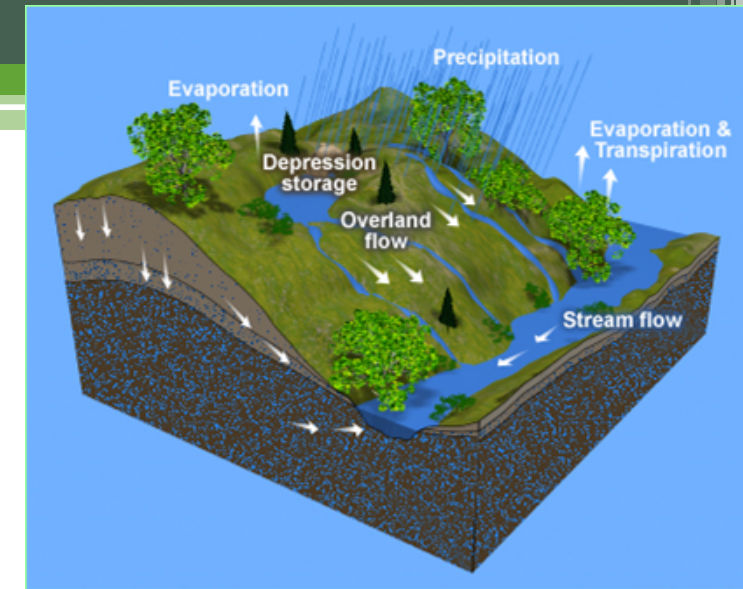
Ορίζεται ως **υδρολογική λεκάνη** η έκταση που συνεισφέρει νερό άμεσης απορροής σ' ένα ρεύμα.

Το όριο που χωρίζει μια υδρολογική λεκάνη απ' τις γειτονικές της λέγεται **υδροκρίτης**.

Ο υδροκρίτης ακολουθεί την κορυφογραμμή γύρω απ' τη λεκάνη και διασταυρώνει το ρεύμα μόνο στο σημείο εξόδου του.

Συχνά, είναι αναγκαίο για πρακτικούς λόγους να χωριστεί μια μεγάλη λεκάνη σε μικρότερες.

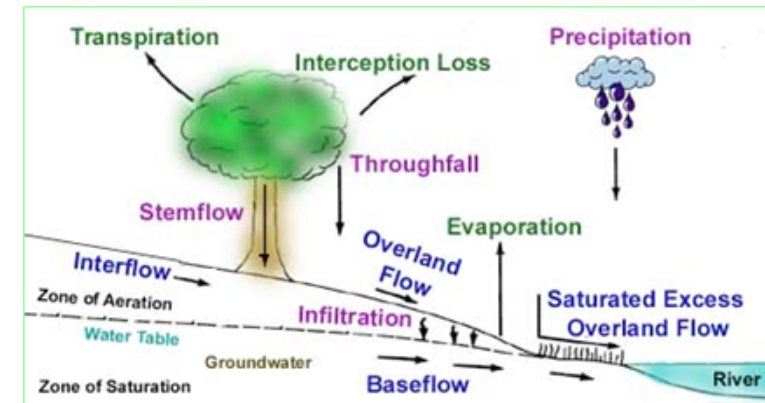
Οι μικρότερες λεκάνες λέγονται **υπολεκάνες** και ορίζονται από εσωτερικούς υδροκρίτες



Λεκάνη Απορροής -II-

Οι υδρολογικές λεκάνες έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά που διαμορφώνουν σε μεγάλο βαθμό την υδρολογική συμπεριφορά τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά σε γενικές γραμμές είναι:

- ➡ Η επιφάνεια απορροής της λεκάνης
- ➡ Η τάξη των ρευμάτων
- ➡ Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου
- ➡ Η υψογραφική καμπύλη
- ➡ Η μηκοτομή του ρεύματος
- ➡ Η μέση κλίση της υδρολογικής λεκάνης
- ➡ Η επιφάνεια των ρευμάτων της υδρολογικής λεκάνης



Λεκάνη Απορροής -III-

➔ Η επιφάνεια απορροής της λεκάνης

Είναι η οριζόντια προβολή της περιοχής που περικλείεται από τον υδροκρίτη. Προσδιορίζεται με εμβαδομέτρηση από τοπογραφικούς χάρτες (μετρείται σε τετραγωνικά χιλιόμετρα)

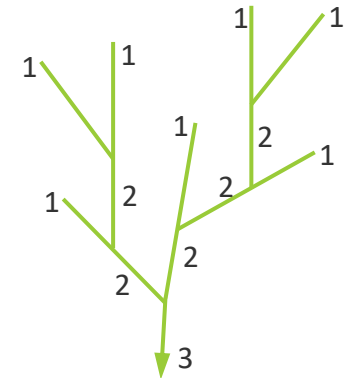
➔ Η τάξη των ρευμάτων

Η τάξη των ρευμάτων είναι ένα χαρακτηριστικό που αντανακλά το βαθμό διακλαδώσεως αυτών μέσα στη λεκάνη.

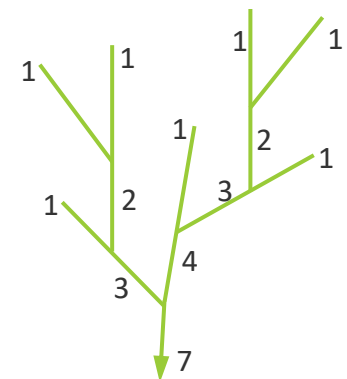
Η τάξη του κύριου ρεύματος δείχνει την έκταση των διακλαδώσεων των ρευμάτων μέσα σε μια υδρολογική λεκάνη.

Ο **Horton** χαρακτηρίζει σαν ρεύματα 1^{ης} τάξεως αυτά που είναι μικρά και δεν έχουν καμία διακλάδωση, σαν 2^{ης} τάξεως αυτά που έχουν κλάδους 1^{ης} τάξεως, σαν 3^{ης} τάξεως αυτά που έχουν κλάδους 2^{ης} τάξεως κ.ο.κ.

Στην κατάταξη κατά **Shreve** τα ρεύματα κάθε φορά αθροίζονται φθάνοντας το τελικό κυρίως ρεύμα να έχει μεγάλο αριθμό τάξης



Η τάξη των ρευμάτων κατά **Horton**



Η τάξη των ρευμάτων κατά **Shreve**

Λεκάνη Απορροής -IV-

➔ Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου

Υπολογίζεται διαιρώντας το συνολικό μήκος των ρευμάτων με την έκταση της λεκάνης:

$$D_d = \frac{\sum L}{A_d} \quad \text{το } L \text{ εκφράζεται σε χιλιόμετρα και το } A_d \text{ σε τετραγωνικά χιλιόμετρα}$$

Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου δείχνει το μήκος που πρέπει να διανύσει το νερό στην επιφάνεια του εδάφους μέχρι να φτάσει σε κάποιο ρεύμα.

- ❖ Μια υδρολογική λεκάνη θεωρείται ότι έχει μικρό συντελεστή υδρογραφικού δικτύου αν $D_d \leq 0.5$,
- ❖ Μια υδρολογική λεκάνη θεωρείται ότι έχει υψηλό συντελεστή υδρογραφικού δικτύου (δηλαδή πολύ καλή αποστράγγιση) αν $D_d \geq 3$.

Λεκάνη Απορροής -V-

Η υψογραφική καμπύλη -I-

Υψογραφική καμπύλη είναι η κατανομή επιφάνειας-υψομέτρου μιας λεκάνης.

Περιγράφει τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα σε κάποιο υψόμετρο και το ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης που έχει υψόμετρο πάνω ή κάτω απ' αυτό.

Κατασκευάζεται με χρήση μεθόδων των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).

- ❖ Αποτελεί σημαντικό οδηγό στο σχεδιασμό και εγκατάσταση του δικτύου υδρομετεωρολογικών σταθμών.
- ❖ Δίνει μια εικόνα της μέσης κλίσεως του εδάφους της λεκάνης και μπορεί να αποτελέσει τη βάση για σύγκριση ανάμεσα σε υδρολογικές λεκάνες.

Ο υπολογισμός του μέσου υψομέτρου της λεκάνης γίνεται με βάση την υψογραφική καμπύλη χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$Z_s = \sum_r \frac{Z_r + Z_{r+1}}{2} \Delta L_r$$

Το πεδίο μεταβολής της υψομετρικής καμπύλης έχει υποδιαιρεθεί σε υποδιαστήματα μήκους ΔL_r και οι τιμές του Z που αντιστοιχούν στα άκρα του υποδιαστήματος ΔL_r είναι Z_r και Z_{r+1} .

Λεκάνη Απορροής -VI-

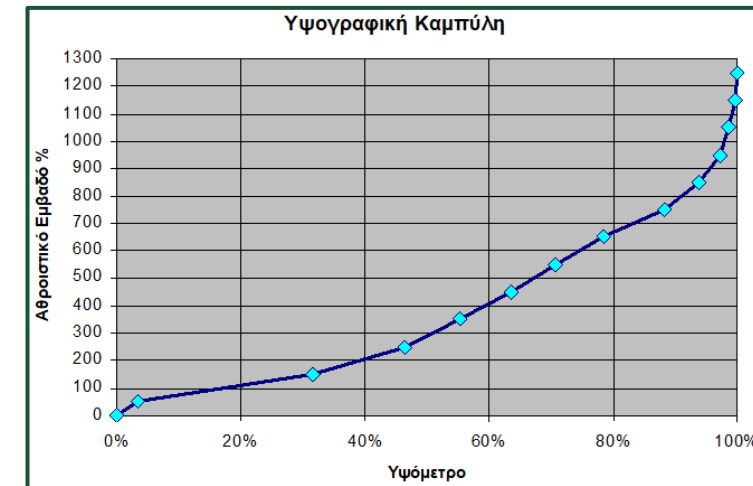
➡ Η υψογραφική καμπύλη -II-

- ❖ Μετράμε το εμβαδόν της επιφάνειας μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋψών
- ❖ Μετατρέπουμε αυτό το εμβαδόν σε ποσοστό επί της συνολικής επιφάνειας
- ❖ Για όλες τις τιμές ισοϋψών βρίσκουμε το αθροιστικό επί τοις εκατό ποσοστό
- ❖ Προβάλουμε τα ζεύγη τιμών (ζεύγος ισοϋψών, αντίστοιχο αθροιστικό εμβαδό %) σε κοινό σύστημα ορθογωνίων αξόνων
- ❖ Η γραμμή που ενώνει τα σημεία αυτά αποτελεί την υψογραφική καμπύλη

Υπενθυμίζεται:

- Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων εξαρτάται από το απόλυτο υψόμετρο
- Η κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων σε μια περιοχή εξαρτάται από την κατανομή της επιφάνειας στα διάφορα υψόμετρα

Ισοϋψείς	Επιφάνεια μεταξύ διαδοχικών ισοϋψών (α)	Εμβαδό %	Αθρ. Εμβαδό %
			0
0-100	1,9	3,38%	3,38%
100-200	15,85	28,20%	31,58%
200-300	8,4	14,95%	46,53%
300-400	5	8,90%	55,43%
400-500	4,65	8,27%	63,70%
500-600	3,95	7,03%	70,73%
600-700	4,37	7,78%	78,51%
700-800	5,5	9,79%	88,29%
800-900	3,15	5,60%	93,90%
900-1000	1,9	3,38%	97,28%
1000-1100	0,73	1,30%	98,58%
1100-1200	0,68	1,21%	99,79%
1200-1300	0,12	0,21%	100,00%
Ε	56,2	100,00%	



Λεκάνη Απορροής -VII-

Η μηκοτομή του ρεύματος

Μηκοτομή του ρεύματος είναι η κατά μήκος τομή του κυρίως ρεύματος της υδρολογικής λεκάνης.

Η κλίση του κύριου ρεύματος μπορεί να υπολογιστεί διαιρώντας την υψομετρική διαφορά ανάμεσα στο χαμηλότερο και υψηλότερο σημείο του ρεύματος με το ολικό μήκος του.

Η κλίση αυτή κατά κανόνα δεν είναι πολύ αντιπροσωπευτική.

Περισσότερο ρεαλιστική είναι η κλίση που προκύπτει όταν, με βάση την κατά μήκος τομή, το ρεύμα χωρισθεί σε περισσότερα από ένα τμήματα με ομοιόμορφη κλίση.

Λεκάνη Απορροής -VIII-

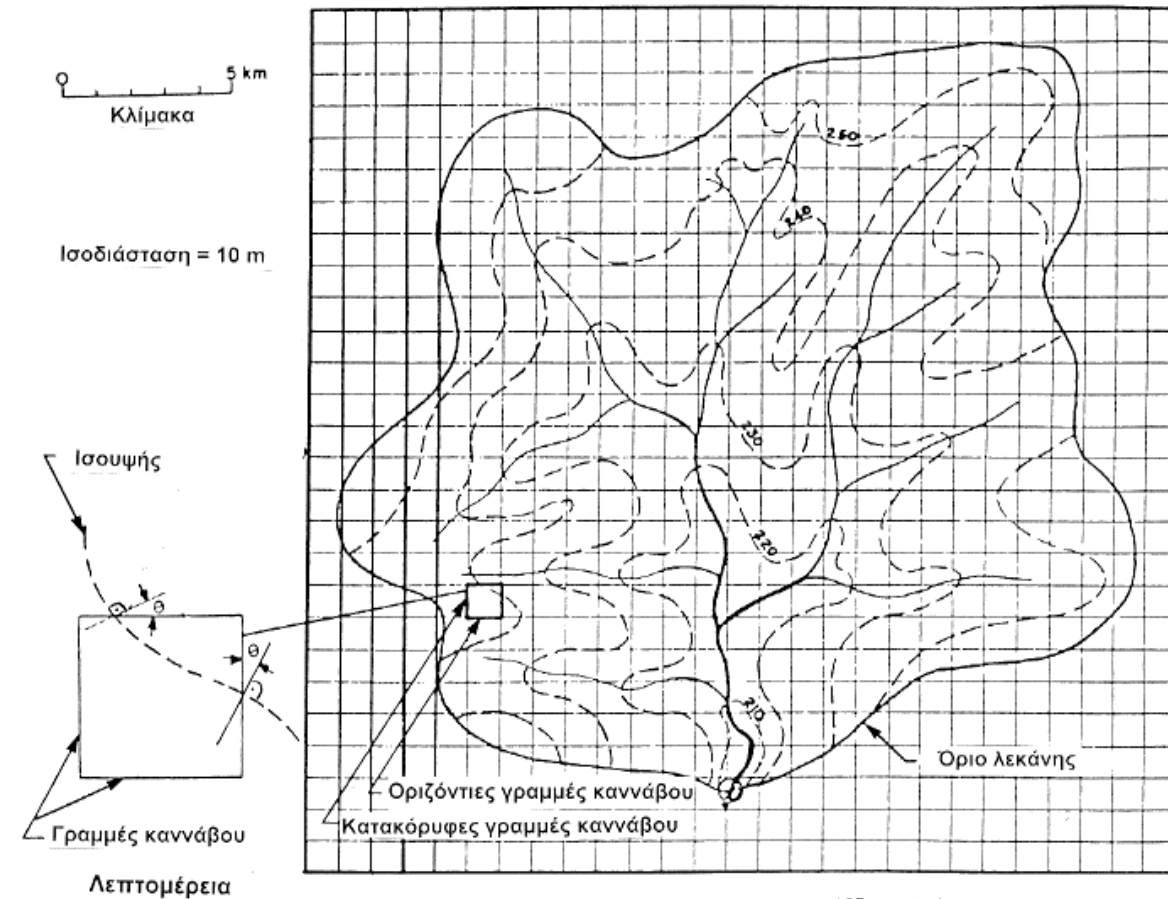
➔ Η μέση κλίση της υδρολογικής λεκάνης

Τοποθετούμαι ένα κάνναβο πάνω στο χάρτη της υδρολογικής λεκάνης.

Στη συνέχεια βρίσκεται ο αριθμός των ισοϋψών καμπυλών που τέμνει κάθε γραμμή του καννάβου προς μια κατεύθυνση (οριζόντια, κάθετη) και ο αριθμός που βρίσκεται διαιρείται με το συνολικό μήκος των γραμμών προς την κατεύθυνση αυτή.

Αν h είναι η ισοδιάσταση των ισοϋψών, N είναι ο αριθμός των διασταυρώσεων των ισοϋψών με τις γραμμές του καννάβου προς τη μια κατεύθυνση και L είναι το μήκος όλων των γραμμών προς την κατεύθυνση αυτή, η κλίση S δίνεται από τη σχέση:

$$S = \frac{hN}{L}$$



Λεκάνη Απορροής -IX-

Η επιφάνεια των ρευμάτων της υδρολογικής λεκάνης

Ο υπολογισμός της επιφάνειας των ρευμάτων μιας υδρολογικής λεκάνης είναι πολύ δύσκολος και γι' γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

Αν το πλάτος του κύριου ρεύματος στην έξοδο της λεκάνης ή το πλάτος ενός οποιουδήποτε ρεύματος στο σημείο της συμβολής του με ρεύμα ανώτερης τάξεως είναι **b** και το πλάτος στην αρχή των ρευμάτων είναι πρακτικά μηδέν, τότε η υγρή επιφάνεια **A_w** κάθε ρεύματος μπορεί να εκτιμηθεί με μια σχέση της μορφής:

$$A_w = \frac{bL}{2}$$

όπου **L** είναι το μήκος του ρεύματος.

Έχει παρατηρηθεί ότι στην πλειονότητα των υδρολογικών λεκανών, η συνολική επιφάνεια των ρευμάτων δεν ξεπερνά σε ποσοστό το 5% της εκτάσεως τους.

Υδρογραφήματα (Βασικές Γνώσεις) -I-

Ορίζουμε **παροχή** ενός **υδατορεύματος** σε μία συγκεκριμένη θέση, τη μεταβολή της ποσότητας του νερού στη μονάδα του χρόνου (m^3/sec).

Υδρογράφημα: Η μεταβολή της παροχής ενός ρεύματος (είναι προϊόν της απορροής της υδρολογικής λεκάνης του) σε σχέση με το χρόνο.

Οι βασικές συνιστώσες ενός υδρογραφήματος είναι:

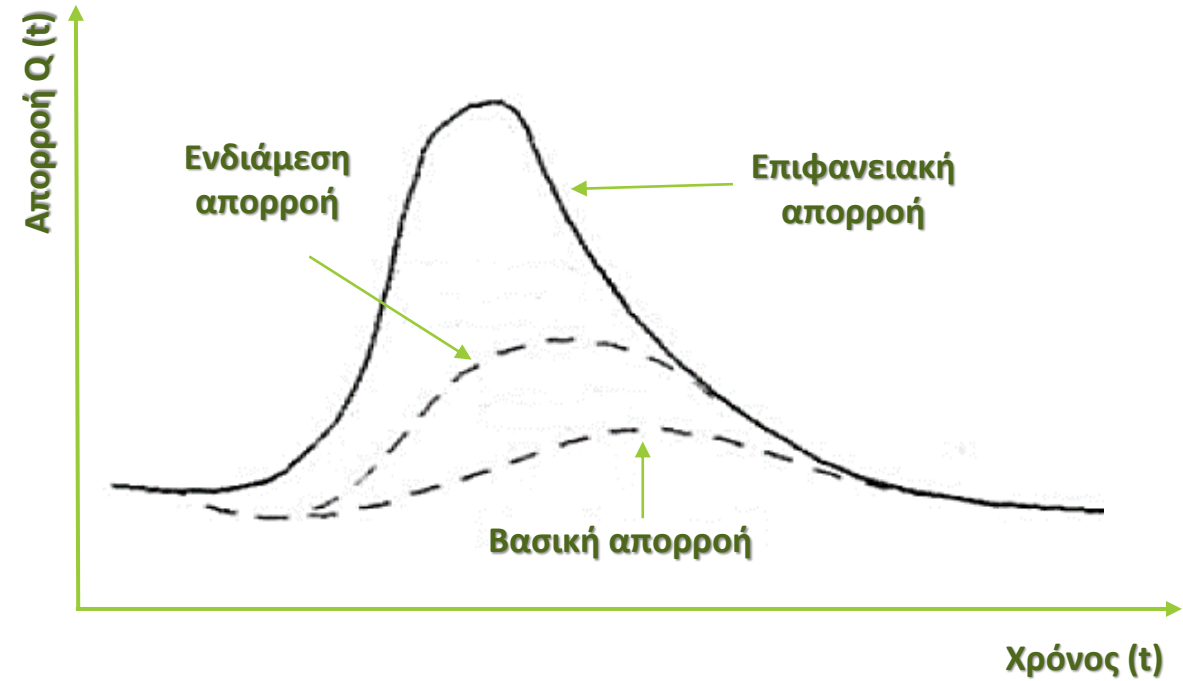
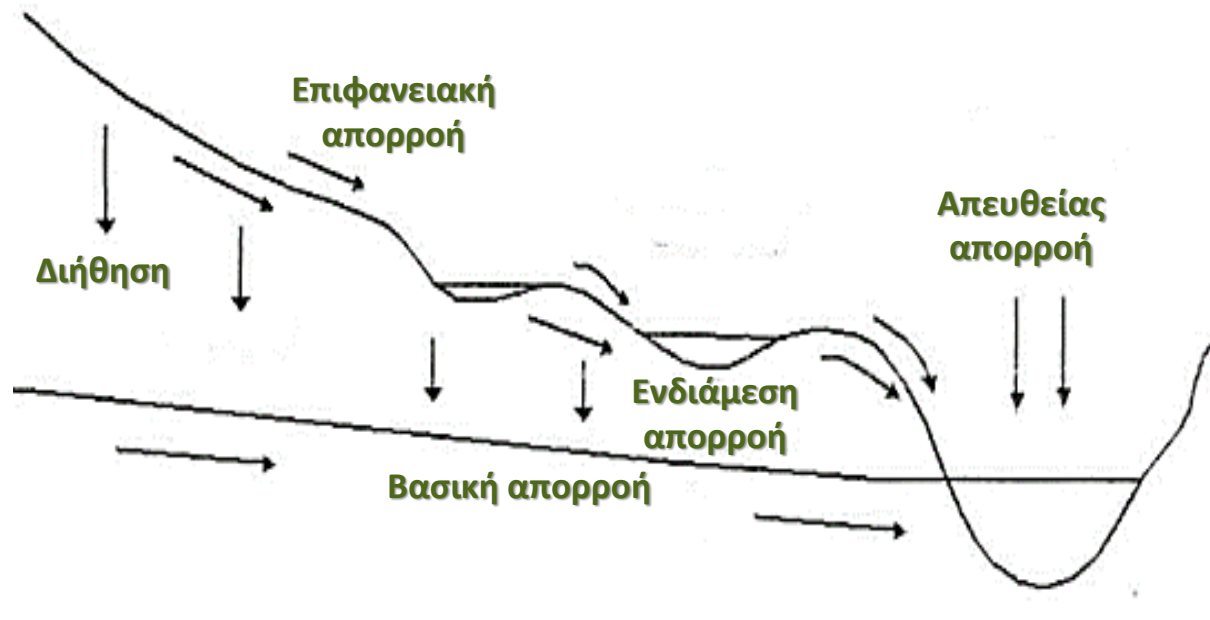
η επιφανειακή απορροή (το μέρος του νερού που κινείται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους)

η ενδιάμεση απορροή (το μέρος του νερού που κινείται πλευρικά κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη και εμφανίζεται μετά από κάποια απόσταση πάλι στην επιφάνεια ή απευθείας στην κοίτη του ρεύματος)

η βασική απορροή (Το μέρος του νερού που κινείται υπογείως και συμβάλλει στις κοίτες των ρευμάτων)

η άμεση απορροή

Υδρογραφήματα (Βασικές Γνώσεις) -II-



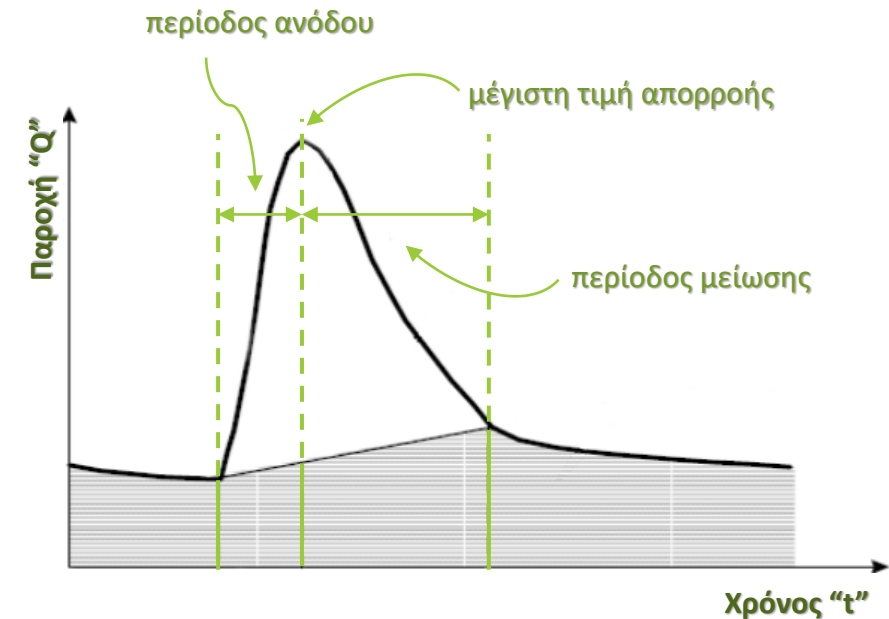
Ανάλυση της απορροής στις τρεις βασικές συνιστώσες της (Επιφανειακή, Ενδιάμεση και Βασική Απορροή)

Τα χαρακτηριστικά ενός υδρογραφήματος -I-

Το **σχήμα ενός υδρογραφήματος**, που προκαλείται από μια βροχή με σχετικά μικρή διάρκεια και καλύπτει όλη την υδρολογική λεκάνη, ακολουθεί κατά κανόνα ένα γενικό πρότυπο (μοτίβο).

Μορφή γενικού προτύπου:

- ❖ είναι κωδωνοειδούς σχήματος,
- ❖ εμφανίζει στην αρχή μια περίοδο ανόδου, που σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου η παροχή του ρεύματος αυξάνει μέχρι τη μέγιστη τιμή της απορροής
- ❖ κατόπιν ακολουθεί μια περίοδος που η παροχή συνέχεια μειώνεται και μπορεί να φθάσει και στο μηδέν, εξαρτώμενη από την ύπαρξη ή μη βασικής απορροής



Σε **μικρές υδρολογικές λεκάνες**, που η συμβολή της απευθείας απορροής, της ενδιάμεσης απορροής και της βασικής απορροής στην παροχή του ρεύματος είναι κατά κανόνα περιορισμένες, το **υδρογράφημα διαμορφώνεται ουσιαστικά μόνο από την επιφανειακή απορροή**.

Τα χαρακτηριστικά ενός υδρογραφήματος -II-

Στο διπλανό σχήμα απεικονίζεται:

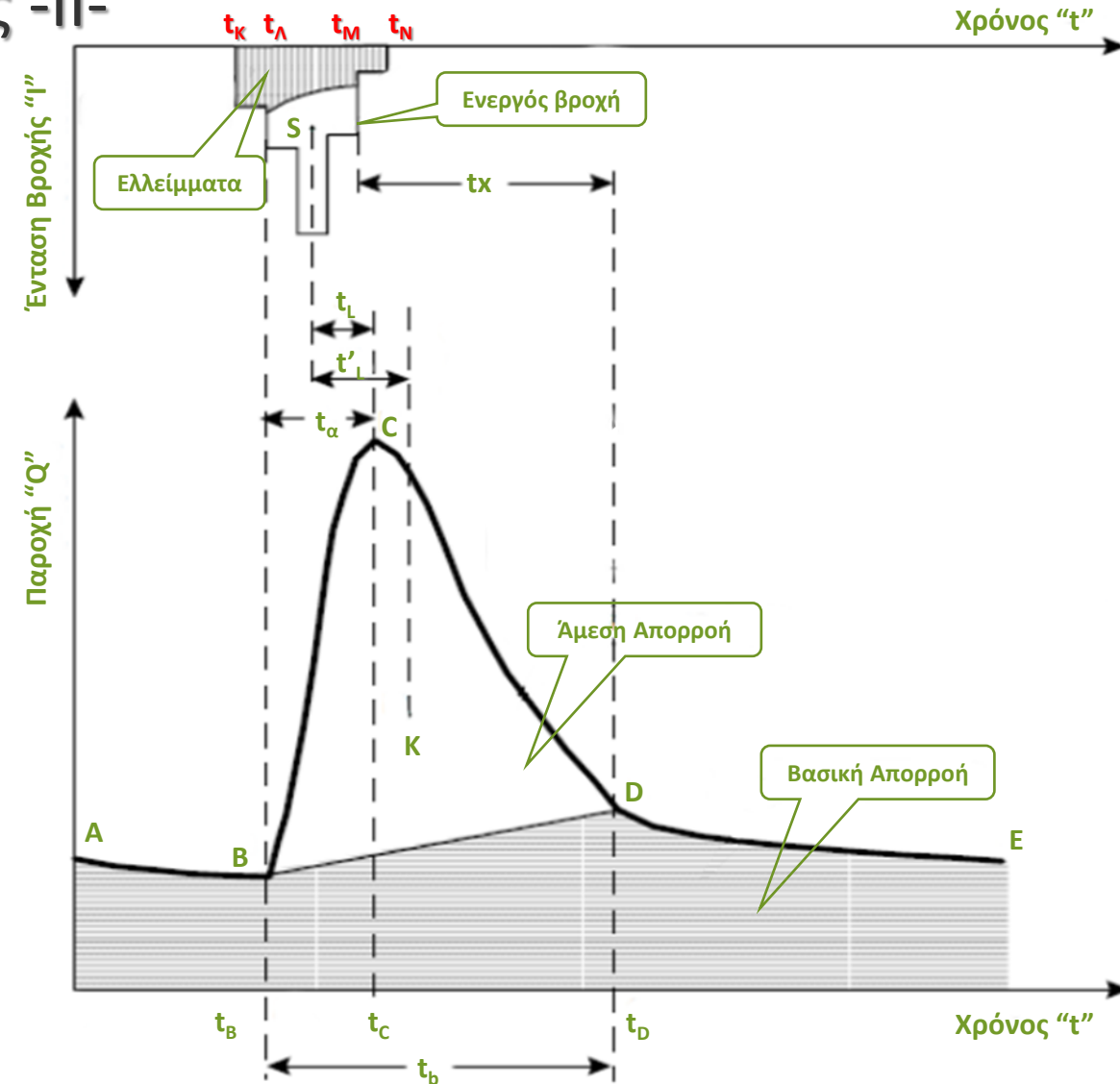
- ❖ ένα τυπικό υδρογράφημα (παροχής υδατορεύματος συναρτήσεως του χρόνου) ενός πλημμυρικού επεισοδίου,
- ❖ το βροχογράφημα της βροχής που προκάλεσε την πλημμύρα (ένταση βροχής συναρτήσεως του χρόνου). Έχει καθιερωθεί να σχεδιάζεται με ανεστραμμένη τη φορά των τεταγμένων).

Στο χρονικό σημείο t_K ξεκινά ένα επεισόδιο βροχής,

Σύντομα, στο χρόνο t_A , μετά από ένα αρχικό έλλειμμα, ξεκινά η ενεργός βροχή, η οποία μετατρέπεται σε άμεση απορροή.

Η βροχή λήγει στο χρόνο t_N .

Η ενεργός βροχή μπορεί να λήγει και αυτή στον ίδιο χρόνο t_N ή σε προηγούμενο χρόνο t_M , αν η ένταση στο τέλος του επεισοδίου είναι αρκετά μικρή.



Τα χαρακτηριστικά ενός υδρογραφήματος -III-

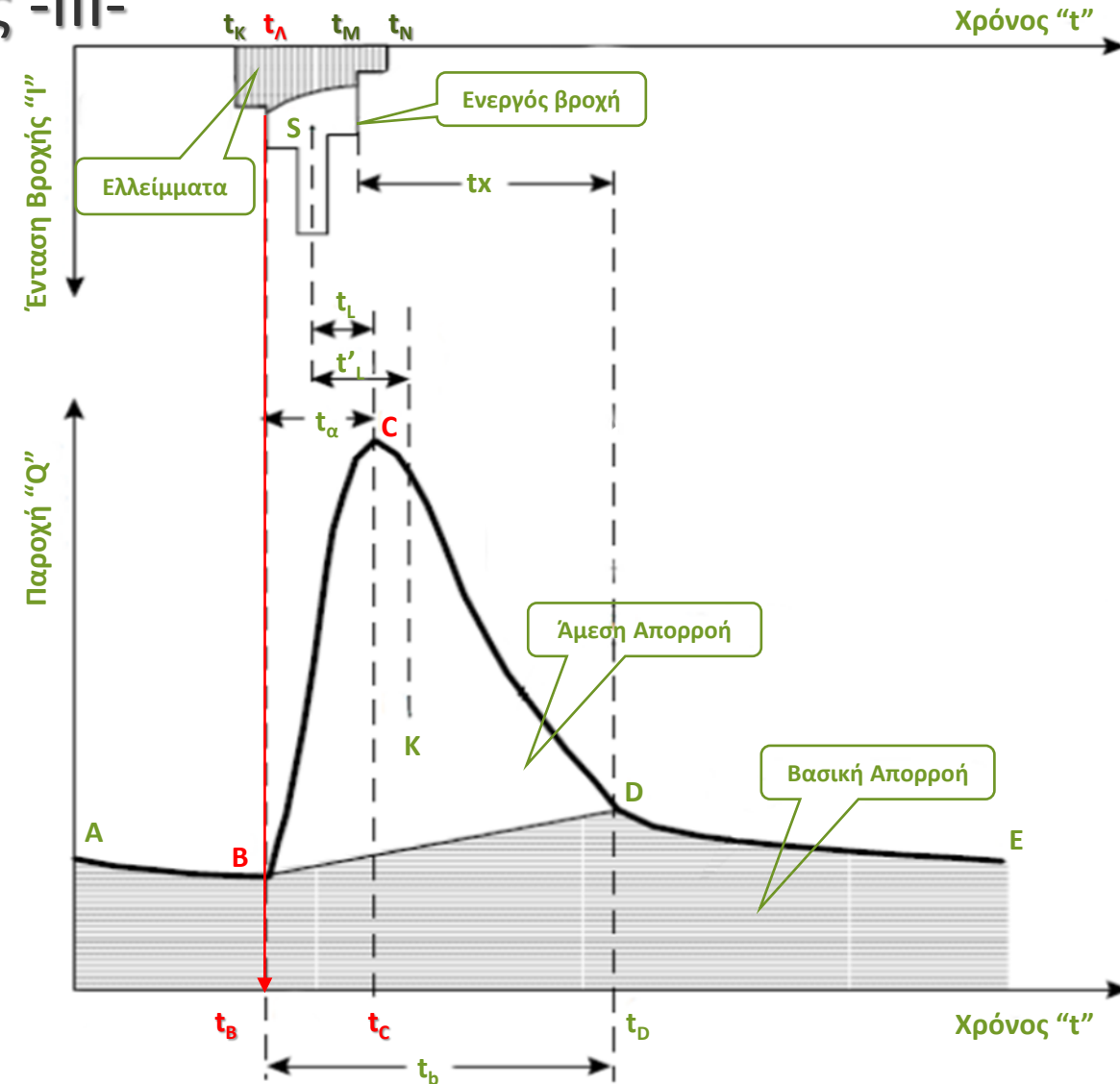
Από το βροχογράφημα της βροχής περνάμε στο υδρογράφημα του πλημμυρικού επεισοδίου

Στο χρόνο $t_A = t_B$ που ξεκινά η ενεργός βροχόπτωση, η παροχή του υδατορεύματος αρχίζει να αυξάνεται με έντονο ρυθμό, μέχρι που η παροχή φτάνει στη μέγιστη τιμή της στο χρόνο t_c .

- ❖ Ο κλάδος **BC** ονομάζεται **ανοδικός κλάδος**,
- ❖ το σημείο **C** ονομάζεται **αιχμή του υδρογραφήματος**,
- ❖ η παροχή στο χρόνο t_c **παροχή αιχμής**

Ο **ανοδικός κλάδος BC** αρχίζει με την εμφάνιση της επιφανειακής απορροής και τελειώνει σε κάποιο σημείο όπου ο ρυθμός ανόδου του υδρογραφήματος μειώνεται δραστικά.

Η **μορφή της BC** εξαρτάται: απ' τα **χαρακτηριστικά της λεκάνης**, (αναλογία των χρόνων διαδρομής του νερού πάνω στην επιφάνεια του εδάφους και τα ρεύματα), και **από τη διάρκεια, ένταση και ομοιομορφία της βροχής**.



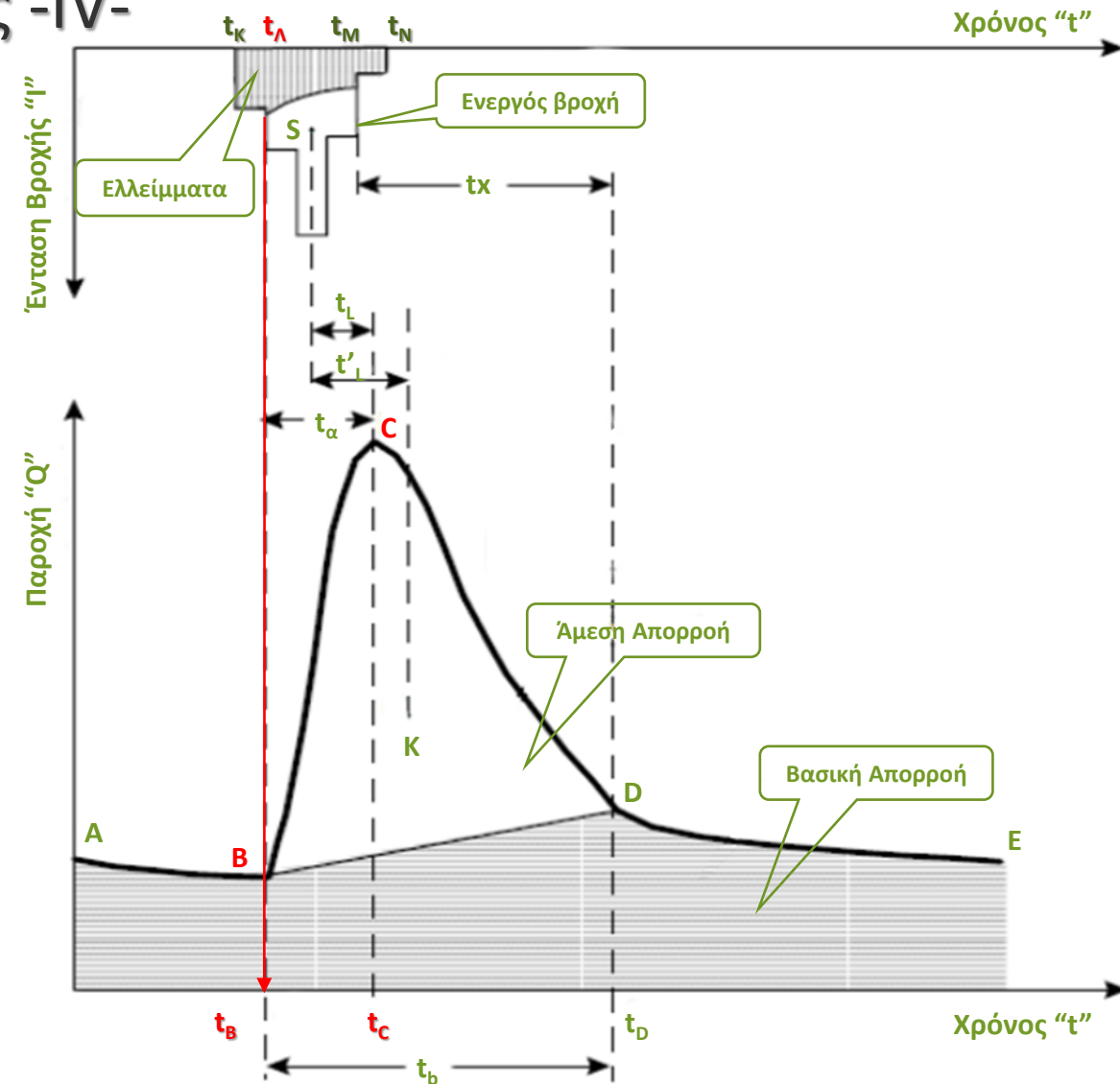
Τα χαρακτηριστικά ενός υδρογραφήματος -IV-

Στο σημείο **B** (χρόνος t_B) η διηθητικότητα, η συγκράτηση του νερού στις κοιλότητες του εδάφους, η εξάτμιση και η συγκράτηση νερού από τη φυτοκάλυψη είναι αναλογικά μεγαλύτερα απ' ότι στα επόμενα στάδια.

Η μέγιστη αιχμή, που προκαλείται από μια βροχή (δεδομένης εντάσεως και διάρκειας), εμφανίζεται όταν όλα τα τμήματα της υδρολογικής λεκάνης συνεισφέρουν νερό.

Όταν δηλαδή το μέρος της λεκάνης που βρίσκεται κοντά στην έξοδο της εξακολουθεί να συνεισφέρει νερό όταν και το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της έχει φθάσει στην έξοδο.

Για να γίνει αυτό, η διάρκεια της βροχής πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη απ' το χρόνο συγκεντρώσεως της λεκάνης.



Τα χαρακτηριστικά ενός υδρογραφήματος

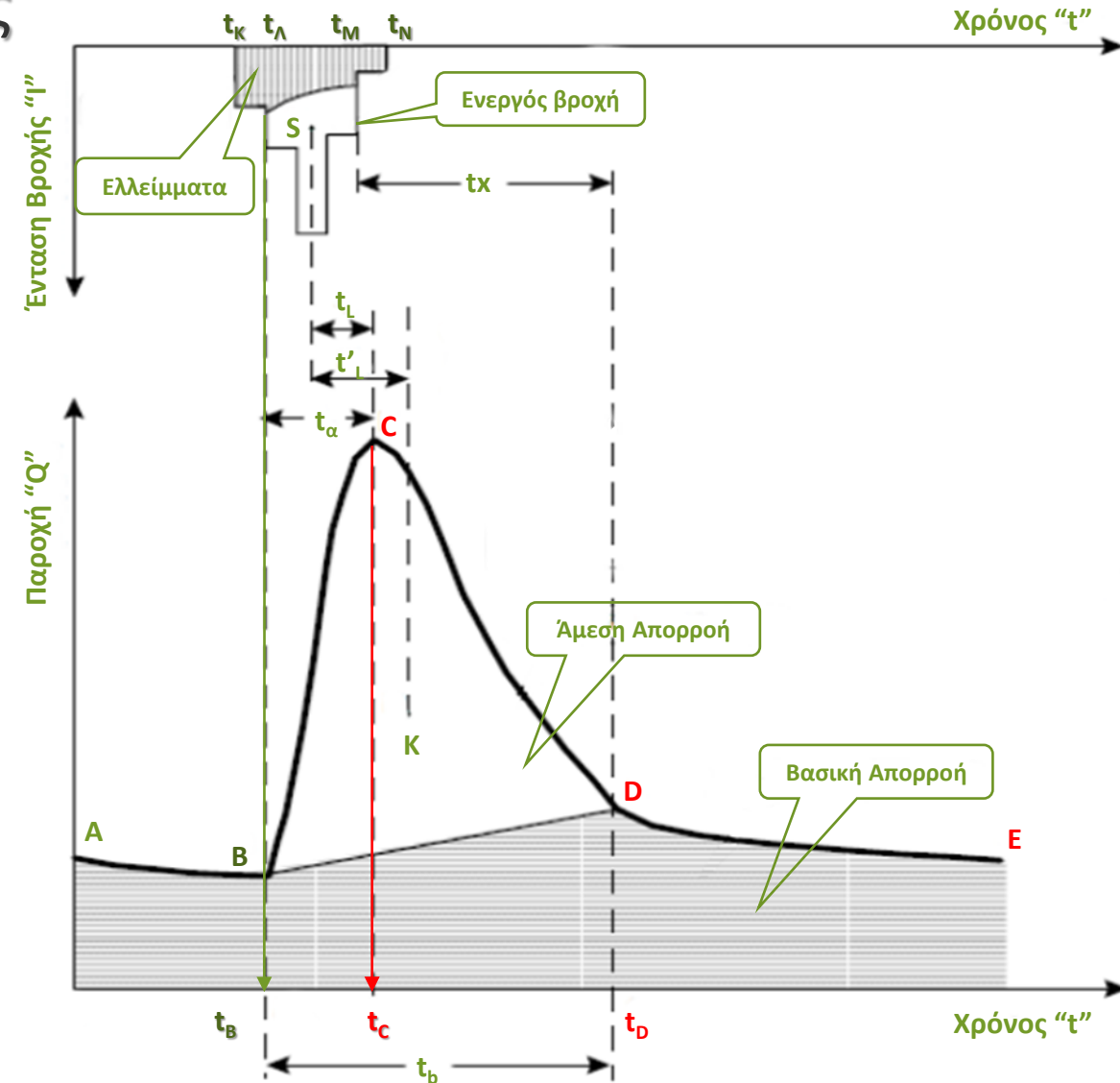
Κατόπιν ακολουθεί η μείωση της παροχής που απεικονίζεται στον καθοδικό κλάδο **CD**.

Στο χρόνο **t_D** παύει η άμεση απορροή, συνεχίζει όμως η βασική απορροή, σχηματίζοντας τον κλάδο **DE**

Η καμπύλη καθόδου **CD**, αντιπροσωπεύει την αποχώρηση του νερού που έχει αποθηκευτεί στην επιφάνεια της λεκάνης μετά την ουσιαστική διακοπή της βροχής.

Το σχήμα της καμπύλης **CD** είναι ανεξάρτητο από τις διακυμάνσεις της εντάσεως της βροχής που προκάλεσε την απορροή και της διηθητικότητας του εδάφους.

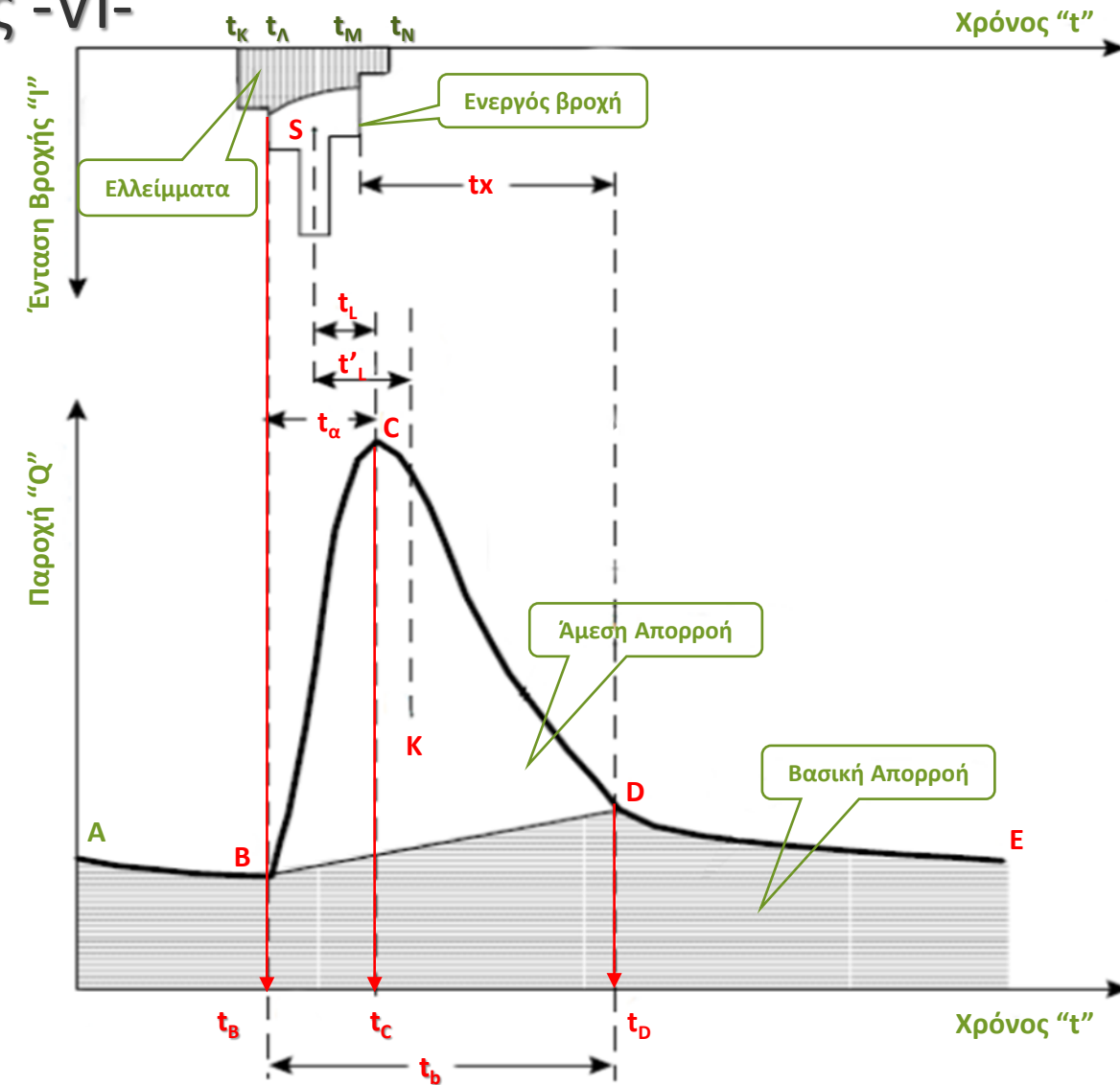
Το σχήμα της καμπύλης **CD** εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τα χαρακτηριστικά της κοίτης των ρευμάτων



Τα χαρακτηριστικά ενός υδρογραφήματος -VI-

Χαρακτηριστικές χρονικές διάρκειες ενός υδρογραφήματος

- ❖ Η **άμεση απορροή** πραγματοποιείται μόνο στο χρονικό διάστημα (t_B, t_D) ενώ η **βασική απορροή** είναι διαρκής.
- ❖ Η διάρκεια $t_b = t_D - t_B$, είναι γνωστή ως **διάρκεια πλημμύρας ή χρόνος βάσης**.
- ❖ Η διάρκεια $t_a = t_c - t_B$, είναι γνωστή ως **χρόνος ανόδου** του υδρογραφήματος.
- ❖ Ως **κεντροβαρικός χρόνος υστέρησης** ορίζεται η χρονική διαφορά ανάμεσα στα κέντρα βάρους του υδρογραφήματος άμεσης απορροής (**K**) και του ενεργού βροχογραφήματος (**S**), $t'_L = t_K - t_S$, όπου t_K και t_S οι χρόνοι που αντιστοιχούν στα κέντρα βάρη **K** και **S**.
- ❖ Η διάρκεια $t_L = t_c - t_s$, είναι γνωστή ως **χρόνος υστέρησης αιχμής**. Όπου t_s ο χρόνος που αντιστοιχεί στο κέντρο βάρους **S** του ενεργού βροχογραφήματος.



Τα χαρακτηριστικά ενός υδρογραφήματος -VII-

Χαρακτηριστικές χρονικές διάρκειες ενός υδρογραφήματος

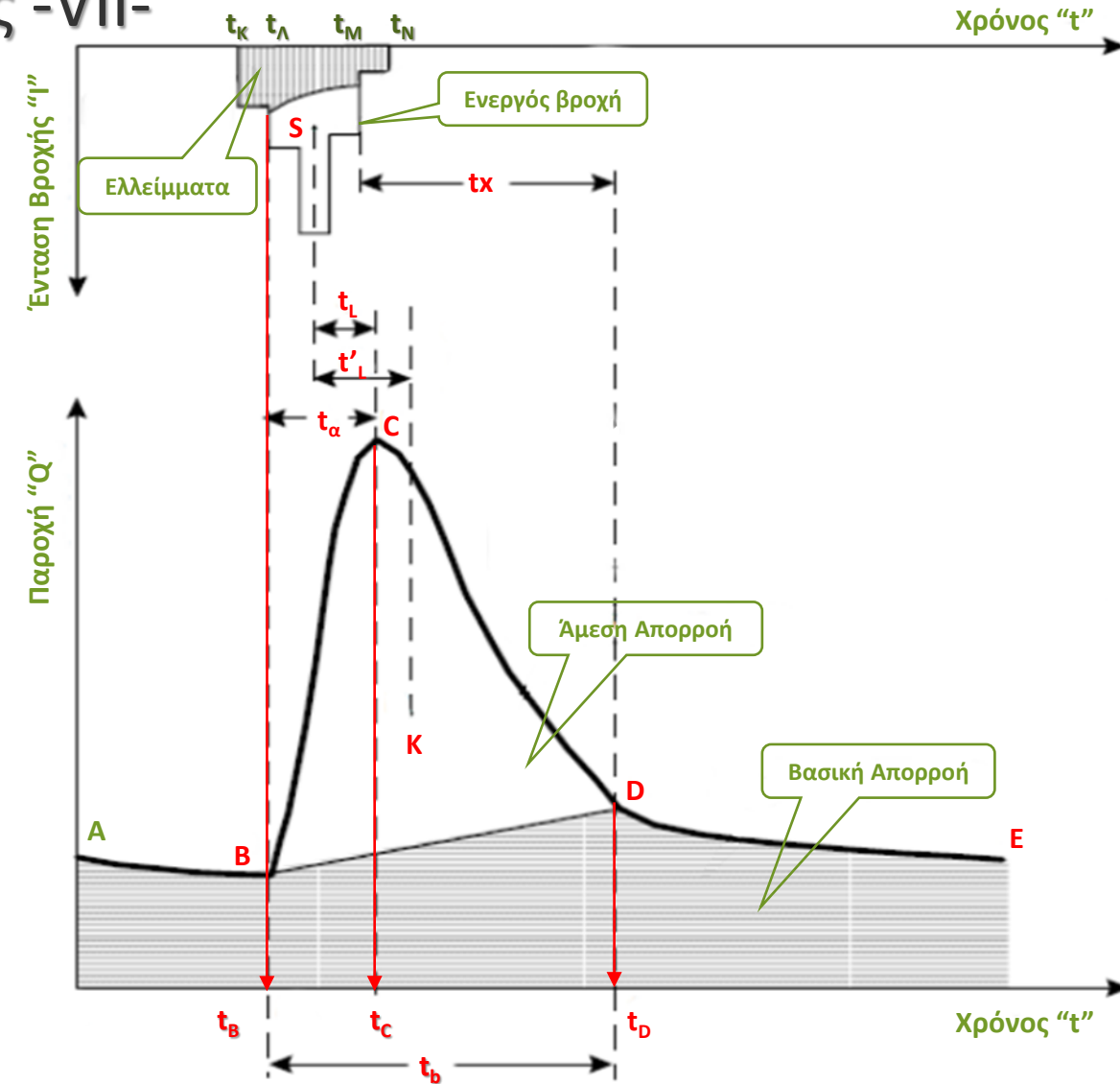
Ως **χρόνος συγκέντρωσης** (ή **χρόνος συρροής**) t_x ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το νερό που συμβάλλει στην άμεση απορροή, από το υδραυλικά πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης στη διατομή εξόδου.

$t_x = t_D - t_M$ (η χρονική απόσταση από τη λήξη της ενεργού βροχής μέχρι τη λήξη της άμεσης απορροής).

Διαχωρισμός της βασικής απορροής και της άμεσης απορροή πάνω στο υδρογράφημα

Απαιτείται ο προσδιορισμός:

- ❖ του χρόνου έναρξης της άμεσης απορροής, (σημείο **B**),
- ❖ του χρόνου λήξης της άμεσης απορροής, (σημείο **D**) και
- ❖ ο τρόπος μεταβολής της βασικής απορροής στη διάρκεια του χρόνου.



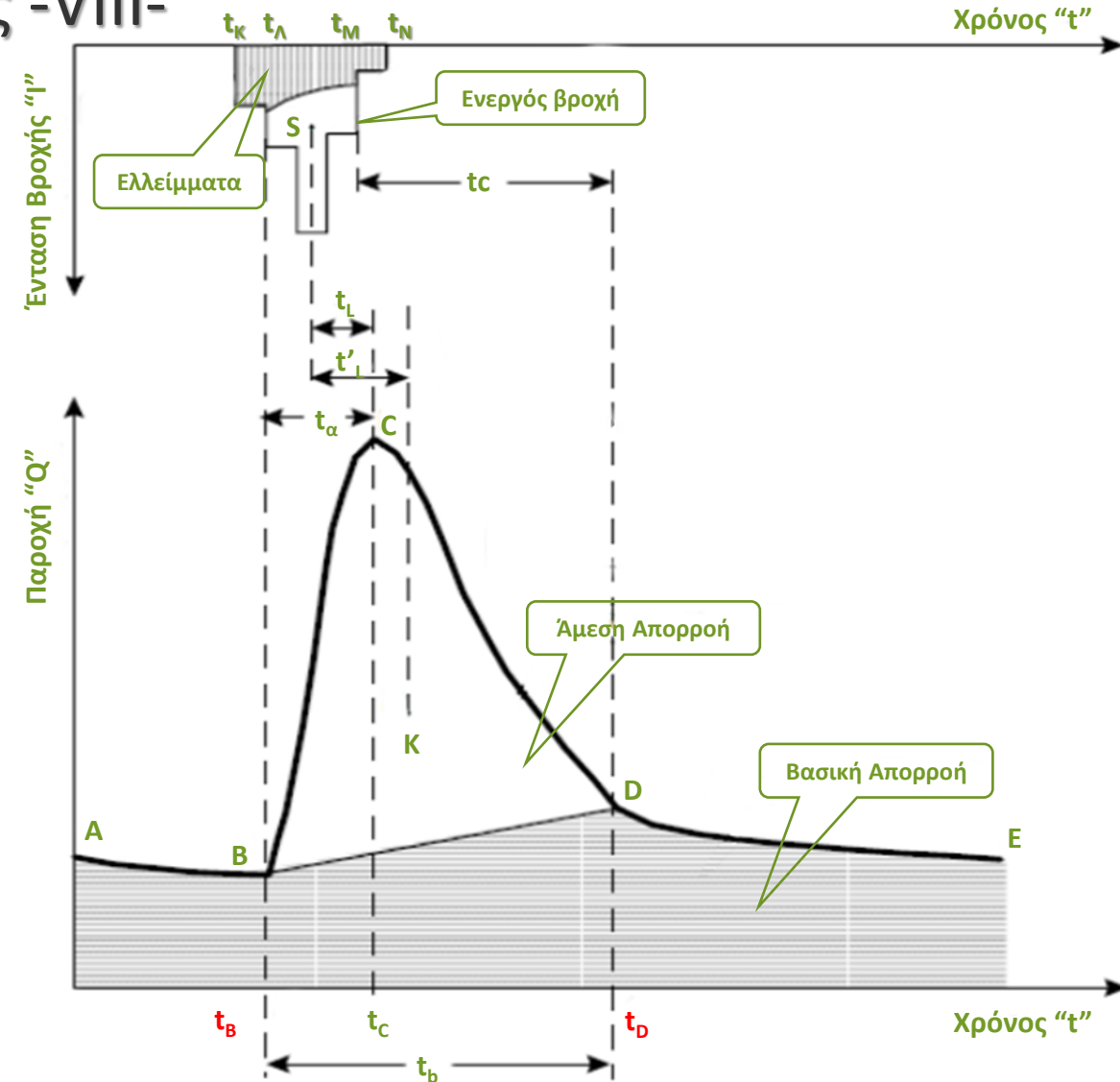
Τα χαρακτηριστικά ενός υδρογραφήματος -VIII-

Ο διαχωρισμός της ενεργού βροχόπτωσης και των απωλειών στο έδαφος για δεδομένο συνολικό βροχογράφημα, έπεται του διαχωρισμού άμεσης και βασικής απορροής στο υδρογράφημα της πλημμύρας.

Μετά το διαχωρισμό της άμεσης απορροής από τη βασική, ο **όγκος της άμεσης απορροής (V_d)** μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$V_d = \int_{t_B}^{t_D} Q_d(t) dt$$

όπου $Q_d(t)$ η **άμεση απορροή** στο χρόνο t η οποία προκύπτει ως η διαφορά της **συνολικής παροχής $Q(t)$** μείον την παροχή της **βασικής απορροής $Q_b(t)$** .



Τα χαρακτηριστικά ενός υδρογραφήματος -ΙΧ-

Το υδρογράφημα άμεσης απορροής αποτελεί μετασχηματισμό του ενεργού βροχογραφήματος.

Ο όγκος νερού του ενεργού βροχογραφήματος είναι:

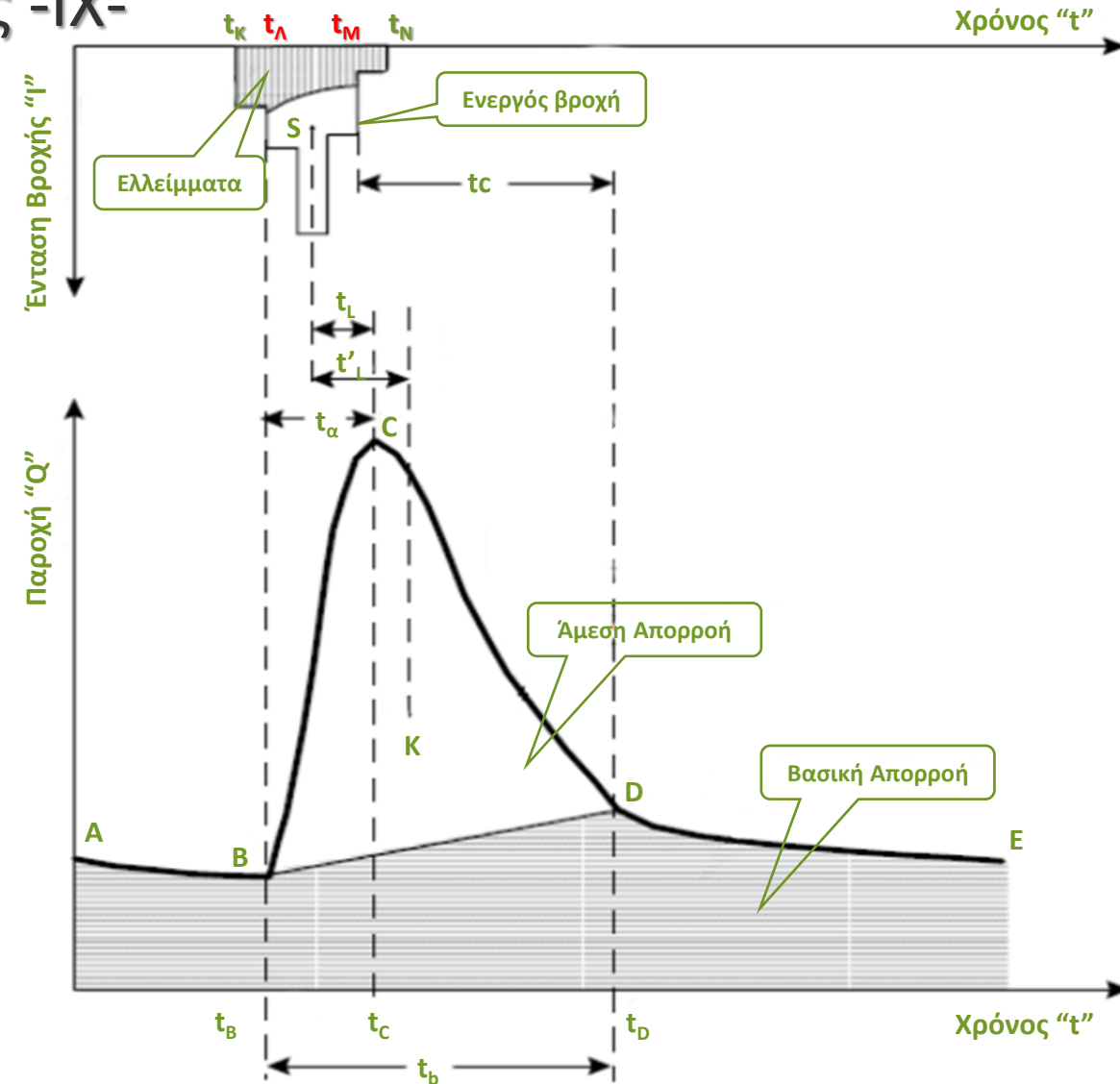
$$V_e = S \cdot \int_{t_\Lambda}^{t_M} i_e(t) dt = h_e \cdot S$$

Όπου $i_e(t)$ η ένταση της ενεργού βροχής, h_e το αθροιστικό ενεργό ύψος βροχής και S η έκταση της λεκάνης.

Η διατήρηση όγκου σημαίνει ότι: $V_d = V_e$

Συνεπώς $h_e = \frac{V_d}{S}$

Άρα αφού προσδιοριστεί το μέγεθος h_e μπορεί στη συνέχεια να καταρτιστεί το ενεργό βροχογράφημα.



Δείκτης ϕ -I-

Οι δείκτες διήθησης γενικά υποθέτουν ότι η διήθηση πραγματοποιείται με σταθερό ή μέσο ρυθμό κατά τη διάρκεια της καταιγίδας.

- ❖ Συνήθως αυτές οι μέθοδοι τείνουν να υποεκτιμούν τους αρχικούς ρυθμούς διήθησης και να υπερεκτιμούν τους τελικούς.
- ❖ Η καλύτερη εφαρμογή είναι σε μεγάλες καταιγίδες και υγρά εδάφη ή σε καταιγίδες όπου οι ρυθμοί διήθησης μπορούν να θεωρηθούν ως σχετικά ομοιόμορφοι.

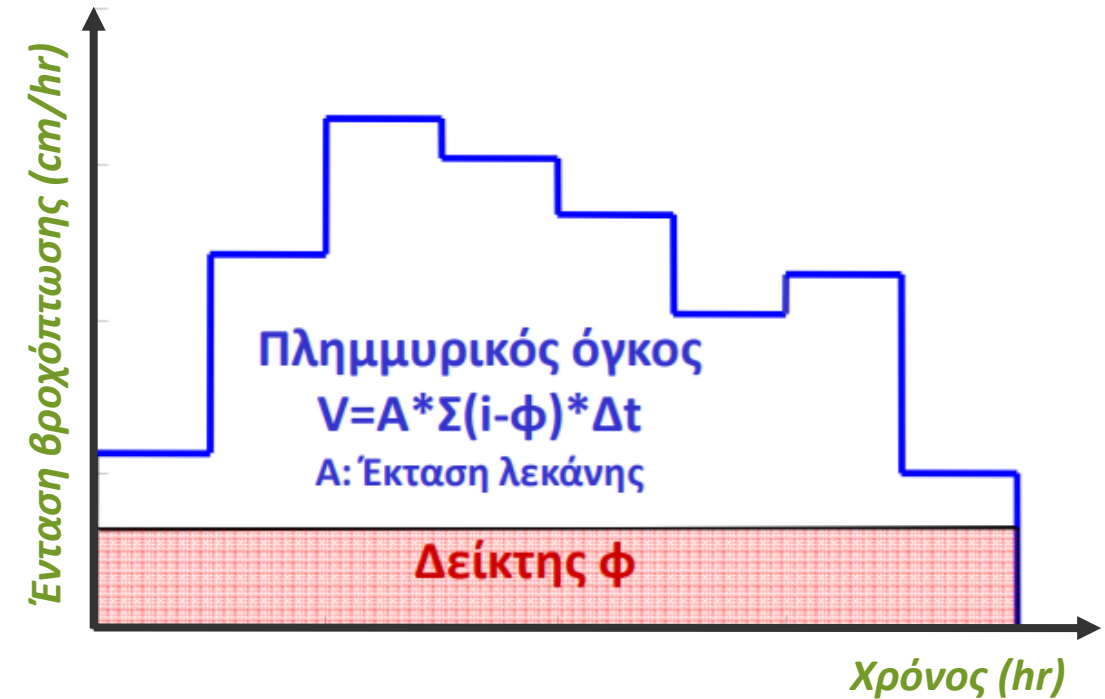
Ο πιο γνωστός δείκτης διήθησης, είναι ο **δείκτης ϕ** , σύμφωνα με τον οποίο ο συνολικός όγκος απωλειών κατά τη διάρκεια της καταιγίδας, κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το δείγμα του επεισοδίου.

Συνεπώς, ο όγκος της κατακρήμνισης πάνω από τη γραμμή του δείκτη είναι ίσος με την απορροή.

Για τον προσδιορισμό του δείκτη ϕ για μια δεδομένη καταιγίδα, η ποσότητα της παρατηρημένης απορροής προσδιορίζεται από το υδρογράφημα και υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ αυτής της ποσότητας και της συνολικά καταμετρημένης κατακρήμνισης.

Δείκτης ϕ -II-

Ο όγκος των απωλειών (συμπεριλαμβανομένων των αποτελεσμάτων της παρεμπόδισης, κατακράτησης και διήθησης) κατανέμεται ομοιόμορφα κατά μήκος του προφίλ της καταιγίδας



Ο δείκτης ϕ που προσδιορίζεται από μια καταιγίδα δεν είναι γενικά εφαρμόσιμος σε άλλες καταιγίδες και αν δεν συσχετιστεί με τις παραμέτρους της λεκάνης απορροής, έχει μικρή αξία.

Διαχωρισμός του Υδρογραφήματος

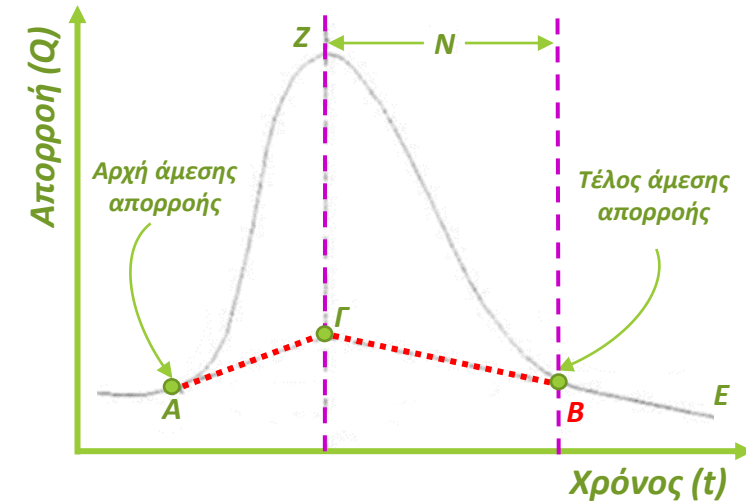
Κατά τη διαδικασία μιας υδρολογικής ανάλυσης, είναι πολλές φορές αναγκαίο να χωρισθεί ένα υδρογράφημα στα μέρη που το απαρτίζουν.

Στην πράξη ένας τέτοιος διαχωρισμός παρουσιάζει πολλά προβλήματα γιατί είναι δύσκολο να εντοπισθούν και να διαχωριστούν με ακρίβεια οι ποσότητες νερού που αντιστοιχούν στην επιφανειακή απορροή και την ενδιάμεση απορροή.

Για το διαχωρισμό του υδρογραφήματος έχουν επινοηθεί διάφορες μέθοδοι. Κάθε μία από αυτές βασίζεται πάνω σε συγκεκριμένες παραδοχές.

Μέθοδοι διαχωρισμού του υδρογραφήματος σε δυο μέρη -I-

- Βασική επιδίωξη είναι ο διαχωρισμός επί του υδρογραφήματος της άμεσης (πλημμυρικής) και της βασικής απορροής.
- Η διαδικασία διαχωρισμού στηρίζεται στην **επισήμανση πάνω στην καμπύλη καθόδου του υδρογραφήματος του σημείου (B)** που τελειώνει η άμεση απορροή.
- Η καμπύλη καθόδου (BE) μετά το σημείο αυτό διαμορφώνεται μόνο από τη **βασική απορροή**.
- Χρησιμοποιώντας αυτή την παραδοχή, υποθέτουμε πως η καμπύλη της βασικής απορροής έχει την ίδια κλίση και προς τα ανάντη, μέχρι ένα σημείο που βρίσκεται ακριβώς κάτω από την αιχμή του υδρογραφήματος (Z).
- Έτσι, αν επεκταθεί η καμπύλη αυτή νοερά προς τα πίσω από το σημείο που τελειώνει η άμεση απορροή (B) μέχρι ένα σημείο κάτω από την αιχμή (Γ), η **προέκταση αυτή (ευθεία ΒΓ) θα χωρίσει σε άμεση και βασική απορροή το μέρος του υδρογραφήματος από την αιχμή του και μετά**.
- Στη συνέχεια, το σημείο Γ ενώνεται με μια ευθεία με το σημείο που αρχίζει η άμεση απορροή στην αρχή του υδρογραφήματος (Α), οπότε ολοκληρώνεται ο διαχωρισμός (ΑΓΒ).



Μέθοδοι διαχωρισμού του υδρογραφήματος σε δυο μέρη -II-

Αντικειμενική δυσκολία αποτελεί ο προσδιορισμός του σημείου που τελειώνει η άμεση απορροή (B).

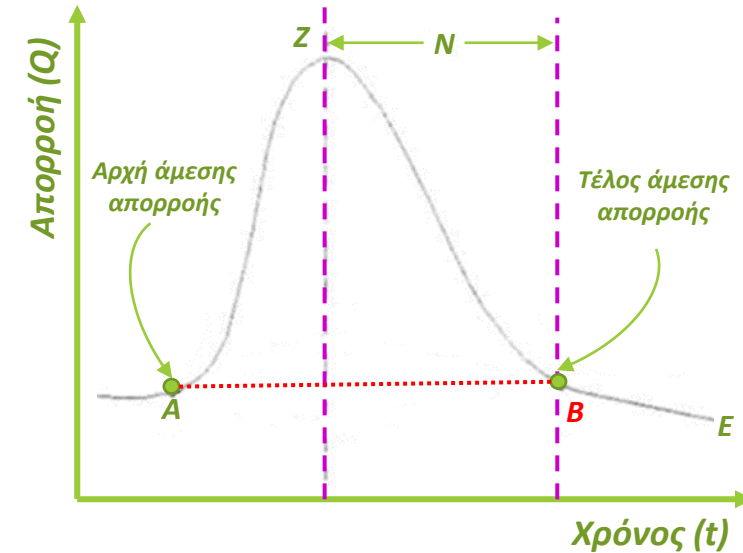
- ❖ Ένας τρόπος προσδιορισμού του B γίνεται με βάση την εξέταση αρκετών υδρογραφημάτων της υδρολογικής λεκάνης, από την οποία μπορεί να εντοπισθεί το σημείο αυτό ως το σημείο αλλαγής της κλίσεως της καμπύλης καθόδου.

- ❖ Μια εμπειρική σχέση για τον εντοπισμό του σημείου B προτάθηκε από τον Linsley:

$$N = 0.8 \cdot A^{0.2}$$

όπου N είναι ο αριθμός των ημερών μετά την αιχμή, που σταματά ή άμεση απορροή και A είναι η επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης σε km².

- ❖ Ένας δεύτερος τρόπος διαχωρισμού του υδρογραφήματος σε δύο μέρη, βασίζεται απλώς στην ένωση με μία ευθεία γραμμή των σημείων A και B, των σημείων δηλαδή που δηλώνουν την αρχή και το τέλος της άμεσης απορροής.

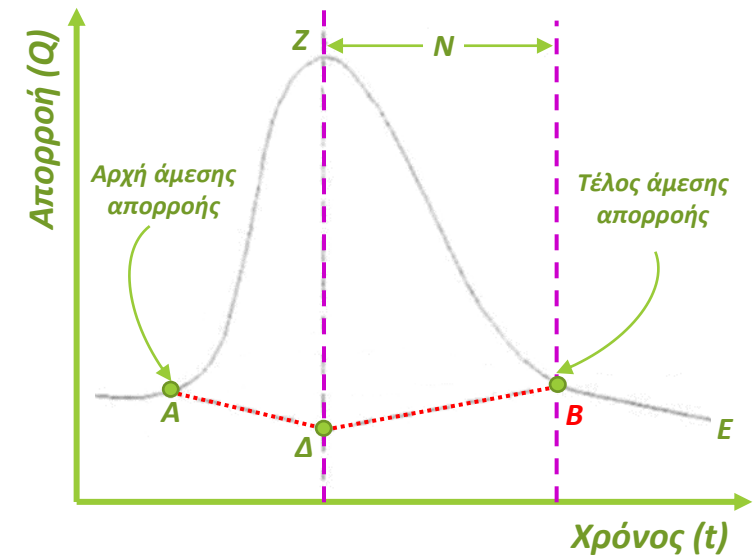


Μέθοδοι διαχωρισμού του υδρογραφήματος σε δυο μέρη -III-

- ❖ Ένας τρίτος τρόπος διαχωρισμού γίνεται επεκτείνοντας την καμπύλη πριν από την έναρξη της απορροής (**A**) μέχρι ένα σημείο που βρίσκεται κάτω από την αιχμή (**Δ**) και μετά το σημείο αυτό ενώνεται με το σημείο **B**. Οπότε ολοκληρώνεται ο διαχωρισμός (AΔB).

Και οι τρεις παραπάνω μέθοδοι είναι αυθαίρετες, χωρίς να μπορεί να διακριθεί αν κάποια πλεονεκτεί ή όχι.

Εκείνο που πρέπει να επισημανθεί, είναι ότι κατά τη διάρκεια μιας υδρολογικής ανάλυσης, όλα τα υδρογραφήματα πρέπει να χωρίζονται με την ίδια μέθοδο, ανεξάρτητα από το ποια θα είναι αυτή, για να είναι στη συνέχεια δυνατή η σύγκριση τους.



Διαχωρισμός υδρογραφήματος με τη μέθοδο Λογαρίθμων -I-

Η καμπύλη καθόδου, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αντιπροσωπεύει την αποχώρηση του νερού που έχει αποθηκευτεί στην επιφάνεια της λεκάνης μετά την ουσιαστική διακοπή της βροχής.

- ❖ Το σχήμα της καμπύλης αυτής είναι: i) ανεξάρτητο από τις διακυμάνσεις της εντάσεως της βροχής που προκάλεσε την απορροή και της διηθητικότητας του εδάφους, ii) εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τα χαρακτηριστικά της κοίτης των ρευμάτων.

Οι Horner και Flynt (1936) και Barnes (1939) βρήκαν ότι η καμπύλη καθόδου μπορεί να περιγραφεί από μια σχέση της μορφής:

$$Q_2 = Q_1 \cdot K^{-\Delta t}$$

όπου Q_1 και Q_2 είναι αντίστοιχα οι παροχές σε χρόνους t_1 και t_2 , K είναι μία σταθερά και Δt είναι το διάστημα ανάμεσα στους χρόνους t_1 και t_2 . Η σχέση αυτή, αν σχεδιαστεί σε ημιλογαριθμικό χαρτί για σταθερό K , δίνει μια ευθεία γραμμή.

Η τιμή του K δεν είναι σταθερή για όλο το μήκος της καθόδου. Αν η καμπύλη σχεδιαστεί σε ημιλογαριθμικό χαρτί, προκύπτει μια τεθλασμένη γραμμή με ένα διακεκριμένο σημείο αλλαγής της κλίσεως. Η αλλαγή αυτή της κλίσης, αποδίδεται στη διακοπή της συμβολής της άμεσης απορροής.

Διαχωρισμός υδρογραφήματος με τη μέθοδο Λογαρίθμων -II-

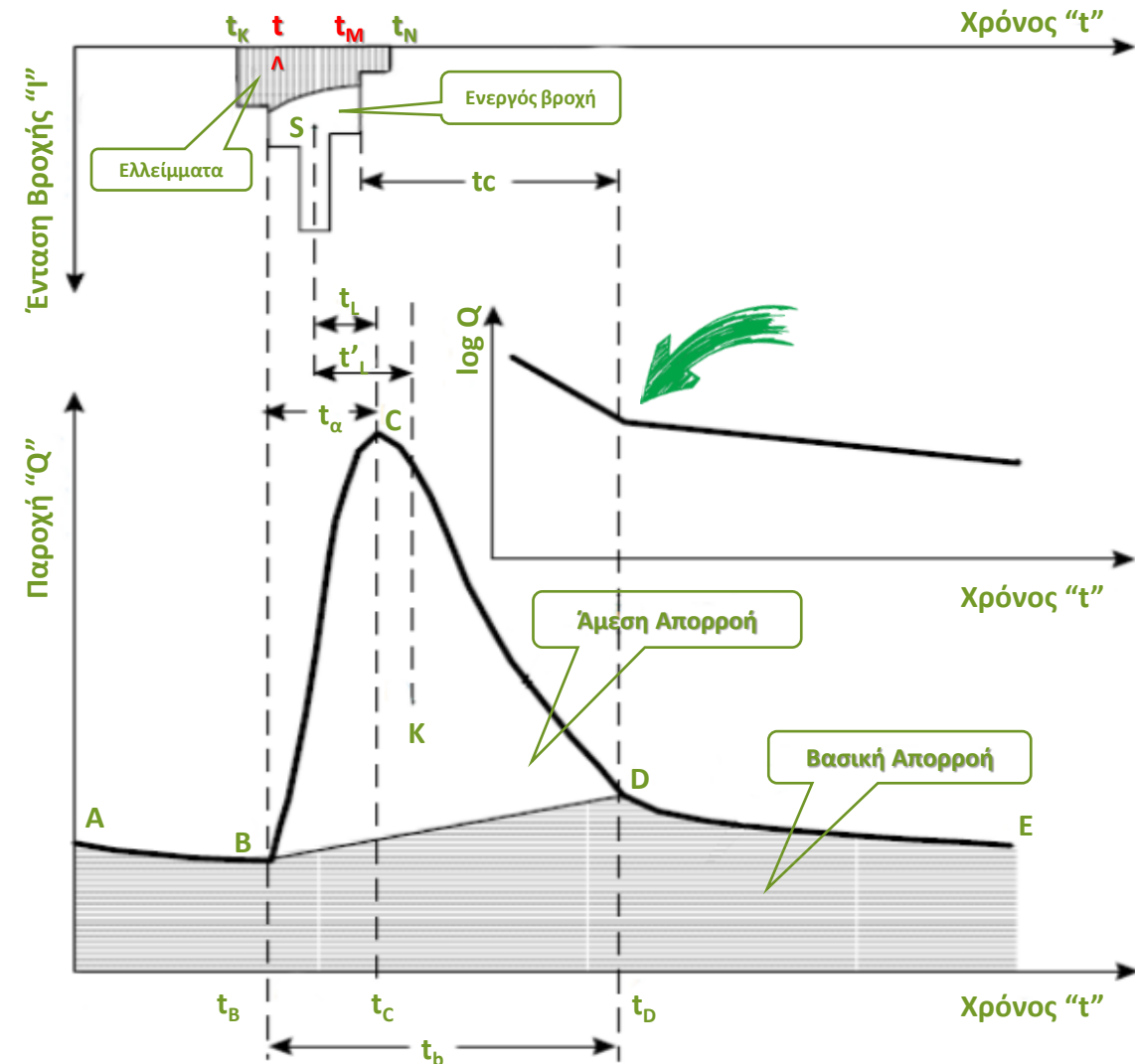
Η καμπύλη καθόδου από την αιχμή και κάτω, σχεδιάζεται σε ημιλογαριθμικό χαρτί.

Κατόπιν ξεχωρίζονται δύο ευθύγραμμα τμήματα. Το σημείο αλλαγής αποτελεί το σημείο όπου παύει να συμβάλλει η άμεση απορροή.

Το εμβαδόν που δημιουργείται από την αρχή του ανοδικού κλάδου, το σημείο αλλαγής (ευθεία γραμμή) και το σχήμα του υδρογραφήματος αποτελεί τον όγκο της άμεσης απορροής.

Το υπολειπόμενο εμβαδόν αποτελεί τον όγκο της βασικής απορροής.

Μερικές φορές η παραπάνω μεθοδολογία δε δίνει μια και μόνη ευθεία, αλλά μια τεθλασμένη γραμμή με δύο συνήθως θλάσεις που αντιπροσωπεύουν την επιφανειακή, ενδιάμεση και βασική απορροή.

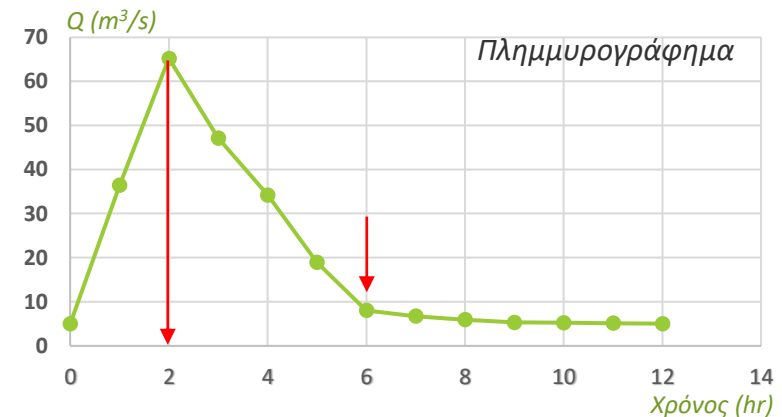
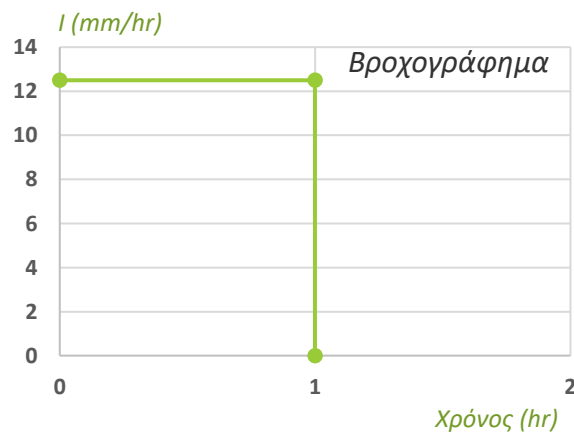


Παράδειγμα Διαχωρισμού υδρογραφήματος με τη μέθοδο Λογαρίθμων -I-

Για ένα επεισόδιο βροχής με ένταση $I = 12.5 \text{ mm/h}$ και διάρκεια $t=1\text{hr}$ σε λεκάνη απορροής έκτασης 85.7 km^2 μετρήθηκαν στην έξοδο της λεκάνης οι παρακάτω τιμές παροχών:

t (h)	Q (m ³ /s)
0	5
1	36.4
2	65.2
3	47.1
4	34.2
5	18.9
6	8.0
7	6.7
8	5.9
9	5.3
10	5.2
11	5.1
12	5.0

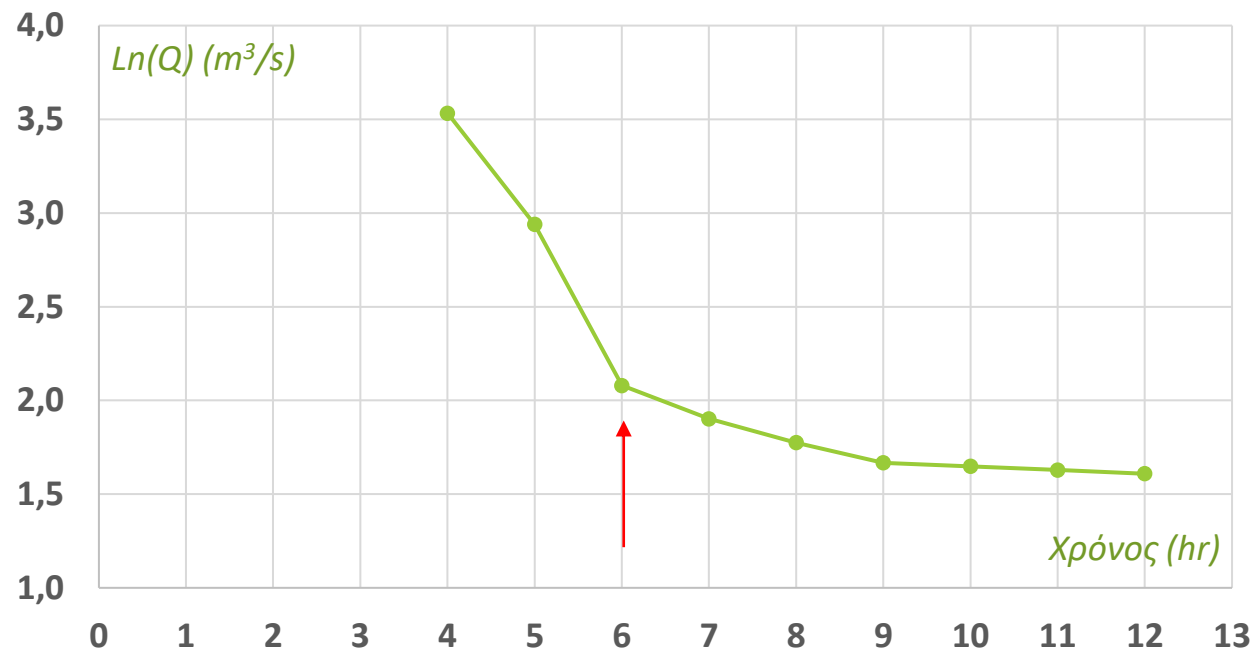
- ❖ Να σχεδιαστεί το βροχογράφημα και το πλημμυρογράφημα.
- ❖ Να γίνει διαχωρισμός της βασικής από την πλημμυρική απορροή.
- ❖ Να υπολογιστεί ο συνολικός πλημμυρικός όγκος στην έξοδο της λεκάνης απορροής.
- ❖ Να υπολογιστεί ο καθαρός πλημμυρικός όγκος στην έξοδο της λεκάνης απορροής.



Παράδειγμα Διαχωρισμού υδρογραφήματος με τη μέθοδο Λογαρίθμων -II-

Για να γίνει ο διαχωρισμός της βασικής από την πλημμυρική απορροή, χαράσσουμε την καμπύλη των λογαρίθμων της παροχής με το χρόνο και αναζητούμε το σημείο αλλαγής κλίσης. Παρατηρούμε ότι η κλίση αλλάζει τη χρονική στιγμή $T=6$ hr, συνεπώς εκεί θεωρούμε ότι τελειώνει η πλημμυρική απορροή.

t (h)	Q (m ³ /s)	Ln Q
0	5	1.6094
1	36.4	3.5946
2	65.2	4.1775
3	47.1	3.8523
4	34.2	3.5322
5	18.9	2.9392
6	8.0	2.0794
7	6.7	1.9021
8	5.9	1.7750
9	5.3	1.6677
10	5.2	1.6487
11	5.1	1.6292
12	5.0	1.6094



(στο συγκεκριμένο παράδειγμα το σημείο είναι εμφανές και στο πλημμυρογράφημα)

Παράδειγμα Διαχωρισμού υδρογραφήματος με τη μέθοδο Λογαρίθμων -III-

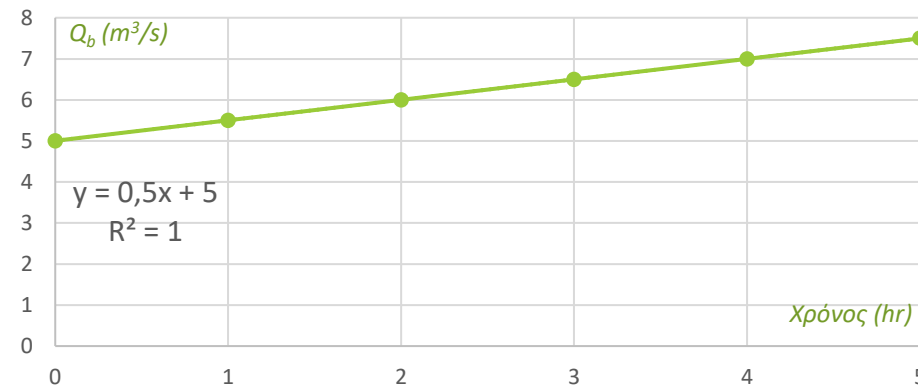
Στη συνέχεια υπολογίζουμε το σύνολο των τιμών της βασικής απορροής Q_b .

Για τιμές του $T \geq 6\text{hr}$, οι τιμές της συνολικής απορροής ταυτίζονται με τις τιμές της βασικής απορροής Q_b .

t (h)	Q (m ³ /s)	Q _b (m ³ /s)	Q _f (m ³ /s)
0	5	5	0
1	36.4	5.5	30.9
2	65.2	6.0	59.2
3	47.1	6.5	40.6
4	34.2	7.0	27.2
5	18.9	7.5	11.4
6	8.0	8.0	0.0
7	6.7	6.7	0.0
8	5.9	5.9	0.0
9	5.3	5.3	0.0
10	5.2	5.2	0.0
11	5.1	5.1	0.0
12	5.0	5.0	0.0



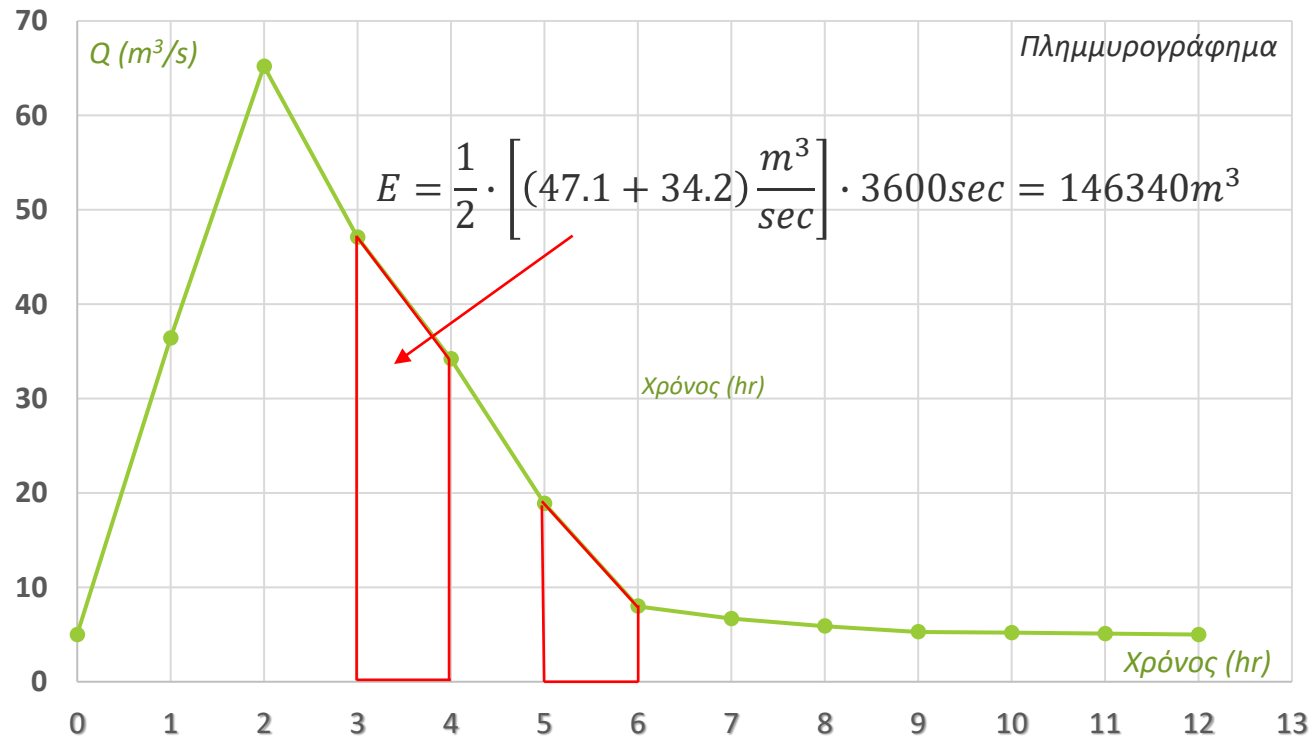
Θεωρούμε ότι η βασική ροή μεταβάλλεται γραμμικά μεταξύ των σημείων αρχής ($T=0\text{ hr}$) και πέρατος της πλημμυρικής απορροής ($T=6\text{ hr}$).



Η πλημμυρική απορροή Q_f προκύπτει ως διαφορά της βασικής απορροής από τη συνολική απορροή

Παράδειγμα Διαχωρισμού υδρογραφήματος με τη μέθοδο Λογαρίθμων -IV-

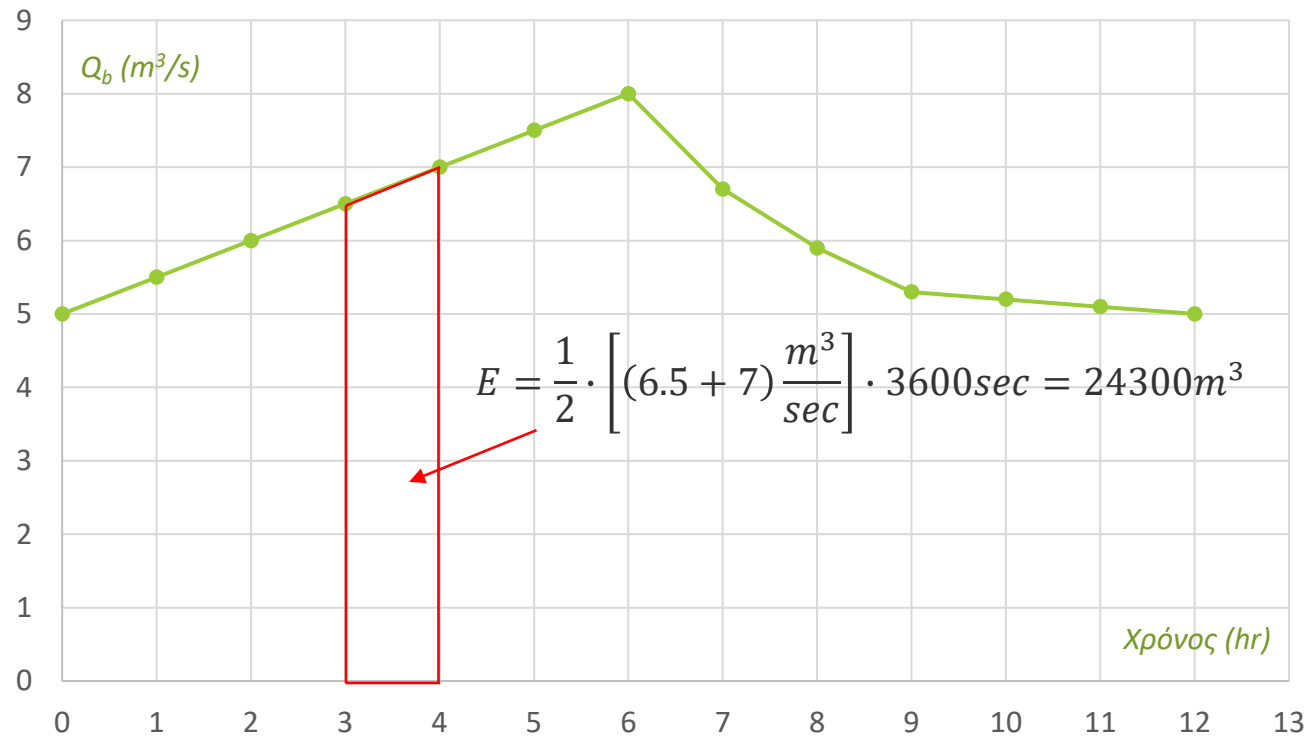
Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος, προκύπτει με υπολογισμό της επιφάνειας που περικλείεται από την καμπύλη της συνολικής απορροής και του άξονα των χρόνων. Εδώ υπολογίστηκε με τη μέθοδο των τραπεζίων κατά προσέγγιση ίσος με 883800 m^3 .



t (h)	Q (m ³ /s)	E (m ³)
0	5	74520
1	36.4	182880
2	65.2	202140
3	47.1	146340
4	34.2	95580
5	18.9	48420
6	8.0	26460
7	6.7	22680
8	5.9	20160
9	5.3	18900
10	5.2	18540
11	5.1	18180
12	5.0	9000
Σ		883800

Παράδειγμα Διαχωρισμού υδρογραφήματος με τη μέθοδο Λογαρίθμων -V-

Με αφαίρεση του όγκου βασικής απορροής ($Q_b = 274320 \text{ m}^3$), προκύπτει ο πλημμυρικός όγκος ίσος με 609480 m^3 .



t (h)	Q (m^3/s)	E (m^3)
0	5	18900
1	5.5	20700
2	6.0	22500
3	6.5	24300
4	7.0	26100
5	7.5	27900
6	8.0	26460
7	6.7	22680
8	5.9	20160
9	5.3	18900
10	5.2	18540
11	5.1	18180
12	5.0	9000
Σ		274320

Παράγοντες που επηρεάζουν το σχήμα του υδρογραφήματος

Η χρονική κατανομή της απορροής, που εκφράζεται από το σχήμα του υδρογραφήματος, επηρεάζεται από:

- ❖ κλιματικούς παράγοντες
- ❖ και από τα τοπογραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής

Γενικά, μπορεί να λεχθεί ότι:

- ❖ η καμπύλη ανόδου του υδρογραφήματος διαμορφώνεται κατά κύριο λόγο από τα χαρακτηριστικά της βροχής που προκαλεί την απορροή,
- ❖ η καμπύλη καθόδου είναι σχεδόν ανεξάρτητη από τα χαρακτηριστικά της βροχής.

Οι βασικότεροι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον όγκο και την κατανομή της απορροής, δηλαδή το σχήμα του υδρογραφήματος είναι οι εξής:

1. η ένταση, η διάρκεια και η χρονική κατανομή της βροχής,
2. η κατανομή της βροχής πάνω στην υδρολογική λεκάνη,
3. η διεύθυνση που κινείται η βροχή,
4. η μορφή του κατακρημνίσματος και
5. ο τύπος της βροχής.

1. Ένταση, διάρκεια και χρονική κατανομή της βροχής

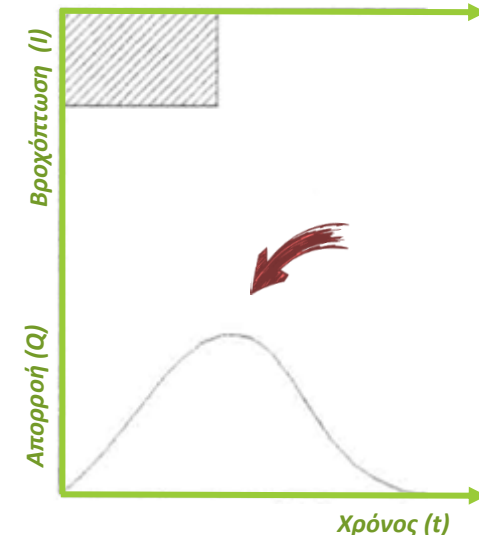
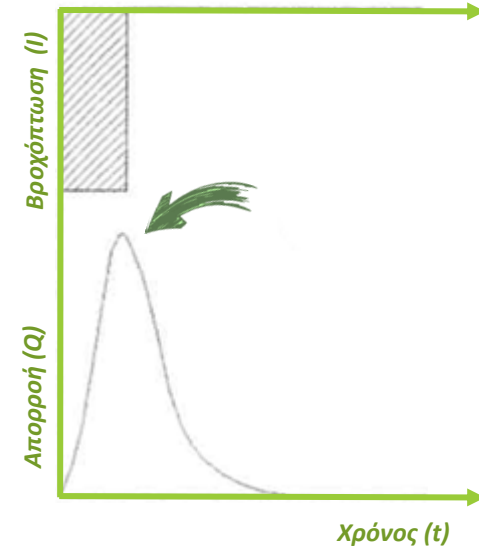
Η Ένταση, η διάρκεια και η χρονική κατανομή της βροχής καθορίζουν τον όγκο της απορροής, τη χρονική διάρκεια της επιφανειακής απορροής και το ύψος της αιχμής του υδρογραφήματος.

- ❖ Για μια βροχή με σταθερή ένταση, η διάρκεια της καθορίζει σε ένα βαθμό το ύψος της αιχμής και τη χρονική διάρκεια της επιφανειακής απορροής.
- ❖ Για σταθερή διάρκεια βροχής, μια αύξηση της έντασης της θα προκαλούσε άνοδο της αιχμής και αύξηση του όγκου της απορροής (με την προϋπόθεση βέβαια ότι η ένταση της βροχής ξεπερνά τη **δηθητικότητα του εδάφους**). Η επίδραση μιας τέτοιας αυξήσεως της έντασης δεν φαίνεται να επηρεάζει ουσιαστικά τη διάρκεια της επιφανειακής απορροής.
- ❖ Αυξομείωση της έντασης της βροχής επηρεάζει το σχήμα του υδρογραφήματος μικρών υδρολογικών λεκανών. Σε μεγαλύτερες λεκάνες η επίδραση αυτή είναι πολύ περιορισμένη.

➡ Μια βροχή με μεγάλη ένταση και μικρή διάρκεια προκαλεί υψηλή αιχμή, καμπύλες ανόδου και καθόδου με σχετικά απότομες κλίσεις και περιορισμένη διάρκεια επιφανειακής απορροής.

➡ Βροχή του ίδιου συνολικά ύψους αλλά με μικρή ένταση και μεγάλη διάρκεια προκαλεί υδρογράφημα με χαμηλή αιχμή, καμπύλες ανόδου και καθόδου με μικρές κλίσεις και μεγαλύτερη διάρκεια επιφανειακής απορροής.

κλιματικοί παράγοντες



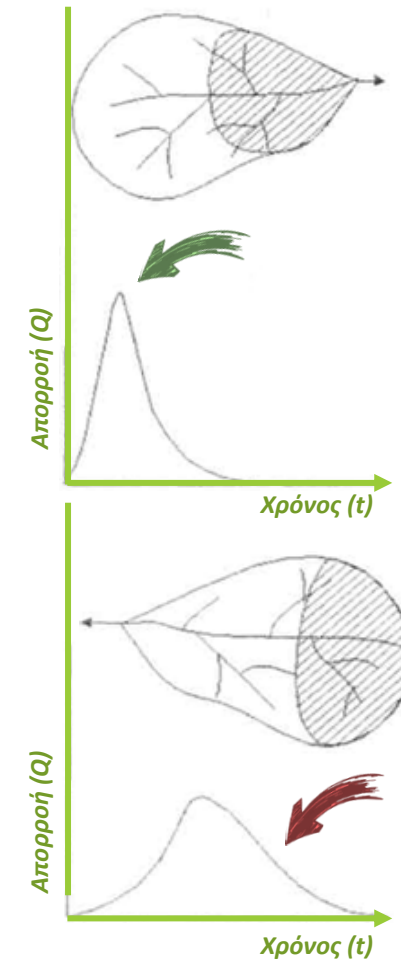
2. Κατανομή της βροχής στην υδρολογική λεκάνη

Αν η έκταση της υδρολογικής λεκάνης είναι αρκετά μεγάλη, η κατανομή μιας βροχής που πέφτει πάνω της μπορεί να μην είναι ομοιόμορφη.

Δηλαδή, μπορεί να πέσει περισσότερη βροχή σε ένα μέρος της λεκάνης από ότι σε ένα άλλο. Αν συμβεί κάτι τέτοιο, αυτό θα έχει επιπτώσεις πάνω στο σχήμα του υδρογραφήματος.

- ➔ Αν το μεγαλύτερο ύψος βροχής πέσει στο μέρος της λεκάνης που είναι κοντά στην έξοδο της, το υδρογράφημα κατά κανόνα θα έχει έντονη αιχμή και απότομες καμπύλες ανόδου και καθόδου.
- ➔ Αν πέσει σε απομακρυσμένο μέρος της λεκάνης, τότε η αιχμή του υδρογραφήματος θα είναι χαμηλότερη και πιο πεπλατυσμένη, θα παρουσιασθεί καθυστέρηση στο ανέβασμα της καμπύλης ανόδου και η καμπύλη καθόδου θα είναι σχετικά ομαλότερη

κλιματικοί παράγοντες



▨ Περιοχή που δέχτηκε το μεγαλύτερο ύψος βροχής

3. Διεύθυνση της βροχής

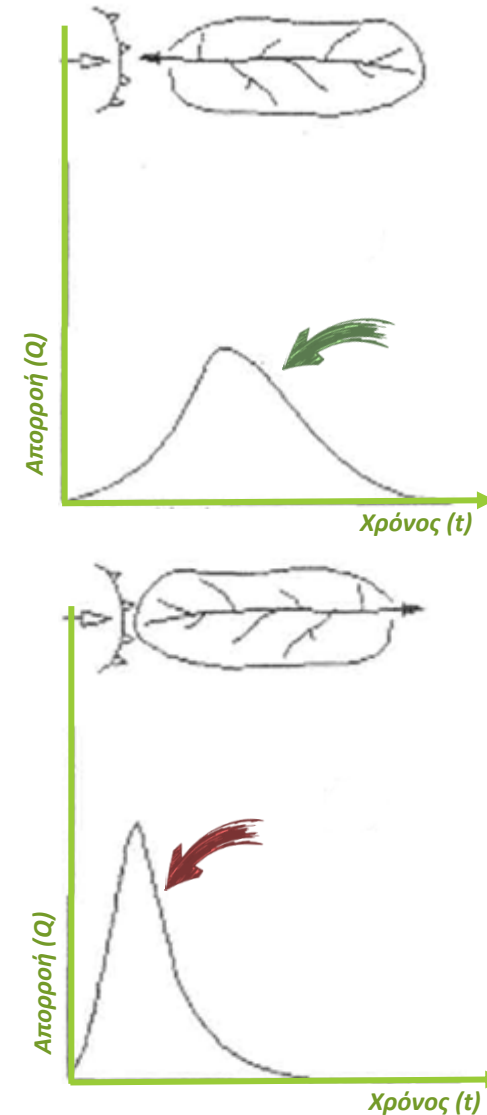
Η διεύθυνση προς την οποία κινείται η βροχή σε σχέση με τον κύριο προσανατολισμό του δικτύου των ρευμάτων της υδρολογικής λεκάνης, μπορεί να επηρεάσει τόσο το ύψος της αιχμής του υδρογραφήματος όσο και τη διάρκεια της επιφανειακής απορροής.

➤ Η επίδραση του εν λόγω παράγοντα είναι πιο έντονη σε λεκάνες με μακρόστενο σχήμα

➡ Σε λεκάνες με μακρόστενο σχήμα, αν η διεύθυνση της βροχής είναι από την έξοδο τους προς τα ανάντη, θα έχουμε υδρογράφημα με χαμηλότερη αιχμή και μεγαλύτερη διάρκεια επιφανειακής απορροής.

➡ Σε λεκάνες με μακρόστενο σχήμα, αν η διεύθυνση της βροχής είναι από το πιο απομακρυσμένο άκρο της λεκάνης προς την έξοδο, θα έχουμε υδρογράφημα με υψηλότερη αιχμή και μικρότερη διάρκεια επιφανειακής απορροής.

κλιματικοί παράγοντες



4. Μορφή του κατακρημνίσματος

Σε αντίθεση με τη βροχή, που έχει άμεσο αποτέλεσμα στη διαμόρφωση του υδρογραφήματος, η επίδραση του χιονιού δεν σχετίζεται με το ύψος και τη διάρκεια πτώσης του, αλλά με το χρόνο και το ρυθμό τήξεως του χιονοστρώματος που καλύπτει την υδρολογική λεκάνη.

Σε λεκάνες που έχουν διαμορφωμένο χιονόστρωμα και συνήθη περίοδο τήξεως την άνοιξη, η πρόκληση απορροής από την τήξη του χιονιού είναι μια σχετικά αργή διαδικασία.

- ❖ Αυτό οφείλεται στην ανομοιόμορφη κατανομή του χιονοστρώματος πάνω στη λεκάνη και τις ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που έχουν ως αποτέλεσμα ο μέσος ρυθμός τήξεως να μην ξεπερνά στις περισσότερες περιπτώσεις τη διηθητικότητα του εδάφους.
- ❖ Έτσι, στις περιπτώσεις αυτές το μεγαλύτερο μέρος της άμεσης απορροής προέρχεται από ενδιάμεση απορροή, με αποτέλεσμα το υδρογράφημα να έχει χαμηλή αιχμή αλλά πολύ μεγάλη χρονική διάρκεια.

Αν το χιόνι πέσει σε μια υδρολογική λεκάνη περιστασιακά και λιώσει γρήγορα, το σχήμα του υδρογραφήματος είναι πολύ διαφορετικό από το παραπάνω και μοιάζει περισσότερο με αυτό που προκαλείται από βροχή. Η μορφή του είναι συνάρτηση του πάχους του χιονιού και του ρυθμού τήξεως.

Αν η τήξη του χιονιού οφείλεται στην πτώση σχετικά θερμής βροχής, προκαλείται υψηλή και αρκετά παρατεταμένη απορροή. Τέτοια περιστατικά προκαλούν μερικές φορές πολύ μεγάλες πλημμύρες.

5. Τύπος της βροχής

Ο τύπος της βροχής διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της αιχμής του υδρογραφήματος, σε σχέση με το μέγεθος της υδρολογικής λεκάνης.

- ❖ Οι βροχές που προκαλούνται από έντονα ανοδικά ρεύματα (*ανοιξιάτικες και καλοκαιρινές καταιγίδες*) δίνουν τις υψηλότερες αιχμές απορροής σε μικρές υδρολογικές λεκάνες, ενώ η επίδραση τους δεν είναι σημαντική σε μεγάλες λεκάνες γιατί οι ανοδικές βροχές είναι περιορισμένες σε έκταση.
- ❖ Οι βροχές που προκαλούνται από εκτεταμένα μετωπικά συστήματα σε συνδυασμό με ορογραφικούς παράγοντες δίνουν υψηλές και παρατεταμένες αιχμές.

Τοπογραφικοί παράγοντες

Το υδρογράφημα της άμεσης απορροής μιας υδρολογικής λεκάνης είναι το συνδυαστικό αποτέλεσμα όλων των φυσικών χαρακτηριστικών της λεκάνης.

Μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά που ασκούν ουσιαστική επίδραση στη διαμόρφωση της άμεσης απορροής μιας λεκάνης είναι:

- 
1. το μέγεθος και το σχήμα της λεκάνης,
 2. η κατανομή και η πυκνότητα του δικτύου των ρευμάτων,
 3. η κλίση των πρηνών της λεκάνης,
 4. η κλίση του κύριου υδατορεύματος,
 5. το ανάγλυφο του εδάφους και
 6. το ποσοστό και το είδος της φυτοκάλυψης.

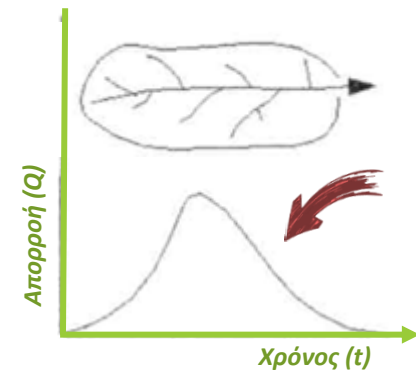
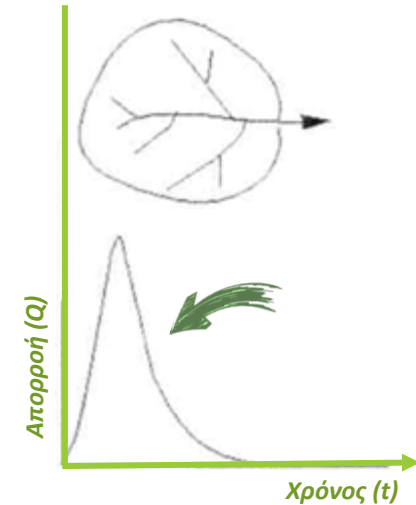
1. Μέγεθος και σχήμα της υδρολογικής λεκάνης

Η κύρια επίδραση του μεγέθους της λεκάνης στο σχήμα του υδρογραφήματος της άμεσης απορροής έχει σχέση με τη χρονική διάρκεια του υδρογραφήματος.

- ❖ Μια συγκεκριμένη βροχή που πέφτει σε μεγάλη λεκάνη θα δώσει υδρογράφημα μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας, ενώ η απορροή ανά μονάδα επιφάνειας στην περίοδο της αιχμής θα είναι μικρότερη

Το σχήμα της λεκάνης απορροής διαμορφώνει το ρυθμό με τον οποίο το νερό φτάνει στο κύριο υδατόρευμα, επηρεάζει την καμπύλη ανόδου του υδρογραφήματος και το μέγεθος της αιχμής του.

- ➡ Αν τα ρεύματα της λεκάνης έχουν μικρό μήκος και συγκλίνουν προς την έξοδο, η καμπύλη ανόδου του υδρογραφήματος είναι πιο απότομη και η αιχμή φτάνει σε μεγαλύτερο ύψος.
- ➡ Αν το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης είναι σχετικό απομακρυσμένο από την έξοδο της η καμπύλη ανόδου του υδρογραφήματος είναι πιο ήπια και η αιχμή φτάνει σε μικρότερο ύψος.



2. Κατανομή και πυκνότητα του δικτύου των ρευμάτων

Όσο πυκνότερο και πιο ομοιόμορφα κατανεμημένο είναι το δίκτυο των ρευμάτων μιας υδρολογικής λεκάνης:

- ❖ τόσο μικρότερες είναι οι διαδρομές που κάνει το νερό πάνω στην επιφάνεια του εδάφους και τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος που κάνει το νερό για να φτάσει στην έξοδο της λεκάνης
- ❖ η καμπύλη ανόδου του υδρογραφήματος θα είναι πιο απότομη, το ύψος της αιχμής μεγαλύτερο και γενικά η άμεση απορροή μεγαλύτερη. Ο χρόνος επαφής του νερού με το έδαφος είναι μικρότερος και κατά συνέπεια μικρότερες ποσότητες νερού διηθούνται μέσα σ' αυτό.

Στην περίπτωση λεκάνης με αραιό δίκτυο ρευμάτων συμβαίνει ακριβώς τα αντίθετα.

3. Κλίση των πρανών της υδρολογικής λεκάνης

Η κλίση των πρανών της λεκάνης καθορίζει το χρόνο επαφής του νερού της βροχής με την επιφάνεια του εδάφους, δηλαδή καθορίζει τη διάρκεια της διηθήσεως.

Η κλίση είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας του χρόνου συγκεντρώσεως γιατί ρυθμίζει την ταχύτητα που το νερό κινείται πάνω στην επιφάνεια.

Η ροή του νερού στην επιφάνεια μπορεί να εκφρασθεί από τη σχέση του Butler: $q=a \cdot D^b \cdot S^c$

Όπου:

- q είναι η ροή (παροχή) ανά εδαφική ζώνη πλάτους ίσου με τη μονάδα,
- D είναι η κλίση του εδάφους και
- a, b, c είναι σταθερές που εξαρτώνται από τον αριθμό του Reynolds, την ορμή των βροχοσταγονιδίων και την τραχύτητα της εδαφικής επιφάνειας.

Η σχέση του Butler δείχνει ότι η ταχύτητα ροής μεγαλώνει ανάλογα με την κλίση και κατά συνέπεια ελαττώνεται ο χρόνος επαφής του νερού με το έδαφος.

Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση:

- τόσο περιορίζεται η χρονική βάση του υδρογραφήματος,
- η αιχμή φτάνει σε μεγαλύτερα ύψη και
- οι καμπύλες ανόδου και καθόδου γίνονται πιο απότομες.

4. Κλίση του κυρίου υδατορεύματος

Όταν το νερό φτάσει στον κύριο κλάδο του ρεύματος μιας υδρολογικής λεκάνης, ο χρόνος που θα χρειασθεί να φτάσει μέχρι την έξοδο της εξαρτάται από το μήκος και την κλίση του ρεύματος.

Η ταχύτητα ροής σε ανοικτά κανάλια μπορεί να υπολογισθεί με μια σχέση της μορφής: $V=C \cdot R^m \cdot S^n$

- Όπου:
- V είναι η ταχύτητα ροής,
 - C είναι μια σταθερά που η τιμή της εξαρτάται από την τραχύτητα των τοιχωμάτων του καναλιού,
 - R είναι η υδραυλική ακτίνα,
 - S είναι η κλίση του καναλιού και
 - m και n είναι εκθέτες που κατά τον Manning έχουν τιμές $2/3$ και $1/2$ αντίστοιχα.

Θεωρώντας πως ο χρόνος t για μια διαδρομή L περιγράφεται από τη σχέση $t=L/V=L/(C \cdot R^m \cdot S^n)$

τεκμαίρεται πως χρόνος διαδρομής είναι αντίστροφα ανάλογος κάποιας δυνάμεως της κλίσεως του ρεύματος, δηλαδή ο χρόνος αυτός μικραίνει όσο μεγαλώνει η κλίση.

5. Η ανάγλυφη όψη της υδρολογικής Λεκάνης

Το νερό της βροχής που συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του εδάφους, πριν αρχίσει να κινείται επιφανειακά προς τα ρεύματα, γεμίζει πρώτα τις πιθανές εδαφικές κοιλότητες.

Ο αριθμός και η μορφή των εδαφικών κοιλοτήτων, σε συνδυασμό με την κλίση της λεκάνης, θα επηρεάζουν το σχήμα του υδρογραφήματος

- ❖ Οι λεκάνες με λίγες εδαφικές κοιλότητες και μεγάλες κλίσεις πρανών δίνουν υδρογράφημα με μικρή χρονική βάση, απότομες καμπύλες ανόδου και καθόδου και μεγάλη αιχμή.
- ❖ Οι λεκάνες με μεγάλο αριθμό εδαφικών κοιλοτήτων και μικρή κλίση δίνουν υδρογράφημα με χαμηλή αιχμή και μεγάλη χρονική βάση

6. Ποσοστό και είδος φυτοκάλυψης

Η φυτοκάλυψη επηρεάζει την απορροή με δύο τρόπους:

- ❖ ο ένας είναι άμεσος κι αναφέρεται στη συγκράτηση του νερού της βροχής από τη φυτοκάλυψη, που στη συνέχεια εξατμίζεται πίσω στην ατμόσφαιρα
- ❖ ο άλλος είναι μακρόχρονος και οφείλεται στη διαπνοή

Οι υδρολογικές λεκάνες που έχουν μεγάλο ποσοστό φυτοκάλυψης από δέντρα με πυκνό φύλλωμα, δίνουν ομαλό υδρογράφημα με μεγάλη χρονική βάση και χαμηλή αιχμή.

7. Γεωλογικοί παράγοντες

Γεωλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν το σχήμα του υδρογραφήματος είναι εκείνοι που ρυθμίζουν τη ροή του νερού προς τα ρεύματα, είτε με τη μορφή ενδιάμεσης απορροής, είτε με τη μορφή υπόγειας ροής (βασικής απορροής).

1. Επιφανειακές εδαφικές στρώσεις

Η κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους, σε συνδυασμό με την υφή και τη δομή των υποκείμενων στρώσεων, καθορίζει το ρυθμό διηθήσεως του νερού και τον όγκο της επιφανειακής απορροής.

Επίσης, η διάταξη των εδαφικών στρώσεων επιδρά στο ρυθμό της κατακόρυφης και πλευρικής κινήσεως του νερού που έχει διηθηθεί στο έδαφος.

Αν η επιφανειακή στρώση του εδάφους, που επικάθεται σε μια αδιαπέρατη στρώση, είναι αρκετά διαπερατή, ένα σημαντικό ποσοστό του νερού που διηθήθηκε θα κινηθεί πλευρικά, καθιστώντας έτσι την ενδιάμεση απορροή ένα σημαντικό παράγοντα στην τελική διαμόρφωση του υδρογραφήματος.

Το διαμορφωθέν υδρογράφημα θα έχει χαμηλή αιχμή και μεγάλη χρονική διάρκεια

- ❖ Αν η επιφανειακή στρώση της λεκάνης αποτελείται από έδαφος με μικρή διηθητικότητα, → το μεγαλύτερο μέρος της βροχής θα κινηθεί επιφανειακά προς τα ρεύματα με συνέπεια το υδρογράφημα να έχει υψηλή αιχμή και μικρή χρονική βάση.
- ❖ Αν όλες οι εδαφικές στρώσεις είναι σχετικά διαπερατές, → το μεγαλύτερο μέρος του νερού, θα διηθηθεί βαθιά, με αποτέλεσμα πολύ χαμηλή αιχμή και γενικά μικρό όγκο άμεσης απορροής.

2. Βαθύτεροι γεωλογικοί σχηματισμοί

Το είδος και η διάταξη των γεωλογικών σχηματισμών που βρίσκονται κάτω από μια υδρολογική λεκάνη, επιδρά στη βασική απορροή.

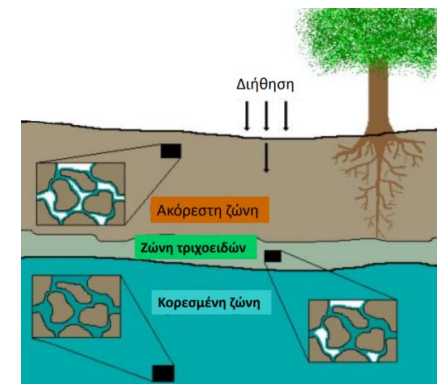
Ανάλογα με τη διάταξη των σχηματισμών αυτών:

- ❖ η περιοχή που συνεισφέρει νερό στα ρεύματα μιας λεκάνης μπορεί να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την επιφανειακή έκταση της λεκάνης, όπως αυτή καθορίζεται από τον υδροκρίτη.
- ❖ Επηρεάζεται η υπόγεια στάθμη του νερού. Δηλαδή μπορεί:
 - είτε να εφοδιάζει τα ρεύματα συνέχεια με νερό, οπότε η βασική απορροή θα είναι συνεχής και σημαντική,
 - είτε να την κρατά μόνιμα κάτω από τον πυθμένα των ρευμάτων, οπότε τα ρεύματα θα εμπλουτίζουν με νερό τα υπόγεια στρώματα χωρίς να δέχονται τίποτε από αυτά, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της βασικής απορροής.

Παραπάνω εξετάστηκε μεμονωμένα η επίδραση των παραγόντων στο σχήμα του υδρογραφήματος. Στη φύση είναι σύνηθες ένας παράγοντας να αναιρεί τα αποτελέσματα κάποιου άλλου έτσι που το τελικό υδρογράφημα να εξαρτάται από το αθροιστικό αποτέλεσμα όλων των παραγόντων, καθώς αυτοί δρουν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό μεταξύ τους.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Μάθημα 6.2: Κατακράτηση και Διήθηση



Περίγραμμα των Διαλέξεων/ Διδασκαλιών

Ενότητα I: Κύκλος Νερού – Υδρολογικό Ισοζύγιο

Ενότητα II: Τα Κατακρημνίσματα

Ενότητα III: Εξάτμιση και Διαπνοή (Εξατμισοδιαπνοή)

Ενότητα IV: Απορροή

Ενότητα V: Κατακράτηση και διήθηση

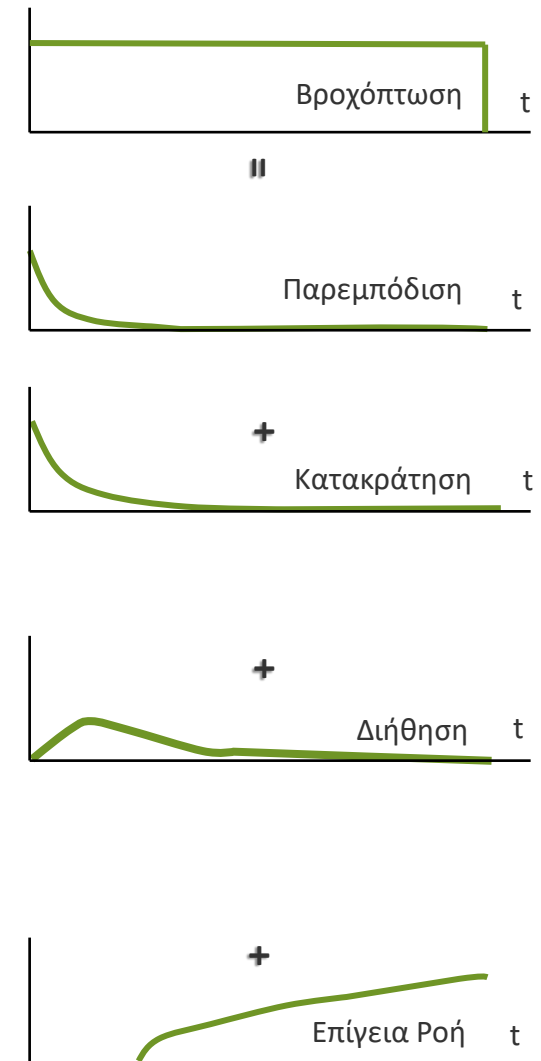


Η Ενότητα V θα πρέπει να
μελετηθεί σε συνδυασμό
με την εργαστηριακή
ενότητα X

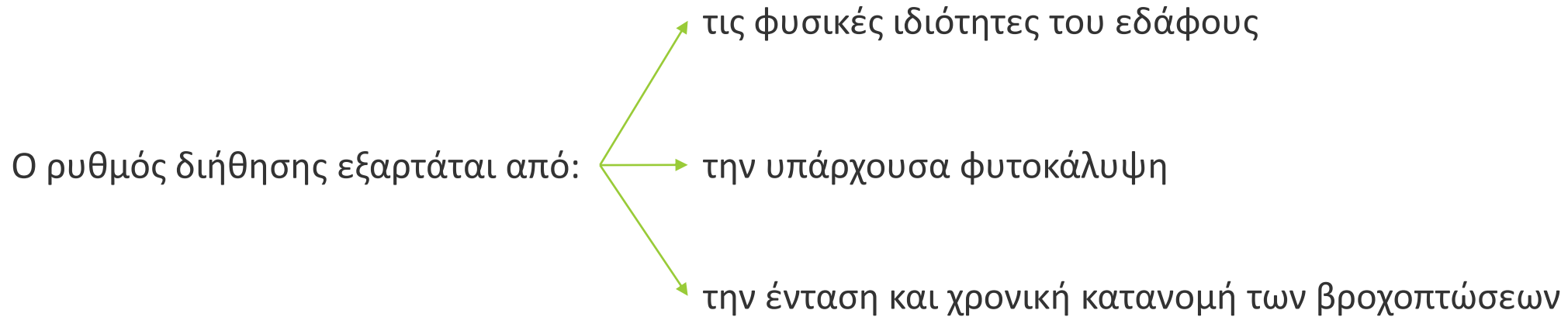
Βασικές Έννοιες -I-

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 στρώμα νερού σχηματίζεται επίσης στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτό είναι γνωστό ως εδαφική συγκράτηση (surface detention). Μέρος του νερού που συγκρατείται από την επιφάνεια του εδάφους εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα, ενώ το υπόλοιπο εισέρχεται και αρχίζει να κινείται μέσα στο έδαφος, δημιουργώντας το φαινόμενο της διήθησης.
- Από τη διηθητική ικανότητα του εδάφους εξαρτάται το ποσοστό του νερού που απορρέει επιφανειακά και καταλήγει στα υδατορεύματα, καθώς και αυτό που θα κινηθεί μέσα στο έδαφος και θα τροφοδοτήσει τους υπόγειους υδροφορείς.



Βασικές Έννοιες -II-



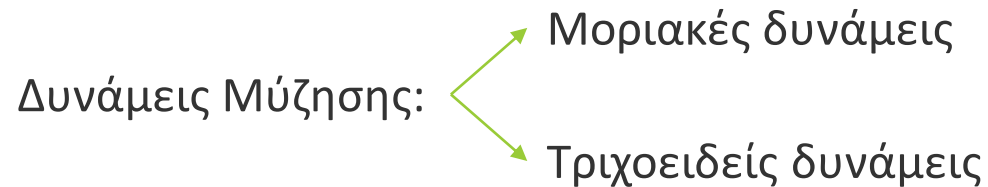
Συνεπώς, ο ρυθμός διήθησης μεταβάλλεται χωρικά και χρονικά

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

Διαδικασία της διήθησης -I-

Αρχικά το νερό που συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του εδάφους, εισχωρεί μέσα σε αυτό, δημιουργώντας ένα υγρό μέτωπο που κινείται προς τα κάτω.

Οι δυνάμεις που προσδιορίζουν την κίνηση αυτή είναι κατά κύριο λόγο οι δυνάμεις βαρύτητας, που έχουν φορά προς τα κάτω και οι δυνάμεις μύζησης



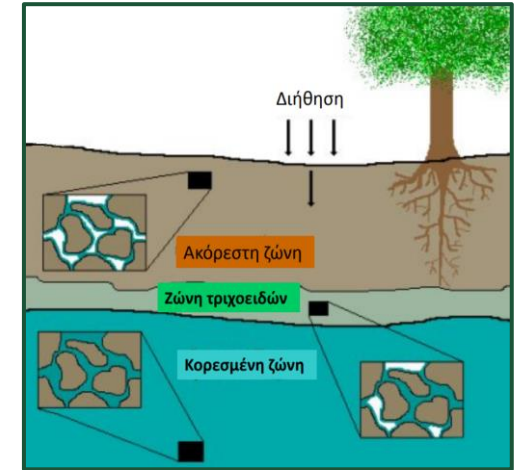
Οι τριχοειδείς δυνάμεις οφείλονται στην ύπαρξη μικροαγωγών ανάμεσα στους εδαφικούς πόρους του εδάφους και μπορούν να έχουν διάφορες διευθύνσεις.

Σε ένα ξηρό έδαφος, οι μικροαγωγοί αυτοί έχουν μικρή ή καθόλου ποσότητα νερού και οι τριχοειδείς δυνάμεις είναι μεγάλες. Σε ένα υγρό έδαφος, οι δυνάμεις αυτές είναι πολύ μικρές, αφού το νερό έχει γεμίσει τα εδαφικά διάκενα. Για το λόγο αυτό, μετά από μια βροχόπτωση, η διηθητική ικανότητα του εδάφους είναι μειωμένη και περισσότερο νερό απορρέει επιφανειακά

Διαδικασία της διήθησης -II-

Στην αρχή ενός επεισοδίου βροχόπτωσης, οι τριχοειδείς δυνάμεις έχουν την ίδια φορά με τις δυνάμεις βαρύτητας και ενισχύουν την τάση του νερού να κινηθεί προς τα κάτω μέσα στο έδαφος και να εμπλουτίσει τους υπόγειους υδροφορείς (υδροφορείς: το κορεσμένο στρώμα νερού που βρίσκεται από μερικά μέτρα, ως μερικές δεκάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους).

Όταν οι πόροι του εδάφους γεμίσουν από νερό, οι δυνάμεις αυτές γίνονται ασήμαντες και η επίδραση τους ουδέτερη.



Μετά το τέλος της βροχόπτωσης, η εδαφική υγρασία των ανώτερων επιφανειακών στρωμάτων, αρχίζει να μειώνεται, αφού νερό διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της εξάτμισης και της διαπνοής των φυτών.

Αποτέλεσμα: Το κατακόρυφο προφίλ της εδαφικής υγρασίας αναστρέφεται: Έχουμε χαμηλότερες τιμές υγρασίας στα ανώτερα στρώματα και υψηλότερες στα κατώτερα. Στην περίπτωση αυτή, οι τριχοειδείς δυνάμεις αλλάζουν φορά και συμβάλλουν στην ανύψωση του νερού από χαμηλότερα σε υψηλότερα εδαφικά στρώματα, συμβάλλοντας έτσι στην ύπαρξη νερού στην ακόρεστη εδαφική ζώνη.

Η ζώνη αυτή μπορεί να έχει ύψος από λίγα εκατοστά ως μερικά μέτρα πάνω από την κορεσμένη και η υδροστατική πίεση σε αυτή είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική.

Διαδικασία της διήθησης -III-

Τα τριχοειδή φαινόμενα διαδραματίζουν καταλυτικό ρόλο στην ανάπτυξη των καλλιεργειών και της φυτικής βλάστησης γενικότερα *(την ύπαρξη της απαραίτητης εδαφικής υγρασίας στη ζώνη ριζοστρώματος, ακόμα και σε περιόδους έντονης ξηρασίας)*.

Χωρίς τα τριχοειδή φαινόμενα, το σύνολο του νερού θα στραγγιζόταν με τις δυνάμεις βαρύτητας προς τα βαθύτερα υδροφόρα στρώματα με δυσμενείς συνέπειες για τις καλλιέργειες.

Όταν η ένταση της κατακρήμνισης ξεπεράσει τη διηθητική ικανότητα του εδάφους, μέρος της ποσότητας νερού που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους, απορρέει επιφανειακά, τροφοδοτώντας τα υδατορεύματα.

Συμπερασματικά: Η Διήθηση καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την αναλογία του νερού που θα διατεθεί σε κάθε συνιστώσα του υδρολογικού κύκλου, αλλά και τη χρονική κατανομή αυτής της διάθεσης

- Η επάρκεια νερού στα ανώτερα εδαφικά στρώματα καθορίζει την ποσότητα νερού που θα διαφύγει στην ατμόσφαιρα με το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής.
- Η ποσότητα του νερού που καταλήγει στους υπόγειους υδροφορείς, είναι αυτή που εξασφαλίζει την ύπαρξη νερού στα υδατορεύματα κατά τους ξηρούς μήνες.

Διαδικασία της διήθησης -IV-

Παράδειγμα:

Σε μια λεκάνη με σχεδόν αδιαπέρατη επιφάνεια, αναμένεται σχεδόν όλη η ποσότητα του κατακρημνιζόμενου νερού να απορρέει αμέσως μετά τα επεισόδια βροχόπτωσης.

Σε μια δασική έκταση, μεγάλο μέρος του νερού θα διηθηθεί στο έδαφος, θα τροφοδοτήσει τους υπόγειους υδροφορείς και πιθανόν θα εξασφαλίσει τη βασική ροή σε ένα υδατόρευμα ακόμα και κατά τους θερινούς μήνες.



Η καλή γνώση του ρυθμού διήθησης, είναι απαραίτητη για τη μελέτη του φαινομένου βροχής-απορροής σε μια λεκάνη. Η ακριβής εκτίμηση αυτής της παραμέτρου είναι πολύ δύσκολη, λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου.

Διαδικασία της διήθησης -V-

Ο ρυθμός διήθησης είναι ένα μέγεθος που μεταβάλλεται χρονικά και χωρικά

- Η διήθηση μετά από ένα επεισόδιο βροχόπτωσης είναι μειωμένη, εξαρτάται δηλαδή, ο ρυθμός διήθησης από την κατανομή των βροχοπτώσεων στο χρόνο.
- Σε μια λεκάνη απορροής, ο ρυθμός διήθησης δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο, ανάλογα με τον τύπο εδάφους και τη φυτοκάλυψη.

Συμπέρασμα: Είναι ευκολότερο να εξάγεται ένας μέσος αντιπροσωπευτικός ρυθμός διήθησης για όλη τη λεκάνη.

Συγκεντρωτικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό διήθησης είναι:

- ο τύπος και η έκταση της φυτικής κάλυψης (οι χρήσεις γης)
- η κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους,
- η θερμοκρασία,
- η ένταση βροχόπτωσης,
- οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους και η ποιότητα του νερού

Διαδικασία της διήθησης -VI-

Οι μέθοδοι για τον προσδιορισμό της ικανότητας διήθησης, διακρίνονται σε:

- μετρήσεις με διηθησόμετρα
- αναλύσεις υδρογραφημάτων.

Τα διηθησόμετρα είναι σωλήνες ή δακτύλιοι που εισάγονται στο έδαφος και τροφοδοτούνται με νερό, ώστε να προσομοιώνουν σε μικρότερη κλίμακα τα φαινόμενα βροχόπτωση-διήθηση-απορροή.



Οι αναλύσεις υδρογραφημάτων υπολογίζουν το ρυθμό διήθησης λαμβάνοντας υπόψη το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης και το αντίστοιχο βροχογράφημα που το προκάλεσε.

Οι αναλύσεις υδρογραφημάτων πλεονεκτούν στο ότι αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές συνθήκες βροχόπτωσης και δίνουν ένα μέσο αντιπροσωπευτικό ρυθμό διήθησης για όλη τη λεκάνη (ενώ τα διηθησόμετρα υπολογίζουν σημειακούς ρυθμούς διήθησης).

Οι αναλύσεις υδρογραφημάτων μειονεκτούν στο ότι στο ότι η ακρίβεια προσδιορισμού του ρυθμού διήθησης εξαρτάται από την ακρίβεια των βροχομετρήσεων και των υδρομετρήσεων

Μέθοδοι Υπολογισμού της Διήθησης -I-

Οι υπολογισμοί της διήθησης ποικίλουν σε πολυπλοκότητα: **i)** προσδιορισμός μέσων ρυθμών για ειδικούς τύπους εδάφους και φυτικής κάλυψης, **ii)** χρήση διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν τη ροή του νερού σε ακόρεστο πορώδες μέσο.

- Για μικρές αστικές περιοχές που ανταποκρίνονται γρήγορα στην είσοδο της καταιγίδας, συχνά χρησιμοποιούνται πιο ακριβείς μέθοδοι.
- Σε μεγάλες λεκάνες αντίθετα, υποκείμενες σε πλημμυρικές αιχμές από παρατεταμένες καταιγίδες, μέσες ή αντιπροσωπευτικές τιμές μπορεί να θεωρηθούν επαρκείς.

Οι μέθοδοι υπολογισμού της Διήθησης σχετίζονται με την ανάπτυξη εμπειρικών εξισώσεων βασισμένων πάνω σε παρατηρήσεις πεδίου και λύσεων με εξισώσεις που βασίζονται στη μηχανική της κορεσμένης ροής σε πορώδες μέσο.

Τα πιο γνωστά μοντέλα διήθησης είναι: τα μοντέλα των Green Ampt, το μοντέλο διήθησης του Horton, το μοντέλο των Huggins Monke, το μοντέλο Kostiakov, το μοντέλο Holtan και το μοντέλο Philip,

Το Μοντέλο διήθησης του HORTON -I-

Σύμφωνα με το μοντέλο διήθησης του HORTON, για τον προσδιορισμό της ικανότητας διήθησης χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

όπου: f_p = η ικανότητα διήθησης (mm ή cm/hour) στο χρόνο t

k = σταθερά που αντιπροσωπεύει το ρυθμό μείωσης της ικανότητας f_p με το χρόνο

f_c = τελική ικανότητα διήθησης

f_0 = η αρχική ικανότητα διήθησης.

Παρατηρώντας την εξίσωση, συμπεραίνουμε πως: αν η βροχόπτωση υπερβεί την ικανότητα διήθησης τότε η διήθηση τείνει να μειωθεί με εκθετικό ρυθμό: $(f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$

Με ολοκλήρωση της παραπάνω σχέσης προκύπτει το αθροιστικό ύψος διήθησης στο χρόνο:

$$F = f_c \cdot t + \frac{(f_0 - f_c)}{k} \cdot (1 - e^{-kt})$$

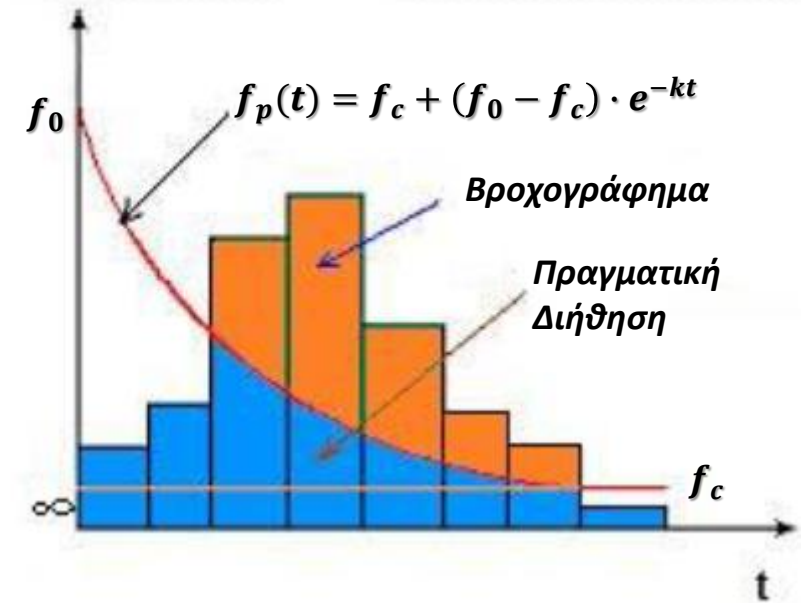
Αν και οι εξισώσεις έχουν απλή μορφή, ο προσδιορισμός των τιμών των f_0 και k δεν είναι ιδιαίτερα εύκολος

Το Μοντέλο διήθησης του HORTON -II-

Στο διπλανό σχήμα παρουσιάζεται γραφικά η καμπύλη Horton σε συνάρτηση με το βροχογράφημα ενός επεισοδίου βροχόπτωσης.

Η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα, αντιπροσωπεύει το ύψος της στήλης νερού που μπορεί να διηθηθεί κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος.

Ο ρυθμός διήθησης δίνεται συνήθως σε mm ή cm ανά ώρα και ο χρόνος ίσε λεπτά.



- Παρατηρώντας τη μεταβολή της διήθησης με το χρόνο και σχεδιάζοντας το γραφήματα του $f_p(t)$ με το t , μπορούν να εκτιμηθεί η τιμή του f_c . Επίσης, εκλέγονται από την καμπύλη δύο ζεύγη τιμών των f_p και t και εισάγοντας τις τιμές τους στην εξίσωση διήθησης, δημιουργείται ένα σύστημα δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους, το οποίο μπορεί να επιλυθεί με διαδοχικές προσεγγίσεις ως προς τα f_0 και k .

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt} \rightarrow f_p - f_c = (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt} \rightarrow \ln(f_p - f_c) = \ln(f_0 - f_c) - k \cdot t$$

Το Μοντέλο διήθησης του HORTON -III-

Στον Πίνακα που ακολουθεί δίνονται μερικές τυπικές τιμές των συντελεστών f_0 , f_c , k για συγκεκριμένες κατηγορίες εδάφους και φυτοκάλυψης

Κατηγορία εδάφους και φυτοκάλυψης	f_0 (mm/h)	f_c (mm/h)	k (h ⁻¹)
Τυπικό γεωργικό, γυμνό	280	6-220	96
Τυπικό γεωργικό καλυμμένο με χλόη	900	20-290	48
Λεπτή αμμώδης άργιλος, γυμνή	210	2-25	120
Λεπτή αμμώδης άργιλος, καλυμμένη με χλόη	670	10-30	84

Το Μοντέλο διήθησης του GREEN AMPT -I-

Σύμφωνα με το μοντέλο διήθησης του GREEN AMPT, για τον προσδιορισμό της ικανότητας διήθησης χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$f_p = K_s \cdot \left(1 + \frac{S \cdot IMD}{F} \right)$$

όπου: f_p = η ικανότητα διήθησης (mm ή cm/hour) στο χρόνο t

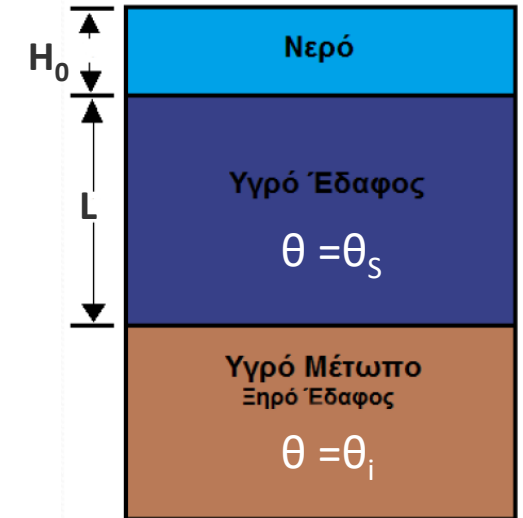
K_s = η αγωγιμότητα της υγρής ζώνης

S = η τριχοειδής αναρρόφηση στο υγρό μέτωπο

F = το αθροιστικό ύψος διήθησης στο χρόνο

$IMD = \theta_s - \theta_i$ το αρχικό έλλειμα υγρασίας (θ_i το αρχικό περιεχόμενο του εδάφους σε νερό, θ_s το πορώδες του εδάφους)

Το μοντέλο υποθέτει ότι η εδαφική επιφάνεια καλύπτεται από λιμνάζον νερό αμελητέου βάθους και ότι το νερό διηθείται σε ένα βαθύ ομογενές έδαφος με επίσης ομογενές αρχικό περιεχόμενο νερού. Το νερό εισέρχεται στο έδαφος με τρόπο που να καθορίζει με ακρίβεια ένα υγρό μέτωπο, που διαχωρίζει τις ξηρές από τις υγρές περιοχές.



Το Μοντέλο διήθησης του GREEN AMPT -II-

Με ολοκλήρωση της αρχικής σχέσης προκύπτει το αθροιστικό ύψος διήθηση στο χρόνο:

$$F - S \cdot IMD \cdot \ln \left(\frac{F+S \cdot IMD}{S \cdot IMD} \right) = K_s \cdot t$$

Αυτή η μορφή της εξίσωσης Green-Ampt, είναι πιο εύκολη για διαδικασίες προσομοίωσης λεκάνης απορροής, γιατί συνδέει την αθροιστική διήθηση με το χρόνο κατά τον οποίο ξεκίνησε η διήθηση.

Η εξαγωγή αυτής της σχέσης υποθέτει μια λιμνάζουσα επιφάνεια, έτσι ώστε ο πραγματικός ρυθμός διήθησης να είναι ίσος με την ικανότητα διήθησης κάθε χρονική στιγμή.

Με τη χρήση της τελευταίας εξίσωσης μπορεί να προσδιοριστεί η αθροιστική διήθηση οποιαδήποτε χρονική στιγμή, μια ιδιότητα χρήσιμη για συστήματα συνεχούς προσομοίωσης.

Όλες οι παράμετροι στην εξίσωση είναι φυσικές ιδιότητες του εδάφους και του συστήματος εδάφους - νερού και είναι μετρήσιμες. Εναλλακτικά, οι τιμές θ_s , S και K_s δίνονται από πίνακες της USDA ανάλογα με τον τύπο εδάφους.

Το Μοντέλο διήθησης του HOLTAN

Μια άλλη εξίσωση που περιγράφει την ικανότητα διήθησης έχει αναπτυχθεί από τον Holtan:

$$f_p = a \cdot F_p^n + f_c \rightarrow \ln(f_p - f_c) = \ln a + n \cdot \ln F_p$$

όπου: f_p = η ικανότητα διήθησης (in/hr)

a = η ικανότητα διήθησης [(in/hr)/in^{1.4}] της διαθέσιμης αποθήκευσης (δείκτης του συσχετιζόμενου με την επιφάνεια πορώδους)

F_p = η διαθέσιμη αποθήκευση στο επιφανειακό στρώμα (ορίζοντας A σε καλλιεργήσιμα εδάφη, που είναι περίπου οι πρώτες 6 ίντσες) σε ίντσες ισοδύναμου νερού

f_c = ο σταθερός ρυθμός διήθησης μετά από μακρόχρονη διαβροχή (in/hr)

n = εκθέτης με τυπική τιμή 1.4

Το κύριο πλεονέκτημα του μοντέλου είναι η δυνατότητα ανάκτησης της ικανότητας διήθησης του εδάφους κατά τη διάρκεια περιόδων με αρκετή ηλιοφάνεια ή με μηδενική βροχόπτωση

$$F_p = h \cdot n - F$$

Το Μοντέλο διήθησης του ΚΟΣΤΙΑΚΟΝ

Μια άλλη εξίσωση που περιγράφει την ικανότητα διήθησης έχει αναπτυχθεί από τον Kostiakov:

$$f_p = (a \cdot b) \cdot t^{b-1}$$

Το αθροιστικό ύψος διήθηση στο χρόνο δίνεται από η σχέση : $F = a \cdot t^b$

όπου: f_p = η ικανότητα διήθησης (in/hr),

F = η αθροιστική διήθηση (in) και

a, b = σταθερές που υπολογίζονται από την επεξεργασία των μετρήσεων.

Με λογαρίθμιση της παραπάνω εξίσωσης προκύπτει: $\log F = \log a + b \cdot \log t$

Το Μοντέλο διήθησης του PHILIP

Μια άλλη εξίσωση που περιγράφει την ικανότητα διήθησης έχει αναπτυχθεί από τον Philip:

$$f_p = \frac{1}{2} \cdot s \cdot t^{-0.5} + A$$

Το αθροιστικό ύψος διήθηση στο χρόνο δίνεται από η σχέση : $F = s \cdot t^{0.5} + A \cdot t$

όπου: f_p = η ικανότητα διήθησης (in/hr),

F = η αθροιστική διήθηση (in) και

s = η απορροφητικότητα του εδάφους

A = σταθερά που σχετίζεται με τις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους.

Παρεμπόδιση

Τμήμα των κατακρημνισμάτων μιας καταιγίδας παρεμποδίζεται από τη βλάστηση και άλλες μορφές κάλυψης της λεκάνης απορροής.

Η παρεμπόδιση μπορεί να οριστεί ως το τμήμα της καθαρής εισερχόμενης κατακρήμνισης που προσκολλάται στα υπερκείμενα του εδάφους αντικείμενα, μέχρι να επιστρέψει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης.

Τα κατακρημνίσματα που προσκρούουν στη βλάστηση, μπορούν να κατακρατηθούν σε φύλλα ή σε λεπίδες από γρασίδι, να ρεύσουν πάνω στους κορμούς των φυτών δημιουργώντας την κορμορροή (stemflow), ή να πέσουν από τα φύλλα δημιουργώντας τμήμα της διάπτωσης. Η υπόλοιπη διάπτωση είναι το μέρος της βροχόπτωσης που καταλήγει στο έδαφος μέσα από τα κενά στη φυτοκάλυψη.

Η διάπτωση εξαρτάται όχι μόνο από τα χαρακτηριστικά της χλωρίδας, αλλά και από το ρυθμό της βροχόπτωσης και τις μετεωρολογικές συνθήκες που καθορίζουν την εξάτμιση από τα φυλλώματα.

Κατακράτηση -I-

Τα κατακρημνίσματα που φτάνουν στο έδαφος μπορούν να διηθηθούν, να απορρεύσουν πάνω στην επιφάνεια, ή να παγιδευτούν μέσα στις πολυάριθμες μικρές κοιλότητες του εδάφους, από όπου η μόνη διέξοδος είναι η εξάτμιση ή η διήθηση. Το φαινόμενο αυτό της συγκράτησης του νερού στις εδαφικές κοιλότητες ονομάζεται κατακράτηση (depression).

- Η φύση των κοιλοτήτων, όπως και το μέγεθος τους, είναι σε μεγάλο βαθμό συνάρτηση της αρχικής μορφής του εδάφους και των τοπικών πρακτικών χρήσεως γης.
- Εξαιτίας της μεγάλης μεταβλητότητας της φύσης της κατακράτησης και των ανεπαρκών μετρήσεων, δεν είναι δυνατό να υπάρξει μία γενικευμένη σχέση με όλες τις παραμέτρους που να ισχύει για κάθε περίπτωση.

Κατακράτηση -II-

Ένα ορθολογικό μοντέλο για την περιγραφή του φαινομένου, έχει προταθεί από τον Linsey, σύμφωνα με το οποίο η κατακράτηση κάθε χρονική στιγμή δίνεται από τη σχέση.

$$V = S_d \cdot (1 - e^{-k \cdot P_e}) \quad \text{όπου:} \quad \begin{aligned} V &= \text{o όγκος κατακράτησης} \\ S_d &= \text{η μέγιστη ικανότητα της κατακράτησης} \\ k &= \text{σταθερά ίση με } 1/S_d \\ P_e &= \text{η ενεργός βροχόπτωση.} \end{aligned}$$

Η σταθερά k και η μέγιστη ικανότητα της κατακράτησης S_d υπολογίζονται από επεξεργασία ιστορικών επεισοδίων βροχής απορροής.

- Ο ρυθμός με τον οποίο τροφοδοτούνται οι κοιλότητες του εδάφους φθίνει γρήγορα μετά την έναρξη του επεισοδίου κατακρήμνισης.
- Στο τέλος, το ποσοστό της κατακρήμνισης που καταλήγει σε εδαφική κατακράτηση πλησιάζει το μηδέν, δεδομένου ότι υπάρχει ένας αρκετά μεγάλος όγκος κατακρημνίσεων που υπερβαίνει τις άλλες απώλειες της εδαφικής αποθήκευσης, όπως είναι η διήθηση και η εξάτμιση. Αργότερα, όλο το νερό της εδαφικής κατακράτησης είτε θα εξατμιστεί ή θα διηθηθεί στο έδαφος.

ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ (I)

α) Ορισμός και βασικά φαινόμενα

Κατείσδυση είναι το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους, φθάνει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και προστίθεται στο υπόγειο νερό.

Λεπτομερέστερα:

- Ένα μέρος που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους θα συμπληρώσει το έλλειμμα υγρασίας των στρωμάτων από τα οποία θα περάσει (**νερό κατακράτησης**).
- Ένα μέρος θα κινηθεί στα ανώτερα στρώματα και θα επανεμφανιστεί στην επιφάνεια του εδάφους (**υποδερμική απορροή**)
- Το υπόλοιπο θα κινηθεί προς τα κάτω, λόγω βαρύτητας, και θα προστεθεί στο υπάρχον υπόγειο νερό των υδροφόρων στρωμάτων (**νερό βαρύτητας**).

■ Μέρος των παραπάνω κατηγοριών του νερού **εξατμίζεται ή διαπνέεται** και επανέρχεται στην ατμόσφαιρα, αυτό τελικά το ποσοστό θα υπαχθεί στην **εξατμισιδιαπνοή** και όχι στην κατείσδυση.

■ Τελικά δεν φθάνει στο υπόγειο νερό όλη η ποσότητα του μετεωρικού νερού που πέρασε την επιφάνεια του εδάφους (**ολική κατείσδυση, $I_{o\lambda}$**), αλλά ένα μέρος του (**ενεργή κατείσδυση, I**).

Η κατείσδυση εκφράζεται με:

- **Όγκο I_v** (σε m^3), συνολικός όγκος νερού που κατείσδυσε σε μια περιοχή για ορισμένο χρόνο
- **Συντελεστή I_σ** (συντελεστής κατείσδυσης), δηλ. το ποσοστό του μετεωρικού νερού που κατεισδύει

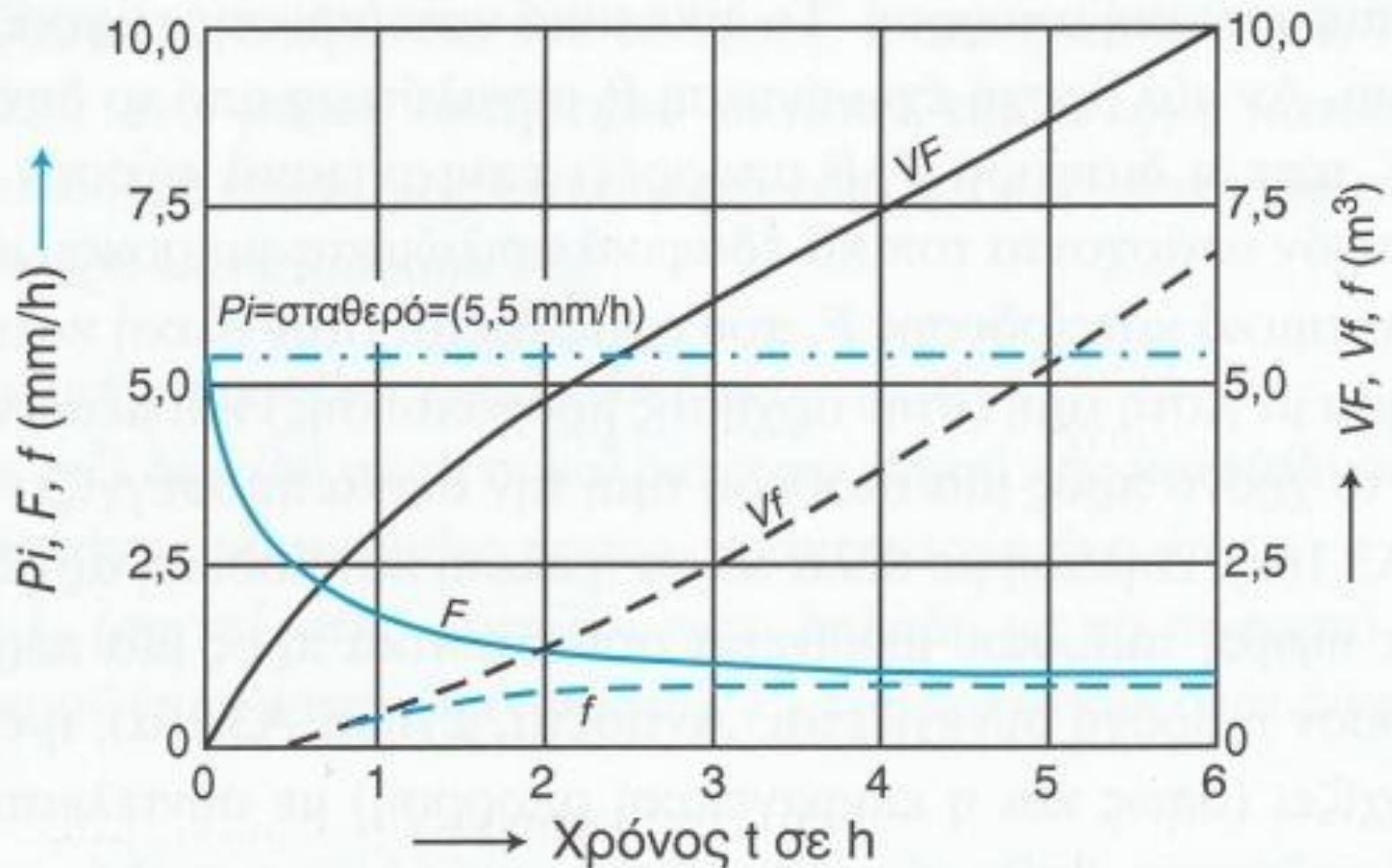
$$I_\sigma = \frac{I}{P} 100$$

- **Ύψος νερού κατείσδυσης** (σε mm) που αντιστοιχεί σε πάχος του νερού που κατεισδύει.

Η διαφορά της **κατείσδυσης** από τη **διήθηση** έγκειται στο γεγονός ότι η πρώτη είναι κατακόρυφη κίνηση σε μη κορεσμένο μέσο, νερού που προέρχεται από άμεση μετεωρική προέλευση, ενώ η δεύτερη είναι η κίνηση του υπόγειου νερού σε κορεσμένο μέσο που δεν έχει άμεση μετεωρική προέλευση και δεν προέρχεται κατευθείαν από τα κατακρημνίσματα P.

- Η ικανότητα ενός εδάφους να απορροφά το νερό της βροχής, δηλαδή ο βαθμός με τον οποίο επιδέχεται την κατείσδυση, ονομάζεται *δυναμικό ολικής κατείσδυσης (F)*.
- Είναι ο μέγιστος βαθμός με τον οποίο το δοθέν έδαφος απορροφά το μετεωρικό νερό χωρίς να επιτρέπει επιφανειακή απορροή. Εκφράζεται σε mm/h ή mm/min.
- Αν P_i είναι η *ένταση* μιας βροχόπτωσης και F το δυναμικό κατείσδυσης τότε

$$P_i - F = \text{επιφανειακή απορροή (L)}.$$



Διάγραμμα παραστατικό που εμφανίζει την διακύμανση των F, f, VF, Vf μέσα στο χρόνο για βροχόπτωση σταθερής έντασης $P_i (= 5.5 \text{ mm/h})$. F, f = συντελεστής (δυναμικό) ολικής και ενεργής κατείσδυσης. VF, Vf = συνολικός όγκος κατείσδυσης ολικής και ενεργής. (Η δεξιά κατακόρυφη κλίμακα αφορά VF, Vf , η αριστερή P, F, f). Το διάγραμμα δίνεται για ορισμένο έδαφος

- Οι θερινές βροχές που πέφτουν σε ξηρό έδαφος συμπληρώνουν μόνο το έλλειμμα υγρασίας των επιφανειακών τμημάτων του εδάφους χωρίς να επαρκούν για ενεργή κατείσδυση
- Οι θερινές βροχές δεν φθάνουν στον υδροφόρο σε αντίθεση με τις χειμερινές, οι οποίες τροφοδοτούν τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα
- Αν η ένταση της βροχόπτωσης είναι μικρή, τότε έχουμε μέγιστο ποσοστό κατείσδυσης
- Όσο η ένταση μεγαλώνει, τόσο μειώνεται ο συντελεστής κατείσδυσης
- Κατά συνέπεια οι βροχοπτώσεις χαμηλής έντασης είναι εκείνες που ευνοούν την κατείσδυση
- Η γεωλογική σύσταση μιας λεκάνης διαμορφώνει σε σημαντικό βαθμό το συντελεστή κατείσδυσης γιατί καθορίζει το δυναμικό κατείσδυσης

β) Εμπλουτισμός υδροφόρων στρωμάτων

- Ο εμπλουτισμός ή τροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων ή η ανανέωση του υπόγειου νερού γίνεται με διάφορους τρόπους:
- Με την (ενεργή) κατείσδυση που είναι η άμεση τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων από νερό των κατακρημνισμάτων.
- Με τη διήθηση από τις κοίτες των ποταμών και ρεμάτων ή από τον πυθμένα λιμνών ή άλλων επιφανειακών συγκεντρώσεων νερού.
- Με πλευρική τροφοδοσία (μετάγγιση υπόγειου νερού από γειτονικά υδροφόρα).
- Με τεχνητό εμπλουτισμό, δηλαδή με διαδικασίες, τεχνικές και διευθετήσεις που επίτηδες κάνει ο άνθρωπος για την αύξηση του υπόγειου νερού.

γ) Παράγοντες που ρυθμίζουν την κατείδυση

- Το ύψος κατακρημνισμάτων και η ένταση της βροχόπτωσης
- Η φύση του εδάφους και υπεδάφους (περατότητα, πορώδες, λιθολογική σύσταση), π.χ.:

	<i>Λιθολογική σύσταση</i>	<i>συντελεστής ενεργής κατείδυσης</i>
Περιοχές:	ασβεστολιθικές	25-60%
	οφιολιθικές	4-8%
	φλύσχης	3-7%
	ψαμμίτης	15-25%
	σχιστόλιθοι	3-7%

Περισσότεροι παράγοντες που ρυθμίζουν την κατείδυση

- Κλίση εδάφους: οι μεγάλες κλίσεις διευκολύνουν την απορροή
- Βλάστηση: τα φυτά διευκολύνουν την ολική κατείδυση καθώς συγκρατούν το νερό, όμως λόγω της διαπνοής δεν είναι σίγουρο αν ευνοούν την ενεργή κατείδυση
- Θερμοκρασία, άνεμος και κλίμα γενικότερα ρυθμίζουν την εξατμισοδιαπνοή και επιδρούν έμμεσα στην κατείδυση
- Η επέμβαση των ανθρώπων: η πάκτωση των εδαφών, η άροση, δημιουργία οδικού δικτύου, φραγμάτων, τεχνητών λιμνών κλπ.

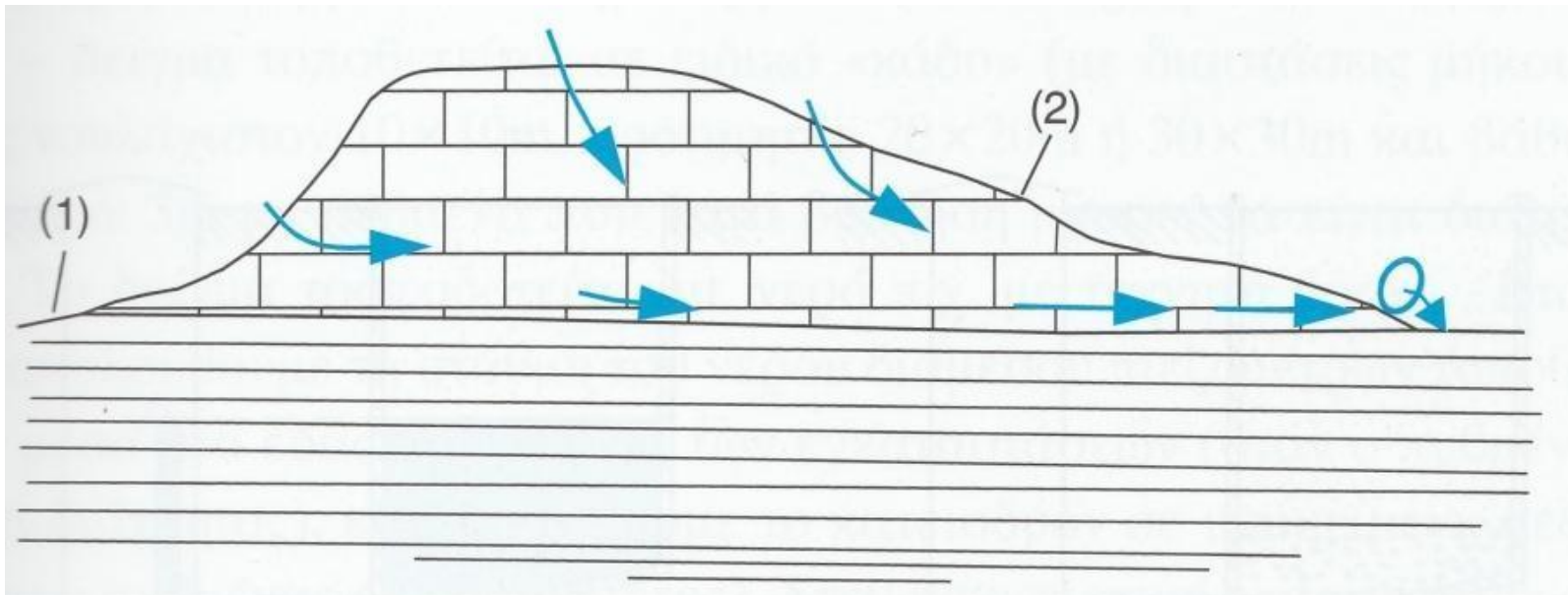
δ) Μέτρηση κατείδυσης

1) Με την παρακολούθηση της παροχής των πηγών σε όλη τη διάρκεια του υδρολογικού έτους.

- Ο ολικός όγκος της ετήσιας παροχής θα αντιστοιχεί προς την ολική ποσότητα του νερού εκείνου των κατακρημνισμάτων που κατείσδυσε από την περιοχή τροφοδοσίας της υπόψη πηγής. Η περιοχή αυτή θα πρέπει να είναι στεγανή προς άλλες γειτονικές ή υποκείμενους υδροφόρους και να γνωρίζουμε ακριβώς το μέσο ύψος κατακρημνισμάτων που δέχεται η ζώνη τροφοδοσίας

Αν V_P είναι ο όγκος των κατακρημνισμάτων και V_I η ολική ετήσια παροχή της πηγής, τότε ο συντελεστής κατείσδυσης (ενεργής) I_σ είναι:

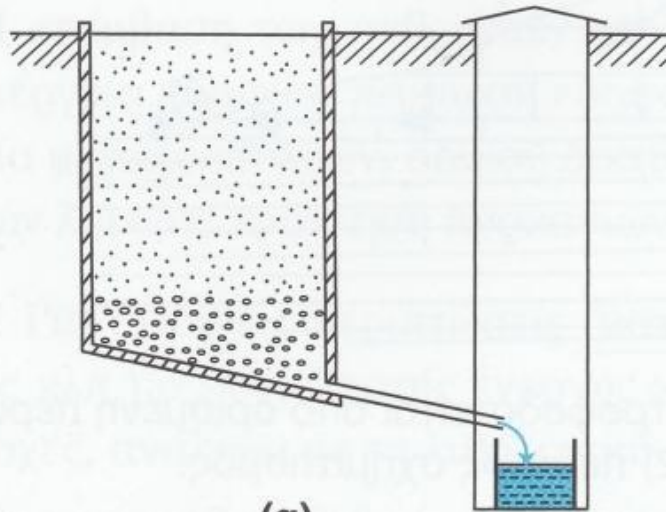
$$I_\sigma = \frac{V_I}{V_P} 100$$



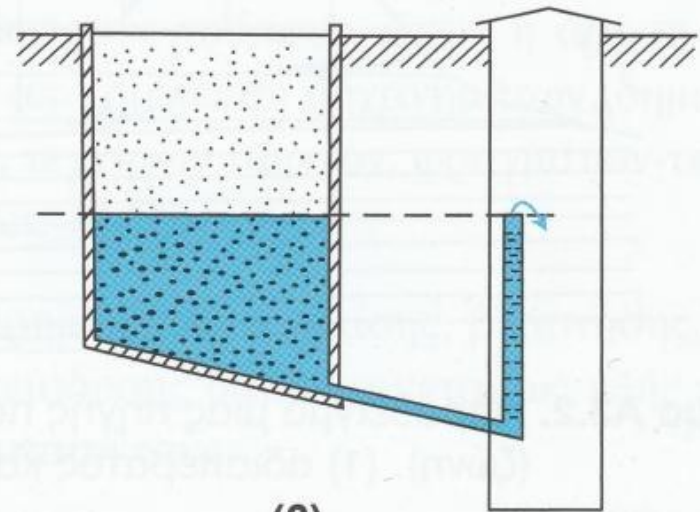
Παράδειγμα μιας πηγής που τροφοδοτείται από ορισμένη περιοχή (ζώνη). (1) αδιαπέρατος και (2) περατός σχηματισμός.

2) Με τη χρήση λυσιμέτρων. Τα όργανα αυτά μετρούν άμεσα την κατείσδυση και έμμεσα μπορούν να μετρούν την εξατμισοδιαπνοή (αν συνοδεύονται από βροχόμετρα ή βροχογράφους).

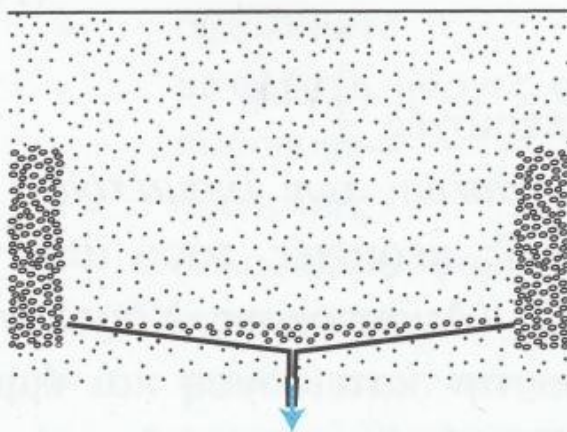
Η αρχή στην οποία στηρίζονται τα λυσίμετρα είναι η απομόνωση ενός τμήματος εδάφους, χωρίς να του μεταβάλλει τις υδρογεωλογικές συνθήκες και να δέχεται σε ένα βάθος (1-3m) το νερό της βροχής, να δέχεται δηλαδή το νερό της κατείσδυσης.



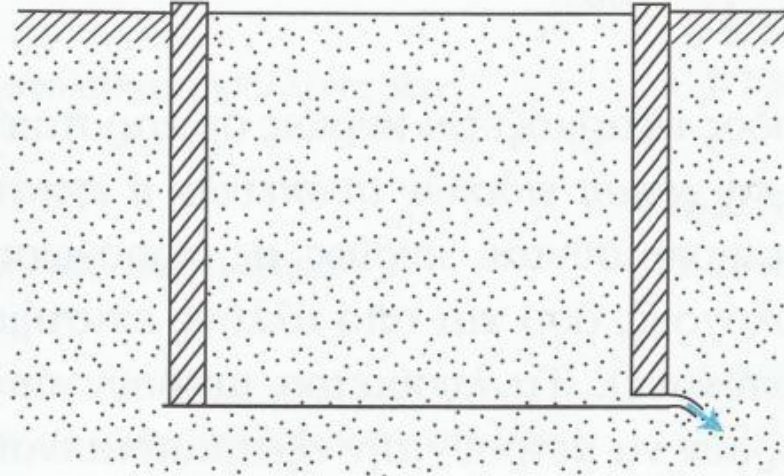
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Τύποι λυσιμέτρων. (α) λυσίμετρο ολικής αποστράγγισης (με στρώμα χαλικιών στην βάση, (β) λυσίμετρο με σταθερή στάθμη νερού, (γ) λυσίμετρο απλοποιημένο, (δ) λυσίμετρο μονολιθικό.

Η εγκατάστασή τους χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για να μην προκληθεί διατάραξη του εδάφους.

Μειονεκτήματα των λυσιμέτρων είναι:

- α) Το «δείγμα» του εδάφους είναι μικρό και όχι ίσως αντιπροσωπευτικό. Το πρόβλημα ξεπερνιέται με τη χρήση περισσότερων λυσιμέτρων.
- β) Σίγουρη διατάραξη της φυσικής κατάστασης του εδάφους ακόμα και με την προσεκτικότερη εγκατάσταση.

- Η γνώση των μειονεκτημάτων οδηγεί στην καλύτερη εγκατάσταση και κατασκευή των λυσιμέτρων
- Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι τόσο ακριβή όσο μεγαλύτερος είναι:
 - ο χρόνος παρατήρησης
 - ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων λυσιμέτρων

3) Με πειραματική μέθοδο. Εδώ δημιουργούνται ειδικές εγκαταστάσεις όπου το έδαφος-δείγμα τροφοδοτείται με νερό (τεχνητή βροχή) και παρακολουθούμε τη στάθμη του νερού διαμέσου τάφρων και σωλήνων τοποθετημένων στο έδαφος.

Χρησιμοποιείται για τη μελέτη της κατείσδυσης με ομάδες ομοίων εδαφών ή ενός εδάφους κάτω από διαφορετικές συνθήκες

Πρόκειται για δαπανηρή διαδικασία που εφαρμόζεται σε ερευνητικά πειράματα

4) Κατ' εκτίμηση για την εύρεση μόνο της τάξης μεγέθους, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες που μπορούν να επιδράσουν

5) Έμμεσα από την εξίσωση $P = I + R + E$ όταν είναι γνωστοί οι υπόλοιποι παράγοντες.

- Συνήθως μία λεκάνη δεν έχει σε όλα τα σημεία της την ίδια λιθολογική σύσταση.
- Άρα κάθε σχηματισμός έχει δικό του συντελεστή κατείδυσης.
- Για να εκφράσουμε το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης θα πρέπει να έχουμε ενιαίο συντελεστή κατείδυσης

Η αναγωγή μερικών συντελεστών κατείσδυσης σε έναν ενιαίο γίνεται ικανοποιητικά με τον εξής τύπο:

$$I = \frac{I_1 E_1 + I_2 E_2 + \dots + I_n E_n}{E_{ολ}}$$

Όπου I = ο ζητούμενος ενιαίος συντελεστής κατείσδυσης,

$I_1 \dots I_n$ = οι μερικοί κατά πετρώματα συντελεστές κατείσδυσης,

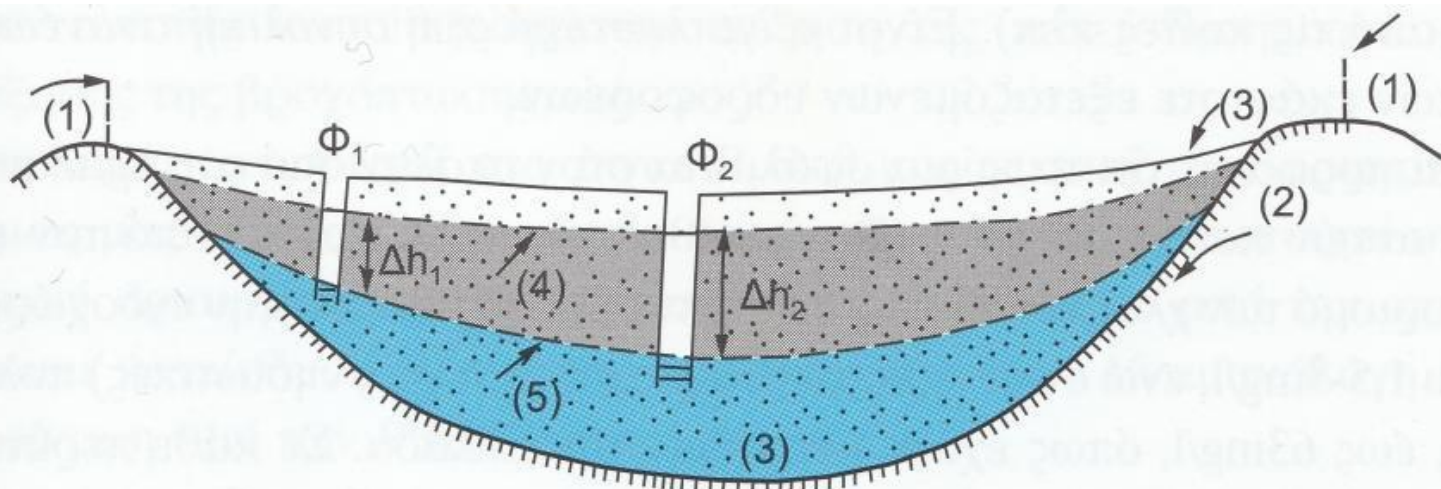
$E_1 \dots E_n$ = οι επιφάνειες των αντίστοιχων πετρωμάτων,

$E_{ολ}$ = η ολική επιφάνεια της εξεταζόμενης περιοχής.

ε) Υπολογισμός του εμπλουτισμού μιας περιοχής ή λεκάνης

- Σε μικρές περιοχές ή λεκάνες ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων γίνεται κατά το μέγιστο μέρος του από την κατείδυση.
- Σε μεγάλες περιοχές ή λεκάνες γίνεται και με άλλους τρόπους (από επιφανειακά νερά κλπ).
- Δεν υπάρχει τρόπος άμεσης μέτρησης του εμπλουτισμού.
- Μπορεί να γίνει με διάφορες, βασικά προσεγγιστικές μεθόδους υπολογισμού περισσότερο ή λιγότερο ακριβείς.
- Έχουν αναπτυχθεί αρκετές τέτοιες μέθοδοι:

- Μέθοδος παρακολούθησης της διακύμανσης της πιεζομετρικής στάθμης σε μία υδρογεωλογική λεκάνη.
- Με βάση την ετήσια διακύμανση της στάθμης είναι δυνατό σε ορισμένες περιπτώσεις να καταλήξουμε σε συγκεκριμένο συμπέρασμα για τον όγκο του αποθηκευθέντος νερού στο υπέδαφος ανάμεσα στην ανώτερη (4) και την κατώτερη (5) ετήσια στάθμη.



Διακύμανση στάθμης με την αποθήκευση νερού κατείσδυσης.

(1) όριο λεκάνης, (2) αδιαπέρατο υπόβαθρο, (3) υδροφορέας, (4) ανώτερη και (5) κατώτερη στάθμη που παρατηρούνται μέσα σε ένα υδρολογικό έτος, (Δh_1), (Δh_2) μέγιστη διακύμανση της στάθμης που παρατηρείται στα φρέατα Φ_1 και Φ_2 .

➤ *Μέθοδος ισοζυγίου μάζας χλωριόντων*

- Το ιόν του χλωρίου είναι ένα συντηρητικό ιόν:
 - δεν απορροφάται εύκολα από τα σωματίδια της στερεάς φάσης,
 - δεν αντιδρά εύκολα με αυτά
 - κινείται με την ταχύτητα του υπόγειου νερού.
 - εισέρχεται στο υπόγειο νερό με το νερό της βροχής.
- Το νερό της βροχής που έχει θαλάσσια προέλευση είναι ένα πολύ αραιωμένο θαλασσινό νερό και ο λόγος Na/Cl (σε mmol/l) είναι ίδιος με αυτόν του θαλασσινού νερού: 0,86.
- Με βάση την παραδοχή ότι το χλώριο του υπόγειου νερού προέρχεται από το χλώριο του νερού της βροχής, έχει αναπτυχθεί μία μέθοδος υπολογισμού της τροφοδοσίας του νερού των υδροφορέων στηριζόμενη στο ισοζύγιο της μάζας των χλωριόντων.

- Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το ισοζύγιο των χλωριόντων εκφράζεται από την εξίσωση:

$$P(\text{Cl})_p = E(\text{Cl})_e + I(\text{Cl})_i + R(\text{Cl})_r$$

όπου $(\text{Cl})_p$, $(\text{Cl})_e$, $(\text{Cl})_i$, $(\text{Cl})_r$ η περιεκτικότητα σε χλώριο του νερού της βροχής, του νερού της εξατμισοδιαπνοής, του νερού της κατείσδυσης και του νερού της απορροής αντίστοιχα.

- Αν θεωρήσουμε αμελητέα την ποσότητα του χλωρίου στο νερό της εξατμισοδιαπνοής:

$$P(\text{Cl})_p = I(\text{Cl})_i + R(\text{Cl})_r$$

$$I = \frac{P(\text{Cl})_p - R(\text{Cl})_r}{(\text{Cl})_i}$$

- I = άμεση κατείσδυση, τροφοδοσία υπόγειου νερού πλευρική, από διηθήσεις

- Τα κύρια σφάλματα στον υπολογισμό του εμπλουτισμού προέρχονται από τον ακριβή προσδιορισμό των χλωριόντων του νερού της βροχής.
- Αυτά στην ενδοχώρα είναι περίπου 1,5-3mg/l, ενώ στις παράκτιες περιοχές (και στις νησιωτικές) πολύ υψηλότερα, έως 63mg/l, όπως έχουν μετρηθεί στην Ελλάδα.
- Σε κάθε περίπτωση ο υπολογισμός της τροφοδοσίας (εμπλουτισμού) των υδροφορέων με την μέθοδο αυτή είναι πρακτικά ευχερής, όμως τα αποτελέσματα είναι προσεγγιστικά.

➤ Μέθοδος ισοτόπων

- Μετρούνται εργαστηριακά τα ισότοπα O^{18} ή H^3 του νερού της βροχής και του υπόγειου νερού.
- Αναλογικά, υπολογίζεται ο συνολικός εμπλουτισμός των υδροφόρων στρωμάτων.

➤ Μέθοδος υδρογεωλογικών μοντέλων

- Υπάρχουν πολλά παρεμφερή μοντέλα, κυρίως το Modbil (αντίστοιχο του Modflow), το MERO, SIMERO, BEMER.
- Το Modbil για την εφαρμογή του απαιτεί τη γνώση:
 - των κατακρημνισμάτων και της θερμοκρασίας σε ημερήσια ή το πολύ σε μηνιαία βάση,
 - του πάχους, της λιθολογικής σύστασης και της περατότητας της μη κορεσμένης ζώνης.
 - του πάχους και του είδους του εδάφους
 - της βλάστησης (είδος, πυκνότητα κλπ).

στ) Σχέση κατείδυσης – ύψους ετήσιων
κατακρημνισμάτων

Από τις μετρήσεις των λυσιμέτρων και των βροχόμετρων, προέκυψε μια γραμμική σχέση της μορφής:

$$I = \alpha P - \beta$$

Μεταξύ της κατείδυσης I (σε mm) και των κατακρημνισμάτων P (σε mm).

Οι παράμετροι σημαίνουν:

α : (Συντελεστής κατεύθυνσης) την αύξηση της κατείδυσης ανά μονάδα αύξησης της βροχόπτωσης,
 β : (Σταθερά) αντιστοιχεί στο I για $P = 0$.

Οι τιμές των I και P είναι ετήσιες και για τον ίδιο σχηματισμό, άρα η προηγούμενη σχέση βασίζεται σε μία σειρά υδρολογικών ετών.

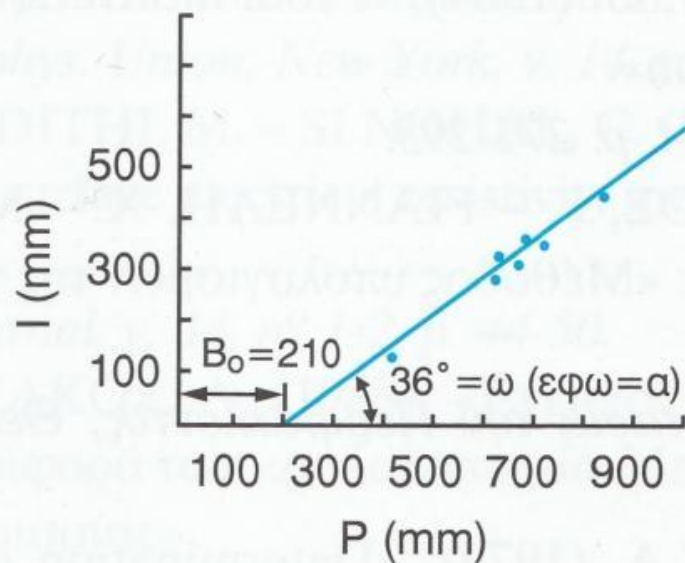
Στο επόμενο σχήμα υπάρχουν 3 παραδείγματα.

Το (α) αφορά το φυσικό έδαφος.

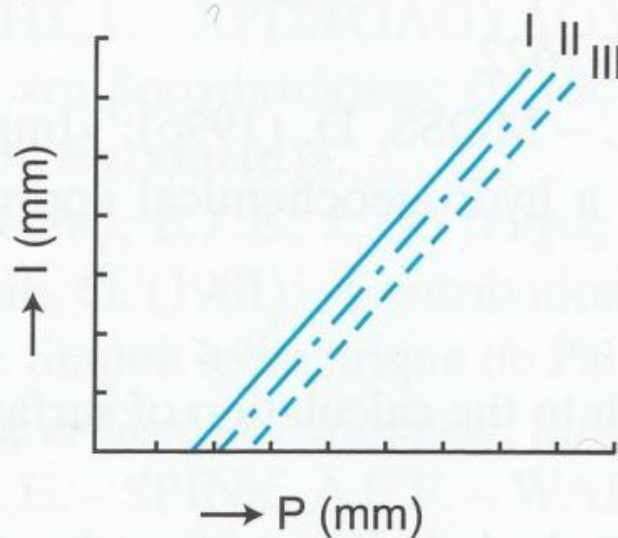
Το (β) αφορά 3 όμοια πειραματικά δείγματα (I, II, III) που εκτέθηκαν σε διαφορετικές κλιματικές και υδρογεωλογικές συνθήκες, δηλ. σε 3 διαφορετικές λεκάνες.

Το (γ) αφορά 3 διαφορετικά λιθολογικά δείγματα που βρέθηκαν κάτω από τις ίδιες κλιματικές συνθήκες, δηλ. τρία διαφορετικά δείγματα στην ίδια λεκάνη.

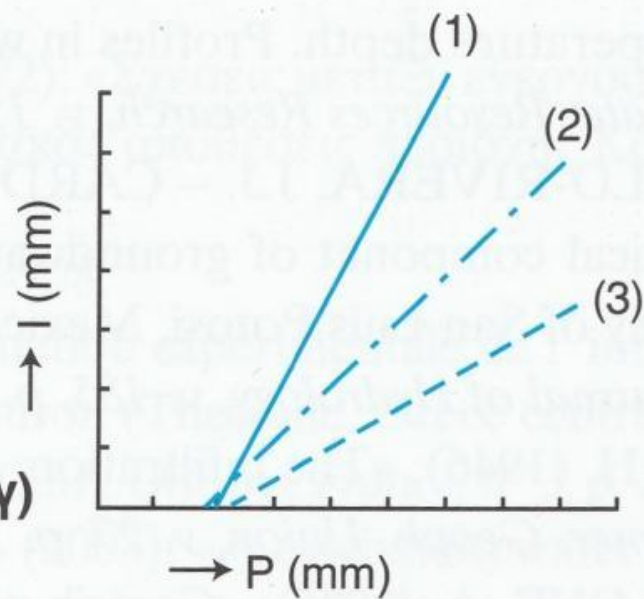
(α)



(β)



(γ)



Διαγράμματα κατείσδυσης I-κατακρημνισμάτων P

Το συμπέρασμα από τα διαγράμματα αυτά είναι ότι η λιθολογία του εδάφους καθορίζει την τιμή του α και οι κλιματικές συνθήκες την τιμή της σταθερής β .

Αυτή είναι η γενική εικόνα, όμως παρατηρούνται και συχνές αποκλίσεις τόσο στη γραμμικότητα, όσο και στον καθορισμό των α και β .

Σημειώνεται ότι για υψηλά κατακρημνίσματα αρχίζει μία απόκλιση από τον κανόνα της γραμμικότητας.

Προτεινόμενη βιβλιογραφία

- «ΓΕΝΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ», Α΄
ΤΟΜΟΣ, ΓΕΩΡΓΙΟΣ Χ. ΣΟΥΛΙΟΣ,
UNIVERSITY STUDIO PRESS,
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2010