



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΡΑΚΗΣ

Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Υδρολογίας και Υδραυλικών Έργων

# Μάθημα: ΥΔΡΟΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

## 7<sup>η</sup> Διάλεξη : Μοντελοποίηση της Διήθησης

Φώτιος Π. Μάρης, Καθηγητής Δ.Π.Θ.

Πηγή:  
Τίτλος Συγγράμματος: ΥΔΡΟΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ  
Φ.Μάρης, Σπ.Παπαρρίζος, Γ.Καράτζιος  
Εκδόσεις: ΔΙΣΙΓΜΑ

## ➤ Εισαγωγή



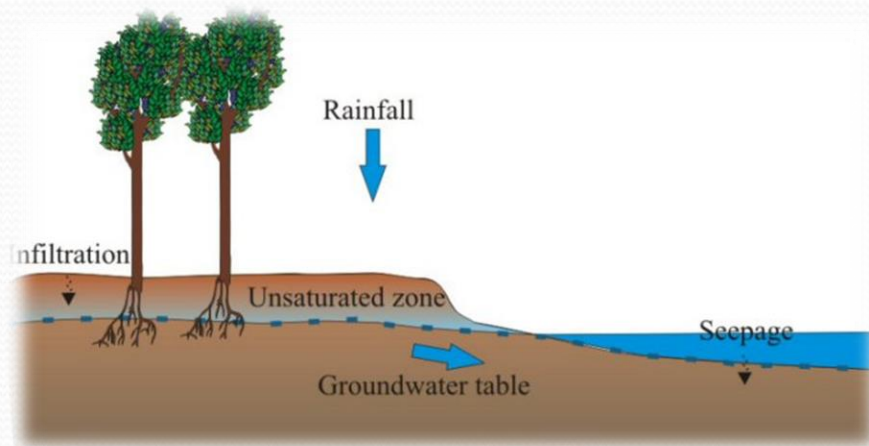
**Σχήμα:** Διαβρωμένο έδαφος μετά από ένα έντονο επεισόδιο βροχής σε καμένη έκταση στην περιοχή του ρέματος Ασκληπιού στη νήσο Ρόδο

## ➤ Εισαγωγή

- **Διήθηση (infiltration)** είναι η διαδικασία με την οποία το νερό εισχωρεί από την επιφάνεια μέσα στο έδαφος.
- Η διήθηση είναι μία από τις σημαντικότερες φυσικές διεργασίες που συγκροτούν τον υδρολογικό κύκλο καθώς από τη διηθητική ικανότητα που έχει το έδαφος εξαρτάται το ποσοστό του νερού που απορρέει επιφανειακά και καταλήγει στα υδατορεύματα, όπως και αυτό που θα κινηθεί μέσα στο έδαφος και θα τροφοδοτήσει τους υπόγειους υδροφορείς.
- Ο ρυθμός διήθησης μεταβάλλεται χωρικά και χρονικά.
- Δεν εξαρτάται, δηλαδή, μόνο από τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και την υπάρχουσα φυτοκάλυψη, αλλά και από την ένταση και χρονική κατανομή των βροχοπτώσεων.

## ➤ Διαδικασία της διήθησης

- Κατά τη διαδικασία της διήθησης οι βροχοπτώσεις αυξάνουν τα επίπεδα των διαθέσιμων υδατικών όγκων.
- Το νερό που συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του εδάφους εισχωρεί μέσα στο έδαφος δημιουργώντας ένα υγρό μέτωπο που κινείται προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.
- Οι δυνάμεις της βαρύτητας και της μύζησης επιδρούν κατά κύριο λόγο σε αυτή την κίνηση.
- Για να υπολογιστεί λοιπόν αυτή η σχέση βροχόπτωσης-απορροής, είναι απαραίτητο να υπάρξουν κάποια μοντέλα διήθησης που να αλληλεπιδρούν με την εισαγωγή των σημειακών βροχοπτώσεων.



## ➤ Διαδικασία της διήθησης

- Τα μοντέλα διήθησης στηρίζονται στο χαρακτηρισμό του εδάφους και στο διαβρεγμένο μέτωπο που κινείται μέσω του εδάφους.
- Η αναπαράσταση της πλήρους φυσικής διαδικασίας αυτής της επιμέρους διαδικασίας συχνά αποτρέπεται από αριθμητικούς περιορισμούς ή περιορισμούς στα δεδομένα.
- Τα δεδομένα που περιγράφουν τη διεπαφή του εδάφους με το νερό μπορεί να μην είναι πολύ γνωστά εκτός από μερικές σημειακές θέσεις όπου έχει διενεργηθεί λεπτομερής δοκιμή.
- Πρακτικά, για να μοντελοποιήσουμε το ποσοστό ή το βαθμό της διήθησης θα πρέπει να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο (μια εξιδανικευμένη θεώρηση) για το πώς το έδαφος διακινεί το νερό μέσω των εδαφοτομών.
- Το εδαφολογικό μοντέλο αναπαριστά την αλληλεπίδραση μεταξύ του εδάφους και του νερού που διηθείται υπό τους όρους κορεσμού και μη κορεσμού.

## ➤ Διαδικασία της διήθησης

- Η σημασία των παραμέτρων που ελέγχουν τη διαδικασία διήθησης εξαρτάται από το σκοπό για τον οποίο γίνεται η μοντελοποίηση.
- Για παράδειγμα, μια ξαφνική πλημμύρα μπορεί να εμφανιστεί μετά από μια πρόσφατη βροχόπτωση, στη διάρκεια της οποίας το έδαφος έχει έλθει σε σημείο κορεσμού (η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα μπορεί να ελέγξει τη διαδικασία διήθησης) αφήνοντας την εδαφολογική αναρρόφηση να παίζει ένα μικρό μόνο ρόλο σε τέτοιες συνθήκες.
- Από την άλλη μεριά η μοντελοποίηση της εδαφικής υγρασίας επικεντρώνεται περισσότερο στην ποσότητα του νερού που διεισδύει παρά σε αυτό που απορρέει, καθιστώντας την εδαφολογική αναρρόφηση κάτω από ακόρεστες συνθήκες σημαντικότερη.
- Το μείζον ζήτημα όμως είναι ποιος από αυτούς τους δύο ελέγχους παραμέτρων επηρεάζει την επιλογή μας αλλά και τη **βαθμονόμηση (calibration)**.

## ➤ Μοντελοποίηση της διήθησης

- Είναι δύσκολο να εξεταστεί η μοντελοποίηση της διήθησης ανεξάρτητα από τις βροχοπτώσεις και της προϋπάρχουσας εδαφικής υγρασίας.
- Πριν την συγκέντρωση του νερού στην επιφάνεια του εδάφους η ταχύτητα διήθησης είναι ισοδύναμη με ρυθμό της βροχόπτωσης.
- Μετά την εμφάνιση του σταδίου της πλήρωσης των κοιλωμάτων η ταχύτητα διήθησης ελέγχεται από τις εδαφολογικές ιδιότητες, το εδαφολογικό βάθος, το βαθμό και το βάθος κορεσμού καθώς και την προηγούμενη εδαφολογική υγρασία.
- Οι μέθοδοι για το υπολογισμό του ρυθμού της διήθησης μπορούν να κυμανθούν με διάφορες διαφορικές εξισώσεις.
- Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα μοντέλα των **Green-Ampt**, το μοντέλο διήθησης του **Horton**, το μοντέλο των **Huggins-Monke**, το μοντέλο **Kostiakov**, το μοντέλο **Holtan**, το μοντέλο **Philip** το μοντέλο και τη μέθοδο **SCS**.

## ➤ Μοντελοποίηση της διήθησης

- Η βασική ιδέα είναι να υπολογιστεί η ταχύτητα διήθησης όπως ελέγχεται από την αλληλεπίδραση μεταξύ της έντασης των βροχοπτώσεων και της γήινης επιφάνειας.
- Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τον υπολογισμό της πιθανής ταχύτητας διήθησης ή των παραμέτρων της από τις εδαφολογικές ιδιότητες ή με την περιφερειοποίηση της σημειακής εκτίμησης που λαμβάνεται από κάποια συσκευή μέτρησης.
- Σε κάθε περίπτωση, μια παράμετρος που είναι γνωστή σε ένα σημείο πρέπει να επεκταθεί για μεγάλες επιφάνειες ούτως ώστε να είναι χρήσιμη στην προσομοίωση της απορροής.
- Δεν θα ήταν πρακτικό να προσπαθήσουμε να πάρουμε ικανοποιητικές μετρήσεις σε κάθε σημείο της λεκάνης απορροής.
- Κατά συνέπεια, στηρίζομαστε συχνά στην θεωρία της περιφερειοποιημένης μεταβλητής μαζί με κάποια μορφή εδαφολογικού χάρτη για την μοντελοποίηση της διήθησης σε κλίμακα λεκάνης απορροής ενός ποταμού.



## ➤ Μοντελοποίηση της διήθησης

- Η διήθηση είναι δυνατό να υπολογιστεί για μεγάλες περιοχές χρησιμοποιώντας εδαφολογικούς χάρτες που έχουν δημιουργηθεί με τα **Γ.Σ.Π.** καθώς και με βάσεις δεδομένων διάφορων εδαφολογικών ιδιοτήτων.
- Η **ακρίβεια** αυτών των εκτιμήσεων διήθησης μπορεί να **ποικίλει** ανάλογα με το πόσο καλά οι χάρτες αναπαριστούν τις εδαφολογικές και υδρολογικές συνθήκες που ελέγχουν τη διαδικασία.
- Το φαινόμενο της **διήθησης** παίζει πολύ **σημαντικό ρόλο** στον **υδρολογικό κύκλο**.
- Όταν η ένταση των κατακρημνίσεων ξεπεράσει τη διηθητική ικανότητα του εδάφους, μέρος της ποσότητας νερού που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους, απορρέει επιφανειακά, τροφοδοτώντας τα υδατορεύματα.
- Επίσης, η επάρκεια νερού στα ανώτερα εδαφικά στρώματα καθορίζει την ποσότητα του νερού που θα περάσει στην ατμόσφαιρα με το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής, ενώ η ποσότητα του νερού που καταλήγει στους υπόγειους υδροφορείς είναι αυτή που εξασφαλίζει την ύπαρξη νερού στα υδατορεύματα κατά τους ξηρούς μήνες.

## ➤ Μοντελοποίηση της διήθησης

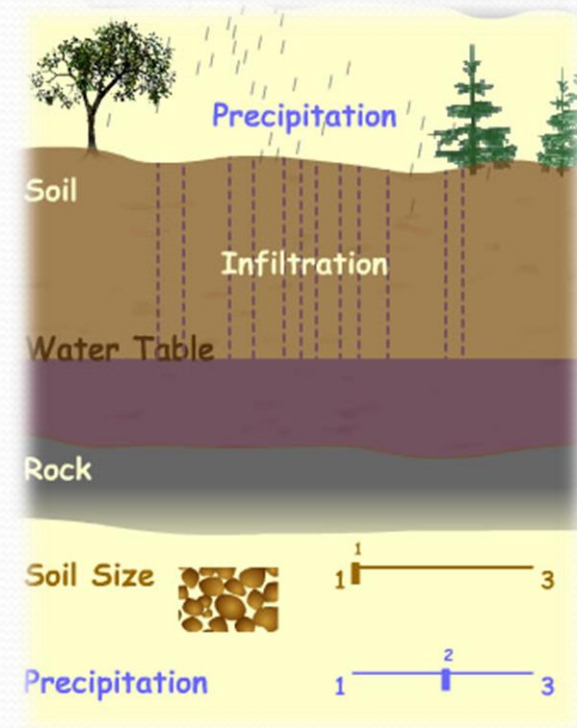
- Καθορίζει συνεπώς η διήθηση σε μεγάλο βαθμό όχι μόνο την αναλογία του νερού που θα διατεθεί σε κάθε συνιστώσα του υδρολογικού κύκλου αλλά και τη χρονική κατανομή αυτής της διάθεσης.
- Για παράδειγμα, σε μια λεκάνη με σχεδόν αδιαπέρατα πετρώματα, όλη η ποσότητα των κατακρημνίσεων θα απορρέει αμέσως μετά τα επεισόδια βροχόπτωσης.
- Αντίθετα, σε μια δασική έκταση, μετά από ένα επεισόδιο βροχόπτωσης, 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.
- Από τα παραπάνω γίνεται εύκολα κατανοητό, ότι η καλή γνώση του ρυθμού διήθησης είναι απαραίτητη για τη μελέτη του φαινομένου βροχής-απορροής σε μια λεκάνη.

## ➤ Μοντελοποίηση της διήθησης

- Δυστυχώς, η ακριβής εκτίμηση αυτής της παραμέτρου είναι πολύ δύσκολη, λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου.
- Ο ρυθμός διήθησης όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, είναι ένα μέγεθος που μεταβάλλεται χρονικά και χωρικά.
- Όπως προαναφέρθηκε, η διήθηση μετά από ένα επεισόδιο βροχόπτωσης είναι μειωμένη, εξαρτάται δηλαδή, ο ρυθμός διήθησης από την κατανομή των βροχοπτώσεων στο χρόνο.
- Ταυτόχρονα, σε μια λεκάνη απορροής ο ρυθμός διήθησης δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο ανάλογα με τον εδαφικό τύπο και τις χρήσεις γης.
- Συνεπώς, είναι ευκολότερο να εξάγεται ένας μέσος αντιπροσωπευτικός ρυθμός διήθησης για όλη τη λεκάνη.

## ➤ Μοντελοποίηση της διήθησης

- Οι παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό διήθησης είναι:
  - Οι χρήσεις γης
  - Η κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους
  - Η θερμοκρασία
  - Η ένταση της βροχόπτωσης
  - Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους
  - Η ποιότητα του νερού



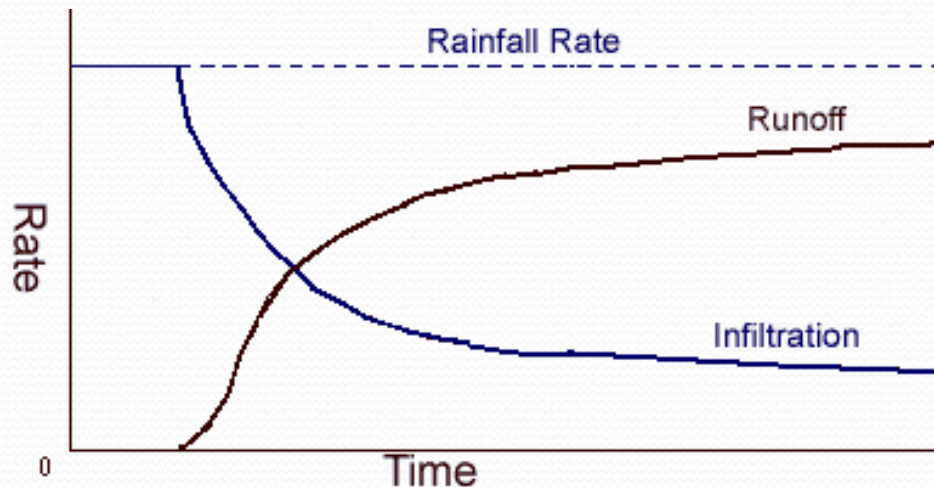
## ➤ Μοντελοποίηση της διήθησης

- Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ικανότητας διήθησης διακρίνονται σε:
  - **Μετρήσεις με διηθησόμετρα:** τα διηθησόμετρα είναι σωλήνες ή δακτύλιοι που εισάγονται στο έδαφος και τροφοδοτούνται με νερό, ώστε να προσομοιώσουν σε μικρότερη κλίμακα τα φαινόμενα βροχόπτωση-διήθηση-απορροή.
  - **Αναλύσεις υδρογραφημάτων:** οι αναλύσεις των υδρογραφημάτων υπολογίζουν το ρυθμό διήθησης λαμβάνοντας υπόψη το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης και το αντίστοιχο βροχογράφημα που το προκάλεσε.



## ➤ Μοντελοποίηση της διήθησης

- Η ανάλυση ενός υδρογραφήματος πλεονεκτεί σε σχέση με τις μετρήσεις με διηθησόμετρα στο γεγονός ότι αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές συνθήκες βροχόπτωσης και δίνουν ένα μέσο αντιπροσωπευτικό ρυθμό διήθησης για όλη τη λεκάνη σε αντίθεση με τα διηθησόμετρα τα οποία υπολογίζουν το ρυθμός της διήθησης σε ένα σημείο της λεκάνης απορροής.
- Αντίθετα, μια ανάλυση ενός υδρογραφήματος προκειμένου να αναπαραστήσει με ακρίβεια το ρυθμό διήθησης εξαρτάται από την ακρίβεια των παρατηρήσεων βροχόπτωσης και των λοιπών υδρομετρήσεων, γεγονός που όπως γνωρίζουμε δεν ισχύει στην Ελλάδα, λόγω του ελλιπούς πολλές φορές δικτύου μετεωρολογικών σταθμών.



## ➤ Υπολογισμός της διήθησης

- Οι υπολογισμοί της διήθησης παρουσιάζουν μεγάλη πολυπλοκότητα, από την εφαρμογή παρατηρημένων μέσων ρυθμών για ειδικούς τύπους εδάφους και φυτικής κάλυψης μέχρι τη χρήση διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν τη ροή του νερού σε ακόρεστο πορώδες μέσο.
- Για τις μικρές αστικές περιοχές που ανταποκρίνονται γρήγορα στην είσοδο της καταιγίδας, συχνά χρησιμοποιούνται πιο ακριβείς μέθοδοι.
- Αντίθετα, σε μεγάλες λεκάνες, υποκειμένες σε πλημμυρικές αιχμές από παρατεταμένες καταιγίδες, μέσες ή αντιπροσωπευτικές τιμές μπορεί να είναι επαρκείς.
- Η διαδικασία της διήθησης είναι αρκετά πολύπλοκη, και ακόμα και κάτω από ιδανικές συνθήκες (ομοιόμορφες ιδιότητες εδάφους και γνωστές ιδιότητες υγρού), συνθήκες που σπάνια συναντώνται στην πράξη, η διαδικασία είναι δύσκολο να περιγραφεί.
- Οι περισσότερες από αυτές τις προσπάθειες υπολογισμού της διήθησης σχετίζονται με την ανάπτυξη εμπειρικών εξισώσεων βασισμένων πάνω σε παρατηρήσεις πεδίου και λύσεων για αυτές τις εξισώσεις, με βάση τη μηχανική της κορεσμένης ροής σε πορώδες μέσο.

## ➤ Μοντέλο Green-Ampt

- Η εξίσωση Green-Ampt προτάθηκε αρχικά το 1911 και στην αρχική του μορφή προοριζόταν για χρήση στις περιπτώσεις εκείνες, όπου η διήθηση προέκυπτε από περίσσεια νερού στην εδαφική επιφάνεια κάθε χρονική στιγμή.
- Ουσιαστικά, η εξίσωση Green-Ampt αγνοεί τη διάχυση της εδαφικής υγρασίας μέσω ενός εύρους κορεσμού, εξετάζοντας μόνο ένα απότομα βρεγμένο μέτωπο.
- Η εξίσωση του μοντέλου υπέστη διάφορες τροποποιήσεις, αρχικά το 1973 από τους Mein και Larson οι οποίοι πρότειναν μια μεθοδολογία για εφαρμογή του μοντέλου σε σταθερό ρυθμό βροχόπτωσης και στη συνέχεια από τον Chu το 1978.
- Ακόμα και σήμερα βρίσκει εφαρμογή σε γνωστά μοντέλα προσομοίωσης σε υπολογιστές, όπως είναι το SWMM (Storm Water Management Model).



## ➤ Μοντέλο Green-Ampt

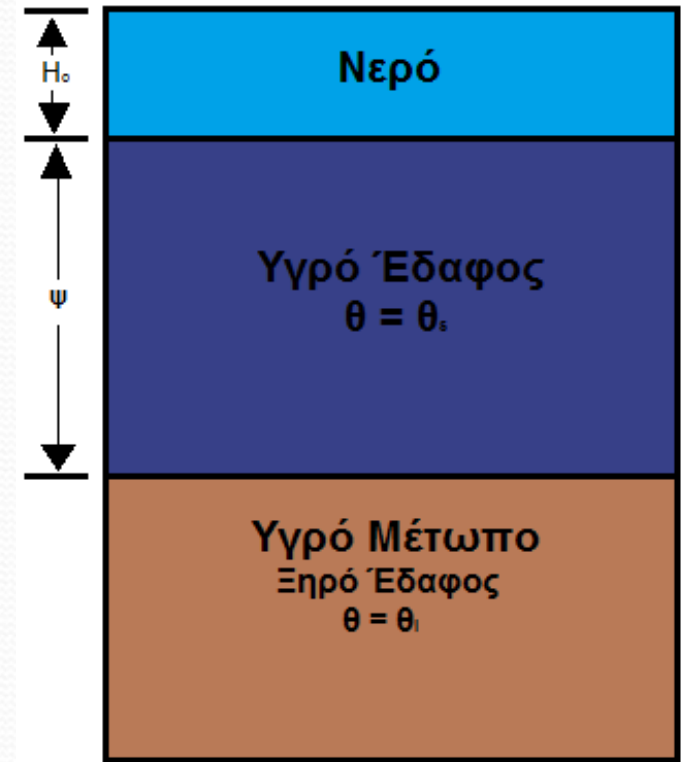
- Η εξίσωση Green-Ampt έχει τη μορφή:

$$\frac{dF}{dt} = K \left( 1 + \frac{\psi \Delta\theta}{F} \right)$$

Όπου:

**K** είναι ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας  
 **$\Delta\theta$**  είναι το έλλειμμα της υγρασίας ( $\Delta\theta = n - \theta_i$ , όπου  $n$  είναι το εδαφικό πορώδες και  $\theta_i$  η αρχική εδαφική υγρασία)

**$\Psi$**  είναι η τριχοειδής αναρρόφηση στο υγρό μέτωπο (ύψος μύζησης)



**Σχήμα:** Σχηματοποίηση της εξίσωσης του μοντέλου Green-Ampt

## ➤ Μοντέλο Green-Ampt

- Εάν επιλύσουμε την εξίσωση ως προς την αθροιστική διήθηση  $F$ , τότε θα έχουμε:

$$F(t) = Kt + \psi\Delta\theta \ln\left(1 + \frac{F(t)}{\psi\Delta\theta}\right)$$

- Η τελευταία μορφή της εξίσωσης Green-Ampt είναι πιο εύκολη όταν θέλουμε να προσομοιώσουμε διάφορες διαδικασίες σε κλίμακα λεκάνης απορροής, γιατί συνδέει την αθροιστική διήθηση με το χρόνο κατά τον οποίο ξεκίνησε η διήθηση.
- Η εξαγωγή αυτής της σχέσης προϋποθέτει την ύπαρξη μιας λιμνάζουσας επιφάνειας 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.

## ➤ Μοντέλο Horton

- Η διαδικασία της διήθησης μελετήθηκε διεξοδικά από τον Horton την δεκαετία του '30 (Horton, 1937). Εξαγόμενο της έρευνας του ήταν η ακόλουθη σχέση για τον προσδιορισμό της ικανότητας διήθησης:

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

Όπου:

$f_p$  είναι η ικανότητα διήθησης (mm ή cm/hour) στο χρόνο  $t$

$k$  είναι η σταθερά που αντιπροσωπεύει το ρυθμό μείωσης της ικανότητας  $f$

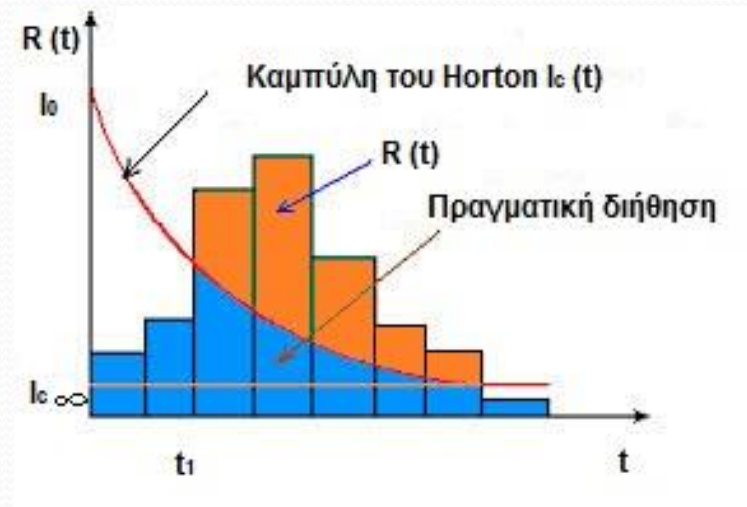
$f_c$  είναι τελική ικανότητα διήθησης

$f_0$  είναι η αρχική ικανότητα διήθησης

- Η σχέση υποδηλώνει ότι αν η βροχόπτωση υπερβεί την ικανότητα διήθησης τότε η διήθηση τείνει να μειωθεί με εκθετικό ρυθμό.
- Αν και η εξίσωση έχει απλή μορφή, εντούτοις παρουσιάζονται δυσκολίες στον καθορισμό τιμών για τα  $f_0$  και  $k$  που περιορίζουν τη χρήση αυτής της εξίσωσης.

## ➤ Μοντέλο Horton

- Η καμπύλη Horton παρουσιάζεται γραφικά στο ακόλουθο σχήμα, 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 σε mm ή cm ανά ώρα και ο χρόνος σε λεπτά αν και χρησιμοποιούνται και άλλες μονάδες και ο συντελεστής  $k$  προσδιορίζεται ανάλογα.



Σχήμα: Καμπύλη Horton

## ➤ Μοντέλο Holtan

- Για τις περιοχές χωρίς λεπτομερή γνώση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές εκδόσεις μοντέλων με εμπειρικές εξισώσεις διήθησης, όπως το μοντέλο Holtan .
- 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.
- Ο ρυθμός διείσδυσης εκφράζεται σε όρους συσσώρευσης της διήθησης, στην αρχική περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό και άλλες μεταβλητές του εδάφους και έχει τη μορφή:

$$f = aF_p^n + f_c$$

Όπου:

$f$  είναι η ικανότητα διήθησης (in/hr)

$a$  είναι η ικανότητα διήθησης [(in/hr)/in<sup>1.4</sup>] της διαθέσιμης αποθήκευσης (δείκτης του συσχετιζόμενου με την επιφάνεια πορώδους)

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

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

$n$  είναι ο εκθέτης με τυπική τιμή 1.4

## ➤ Μοντέλο Huggins-Monke

- Το 1968 οι Huggins και Monke παρουσίασαν μια επέκταση του μοντέλου του Holtan, υποθέτοντας μια σχέση μεταξύ της διήθησης και της περιεκτικότητας σε νερό του εδάφους.
- Χρησιμοποιώντας και τις δύο εξισώσεις μπορούσε να προβλεφθεί η ανάκαμψη του ρυθμού διήθησης ως αποτέλεσμα της προσωρινής διακοπής των βροχοπτώσεων.
- Οι Huggins και Monke πρότειναν την ακόλουθη εξίσωση υποθέτοντας ότι όταν η εδαφική υγρασία στη ζώνη ελέγχου υπερβαίνει την αποστραγγιστική ικανότητα, έχει ως εξής:

$$f = f_c + A\left(\frac{S - F}{T_p}\right)^p$$

Όπου:

**A, P** είναι συντελεστές (υπολογίζονται με δεδομένα από μελέτες με διηθησιόμετρα)

**S** είναι η ικανότητα αποθήκευσης ενός εδάφους που υπερκαλύπτει το αδιαπέρατο στρώμα ( $T_p$  μείον την προηγούμενη υγρασία)

**F** είναι ο συνολικός όγκος νερού που διηθείται (υπολογίζεται με διηθησιόμετρο)

**T<sub>p</sub>** είναι το συνολικό πορώδες του εδάφους που βρίσκεται πάνω από το αδιαπέρατο στρώμα

- Στην αρχή μιας καταιγίδας το **F** ισούται με **O** και συνεπώς το **f** είναι γνωστό.

## ➤ Μοντέλο Kostiakov

- Μια άλλη εξίσωση που περιγράφει το ρυθμό διήθησης έχει αναπτυχθεί από τον Kostiakov (Kostiakov 1932).
- Η γενική μορφή της εξίσωσης έχει ως εξής:

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

- η αθροιστική διήθηση δίνεται από τη σχέση:

$$F = a \cdot t^b$$

Όπου:

**f** είναι η ικανότητα διήθησης (in/hr),

**F** είναι η αθροιστική διήθηση (in)

**a** και **b** είναι σταθερές που υπολογίζονται από την επεξεργασία των μετρήσεων

## ➤ Μοντέλο Kostiakov

- Από λογαρίθμηση της παραπάνω εξίσωσης προκύπτει :

$$\text{Log}F = \log a + b \cdot \log t$$

- οπότε σε διπλά λογαριθμικό χαρτί με γραμμική παλινδρόμηση ανάμεσα στην αθροιστική διήθηση και στο χρόνο υπολογίζονται οι παράμετροι  $a$  και  $b$ .
- Η απλότητα της εξίσωσης έχει ενθαρρύνει τη χρήση της σε περιπτώσεις μελέτης πλημμυρών, μελετών άρδευσης κ.τ.λ., για τα οποία η κανονική διαδικασία είναι να ταιριάζει τις μεταβλητές  $a$  και  $b$  από τα δοκιμαστικά δεδομένα σε κάθε αντίστοιχη περίπτωση μελέτης.



## ➤ Μοντέλο Philip

- Για ένα ομοιογενή εδαφικό τύπο με ομοιόμορφη αρχική υγρασία και αρκετά μεγάλη παροχευτική ικανότητα επιφανειακού νερού ο Philip (1957) έλυσε τη μερική διαφορική εξίσωση της ροής της εδαφικής υγρασίας. Η εξίσωση που περιγράφει το ρυθμό της διήθησης έχει ως εξής:

$$f = 1/2 \cdot s \cdot t^{-0.5} + A$$

- Η αθροιστική διήθηση δίνεται από τη σχέση:

$$F = s \cdot t^{0.5} + A \cdot t$$

Όπου:

**f** είναι η ικανότητα διήθησης (in/hr),

**F** είναι η αθροιστική διήθηση (in)

**s** είναι η απορροφητικότητα του εδάφους

**A** είναι η σταθερά που σχετίζεται με τις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους.

- Η μορφή αυτής της εξίσωσης είναι σχετικά εύκολη στη χρήση και οι μεταβλητές **S** και **A** μπορούν να προβλεφθούν εκ των προτέρων, αλλά η μέθοδος της εξεύρεσης των σωστών τιμών τους είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής ενός απλού μοντέλου λεκάνης απορροής.

## ➤ Μέθοδος SCS

- Ένας ακόμη τρόπος υπολογισμού της διήθησης έχει προταθεί από την **Soil Conservation Service (SCS)** (1972) η οποία έχει αναπτύξει μια ευρέως χρησιμοποιούμενη διαδικασία που χρησιμοποιεί τον αριθμό καμπύλης CN για τον υπολογισμό της απορροής.
- Σε αυτήν τη διαδικασία ενσωματώνονται οι επιδράσεις της χρήσης γης.
- Η διαδικασία αναπτύχθηκε εμπειρικά από μελέτες σε μικρές καλλιεργήσιμες λεκάνες.
- Αν και η διαδικασία SCS δε σχεδιάστηκε για να υπολογίζει άμεσα τη διήθηση, στην ουσία ενσωματώνει μια εκτίμηση της.



## ➤ Μέθοδος SCS

- Η μέθοδος υπολογίζει το ενεργό ύψος βροχής, δηλαδή την ποσότητα βροχής που απορρέει επιφανειακά, σύμφωνα με τη σχέση:

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

Όπου:

$h_e$  είναι το ενεργό ύψος βροχής

$h$  είναι το συνολικό ύψος βροχής

$S$  είναι μια παράμετρος που συνδέεται με τον αριθμό καμπύλης CN σύμφωνα με τη σχέση:

$$S[mm] = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

- Η διαδικασία SCS περιλαμβάνει τον υπολογισμό της άμεσης απορροής για μία περίπτωση καταιγίδας με τη χρήση καμπυλών που δημιουργήθηκαν από μελέτες πεδίου, σχετικά με το ποσό της παρατηρημένης απορροής με διάφορους εδαφικούς συνδυασμούς.

## ➤ Μέθοδος SCS

- Ένας αριθμός καμπύλης CN (που κυμαίνεται από 0 έως 100) εξάγεται από πίνακες ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και την υδρολογική κατάσταση.
- Τα εδάφη κατατάσσονται στην κατηγορία A, B, C ή D ανάλογα με τα ακόλουθα κριτήρια:
  - A. Εδάφη με υψηλούς ρυθμούς διήθησης ακόμα και αν διαβρεχτούν πλήρως (εδάφη με άμμο ή χαλίκια)
  - B. Εδάφη με μέτριους ρυθμούς διήθησης όπως για παράδειγμα αμμώδης πηλός
  - C. Εδάφη με χαμηλούς ρυθμούς διήθησης όπως είναι τα εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου
  - D. Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης (πολύ υψηλό δυναμικό απορροής) που συνήθως περιλαμβάνουν αργιλώδη εδάφη με υψηλή πιθανότητα διόγκωσης ή ρηχά εδάφη πάνω σε σχεδόν αδιαπέρατο υλικό

## ➤ Μέθοδος SCS

- Ένας σύνθετος αριθμός καμπύλης (CN) για μια λεκάνη που περιλαμβάνει περισσότερες από μία χρήσεις γης ή εδαφικούς τύπους, μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας κάθε επιμέρους αριθμό καμπύλης με το συντελεστή βάρους που προκύπτει από το ποσοστό της επιφάνειας.
- Οι αριθμοί καμπύλης διαχωρίζονται και ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας. Τέτοιες συνθήκες υγρασίας είναι:

**Κατάσταση I:** Η κατάσταση κατά την οποία τα εδάφη είναι στεγνά αλλά όχι στο σημείο μόνιμης μάρανσης και όταν λαμβάνει χώρα ικανή άροση ή καλλιέργεια

**Κατάσταση II:** Η μέση περίπτωση για ετήσιες πλημμύρες, δηλαδή ένας μέσος όρος των συνθηκών που προηγήθηκαν της μέγιστης ετήσιας πλημμύρας σε αρκετές λεκάνες απορροής

**Κατάσταση III:** Αν έντονη βροχόπτωση ή ελαφρά βροχόπτωση και χαμηλές θερμοκρασίες έχουν συμβεί· τις τελευταίες 5 ημέρες πριν τη δεδομένη καταιγίδα και το έδαφος είναι σχεδόν κορεσμένο

## ➤ Μέθοδος SCS

- Μερικές ενδεικτικές τιμές του αριθμού καμπύλης CN για την υδρολογική κατάσταση II δίνονται στον Πίνακα 7.1. Οι αριθμοί CN που αντιστοιχούν στις συνθήκες υγρασίας I και III, μπορούν να υπολογιστούν από πίνακες ή με τη βοήθεια τύπων, ως συνάρτηση του αριθμού CN για την εδαφική κατάσταση II.
- **Πίνακας:** Ενδεικτικοί αριθμοί της καμπύλης CN για την υδρολογική κατάσταση II

Χρήση γης	Υδρολογική κατάσταση	Κατηγορία Εδάφους			
		A	B	C	D
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