



Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος  
Πολυτεχνική Σχολή  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

# Σημειώσεις μαθήματος **ENE2310: Τεχνική Υδρολογία**

Διάλεξη 1  
04/03/2022

Συγγούνα Βασιλική  
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος  
Πανεπιστήμιο Πατρών

## Ορισμοί

**Υδρολογία (Hydrology)**: Η επιστήμη που ασχολείται με την μελέτη των υδάτων της γης σε όλες τις μορφές τους.

Μελέτη  $\left[ \begin{array}{c} \text{Εμφάνιση} \\ \text{Κυκλοφορία} \\ \text{Διανομή} \end{array} \right]$  νερού  $\Rightarrow$  Πλήρης κύκλος ζωής νερού

**Τεχνική Υδρολογία (Engineering Hydrology)**: Εφαρμοσμένος τομέας της Υδρολογίας που εξετάζει τα προβλήματα του νερού που σχετίζονται με:

- ✓ Μελέτη
- ✓ Κατασκευή
- ✓ Λειτουργία
- ✓ Συντήρηση

## Βασικές έννοιες της υδρολογίας

- **Λεκάνη απορροής:** Έκταση η οποία μπορεί να οριστεί σαν το σύνολο των σημείων στα οποία αν πέσει μία σταγόνα βροχής θα καταλήξει στο ίδιο σημείο εξόδου. Τα όρια της ορίζονται από τον υδροκρίτη ο οποίος μπορεί να προσδιοριστεί μόνο από τοπογραφικά κριτήρια
- **Βροχογράφημα (ή υετογράφημα):** Η κατανομή της βροχόπτωσης (σε μορφή έντασης ή ύψους βροχής) η οποία πέφτει σε σε μία περιοχή συναρτήσει του χρόνου
- **Υδρογράφημα:** Η κατανομή της παροχής συναρτήσει του χρόνου σε έναν ορισμένο σημείο ενός ποταμού (π.χ. στην έξοδο της λεκάνης απορροής) και για μία ορισμένη χρονική περίοδο

## Βασικές έννοιες της υδρολογίας

- **Λεκάνη απορροής:** Έκταση η οποία μπορεί να οριστεί σαν το σύνολο των σημείων στα οποία αν πέσει μία σταγόνα βροχής θα καταλήξει στο ίδιο σημείο εξόδου. Τα όρια της ορίζονται από τον υδροκρίτη ο οποίος μπορεί να προσδιοριστεί μόνο από τοπογραφικά κριτήρια
- **Βροχογράφημα (ή υετογράφημα):** Η κατανομή της βροχόπτωσης (σε μορφή έντασης ή ύψους βροχής) η οποία πέφτει σε σε μία περιοχή συναρτήσει του χρόνου
- **Υδρογράφημα:** Η κατανομή της παροχής συναρτήσει του χρόνου σε έναν ορισμένο σημείο ενός ποταμού (π.χ. στην έξοδο της λεκάνης απορροής) και για μία ορισμένη χρονική περίοδο

## Βασικές έννοιες της υδρολογίας

Το νερό της βροχής από την στιγμή που θα καταλήξει στο έδαφος έχει τρεις διεξόδους:

- Να μετατραπεί σε αέρια μορφή και να επιστρέψει στην ατμόσφαιρα μέσω των διεργασιών της εξάτμισης και της διαπνοής (φυσιολογική λειτουργία των φυτών) για τις οποίες συχνά χρησιμοποιείται ο όρος **εξατμισοδιαπνοή**
- Να μετακινηθεί στην επιφάνεια του εδάφους και να καταλήξει σε ένα επιφανειακό αποδέκτη (θάλασσα, λίμνη, ποταμό, χείμαρρο κλπ). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **επιφανειακή απορροή**
- Να **κατεισδύσει στο υπέδαφος**

Αν και τα τρία παραπάνω φαινόμενα είναι αντικείμενα της Τεχνικής Υδρολογίας, ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί **στην επιφανειακή απορροή**.

## Βασικές έννοιες της υδρολογίας

Το μέρος της βροχόπτωσης το οποίο συνεισφέρει στην επιφανειακή απορροή ονομάζεται *βροχόπτωση επιφανειακής απορροής* ή «*ωφέλιμη βροχόπτωση*» ή «*περίσσευμα βροχής*» κλπ.

Η επιφανειακή απορροή μπορεί να έχει και θετική και αρνητική επίδραση:

-Οι **θετικές επιδράσεις** συνδέονται με την ενδεχόμενη εκμετάλλευση του νερού της βροχής για άρδευση, ύδρευση, βιομηχανικές χρήσεις (συμπεριλαμβόμενης για ψύξη), παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας κλπ.

-Οι **αρνητικές επιδράσεις** συνδέονται κυρίως με τα πλημμυρικά φαινόμενα

## Βασικές έννοιες της υδρολογίας

Το μέρος της βροχόπτωσης το οποίο συνεισφέρει στην επιφανειακή απορροή ονομάζεται *βροχόπτωση επιφανειακής απορροής* ή «*ωφέλιμη βροχόπτωση*» ή «*περίσσευμα βροχής*» κλπ.

Η επιφανειακή απορροή μπορεί να έχει και θετική και αρνητική επίδραση:

-Οι **θετικές επιδράσεις** συνδέονται με την ενδεχόμενη εκμετάλλευση του νερού της βροχής για άρδευση, ύδρευση, βιομηχανικές χρήσεις (συμπεριλαμβόμενης για ψύξη), παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας κλπ.

-Οι **αρνητικές επιδράσεις** συνδέονται κυρίως με τα πλημμυρικά φαινόμενα

Ο σκοπός των Μηχανικών αλλά και ειδικότερα των Μηχανικών Περιβάλλοντος είναι:

- να μεγιστοποιήσουν τις θετικές επιδράσεις
- να ελαχιστοποιήσουν τις δεύτερες, αλλά και
- να συμβάλουν στον ορθολογικό σχεδιασμό τεχνικών έργων (π.χ. φραγμάτων), αλλά και σε θέματα γενικότερου σχεδιασμού κυρίως της διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Τα πιο σημαντικά ίσως μεγέθη τα οποία πρέπει να εκτιμήσει ένας Μηχανικός, για να πετύχει τους προαναφερθέντες σκοπούς είναι:

- Ο **όγκος του νερού** ο οποίος θα απορρεύσει επιφανειακά και θα μπορέσει να τον εκμεταλλευτεί ο άνθρωπος, είτε αποθηκεύοντας τον (π.χ. σε φράγματα) είτε αντλώντας τον απευθείας από έναν ποταμό
- Οι τιμές της **παροχής σε έναν ποταμό** ώστε να μπορέσει ο Μηχανικός να εκτιμήσει αν υπάρχει κίνδυνος πλημμύρας και αν ναι τι μέτρα θα πρέπει να ληφθούν (κατασκευή και λειτουργία φραγμάτων, κατασκευή αναχωμάτων, περιορισμός δραστηριοτήτων σε ορισμένες ζώνες)





## Εξίσωση του Υδρολογικού Ισοζυγίου

Αλλιώς Υδρολογική Εξίσωση ή Αρχή Διατήρησης Μάζας.

Οι εισροές μείον τις εκροές είναι ίσες με την αλλαγή του αποθέματος, η οποία μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή μηδενική.

$$P - ET + R_i - R_o + G_i - G_o + TR_i - TR_o = \Delta(S_G + S_S)$$

$$P - ET + R + G + TR_i - TR_o = \Delta S$$

$$R = R_i - R_o$$

$$G = G_i - G_o$$

$$S = S_G + S_S$$

## Βασικές Υδρολογικές Μεταβλητές

### Εισροές

Κατακρημνίσεις, **P**  
 Επιφανειακή εισροή, **R<sub>i</sub>**  
 Υπόγεια εισροή, **G<sub>i</sub>**  
 Εξωτερικές εισροές, **TR<sub>i</sub>** \*

\* Μεταφορά νερού για άρδευση, ύδρευση κτλ

### Εκροές

Υπόγεια απορροή, **G<sub>o</sub>**  
 Επιφανειακή εκροή, **R<sub>o</sub>**  
 Εξατμισοδιαπνοή, **ET**  
 Εξαγωγές, **TR<sub>o</sub>** \*\*

\*\* Αντλήσεις κτλ

### Αλλαγές Αποθέματος

Υπόγειου αποθέματος, **S<sub>G</sub>**  
 Επιφανειακού αποθέματος, **S<sub>S</sub>**

## Εξίσωση του Υδρολογικού Ισοζυγίου

Για να επιλυθεί σωστά μία άσκηση με χρήση της εξίσωσης Υδρολογικού Ισοζυγίου, πρέπει να ορίσουμε τρία πράγματα.

- Την περιοχή
- Τη χρονική περίοδο
- Τις μονάδες

**Κατείσδυση (Infiltration):** Το ποσοστό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που διαπερνάει την επιφάνεια του εδάφους φτάνοντας στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα.

### Μεταβλητές

Κατακρημνίσεις (***P***)

Precipitation

Εξατμισοδιαπνοή (***ET* ή *E***)

Evapotranspiration

Επιφανειακή εισροή/απορροή (***R***)

Runoff

Κατείσδυση (***I***)

Infiltration

## Εξίσωση του Υδρολογικού Ισοζυγίου

**Υδρολογικό Έτος:** Η περίοδος από 1 Οκτωβρίου έως 30 Σεπτεμβρίου.

- Επειδή ο Δεκέμβρης βρίσκεται στην υγρή περίοδο του έτους, και λόγω διαφοράς στην κατανομή των βροχοπτώσεων, το υδρολογικό έτος ξεκινά τον Οκτώβριο.

**Λεκάνη απορροής:** Είναι η προβολή της επιφάνειας στην οποία συγκεντρώνεται το νερό όταν αυτό περνά από μία ορισμένη διατομή ποταμού.

- Η ποσότητα του νερού που θα φτάσει σε μία διατομή ποταμού εξαρτάται από το ανάγλυφο της κάθε περιοχής.
- Τα όρια της περιοχής στην οποία κάθε σταγόνα που πέφτει θα καταλήξει στη λεκάνη απορροής, ορίζονται από το γεωμετρικό τόπο των ψηλότερων σημείων που βρίσκονται γύρω από το ποτάμι.

## Εξίσωση του Υδρολογικού Ισοζυγίου

### Νόμος Darcy

$$u = -k_f \cdot i$$

$u$  είναι η ταχύτητα ροής

$k_f$  είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του πορώδους υλικού

$i = dh/dz$  είναι η κλίση του υδραυλικού φορτίου

**Σημείωση:** Η κλίση του υδραυλικού φορτίου είναι διάνυσμα με κατεύθυνση κατακόρυφη προς τα πάνω, συνεπώς το μείον (-) υποδηλώνει ότι η κατεύθυνση της ταχύτητας ροής έχει αντίθετη φορά. Για τους μετέπειτα υπολογισμούς χρησιμοποιείται η θετική τιμή.

Μετά τον υπολογισμό της ταχύτητας ροής μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή στην έξοδο της λεκάνης.

$$Q = u \cdot A$$

### Πορώδες

Το πορώδες είναι πολύ σημαντικό στις υπόγειες λεκάνες. Η μεταβολή της στάθμης θα είναι μεγαλύτερη, αφού στον όγκο περιλαμβάνονται και οι κόκκοι του εδάφους.

$$n = \frac{V_{\text{κενών}}}{V_{\text{ολικό}}} = \frac{\Delta S}{A \cdot \Delta y}$$

$$V_{\text{κενών}} = \Delta S \quad = \text{Μεταβολή αποθέματος}$$

$$V_{\text{ολικό}} = A \cdot \Delta y \quad = \text{Επιφάνεια} \times \text{Μεταβολή υπόγειας στάθμης}$$

## Εφαρμογή

Μία λίμνη έχει σταθερό εμβαδό ίσο με  $1220000 \text{ m}^2$ .

Για ένα δεδομένο μήνα η επιφανειακή εισροή της λίμνης είναι  $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$  ενώ η υπόγεια εισροή της είναι  $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Η αντίστοιχη επιφανειακή εκροή της λίμνης είναι  $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$  ενώ η υπόγεια εκροή της είναι  $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$  και η αύξηση του αποθέματος είναι  $17900 \text{ m}^3$ .

Κοντά στη λίμνη υπάρχει βροχογράφος ο οποίος μέτρησε για τον ίδιο μήνα συνολική βροχόπτωση  $25 \text{ mm}$ .

Αν θεωρήσουμε αμελητέες τις διαφυγές από τη λίμνη, να βρεθεί η μηνιαία εξάτμιση της λίμνης.

## Επίλυση

Εφαρμόζουμε την εξίσωση του Υδρολογικού Ισοζυγίου.

$$P - ET + R_i - R_o + G_i - G_o + TR_i - TR_o = \Delta S$$

όπου  $P$  είναι οι κατακρημνίσεις (βροχόπτωση, υγρασία, χιόνι, χαλάζι, κτλ)

$ET$  είναι η εξατμισοδιαπνοή (Εδώ έχουμε λίμνη, άρα είναι μόνο η εξάτμιση)

$R_i - R_o$  είναι η επιφανειακή εισροή μείον την επιφανειακή εκροή

$G_i - G_o$  είναι η υπόγεια εισροή μείον την υπόγεια εκροή

$TR_i$  είναι οι εξωτερικές εισροές (Δεν υπάρχουν)

$TR_o$  είναι οι εξαγωγές (Δεν υπάρχουν)

$\Delta S$  είναι η αλλαγή αποθέματος)

Άρα η εξίσωση γίνεται:

$$P - E + R_i - R_o + G_i - G_o = \Delta S$$

## Επίλυση

Υπολογίζουμε τα διάφορα μεγέθη της εξίσωσης

$$P = 0,025 \text{ m} \cdot 1220000 \text{ m}^2 = 30500 \text{ m}^3 \quad \Delta S = 17900 \text{ m}^3$$

$$R_i = 0,23 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow R_i = 0,23 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 30 \Rightarrow R_i = 596160 \text{ m}^3/\text{month}$$

$$R_o = 0,21 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow R_o = 544320 \text{ m}^3/\text{month}$$

$$G_i = 0,18 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow G_i = 466560 \text{ m}^3/\text{month}$$

$$G_o = 0,15 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow G_o = 388800 \text{ m}^3/\text{month}$$

Αντικαθιστούμε τις τιμές στην εξίσωση και βρίσκουμε την εξάτμιση

$$P - E + R_i - R_o + G_i - G_o = \Delta S \Rightarrow E = P + R_i - R_o + G_i - G_o - \Delta S \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = 30500 + 596160 - 544320 + 466560 - 388800 - 17900 \Rightarrow E = 142200 \text{ m}^3$$

**Σημείωση:** Η εξάτμιση θα μπορούσε να βρεθεί και σε ισοδύναμες μονάδες ύψους νερού αν διαιρέσουμε το αποτέλεσμα με την επιφάνεια της λίμνης

$$E = \frac{142200 \text{ m}^3}{1220000 \text{ m}^2} = 0,116 \text{ m} = 116 \text{ mm}$$



# Τεχνική Υδρολογία

---

## Βιβλιογραφία

- Τεχνική Υδρολογία, Λευθεριώτης Γεώργιος, Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2021.
- Τεχνική Υδρολογία, Σακκάς Ι.Γ., Τόμος 1, Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων, Εκδόσεις Αϊβάζης, 2007.
- Τεχνική Υδρολογία, Μιμίκου Μ.Α., Μπαλτάς Ε.Α. 6<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2018.
- Υδατικοί Πόροι II: Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας, Τσακίρης Γ., Βαγγέλης Χ. Εκδόσεις Συμμετρία, 2009.