Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Κεφάλαιο 1ο: Υδρολογία – Εισαγωγικές Έννοιες

Φ. Π. Μάρης
Αναπλ. Καθηγητής

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγικές έννοιες

1.1 Ορισμός, αντικείμενο και κλάδοι της υδρολογίας

Οι βιολογικές δομές της χλωρίδας και της πανίδας στον πλανήτη μας, προϋποθέτουν την αδιάλειπτη εξασφάλιση νερού σε κατάλληλη ποιότητα και ικανή ποσότητα. Η κυρίαρχη φυσική λειτουργία της Γης που εξασφαλίζει το συνεχή εφοδιασμό της βιόσφαιρας με νερό είναι ο ***υδρολογικός κύκλος:*** η αέναη κίνηση του νερού ανάμεσα στους ωκεανούς, την ατμόσφαιρα και την ξηρά που συνοδεύεται και από αλλαγές ανάμεσα στην υγρή, την αέρια και τη στερεή φάση του .

Η επιστήμη που ασχολείται με το όλο πλαίσιο της φυσικής κίνησης του νερού της Γης είναι η ***υδρολογία.***

Η ελληνική λέξη *υδρολογία* αποτελεί και τη διεθνή ονομασία της επιστήμης (π.χ. hydrology στην αγγλική, hydrologie στη γαλλική, idrologia στην ιταλική κτλ.)

Κατά τη Διεθνή Υδρολογική Δεκαετία (1965-1974) που οργανώθηκε από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών, έγινε δεκτός ο ακόλουθος ορισμός της υδρολογίας: *Υδρολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με τα ύδατα της Γης, την παρουσία, την κυκλοφορία και κατανομή τους, τις φυσικές και χημικές ιδιότητές τους, και τις αλληλεπιδράσεις τους με το περιβάλλον, στο οποίο περιλαμβάνονται και τα έμβια όντα. Το γνωστικό πεδίο της υδρολογίας καλύπτει την όλη ιστορία της παρουσίας του νερού στη Γη.*

- **Ένα πρώτο συμπέρασμα από τον παραπάνω ορισμό είναι ότι η υδρολογία είναι μια γεωεπιστήμη (όπως είναι π.χ. η γεωλογία, η ωκεανογραφία, η επιστήμη της ατμόσφαιρας κτλ.) αφού ασχολείται με το νερό της Γης και όχι αφαιρετικά με το νερό ως ουσία ή ως ρευστό.**

- **Ένα δεύτερο συμπέρασμα είναι η ευρύτητα του περιεχόμενου της υδρολογίας, η οποία το επεκτείνει σε πολλές επιστημονικές περιοχές και το διασυνδέει με άλλες γεωεπιστήμες. Έτσι, η υδρολογία, παρόλο που είναι μια αυτόνομη επιστήμη, απαιτεί μια διεπιστημονική προσέγγιση του αντικειμένου της.**

- **Αν και δεν προκύπτει σαφώς από τον παραπάνω ορισμό, παραδοσιακά η υδρολογία ασχολείται κυρίως με το φυσικό νερό στο χερσαίο τμήμα του πλανήτη, αφήνοντας στην ωκεανογραφία τη λεπτομερή μελέτη των νερών των ωκεανών και στις ατμοσφαιρικές επιστήμες την εστίαση στην κίνηση της αέριας φάσης του νερού. Η U.S. Committee on Opportunities in the Hydrological Sciences (1992) διατύπωσε την "προτίμηση" αυτή της υδρολογίας αποσαφηνίζοντας το γνωστικό πεδίο και τα όριά της ως *διακριτής γεωεπιστήμης*, σε σχέση με άλλες συγγενείς επιστήμες. Αυτή την πιο πρόσφατη διατύπωση του περιεχομένου της υδρολογίας την έχουμε κωδικοποιήσει στον επόμενο Πίνακα, ο οποίος αποτυπώνει μια πιο σύγχρονη και σαφέστερη εκδοχή του ορισμού της.**

Τομέας	Ανάλυση αντικειμένου	Περιλαμβάνει	Δεν περιλαμβάνει
Υδατικό ισοζύγιο υδρογείου	Χωρική και χρονική μεταβλητότητα του υδατικού ισοζυγίου της υδρογείου (σε στερεή υγρή και αέρια φάση, στη θάλασσα, την ξηρά και την ατμόσφαιρα)	Διαδρομές διακίνησης, διακινούμενες μάζες νερού και χρόνοι παραμονής, τόσο μεταξύ ωκεανών, ατμόσφαιρας και ηπείρων, όσο και μεταξύ των τριών φάσεων	Φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες εσωτερικές στην ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς
Ηπειρωτικές (χερσαίες) υδρολογικές διεργασίες	Κίνηση του νερού πάνω και κάτω από την επιφάνεια της γης, σε όλες τις χωρικές και χρονικές κλίμακες, από την μικροκλίμακα μέχρι την κλίμακα ηπείρων	Φυσικές και χημικές διεργασίες που συνοδεύουν την κίνηση του νερού, καθώς και βιολογικές διεργασίες που αλληλεπιδρούν με αυτή την κίνηση (π.χ. διαπνοή φυτών, διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες)	Βιολογικές διεργασίες που απλώς εξαρτώνται από το νερό (π.χ. κύκλος ζωής υδρόβιων οργανισμών)

Πίνακας 1.1 Διασάφηση του αντικειμένου της υδρολογίας (με βάση στοιχεία της U.S. Committee on Opportunities in the Hydrological Sciences, 1992).

Η συνηθέστερη διάκριση κλάδων της υδρολογίας βασίζεται στον τρόπο και το στόχο της προσέγγισης του αντικειμένου :

- ***Υδρολογική επιστήμη*** **(hydrologic science).**

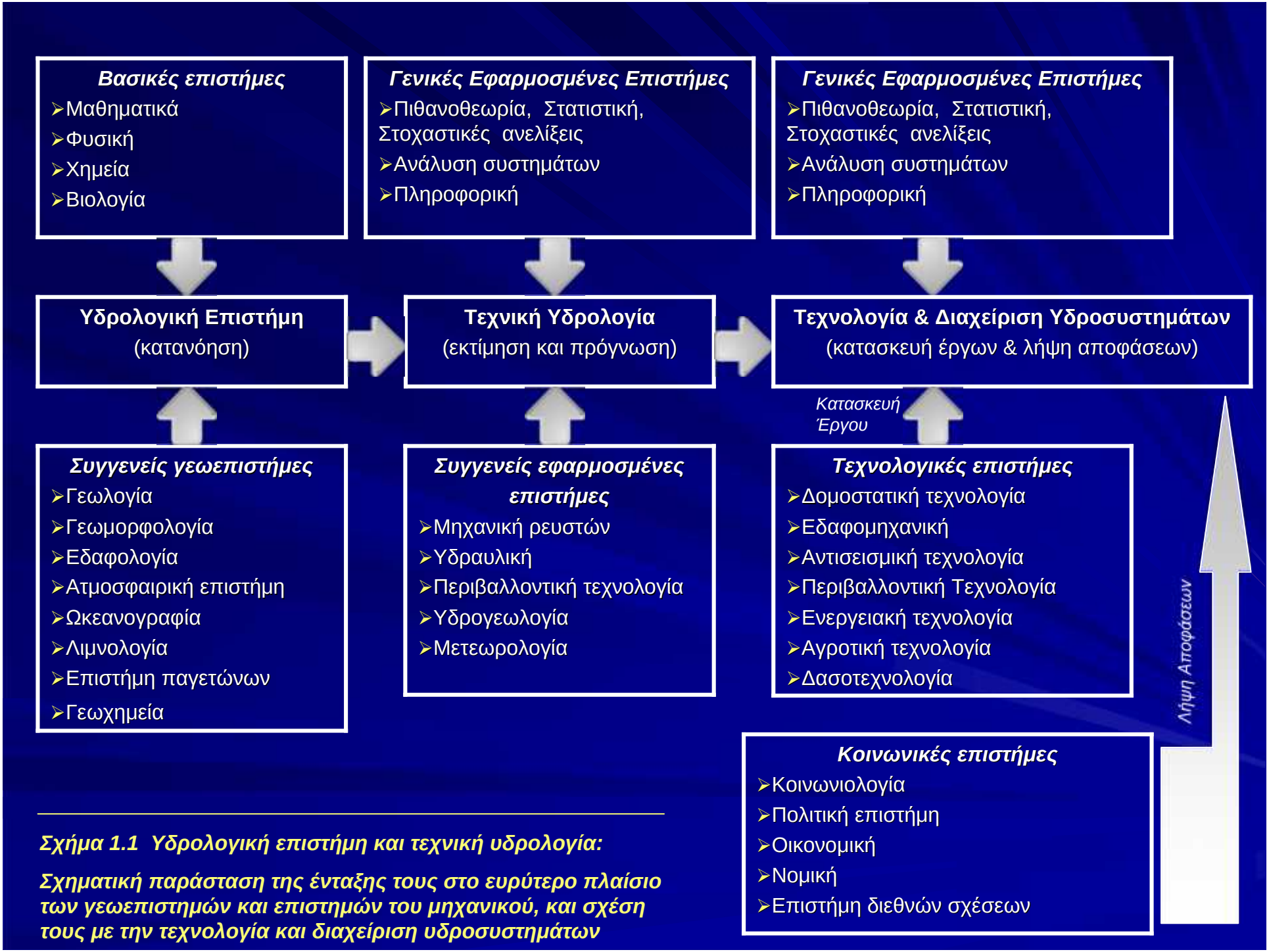
Ως συνώνυμος χρησιμοποιείται ο όρος *φυσική υδρολογία* (physical hydrology), ενώ πολύ κοντινός είναι και ο όρος *περιβαλλοντική υδρολογία* (environmental hydrology).

Έχει στόχο την *κατανόηση* των υδρολογικών διεργασιών, των φαινομένων που συνδέονται με αυτές, των νόμων που τις διέπουν και των μηχανισμών που τις κατευθύνουν.

- ***Τεχνική υδρολογία*** **(engineering hydrology)**

Ως συνώνυμος χρησιμοποιείται ο όρος ***εφαρμοσμένη υδρολογία*** (applied hydrology). Έχει στόχο την *ποσοτική εκτίμηση και πρόγνωση* των υδρολογικών μεγεθών.

Υποστηρίζει την ευρύτερη επιστημονική και τεχνολογική περιοχή της *τεχνολογίας και* ***διαχείρισης υδροσυστημάτων*** (hydrosystems engineering and management): πρόκειται για συστήματα που αποτελούνται από συνδυασμό ***φυσικών υδάτινων σωμάτων*** (ποταμών, λιμνών, υπόγειων υδροφορέων) και ***υδραυλικών έργων***, δηλαδή τεχνικών έργων, όσο και στην προστασία από την καταστροφική δράση του νερού (πλημμύρες κτλ.) ως ***φυσικού κινδύνου.***



Σχήμα 1.1 Υδρολογική επιστήμη και τεχνική υδρολογία:

Σχηματική παράσταση της ένταξης τους στο ευρύτερο πλαίσιο των γεωεπιστημών και επιστημών του μηχανικού, και σχέση τους με την τεχνολογία και διαχείριση υδροσυστημάτων

Βασικά Συμπεράσματα

- Η υδρολογία είναι στενά συνδεδεμένη με άλλες επιστήμες.

  Στο παραπάνω σχήμα (Σχ. 1.1) απεικονίζεται (με απλουστευμένο τρόπο) η διασύνδεση της ακολουθίας *υδρολογική επιστήμη - τεχνική υδρολογία - τεχνολογία και διαχείριση υδροσυστημάτων,* με τις άλλες γεωεπιστήμες, τις εφαρμοσμένες επιστήμες και τις επιστήμες του μηχανικού.

- Ανάμεσα στις διάφορες διασυνδέσεις του σχήματος 1.1, τονίζουμε τις ***ειδικές σχέσεις*** της τεχνικής υδρολογίας με την πιθανοθεωρία, τη στατιστική και τη θεωρία στοχαστικών ανελίξεων (για τις οποίες η τεχνική υδρολογία αποτελεί ιδεώδες πεδίο εφαρμογών και έρευνας), και με την πληροφορική.

- **Η σχέση της τεχνικής υδρολογίας με την πληροφορική**, είναι πιο πρόσφατη και έχει υπαγορευτεί από δύο λόγους.

  Ο πρώτος λόγος αφορά στον ***μεγάλο όγκο υδρολογικής πληροφορίας*** (μετρήσεων υδρολογικών μεταβλητών) που χρησιμοποιεί η τεχνική υδρολογία, η διαχείριση της οποίας απαιτεί τη χρήση προηγμένων μεθόδων πληροφορικής.

  Ο δεύτερος λόγος αφορά στα ***πολύπλοκα υπολογιστικά μοντέλα*** της υδρολογίας που αναπαριστούν μαθηματικά τη συμπεριφορά πολυσύνθετων υδροσυστημάτων, η ανάπτυξη των οποίων έγινε δυνατή χάρη στη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών

Κλάδοι της υδρολογίας

- **Επιφανειακή υδρολογία *(surface hydrology)***

  ασχολείται με τα επιφανειακά νερά
- ***Υπόγεια υδρολογία* (subsurface or ground-water hydrology)**

  ασχολείται με τα υπόγεια νερά
- ***Υδρομετεωρολογία* (hydrometeorology)**

  ασχολείται με το νερό της ατμόσφαιρας δίνοντας έμφαση στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι) και την εξατμοδιαπνοή, και αποτελώντας κάποιο είδος συγκερασμού υδρολογίας και μετεωρολογίας
- ***Στατιστική υδρολογία* (statistical hydrology)**

  αξιοποιεί μεθόδους της θεωρίας πιθανοτήτων και στατιστικής προκειμένου να οδηγηθεί σε ποσοτική εκτίμηση και πρόγνωση μεγεθών
- ***Στοχαστική (ή επιχειρησιακή) υδρολογία* (stochastic or operational hydrology)** αξιοποιεί μεθόδους της θεωρίας στοχαστικών ανελίξεων προκειμένου να προσομοιώσει μαθηματικά χρονική την εξέλιξη των υδρολογικών μεταβλητών και τη συμπεριφορά σύνθετων υδροσυστημάτων

1.2 Σύντομο ιστορικό

- **Το ιστορικό της υδρολογίας στην περιοχή των επιστημών είναι τόσο απέραντο, ώστε μόνο προσφεύγοντας σε γενικές μεθοδολογίες κατάταξης των θετικών επιστημών μπορεί να χωριστεί σε ενδεικτικές περιόδους :**
  - **Προορθολογιστική Περίοδος (ως το 1400 μ.Χ.)**
  - **Περίοδος μετρήσεων και πειραματισμών (1400-1850)**
  - **Περίοδος επιστημονικής θεμελίωσης της υδρολογίας (1850-1960)**
  - **Περίοδος ηλεκτρονικών υπολογιστών και διεπιστημονικής υδρολογίας (1960-σήμερα)**

- **Ακολουθήθηκαν δύο διαφορετικοί δρόμοι κατά την μακριά πορεία της μελέτης των φαινομένων της τεχνικής υδρολογίας :**

  Ο πρώτος μπορεί να ονομαστεί *θεωρητικός* και αναζητεί την απεικόνιση της υπάρχουσας γνώσης μέσα από ένα σύνολο γενικών αρχών, δηλαδή με τη βοήθεια μιας *θεωρίας*.

  Ο δεύτερος χαρακτηρίζεται ως *εμπειρικός* και προσπαθεί να αυξήσει τις πρακτικές γνώσεις για τα υδρολογικά φαινόμενα, αναπτύσσοντας τα εργαλεία που πολλαπλασιάζουν και βελτιώνουν τις σχετικές πληροφορίες και την επεξεργασία τους.

1.3 Υδρολογικές μελέτες και υδραυλικά έργα

1.3.1 Σκιαγραφία και ιστορικό των υδραυλικών έργων

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την επιστημονική περιοχή της τεχνικής υδρολογίας ας κάνουμε μια πρώτη σύντομη ξενάγηση στις παραδοσιακές χρήσεις του γλυκού νερού από τον άνθρωπο και στα αντίστοιχα συνήθη έργα.

Αστικά υδραυλικά έργα : **Διακρίνονται σε υδρευτικά και αποχετευτικά έργα.**

- **Στη μεταπολεμική Ελλάδα, από το 30% των νοικοκυριών που είχαν δίκτυο ύδρευσης στο σπίτι τους το 1950, ξεπεράσαμε το 90% στις αρχές της δεκαετίας του 1990.**
- **Η Ευρωπαϊκή Ένωση θεσμοθέτησε την Κοινοτική Οδηγία 80/778 αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας για το υδρευτικό νερό αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας για το υδρευτικό νερό, γεγονός που βελτίωσε το ποιοτικό επίπεδο και στην Ελλάδα.**
- **Η ιστορία των αποχετευτικών έργων συμβαδίζει σε κάποιο βαθμό με αυτή των υδρευτικών. Ουσιαστικά η σύγχρονη τεχνολογία των αποχετεύσεων εγκαθιδρύθηκε στα μέσα του 19ου αιώνα, και υπαγορεύτηκε από τις ανάγκες της εξάλειψης των επιδημιών και της καλύτερης ποιότητας ζωής (Κουτσογιάννης, 1993).**

Εγγειοβελτιωτικά έργα. **Ο όρος αναφέρεται σε όλα τα τεχνικά έργα που έχουν ως τελικό σκοπό τη βελτίωση της "έγγειας προσόδου", δηλαδή της παραγωγικότητας της γης σε φυτικές καλλιέργειες.**

- **Τα αρδευτικά έργα στην Αρχαία Ελλάδα ήταν σχετικά περιορισμένης έκτασης και συνδυάστηκαν με αποξηραντικά και αντιπλημμυρικά έργα.**
- **Στη νεότερη Ελλάδα τα πρώτα εγγειοβελτιωτικά έργα άρχισαν το δεύτερο ήμισυ του 19ου αιώνα, με τα αντιπλημμυρικά του Αχελώου και τα αποξηραντικά έργα της λίμνης Κωπαΐδας.**
- **Μεγάλη ανάπτυξη των έργων αυτών μέχρι το 1940 με τα μεγάλα αντιπλημμυρικά έργα στις πεδιάδες Θεσσαλίας, Ηπείρου, Θεσσαλονίκης και Σερρών.**
- **Μετά τον πόλεμο μέχρι σήμερα και συνεχίστηκε η κατασκευή σημαντικών φραγμάτων υδροληψίας αλλά και αποθήκευσης.**
- **Οι αρδευόμενες σήμερα εκτάσεις στην Ελλάδα ξεπερνούν τα 12000km^2 με πρόβλεψη τα 18000 km^2 για το έτος 2010 επί συνολικής έκτασης καλλιεργήσιμης γης περί τα 36000 km^2 .**

Υδροενεργειακά έργα.

Η συνεχής κυκλική, όχι μόνο υλική αλλά και ενεργειακή, ανανέωση των υδατικών αποθεμάτων χρησιμοποιήθηκε από τα βάθη της ιστορίας και για την παραγωγή πολύτιμου έργου, τόσο μεταφορικού όσο και καθαρά υδραυλικού, μέσω της δυναμικής ενέργειας των υδατορευμάτων.

- **Η βιομηχανική παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ευγενούς ηλεκτρικής ενέργειας κατέκτησε μέσα στον 20ο αιώνα σχεδόν όλες τις ανθρώπινες ανάγκες και δραστηριότητες. Αποτέλεσμα αυτής της κατάκτησης είναι και η κατασκευή μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικών έργων.**
- **Ενώ οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες εξάντλησαν σε μεγάλο ποσοστό το υδροδυναμικό τους, στην Ελλάδα μόνο το ένα τέταρτο του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού της χώρας χρησιμοποιείται σήμερα ή βρίσκεται υπό αξιοποίηση. Διαθέτουμε επομένως τεράστια ανεκμετάλλευτα αποθέματα εγχώριων, καθαρών και ανανεώσιμων υδατικών ενεργειακών πηγών.**
- **Θα πρέπει να αναλογιστούμε λοιπόν ότι τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα είναι πολλαπλής χρήσης αλλά και πολλαπλής οικονομικής ωφέλειας.**

1.3.2 Κατάταξη των υδρολογικών μελετών

Υδρολογική μελέτη είναι η εφαρμογή της επιστήμης της τεχνικής υδρολογίας σε συγκεκριμένα έργα.

- Η κατάταξη των υδρολογικών μελετών ακολουθεί την αντίστοιχη των υδραυλικών έργων και στηρίζεται στην εφαρμοσμένη από όλες τις οργανωμένες ανθρώπινες κοινωνίες κοινή πρακτική. Έτσι διακρίνουμε δύο κύριες κατηγορίες έργων:

1. Έργα ανάπτυξης και αξιοποίησης υδατικών πόρων: Αφορούν στην αναζήτηση των υδατικών αποθεμάτων και τη βέλτιστη χωροχρονική διανομή τους στις διάφορες χρήσεις και στους καταναλωτές.

2. Έργα προστασίας από υδρολογικούς κινδύνους: Αφορούν στην αντιμετώπιση των συνηθισμένων επιπτώσεων από την επιφανειακή απορροή αλλά και των έκτακτων υδρολογικών περιστατικών, δηλαδή των πλημμυρών και ξηρασιών.

- Τα απαραίτητα για τη σύνταξη των υδρολογικών μελετών δεδομένα είναι οι διάφορες μετρήσεις ή εκτιμήσεις των *υδρολογικών μεταβλητών*, που με το γενικό τίτλο *υδρολογική πληροφορία*.

1.3.3 Έργα ανάπτυξης και αξιοποίησης υδατικών πόρων

Το τυπικό υδρολογικό μέρος της όλης μελέτης των αναπτυξιακών υδραυλικών έργων εξαρτάται άμεσα από το συγκεκριμένο τύπο των έργων που πρόκειται να κατασκευαστούν. Για μεθοδολογικούς λόγους μπορούμε να διακρίνουμε τους τύπους των έργων στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. *Έργα αξιοποίησης των άμεσα διαθέσιμων υδατικών πόρων* (δηλαδή του υδατικού δυναμικού που μπορεί να αξιοποιηθεί *χωρίς σημαντικές επεμβάσεις στη φυσική του δίαιτα*). Στα έργα αυτά υπάγονται, μεταξύ άλλων:

- **η καλλιέργεια και σύλληψη νερού από πηγές**
- **η υδροληψία από φυσικά υδατορεύματα**
- **η υδροληψία από φυσικές λίμνες**
- **οι υδροληψίες υπόγειων υδάτων (πηγάδια και γεωτρήσεις), κτλ.**

Στην κοινή πρακτική, ο υδρολόγος καλείται να υπολογίσει με αντικειμενική αξιοπιστία τις μέσες ή ελάχιστες τιμές των διερχόμενων παροχών σε ορισμένες θέσεις και στις κατάλληλες χρονικές κλίμακες (π.χ. μηνιαία, εβδομαδιαία, ημερήσια). Καθορίζεται έτσι η απολήψιμη παροχή, που αποτελεί και τη βασική υδρολογική παράμετρο σχεδιασμού των αντιστοίχων αναπτυξιακών έργων.

2. ***Έργα ανάπτυξης των ολικών διαθέσιμων υδατικών πόρων*** **(δηλαδή του συνολικά εκμεταλλεύσιμου υδατικού δυναμικού,** ***μετά από σημαντικές επεμβάσεις στη φυσική δίαιτα*** **με την κατασκευή μεγάλων υδραυλικών έργων), και συγκεκριμένα:**

- ***ταμιευτήρες*****, για τη συγκέντρωση των επιφανειακών νερών και ρύθμιση της δίαιτάς τους σε υπερετήσια, ετήσια ή εποχιακή κλίμακα**
- ***έργα εκτροπής*** **υδατικού δυναμικού από μια περιοχή σε άλλη**
- ***έργα εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων*** **με χειμερινά επιφανειακά νερά, κτλ.**

Αξιοποιώντας το σύνολο της διαθέσιμης υδρολογικής πληροφορίας σε κατάλληλες χρονικές κλίμακες (π.χ. μηνιαία), ο υδρολόγος καθορίζει μια σειρά παραμέτρων σχεδιασμού των αντιστοίχων δυνατών αναπτυξιακών έργων, όπως είναι οι όγκοι εισροών, απωλειών (εξατμισοδιαπνοής, διαφυγών, κτλ.) και απολήψεων, παροχές σχεδιασμού, χωρητικότητες ταμιευτήρων. Κατά κανόνα η υδρολογική μελέτη καθορίζει ένα σύνολο εναλλακτικών παραμέτρων σχεδιασμού και η τελική λύση επιλέγεται στη συνέχεια με τεχνικοοικονομικά κριτήρια.

3. ***Έργα μεταφοράς και διανομής του νερού*** **(δηλαδή υδραγωγεία και δίκτυα διανομής του υδρευτικού ή αρδευτικού νερού στους καταναλωτές). Εδώ το βασικό αντικείμενο της τεχνικής υδρολογίας είναι η** ***εκτίμηση των υδατικών αναγκών*** **για τις διάφορες χρήσεις νερού και της κατανομής τους στο χρόνο, μέσω των οποίων καθορίζονται οι παροχές σχεδιασμού.**

1.3.4 Έργα προστασίας από υδρολογικούς κινδύνους

Τα συνηθέστερα έργα προστασίας κατατάσσονται στις ακόλουθες ειδικές κατηγορίες:

1. *Έργα αντιπλημμυρικής προστασίας αστικών και αγροτικών περιοχών* και ειδικότερα:

- **αστικά δίκτυα αποχέτευσης ομβρίων και αντιπλημμυρικές τάφροι**
- **έργα αποχέτευσης και αποστράγγισης αγροτικών περιοχών**
- **έργα διευθέτησης υδατορευμάτων για την ακίνδυνη διέλευση ή εκτροπή της πλημμυρικής παροχής**
- **αντιπλημμυρικά φράγματα για την ανάσχεση των πλημμυρών (δηλαδή, τη μείωση της παροχής αιχμής μέσω προσωρινής αποθήκευσης)**

***2. Έργα αντιπλημμυρικής προστασίας συστημάτων τεχνικών έργων* και ειδικότερα:**

- **φραγμάτων (και συγκεκριμένα υπερχειλιστές δηλαδή μόνιμα έργα για την περίοδο λειτουργίας, αλλά και σήραγγες εκτροπής και προφράγματα, δηλαδή προσωρινά έργα για την περίοδο κατασκευής)**
- **συγκοινωνιακών έργων, όπως οδικών αξόνων, γεφυρών, αεροδρομίων, κτλ.**
- **ειδικών έργων, όπως μεμονωμένων κτιρίων με βαθιά θεμελίωση, στραγγιστικών αντλιοστασίων, κτλ.**

3. Έργα προστασίας από ξηρασίες.

- **Συνήθως τα έργα αυτής της κατηγορίας εντάσσονται στο γενικό σχεδιασμό των έργων συγκέντρωσης και χρονικής αναδιανομής του υδατικού δυναμικού.**
- **Επιπλέον η υδρολογική μελέτη συμβάλλει στην κατάρτιση του προγράμματος εφεδρικών αποθεμάτων και έργων.**

***4. Έργα προστασίας από τη συνήθη υδρολογική δίαιτα*: Πρόκειται κυρίως για την προστασία ορισμένων συστημάτων υδραυλικών έργων από προσχώσεις και την προστασία από διαβρώσεις ή προσχώσεις των φυσικών ή καλλιεργημένων εδαφών. Στα έργα αυτής της κατηγορίας συγκαταλέγονται:**

- **φράγματα συγκράτησης φερτών υλικών**
- **έργα διευθέτησης της κοίτης των υδατορευμάτων, για την αποφυγή διάβρωσης ή πρόσχωσής της**
- **έργα ορεινής υδρονομίας, δηλαδή προστασίας των εδαφών ορεινών και ημιορεινών λεκανών από πλημμυρικές διαβρώσεις**

Ειδικότερα ο υδρολόγος πρέπει να εκτιμήσει, την εισροή φερτών από όπου προκύπτει ο λεγόμενος *νεκρός όγκος* του ταμιευτήρα, δηλαδή ο όγκος που θα καταληφθεί κατά τη διάρκεια ζωής του έργου από φερτά υλικά και δεν μπορεί να διατεθεί για άλλη χρήση.

Πίνακας με κατηγορίες υδραυλικών έργων και συμβολή της υδρολογίας στη μελέτη των έργων κάθε κατηγορίας.

Γενική κατηγορία έργων	Ειδική κατηγορία έργων ή δράσεων	Τυπικά υδραυλικά έργα	Στόχος υδρολογικής μελέτης
Α. Έργα ανάπτυξης και αξιοποίησης υδατικών πόρων	Α1. Αξιοποίηση των άμεσα διαθέσιμων υδατικών πόρων	Υδροληψία από: 1.πηγές 2.υδατορεύματα 3.λίμνες 4. υδροφορείς	Εκτίμηση απολήψιμης παροχής
	Α2. Ανάπτυξη των ολικών διαθέσιμων υδατικών πόρων	1. Ταμιευτήρες 2. Έργα εκτροπής 3. Έργα εμπλουτισμού υδροφορέων	Εκτίμηση όγκων εισροών, απωλειών και απολήψεων, παροχών σχεδιασμού, χωρητικοτήτων ταμιευτήρων
	Α3. Μεταφορά και διανομή των υδατικών πόρων	1. Υδραγωγεία 2. Δίκτυα διανομής	Εκτίμηση των υδατικών αναγκών, εξαγωγή των παροχών σχεδιασμού
Β. Έργα προστασίας από υδρολογικούς κινδύνους	Β1. Αντιπλημμυρική προστασία αστικών και αγροτικών περιοχών	1.Αστικά δίκτυα αποχέτευσης ομβρίων 2. Έργα αποχέτευσης και ποστράγγισης αγροτικών περιοχών 3.Έργα διευθέτησης υδατορευμάτων	Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών σχεδιασμού, χωροχρονικής εξέλιξης πλημμύρας, χρόνων κατάκλυσης
	Β2. Αντιπλημμυρική προστασία συστημάτων τεχνικών έργων	Έργα προστασίας 1.Φραγμάτων 2. συγκοινωνιακών έργων 3. ειδικών έργων	Όπως στην κατηγορία Β1
	Β3. Προστασία από ξηρασίες	Έργα κατηγορίας Α2 σε συνδυασμό με τήρηση εφεδρικών αποθεμάτων και εφεδρικά έργα.	Όπως στα έργα κατηγορίας Α2, και επιπλέον: εκτίμηση ελάχιστων φυσικών παροχών, παροχών περιβαλλοντικής διατήρησης
	Β4. Προστασία από τη συνήθη υδρολογική δίαιτα	1. Φράγματα συγκράτησης φερτών υλικών 2. Έργα διευθέτησης υδατορευμάτων 3. Έργα ορεινής υδρονομίας	Εκτίμηση ρυθμών διάβρωσης εδαφών και υδατορευμάτων, στερεομεταφοράς και πρόσχωσης εδαφών, υδατορευμάτων και τεχνικών έργων

1.4 Τεχνική υδρολογία και διαχείριση υδροσυστημάτων

Η επιστημονική περιοχή της *διαχείρισης υδροσυστημάτων* περιλαμβάνει δύο κλάδους: τη *διαχείριση υδατικών πόρων* και τη *διαχείριση συστημάτων ελέγχου πλημμυρών.*

Η διαχείριση των υδατικών πόρων αποσκοπεί στην καλύτερη κατανομή του νερού στις διάφορες χρήσεις, λαμβάνοντας υπόψη τεχνικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές παραμέτρους.

Οι χρήσεις νερού γενικά διακρίνονται σε

- ***καταναλωτικές,* που απαιτούν την απομάκρυνση του νερού από το φυσικό υδατικό σύστημα, (ύδρευση, άρδευση, καταναλωτική βιομηχανική χρήση, κτηνοτροφική χρήση) και ρυπαίνουν το νερό κατά τη χρήση του**
- ***μη καταναλωτικές* (παραγωγή ενέργειας, διατήρηση οικοσυστημάτων, διατήρηση ποιότητας, ιχθυοτροφεία, αναψυχή, ναυσιπλοΐα), στις οποίες το νερό χρησιμοποιείται επί τόπου.**

- **Το πρώτο βήμα για την *ορθολογική διαχείριση* είναι η καλύτερη δυνατή περιγραφή του ανταγωνισμού ανάμεσα στις επιμέρους χρήσεις νερού. Το βήμα αυτό περιλαμβάνει τόσο την οικονομική αποτίμηση καθεμιάς από τις χρήσεις, όσο και τον καθορισμό ελάχιστων ανεκτών ποσοτήτων για κάθε χρήση.**

- **Το δεύτερο βήμα είναι η μελέτη των εισόδων του συστήματος, δηλαδή των φυσικών εισροών και απωλειών νερού, και της χωροχρονικής μεταβλητότητάς τους.**

- **Το τρίτο βήμα είναι η πληρέστερη δυνατή μαθηματική αναπαράσταση του υδροσυστήματος, των φυσικών περιορισμών του και της λειτουργίας του. Το τέταρτο και τελικό βήμα είναι η βελτιστοποίηση της χωροχρονικής διανομής των υδατικών πόρων στις διάφορες χρήσεις. Η βελτιστοποίηση αυτή αφορά στην αναζήτηση των οικονομικά βέλτιστων λύσεων διανομής των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού για την κάλυψη των αναγκών της κατανάλωσης, μεταξύ όλων των τεχνικά δυνατών λύσεων.**

Στη βελτιστοποίηση λαμβάνεται υπόψη και η ελαχιστοποίηση των δαπανών λειτουργίας και συντήρησης, καθώς και η ικανοποίηση φυσικών, τεχνικών, περιβαλλοντικών και άλλων περιορισμών.

Η διαχείριση των συστημάτων ελέγχου πλημμυρών **αποσκοπεί στην απομείωση των καταστροφών που προκαλούν οι πλημμύρες.**

Σε αυτό τον κλάδο περιλαμβάνονται:

- **η ανάπτυξη συστημάτων πρόγνωσης πλημμυρών, με αξιοποίηση μετεωρολογικών προγνώσεων, μετρήσεων υδρομετεωρολογικών μεταβλητών σε πραγματικό χρόνο με χρήση τόσο επίγειων δικτύων μέτρησης, όσο και μετεωρολογικών ραντάρ, κτλ.**

- **η εκπόνηση σχεδίων έκτακτων αναγκών και η εφαρμογή συστημάτων ενημέρωσης (προειδοποίησης, συναγερμού) του πληθυσμού**

- **η εφαρμογή πρακτικών λειτουργίας των αντιπλημμυρικών έργων έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι ζημιές από τις πλημμύρες.**

- **Οι απαιτήσεις των υδρολογικών μελετών υποστήριξης της διαχείρισης υδροσυστημάτων είναι αυξημένες, γι' αυτό και σήμερα είναι απαραίτητη η ανάπτυξη λεπτομερών *υδρολογικών μοντέλων προσομοίωσης και πρόγνωσης* της εξέλιξης των υδροσυστημάτων.**

- **Είναι ευνόητο ότι οι αυξημένες απαιτήσεις της διαχείρισης υδροσυστημάτων οδηγούν αναγκαστικά στην αναβάθμιση όλων των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την υδρολογική πληροφορία.**

Απαιτούνται πυκνότερες (γεωγραφικά και χρονικά) και πιο *αξιόπιστες μετρήσεις, χρήση νέων τεχνολογιών τηλεμετρίας, άμεση διαθεσιμότητα δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, βελτιωμένη διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων*.

Η ανάγκη αναβάθμισης των συστημάτων μετρήσεων γίνεται πιο προφανής στην περίπτωση των *συστημάτων πρόγνωσης πλημμυρών*.

- **Μια σημαντική δραστηριότητα που συνδέεται άμεσα με τη διαχείριση των υδροσυστημάτων είναι *η εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής* σε αυτά. Η υδρολογία, σε συνεργασία με άλλες επιστήμες προσπαθεί να εκτιμήσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, τόσο στη φυσική προσφορά των υδατικών πόρων, όσο και στην πλημμυρογένεση, και να διερευνήσει στη συνέχεια τη λειτουργία και διαχείριση των υδροσυστημάτων κάτω από συνθήκες κλιματικής αλλαγής.**

1.5 Χαρακτηριστικές ιδιότητες του νερού

Θα ασχοληθούμε σε αυτή την ενότητα με την *"πρώτη ύλη"* της, το φυσικό νερό δίνοντας τις πιο χαρακτηριστικές φυσικοχημικές ιδιότητές του. Αν και μας είναι πολύ οικείο, το νερό είναι μια "παράξενη" ουσία με μοναδικές ιδιότητες, όπως φαίνεται παρακάτω:

1. Αφθονία του νερού στη Γη

Το νερό παρουσιάζει ασυνήθιστα μεγάλη αφθονία στη Γη, καθοριστική της εικόνας της επιφάνειας της γης (καλύπτει το 70%)

2. Ταυτόχρονη παρουσία του στις τρεις φάσεις (στερεή, υγρή, αέρια)

Ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, η φυσική εμφάνιση του νερού στη Γη απαντά και στις τρεις φάσεις: στερεή, υγρή και αέρια. Ασφαλώς, η υγρή φάση κυριαρχεί (ποσοστό 98.2%), αλλά ωστόσο είναι καθοριστική για τα μετεωρολογικά και υδρολογικά φαινόμενα η παρουσία του σε στερεή φάση (1.76%) και αέρια φάση (0.0009%).

	Συνολική ποσότητα		Ποσότητα γλυκού νερού	
Μορφή νερού	km^3 ή 10^{12} kg	%	km^3 ή 10^{12} kg	%
Ωκεανοί	1 338 000 000	96.54	—	—
Παγετώνες, μόνιμα χιόνια, υπόγειοι πάγοι	24 364 100	1.758	24 364 100	69.55
Υπόγεια νερά και εδαφική υγρασία	23 416 500	1.690	10 546 500	30.11
Λίμνες και έλη	187 870	0.014	102 470	0.293
Ατμοσφαιρικό νερό	12 900	0.0009	12 900	0.037
Ποταμοί	2 120	0.0002	2 120	0.006
Βιολογικό νερό	1 120	0.0001	1 120	0.003
Σύνολο	1 385 985 622	100	35 029 210	100

Πίνακας : Παρουσία του νερού στη Γη

3. Συμπεριφορά του νερού στις αλλαγές φάσης

Η γενική συμπεριφορά του νερού καθορίζεται από την δομή του μορίου του H_2O. Η πυκνότητα του πάγου είναι μικρότερη από την πυκνότητα του νερού σε υγρή φάση (91.7% σε θερμοκρασία 0°C). Ελάχιστες άλλες ουσίες έχουν παρόμοια συμπεριφορά κατά την πήξη τους.

Αυτή η ιδιότητα του νερού έχει ιδιαίτερα σημαντικές συνέπειες:

- **Επιτρέπει στους πάγους των ποταμών, των λιμνών και των θαλασσών να επιπλέουν. Αν η πυκνότητα του πάγου ήταν μεγαλύτερη, τότε οι πάγοι θα βυθίζονταν, με καταστροφικά αποτελέσματα για τις βιολογικές συνθήκες.**

- **Καθιστά το νερό σημαντικό παράγοντα γεωλογικών διεργασιών.Το πάγωμα του νερού σε κοιλότητες ή ρωγμές πετρωμάτων αναπτύσσει τεράστιες πιέσεις (ακόμη και πάνω από 200 000 kPa) και μπορεί έτσι να σπάσει σε κομμάτια ακόμη και τον πιο ανθεκτικό βράχο.**

- **Δημιουργεί κινδύνους για τα υδραυλικά έργα. Αν το νερό παγώσει μέσα σε σωλήνες όπου κυκλοφορεί υπό πίεση, μπορεί να τους σπάσει.**

4. Μεγάλη θερμοχωρητικότητα: κλιματικός θερμοστάτης

Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού σημαίνει μεγάλη θερμική αδράνεια και έχει αξιοσημείωτες συνέπειες:

- **Οι ωκεανοί, αποτελώντας τον κλιματικό θερμοστάτη της Γης, ρυθμίζουν καθοριστικά το κλίμα της. Η θερμοκρασία τους διακυμαίνεται σε πολύ μικρότερο εύρος σε σχέση με τη θερμοκρασία της ξηράς. Οι θερμικές διαφορές ξηράς - θάλασσας επάγουν ατμοσφαιρικά φαινόμενα, τα οποία, μεταφέροντας θερμότητα από και προς τη θάλασσα, σταθεροποιούν και το κλίμα της ξηράς.**

- **Οι βιολογικοί (ζωικοί και φυτικοί) οργανισμοί χρησιμοποιούν το νερό για να σταθεροποιήσουν τη θερμοκρασία τους, κάτι που είναι απαραίτητο για τη λειτουργία της ζωής, δεδομένου ότι οι πρωτεΐνες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις θερμοκρασιακές διαφορές.**

- **Το νερό χρησιμοποιείται ως αποτελεσματικό μέσο κατάσβεσης των πυρκαγιών.**

5. Μεγάλη ειδική λανθάνουσα θερμότητα: αποτελεσματικός εναλλάκτης θερμότητας

- **Μια δεδομένη μάζα νερού, όταν αλλάζει από την υγρή στην αέρια φάση (ή αντίστροφα) απορροφά (αντίστροφα, αποδίδει) περισσότερη θερμότητα από σχεδόν κάθε άλλη κοινή ουσία ίσης μάζας.**

- **Αυτή η ιδιότητα του νερού το κάνει καθοριστικό παράγοντα στις διεργασίες ενεργειακών ανταλλαγών της υδρογείου. Έτσι περίπου το 23% της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην ατμόσφαιρα της Γης (ή το 45% της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια) απορροφάται από τη διεργασία της εξάτμισης. Η ίδια ποσότητα ενέργειας αποδίδεται κατά τη διαδικασία της συμπύκνωσης των υδρατμών στην ατμόσφαιρα, η οποία δημιουργεί τα σύννεφα. Με τον τρόπο αυτό τροφοδοτείται ενεργειακά ο υδρολογικός κύκλος και ανακατανέμεται αέναα το νερό και η ενέργεια στον πλανήτη.**

6.Αποτελεσματικός διαλύτης: γεωμορφολογικός ρυθμιστής και ελιξίριο ζωής

Η ασυνήθιστη μοριακή δομή του νερού το καθιστά ένα εξαιρετικά αποτελεσματικό διαλύτη: ελάχιστα είναι τα υλικά που δεν διαλύονται από το νερό σε κάποιο βαθμό ενώ κανένα άλλο υγρό δεν μπορεί να διαλύσει τόση μεγάλη ποικιλία ουσιών. Αυτή η ιδιότητα έχει σημαντικές συνέπειες:

- **Το νερό συμμετέχει καθοριστικά στην κυκλοφορία διάφορων χημικών ουσιών στην υδρόγειο (κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα, κύκλος του αζώτου κτλ.)**
- **Η διαβρωτική και μεταφορική δύναμη του νερού είναι εξαιρετικά μεγάλη, πράγμα που το καθιστά σημαντικό παράγοντα της αέναης διαμόρφωσης της γεωλογίας και της μορφής της Γης. Χαρακτηριστική είναι η διαβρωτική ικανότητά του ως προς τους ασβεστολίθους (με παρουσία διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο προέρχεται από την ατμόσφαιρα και διαλύεται από το νερό κατά τη διάρκεια της βροχής). Τα αποτελέσματα της διάβρωσης των ασβεστολίθων είναι εντυπωσιακά: υπόγειοι αγωγοί, σπήλαια, σταλακτίτες, σταλαγμίτες κτλ.**
- **Εξαιτίας της εκλεκτικής διαπερατότητας των κυτταρικών μεμβρανών σε διάφορες ουσίες διαλυμένες στο νερό, το τελευταίο αποτελεί ελιξίριο της ζωής, με την έννοια ότι μεταφέρει τα θρεπτικά συστατικά στα μεμονωμένα κύτταρα, στους ζωικούς οργανισμούς (ως αίμα ή λέμφος) και στους φυτικούς οργανισμούς.**
- **Το νερό είναι το πιο κοινό και αποτελεσματικό υγρό πλύσης.**

7. Συνεκτικότητα

Η σχετικά μικρή συνεκτικότητα του νερού ευνοεί την πλημμυρογένεση, μια διαδικασία που, αν και είναι κατ' αρχήν επικίνδυνη για τον πολιτισμό μας, είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του πλανήτη ως συνόλου.

8. Επιφανειακή τάση

Στην υπόγεια κίνηση του νερού μέσα σε πορώδη μέσα, αλλά και στην κίνησή του στην ατμόσφαιρα, στη μορφή των νεφών και των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, μια άλλη ιδιότητα του νερού, η επιφανειακή τάση, αποκτά σημασία. Αυτή βέβαια είναι μια κοινή ιδιότητα όλων των υγρών. Στο νερό της ατμόσφαιρας η επιφανειακή τάση έχει αποτέλεσμα το σχηματισμό σταγόνων. Στο υπόγειο νερό των πορωδών μέσων η επιφανειακή τάση έχει αποτέλεσμα τη δημιουργία ανυψωτικών δυνάμεων, δηλαδή δυνάμεων που αντίκεινται στη βαρύτητα, γνωστών ως ***δυνάμεων τριχοειδούς.*** Οι δυνάμεις αυτές έχουν αποτέλεσμα την ***τριχοειδή ανύψωση*** του νερού πάνω από την ελεύθερη στάθμη του, σε ύψη που είναι αντιστρόφως ανάλογα των διαστάσεων των εδαφικών πόρων. Το φαινόμενο αυτό, όπως θα δούμε πιο κάτω παίζει σημαντικό ρόλο στον υδρολογικό κύκλο και ιδιαίτερα στη διεργασία της εξάτμισης.

- Εξ' άλλου, είναι ζωτικής σημασίας για τα φυτά, τα οποία αξιοποιούν την τριχοειδή ανύψωση για την προς τα πάνω κυκλοφορία των διαλυμένων στο νερό θρεπτικών συστατικών τους.

1.6 Η έννοια του υδρολογικού κύκλου και του υδατικού ισοζυγίου

1.6.1 Οι φυσικές διεργασίες του υδρολογικού κύκλου

Ο υδρολογικός κύκλος περιγράφει την αέναη κίνηση του νερού ανάμεσα στους ωκεανούς, την ατμόσφαιρα και την ξηρά, που συνοδεύεται και από αλλαγές ανάμεσα στην υγρή, την αέρια και τη στερεή φάση του νερού

Έτσι το νερό:

- ***εξατμίζεται*** **από την θάλασσα και την ξηρά, ανεβαίνοντας κατακόρυφα, υπό μορφή υδρατμών, στην ατμόσφαιρα, αλλά και κινούμενο οριζόντια υπό την επίδραση των ανέμων**
- ***διαπνέεται*** **από τα δέντρα και τη βλάστηση, οδηγούμενο και πάλι στην ατμόσφαιρα υπό μορφή υδρατμών**
- ***συμπυκνώνεται*** **στην ατμόσφαιρα, σχηματίζοντας σύννεφα**
- ***κατακρημνίζεται*** **από την ατμόσφαιρα στη θάλασσα και την ξηρά, σε διάφορες μορφές (βροχή, χιόνι, χαλάζι)**
- ***κατακρατείται*** **από τα δέντρα, τη βλάστηση και το έδαφος**
- ***διηθείται*** **στο έδαφος εμπλουτίζοντάς το με εδαφική υγρασία**
- ***επαναφορτίζει*** **τους ταμιευτήρες υπόγειου νερού**
- ***απορρέει επιφανειακά,*** **σχηματίζοντας ρέματα και ποτάμια και καταλήγοντας τελικά στη θάλασσα**
- ***απορρέει υπόγεια,*** **μέσω των πόρων και ρωγμών των γεωλογικών σχηματισμών, και είτε *εκφορτίζεται* επιφανειακά μέσω των πηγών, είτε εκρέει προς τη θάλασσα**

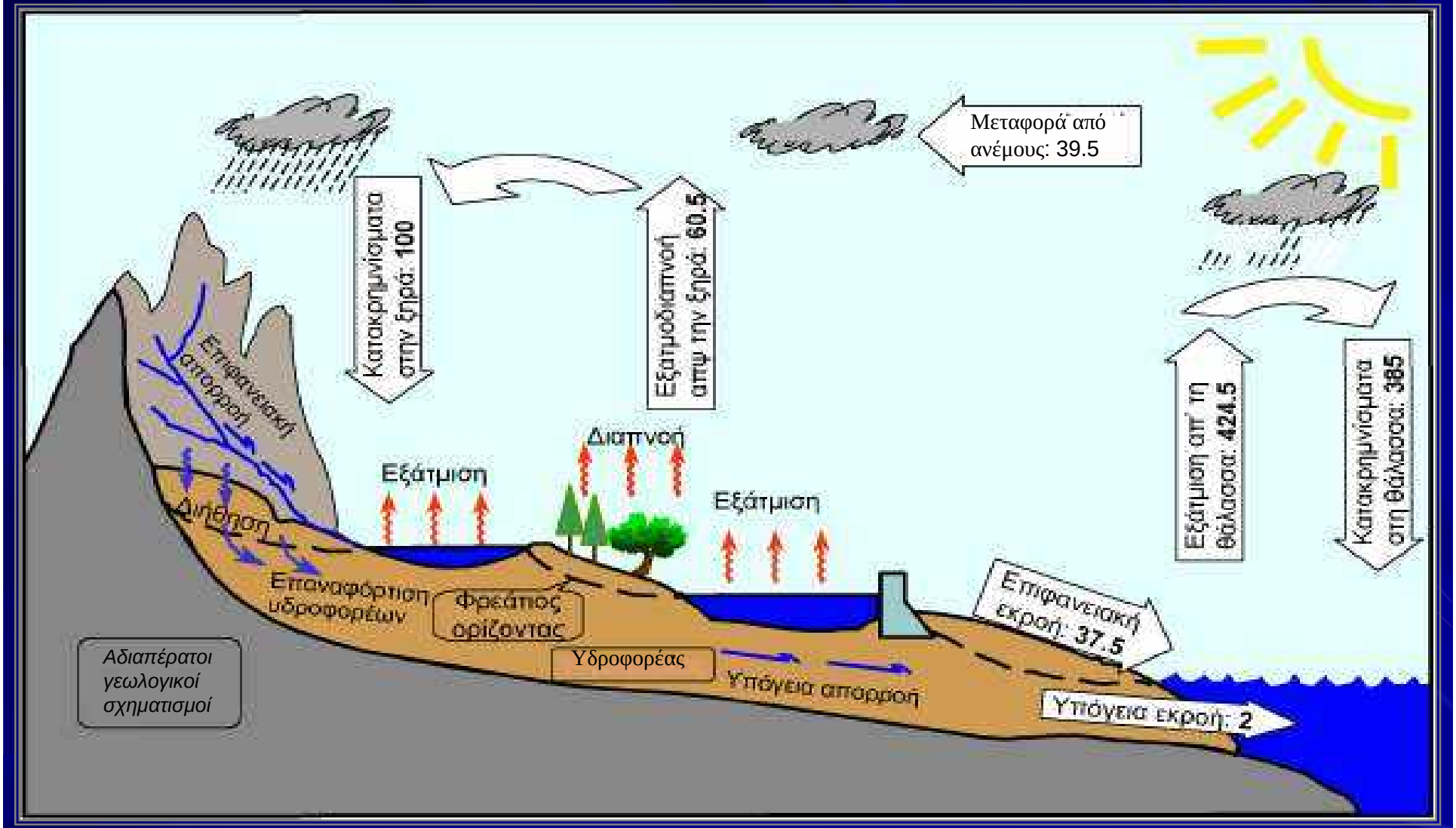
Αυτή η αχανής και αέναη "ατμομηχανή" του νερού τροφοδοτείται ενεργειακά από την ηλιακή ενέργεια και οδηγείται από τη βαρύτητα.

1.6.2 Ποσοτική έκφραση των συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου

Οι κύριες μεταβλητές της υδρολογίας διακρίνονται σε:

- ***αποθηκεύσεις*** **ή** ***αποθέματα*** **νερού στα** ***υδάτινα σώματα,*** **δηλαδή τις χερσαίες επιφανειακές εμφανίσεις νερού (π.χ. ποτάμια, φυσικές λίμνες, τεχνητοί ταμιευτήρες), τους υπεδάφιους ταμιευτήρες νερού και τις θάλασσες**

- ***διακινήσεις*** **νερού από ένα υδάτινο σώμα (ή και την ατμόσφαιρα) σε ένα άλλο**



Σχηματική παράσταση του υδρολογικού κύκλου και του μέσου ετήσιου υδατικού ισοζυγίου της Γης. Οι μέσες ετήσιες διακινήσεις νερού έχουν εκφραστεί ως ποσοστό (%) επί της ετήσιας ποσότητας των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο χερσαίο τμήμα της Γης. Μία ποσοστιαία μονάδα αντιστοιχεί σε 1190 km3/έτος. Τα δεδομένα προέρχονται από τους Shiklomanov and Sokolov (1983) και Dingman (1994).

1.6.2 Ποσοτική έκφραση των συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου

Οι κύριες μεταβλητές της υδρολογίας διακρίνονται σε:

- ***αποθηκεύσεις ή αποθέματα νερού στα υδάτινα σώματα*****, δηλαδή τις χερσαίες επιφανειακές εμφανίσεις νερού (π.χ. ποτάμια, φυσικές λίμνες, τεχνητοί ταμιευτήρες), τους υπεδάφιους ταμιευτήρες νερού και τις θάλασσες**
- ***διακινήσεις νερού*** **από ένα υδάτινο σώμα (ή και την ατμόσφαιρα) σε ένα άλλο**

Στις μεταβλητές που εκφράζουν διακινήσεις, η ποσοτική έκφραση γίνεται με βάση τα ακόλουθα τέσσερα μεγέθη:

- **τον *όγκο* που διακινήθηκε σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα (π.χ. όγκος κατακρημνισμάτων 100 hm^3 σε μια περιοχή για ένα έτος)**
- **την *παροχή*, δηλαδή το ρυθμό διακίνησης στη μονάδα του χρόνου (π.χ. παροχή ποταμού 5 m^3/s σε μια διατομή για μια δεδομένη στιγμή)**
- **το *ισοδύναμο (ή ανηγμένο) ύψος,* το οποίο προκύπτει αν διαιρεθεί ο όγκος που διακινήθηκε σε ένα δεδομένο χρόνο με την οριζόντια επιφάνεια της έκτασης, στην οποία αναφέρεται η διακίνηση (π.χ. ύψος κατακρημνισμάτων — ή και ύψος βροχής, όπως λέγεται συχνότερα — 800 mm σε μια περιοχή για ένα έτος)**
- **την *ένταση,* δηλαδή το ρυθμό μεταβολής του ύψους στη μονάδα του χρόνου (π.χ. ένταση βροχής 10 mm/h).**

Η εφαρμογή της εξίσωσης διατήρησης της μάζας σε ένα δεδομένο (με καθορισμένα γεωμετρικά όρια) όγκο αναφοράς οδηγεί στη λεγόμενη *εξίσωση υδατικού ισοζυγίου,* σύμφωνα με την οποία, σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα, το αλγεβρικό άθροισμα των διακινήσεων και των διαφορών αποθήκευσης στον όγκο αναφοράς είναι ίσο με μηδέν. Σε επόμενα κεφάλαια θα δούμε ειδικότερες εκφράσεις της εξίσωσης ισοζυγίου, ενώ μια *πρώτη επαφή* με αυτή δίνεται στην :

Εφαρμογή 1.6.2.

Λίμνη έκτασης 5 km^2 τροφοδοτείται από τα επιφανειακά νερά συνολικής εδαφικής έκτασης 42 km^2. Η υπόγεια τροφοδοσία της λίμνης είναι αμελητέα, αλλά υπάρχουν σημαντικές υπόγειες διαφυγές μέσω καταβοθρών στις όχθες της λίμνης. Αν η μέση ετήσια βροχόπτωση στη λίμνη είναι 640 mm, η μέση ετήσια εξάτμιση είναι 1310 mm και η μέση υπερετήσια παροχή τροφοδοσίας της λίμνης από επιφανειακά νερά είναι 0.25 m^3/s να εκτιμηθούν (α) οι μέσοι ετήσιοι όγκοι εισροών και εκροών από τη λίμνη (β) οι μέσοι ετήσιοι όγκοι εισροών και εκροών από την εδαφική έκταση που τροφοδοτεί τη λίμνη και τα αντίστοιχα ανηγμένα ύψη, αν θεωρηθεί ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι ίδιο με αυτό της λίμνης, και (γ) ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής της εδαφικής έκτασης που τροφοδοτεί τη λίμνη. Να υποτεθεί ότι δεν υπάρχουν ανθρωπογενείς παρεμβάσεις για την αξιοποίηση του νερού της λίμνης.

Εφαρμογή 1.6.2

Απάντηση

- **(α)** Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι h_P = 640 mm. Ο μέσος ετήσιος όγκος νερού V_P που εισρέει στη λίμνη λόγω της βροχόπτωσης στην επιφάνειά της (Fλ = 5 x 10^6 m^2) είναι

$$V_P = 0.640 \text{ m} \times 5 \times 10^6 \text{ m}^2 = 3.20 \times 10^6 \text{ m}^3 = 3.20 \text{ hm}^3.$$

Αντίστοιχα, ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που εξατμίζεται (V_E) από την επιφάνεια της λίμνης είναι

$$V_E = 1.31 \text{ m} \times 5 \times 10^6 \text{ m}^2 = 6.55 \times 10^6 \text{ m}^3 = 6.55 \text{ hm}^3.$$

Ο μέσος ετήσιος όγκος απορροής (V_Q) που εισρέει στη λίμνη είναι

$$V_Q = 0.25 \times 24 \times 60 \times 60 \times 365.25 = 7.89 \times 10^6 \text{ m}^3 = 7.89 \text{ hm}^3.$$

Απομένει ο υπολογισμός του όγκου V_G που διαφεύγει υπόγεια από τη λίμνη. Στην υπερετήσια χρονική κλίμακα που εξετάζεται μπορεί να θεωρηθεί ότι (κατά μέσο όρο) δεν υπάρχει διαφορά στην αποθήκευση νερού στη λίμνη. Εξ άλλου, αφού δεν υπάρχει ανθρωπογενής αξιοποίηση (απόληψη) του νερού από τη λίμνη, η εξίσωση ισοζυγίου για τη λίμνη μπορεί να γραφεί:

$$V_P + V_Q - V_E - V_G = 0, \text{ απ' όπου βρίσκουμε}$$

$$V_G = V_P + V_Q - V_E = 3.20 + 7.89 - 6.55 = 4.54 \text{ hm}^3.$$

- **(β)** Όπως και στη λίμνη, το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι h_P = 640 mm. Έτσι, ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που εισρέει στην εδαφική έκταση *(Fε* = 42 x 10^6 m^2) λόγω της βροχόπτωσης *(V_P)* είναι

$$V_P = 0.640 \text{ m} \times 42 \times 10^6 \text{ m}^2 = 26.88 \times 10^6 \text{ m3} = 26.88 \text{ hm}^3.$$

Ο μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής *(V_Q)* ταυτίζεται με τον αντίστοιχο όγκο που εισρέει στη λίμνη, δηλαδή είναι V_Q = 7.89 hm3. Αφού η υπόγεια τροφοδοσία της λίμνης είναι ασήμαντη, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι εξίσου ασήμαντη είναι και η υπόγεια διαφυγή από την εδαφική έκταση. Κατά συνέπεια η εξίσωση ισοζυγίου για την εδαφική έκταση γράφεται

$$V_P - V_Q - V_{ET} = 0,$$

όπου V_{ET} ο μέσος ετήσιος όγκος της πραγματικής εξατμοδιαπνοής από την έκταση. Η εξίσωση αυτή μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τον τελευταίο αυτό όγκο:

$$V_{ET} = V_P - V_Q = 26.88 - 7.89 = 18.99 \text{ hm}^3.$$

Το ανηγμένο ισοδύναμο ύψος απορροής είναι

$$h_Q = 7.89 \times 10^6 \text{ m3} / 42 \times 10^6 \text{ m}^3 = 0.188 \text{ m} = 188 \text{ mm},$$

ενώ το ανηγμένο ύψος εξατμοδιαπνοής είναι

$$h_{ET} = 18.99 \times 10^6 \text{ m}^3 / 42 \times 10^6 \text{ m}^3 = 0.452 \text{ m} = 452 \text{ mm}.$$

Προφανώς ισχύει $h_P - h_R - h_{ET} = 0$.

- **(γ)** Γενικά ο συντελεστής απορροής είναι ένα αδιάστατο μέγεθος που εκφράζει το λόγο του όγκου (ή του ύψους) απορροής προς τον όγκο (ή το ύψος) των κατακρημνισμάτων. Έτσι ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής της εδαφικής έκτασης του παραδείγματός μας είναι

$$\psi = 188 / 640 = 0.294 = 29.4\%.$$

1.6.3 Το ετήσιο υδατικό ισοζύγιο της Γης

Είδαμε τα συνολικά μεγέθη των αποθεμάτων του νερού της Γης στις διάφορες μορφές τους. Τα μεγέθη αυτά θεωρούνται πρακτικώς στατικά, αφού στην συνήθη υδρολογική χρονική κλίμακα ελάχιστα μεταβάλλονται.

- **Η δυναμική εικόνα της κυκλοφορίας του νερού στην υδρόγειο αναδύεται από τις ποσότητες των διακινήσεων του νερού ανάμεσα στις διάφορες μορφές (σε μέση ετήσια βάση), οι οποίες δίνονται σε απόλυτα μεγέθη στον παρακάτω πίνακα.**
- **Οι διακινήσεις (και όχι τα αποθέματα) δίνουν και την εικόνα των υδατικών πόρων της Γης (ή και μιας συγκεκριμένης περιοχής), αφού οι υδατικοί πόροι είναι από τη φύση τους *ανανεώσιμοι* και *όχι αποθεματικοί* (σε αντίθεση π.χ. με τους ορυκτούς πόρους)**
- **Το μεγαλύτερο μέρος της επιφανειακής απορροής εκρέει στη θάλασσα από τους μεγάλους ποταμούς της Γης.**

- **Εξ' αιτίας της ιδιαίτερης σημασίας των μεγάλων ποταμών της Γης ως υδατικών πόρων, και του γεγονότος ότι πολλοί απ' αυτούς διασχίζουν περισσότερες από μία χώρες (*διακρατικοί* ποταμοί), η εκμετάλλευση και διαχείριση των υδάτων τους έχει γίνει αντικείμενο διακρατικών διενέξεων.**

- **Προβλέπεται ότι η εντεινόμενη εκμετάλλευση των υδατικών πόρων για την κάλυψη των διαρκώς αυξανόμενων υδατικών αναγκών θα οξύνει στο μέλλον τα προβλήματα αυτού του είδους.**

Επιφάνεια αναφοράς	Έκταση $10^9 km^2$	Διακίνηση	Μέσος ετήσιος όγκος, $10^3 km^3$	Μέσο ετήσιο ύψος, mm	Μέση παροχή, km^3/s	Ποσοστό επί των κατακρημνι-σμάτων, %
Σύνολο επιφάνειας Γης	510.0	Κατακρημνίσματα = Εξατμοδιαπνοή	577	1131	18.28	100.0
Ωκεανοί	361.1	Κατακρημνίσματα Εξάτμιση	458 505	1268 1399	14.51 16.00	100.0 110.3
Ξηρά	148.9	Κατακρημνίσματα	119	799	3.77	100.0
		Εξατμοδιαπνοή	72	484	2.28	60.5
		Συνολική απορροή	47	316	1.49	39.5
		Επιφανειακή συνιστώσα απορροής	44.7	300	1.42	37.6
		Υπόγεια συνιστώσα απορροής	2.3	16	0.07	1.9

Πίνακας : Οι μέσες ετήσιες φυσικές διακινήσεις του νερού της Γης

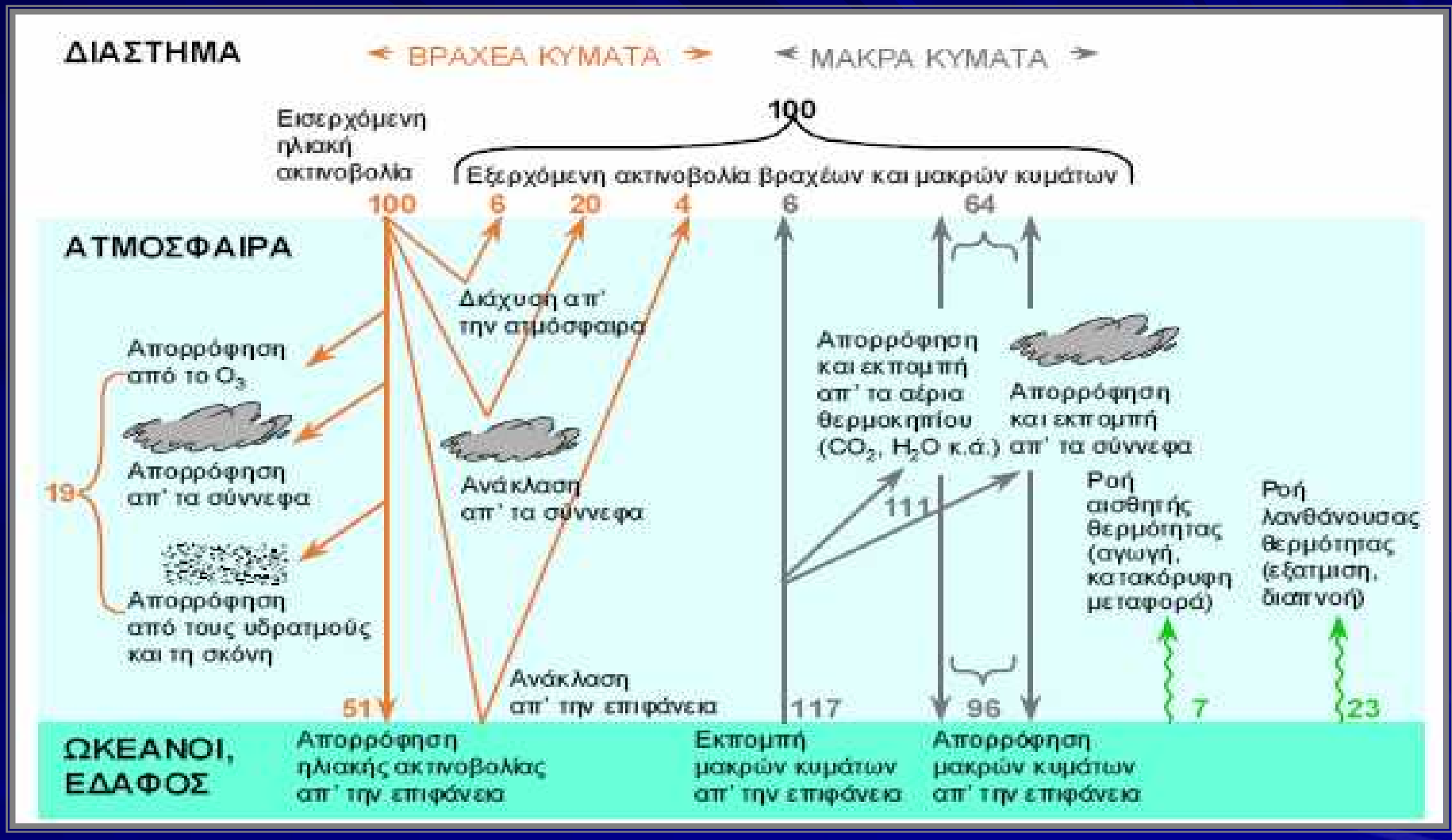
1.6.4 Το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης

Όπως προαναφέραμε, ο υδρολογικός κύκλος τροφοδοτείται ενεργειακά από την ηλιακή ενέργεια. Στο παρακάτω σχήμα δίνονται παραστατικά οι διακινήσεις ενέργειας στη Γη.

Είναι λοιπόν φανερό από τα παραπάνω ότι η Γη δεν κερδίζει ενέργεια από τον Ήλιο (αντίθετα με την καθιερωμένη αντίληψη).

Στην πραγματικότητα, το κέρδος της Γης αφορά στην *εντροπία:* η ηλιακή ακτινοβολία είναι χαμηλότερης εντροπίας από την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει η Γη. Η δράση της ηλιακής ακτινοβολίας προκαλεί θερμοκρασιακή ανισοκατανομή που ευθύνεται για όλα τα φαινόμενα της ατμόσφαιρας.

Τέλος, η ηλιακή ακτινοβολία συντηρεί τη σχετικά μεγάλη (288 K) θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης: αν δεν υπήρχε, τότε η θερμοκρασία της Γης *θα έτεινε προς το απόλυτο μηδέν* (ώστε να υπάρχει και πάλι ισοζύγιο ενέργειας εκπομπής και πρόσληψης).



Σχήμα : Σχηματική παράσταση του μέσου ετήσιου ενεργειακού ισοζυγίου της Γης. Οι ετήσιες διακινήσεις ενέργειας έχουν εκφραστεί ως ποσοστό (%) επί της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της Γης. Μία ποσοστιαία μονάδα αντιστοιχεί σε 55 ZJ/έτος (= 55 x 10^{21} J/έτος = 1.74 x 10^{15} W = 1.53 x 10^{10} GWh/έτος). Τα ενεργειακά μεγέθη έχουν ληφθεί από τον Ahrens (1993, σσ. 38-41).

1.7 Οι χωρικές και χρονικές κλίμακες της υδρολογίας

Στη μελέτη των υδρολογικών φαινομένων θα ήταν κατ' αρχήν επιθυμητή η γνώση των κάθε τύπου υδρολογικών μεταβλητών *σε συνεχή χώρο και χρόνο,* δηλαδή σε κάθε σημείο της επιφάνειας της Γης και σε κάθε χρονική στιγμή. Είναι ασφαλώς ευνόητο ότι η εξαιρετική πολυπλοκότητα των υδρολογικών φαινομένων, και η αχανής έκταση και το βάθος χρόνου που αυτά εξελίσσονται καθιστά αδύνατη αυτού του είδους την προσέγγιση.

Έτσι κάθε φαινόμενο μελετάται σε μια (επιλεγμένη κατά περίπτωση από τις ανάγκες) χαρακτηριστική *χωρική και χρονική κλίμακα,* στην οποία εξελίσσεται.

Η εισαγωγή της κλίμακας υπονοεί :

(α) την απομόνωση μιας ορισμένης γεωγραφικής περιοχής και μιας ορισμένης χρονικής περιόδου, όπου μελετάται το κάθε φαινόμενο

(β) την κατάλληλη διακριτοποίηση του (συνεχούς) χώρου και του χρόνου.

1.7.1 Χωρική κλίμακα

Η πιο χαρακτηριστική χωρική κλίμακα της υδρολογίας (και κυρίως της τεχνικής υδρολογίας) είναι η κλίμακα της *λεκάνης απορροής* (ή *υδρολογικής λεκάνης).*

Το όριο της λεκάνης απορροής ορίζεται από την γεωμορφολογία της περιοχής (υψομετρικές καμπύλες, ποτάμιο ή, όπως αλλιώς λέγεται, *υδρογραφικό δίκτυο)* και ονομάζεται *υδροκρίτης*.

Είναι προφανές ότι δεν υπάρχει μια μοναδική λεκάνη απορροής για ένα υδατόρευμα, αλλά για κάθε σημείο του ορίζεται και η αντίστοιχη λεκάνη απορροής.

Η *απομόνωση μιας λεκάνης* απορροής ως περιοχής μελέτης των υδρολογικών διεργασιών έχει προφανή πλεονεκτήματα, δεδομένου ότι η βασική υδρολογική διεργασία της απορροής είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητη από τις υδρολογικές διεργασίες σε άλλες γειτονικές λεκάνες, ενώ συχνά (για όχι εξαιρετικά μεγάλα μεγέθη λεκανών) υπάρχει και σχετική κλιματική ομογένεια στο εσωτερικό της λεκάνης απορροής.

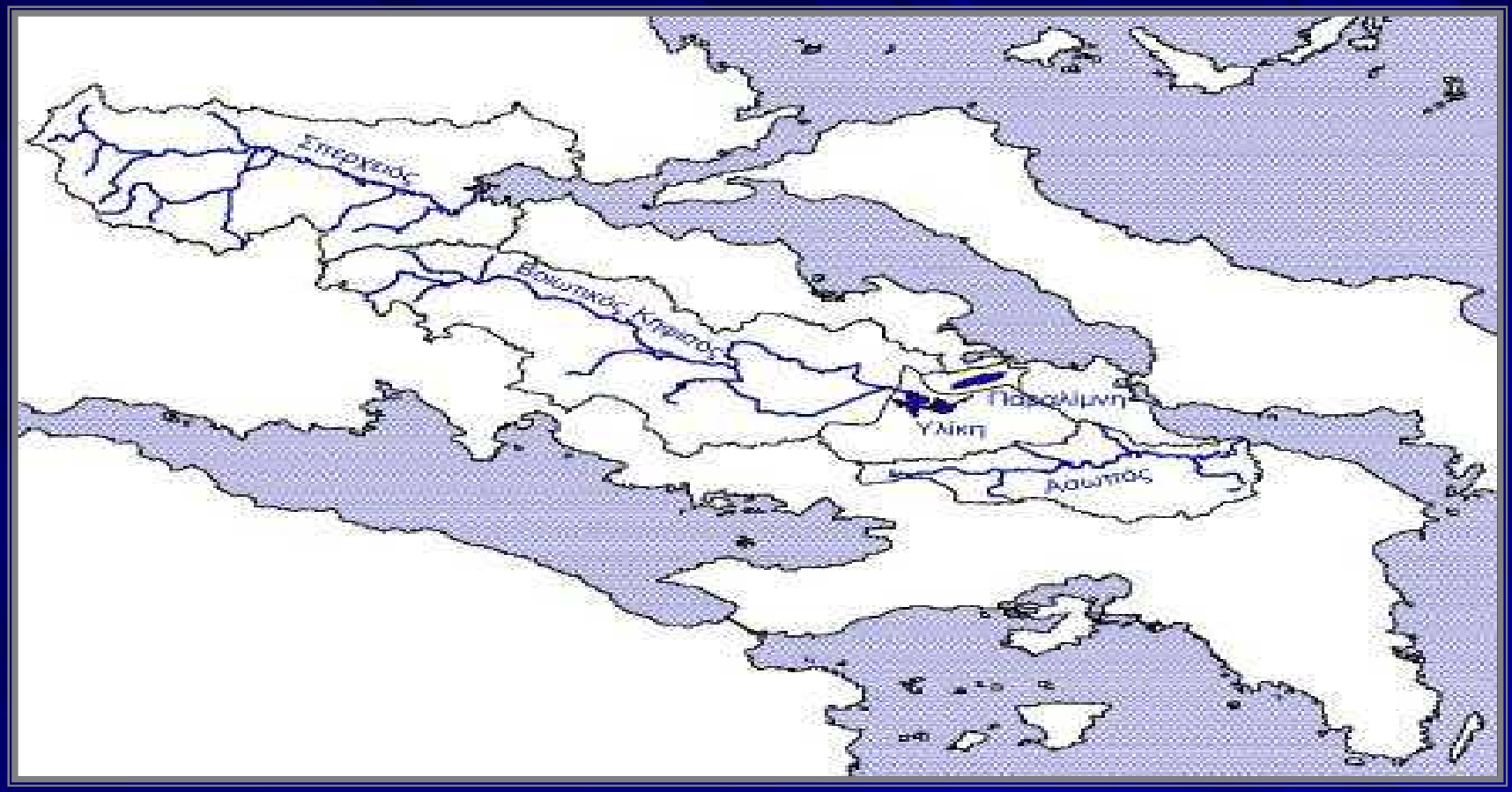
Οι τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις μιας λεκάνης:

- ***αδιαμέριστη*** **(lumped) ως μιας αδιαμέριστης ολότητας**
- ***ημικατανεμημένη*** **(semidistributed) είτε ως ενός αθροίσματος υπολεκανών**
- ***κατανεμημένη*** **(distributed) είτε ως μιας διαμερισμένης σε πολλά μικρά κύτταρα.**

01: Δυτική Πελοπόννησος
02: Βόρεια Πελοπόννησος
03: Ανατολική Πελοπόννησος
04: Δυτική Στερεά Ελλάδα
05: Ήπειρος
06: Αττική
07: Ανατολική Στερεά Ελλάδα
08: Θεσσαλία
09: Δυτική Μακεδονία
10: Κεντρική Μακεδονία
11: Ανατολική Μακεδονία
12: Θράκη
13: Κρήτη
14: Νησιά Αιγαίου

Σχήμα :

Διαμερισμός της Ελλάδας σε 14 υδατικά διαμερίσματα



Οι υδρολογικές λεκάνες των τριών κυριότερων ποταμών (Σπερχειός, Βοιωτικός Κηφισός και Ασωπός) και των δύο λιμνών (Υλίκη, Παραλίμνη) του υδατικού διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (07). Είναι αξιοσημείωτο ότι η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού είναι κλειστή (δεν εκβάλλει στη θάλασσα) και γι' αυτό μέχρι το τέλος του 19ου αιώνα σχηματίζονταν στην πεδινή κατάντη περιοχή της λεκάνης η αβαθής λίμνη Κωπαΐδα. Με την κατασκευή μιας σήραγγας (Σήραγγα Καρδίτσας) τα νερά του Βοιωτικού Κηφισού οδηγούνται πλέον στην Υλίκη, και όταν αυτή υπερχειλίζει, στην Παραλίμνη και από εκεί στον Ευβοϊκό κόλπο. Εξ άλλου, υπάρχει και υπόγεια επικοινωνία των λεκανών Βοιωτικού Κηφισού, Υλίκης και Παραλίμνης. Έτσι, οι τρεις λεκάνες αποτελούν ένα ενιαίο σύστημα.

1.7.2 Χρονική κλίμακα

Όλες οι υδρολογικές μεταβλητές παρουσιάζουν χρονική μεταβλητότητα.

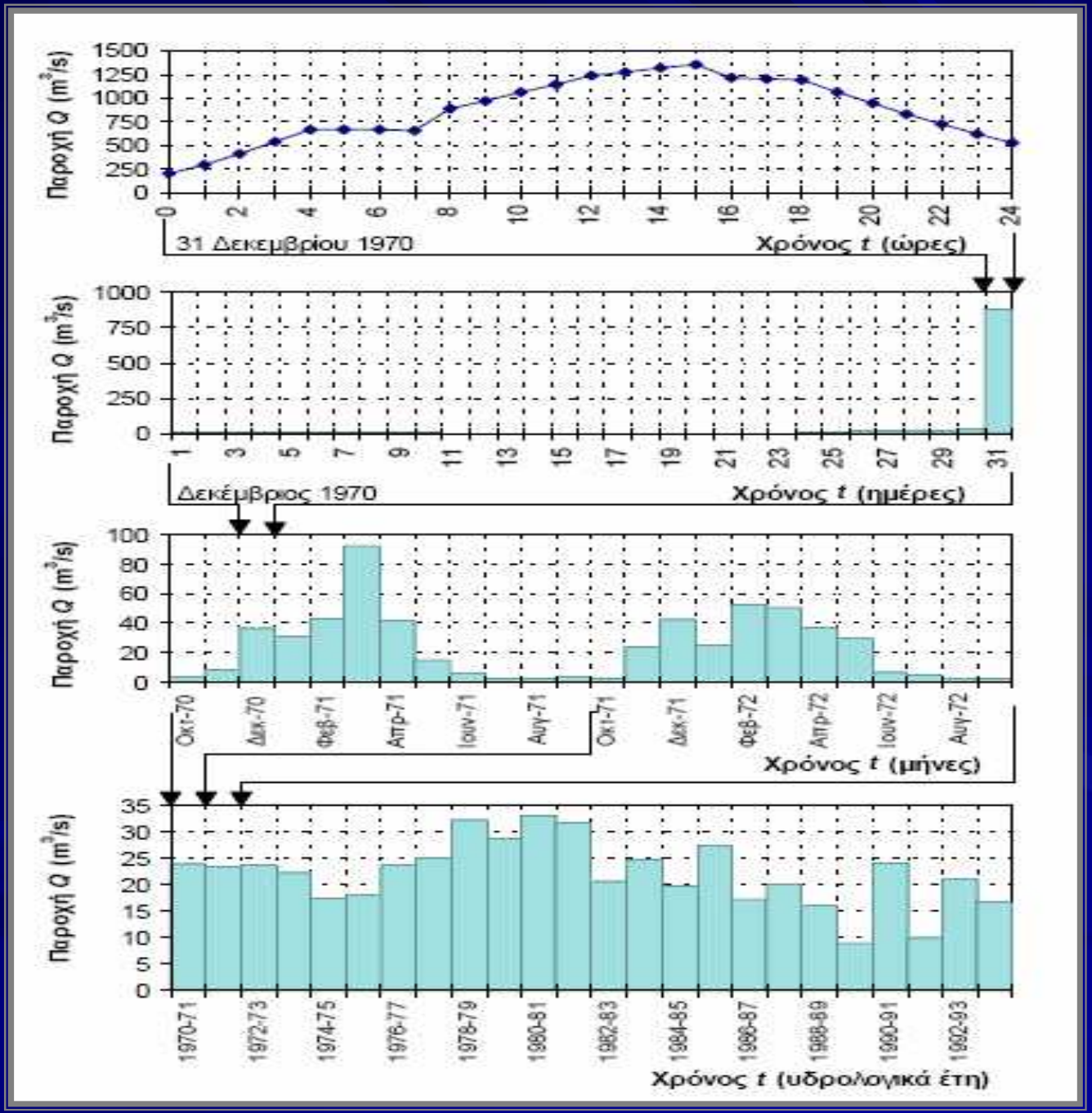
- **Η πλήρης γνώση της χρονικής εξέλιξης μιας υδρολογικής μεταβλητής απαιτεί την παρακολούθησή της σε συνεχή χρόνο.**
- **Ωστόσο, αυτό είναι κατά κανόνα ανέφικτο, είτε λόγω των δυσχερειών υπολογιστικού χειρισμού, είτε εξαιτίας των μετρήσεων που γίνονται ασυνεχώς, δηλαδή ανά τακτά χρονικά διαστήματα**

- **Έτσι, οι μεταβλητές παρακολουθούνται σε διάφορες (διακριτές) χρονικές κλίμακες, ανάλογα με τη φύση του προβλήματος που αντιμετωπίζεται:**
  - **Στην ημερήσια κλίμακα διακρίνονται οι περίοδοι ξηρασίας και πλημμυρών, χωρίς όμως να αποτυπώνεται πλήρως η εξέλιξη των πλημμυρών.**
  - **Στη μηνιαία κλίμακα χάνεται η πληροφορία σχετικά με τις πλημμύρες, αλλά γίνεται εμφανέστερη η διακύμανση των διερχόμενων ποσοτήτων νερού, και ιδίως η ετήσια περιοδικότητα της απορροής.**
  - **Στην ετήσια κλίμακα δεν διακρίνονται ούτε οι πλημμύρες, ούτε η ετήσια περιοδικότητα, αλλά εδώ είναι εμφανής η υπερετήσια διακύμανση της απορροής.**
- **Γενικά, η χρονική κλίμακα παρακολούθησης των πλημμυρών πρέπει να είναι υποπολλαπλάσιο του *χρόνου συγκέντρωσης* (ή *χρόνου συρροής)* της λεκάνης.**

Συμπερασματικά

- Οι κλίμακες λεπτών, ώρας έως και ημέρας είναι κατάλληλες για μελέτες καταιγίδων και πλημμυρών, ή και για λεπτομερείς μελέτες όλων των υδρολογικών διεργασιών σε μια περιοχή.

- Στα προβλήματα αξιοποίησης υδατικών πόρων είναι κατά κανόνα επαρκής η μηνιαία ή η ετήσια κλίμακα.



Σχήμα : Εξέλιξη της παροχής του ποταμού Ευήνου στη θέση Πόρος Ρηγανίου για διάφορες χρονικές κλίμακες (Δεδομένα: Μαμάσης και Ναλμπάντης, 1995).

1.8 Η φύση των υδρολογικών μεταβλητών και οι μέθοδοι της υδρολογίας

Ένα ερώτημα που συχνά τίθεται, είναι αν η εξέλιξη των υδρολογικών μεταβλητών υπακούει σε κάποιους ***αιτιοκρατικούς*** νόμους (νόμους αιτίου - αποτελέσματος), οπότε η χρονική μεταβλητότητα είναι προβλέψιμη, ή όχι, οπότε η εξέλιξη των φαινομένων είναι απρόβλεπτη.

Η **"αντίσταση"** των υδρολογικών φαινομένων στην **πρόβλεψη** οφείλεται σε τέσσερις λόγους:

α)στην αχανή πολυπλοκότητα των συστημάτων όπου τα φαινόμενα εξελίσσονται

β)στην ατέλεια της γνώσης και μαθηματικής περιγραφής των συστημάτων και των νόμων που τα διέπουν

γ)στην ατελή ή και μερικές φορές εσφαλμένη μέτρηση των υδρολογικών μεταβλητών

δ)στην αποκαλούμενη *ευαίσθητη εξάρτηση* από τις αρχικές συνθήκες, δηλαδή στην μεγέθυνση, με την πάροδο του χρόνου, έστω και απειροελάχιστων αβεβαιοτήτων (ή διαταραχών) γύρω από τις αρχικές συνθήκες.

Οι μέθοδοι της υδρολογίας μπορούν να χωριστούν σε :

- ***προσδιοριστική προσέγγιση*** και
- ***πιθανοτική (στατιστική υδρολογία και στοχαστική υδρολογία) προσέγγιση*.**

Και οι δύο "νομιμοποιούνται" αλλά και είναι απαραίτητο να συνυπάρχουν, ως ένα διαλεκτικό δίπτυχο, στη μελέτη των υδρολογικών φαινομένων.

Και οι δύο προσεγγίσεις έχουν στόχο την πρόγνωση, παρόλο που η μεθοδολογία αλλά και η φύση της πρόγνωσης είναι δομικά διαφορετική για καθεμιά από τις προσεγγίσεις.

Έτσι σε κάθε πρόβλημα που εξετάζεται, συνήθως κυριαρχεί η μία από τις δύο προσεγγίσεις. Πολύ συχνά όμως η κυρίαρχη προσέγγιση συμπληρώνεται από την "αντίπαλή" της.

Γι αυτό, τα προσδιοριστικά μοντέλα συχνά συμπληρώνονται με την προσθήκη τυχαίων συνιστωσών (π.χ. όρων τυχαίου σφάλματος), ενώ τα στοχαστικά μοντέλα ενσωματώνουν τις τυχόν προσδιοριστικές συνιστώσες του φαινομένου που μελετάται.

Κυρίαρχης σημασίας ανάμεσα στα δεδομένα και στα ζητούμενα του προβλήματος είναι ο ζητούμενος ***χρονικός ορίζοντας*** της πρόγνωσης.

Αν ο *χρονικός ορίζοντας πρόγνωσης είναι μικρός*, είναι σαφές ότι η κυρίαρχη προσέγγιση είναι η προσδιοριστική.

Θα χρειαστούμε:

- προγνωστικά δεδομένα βροχοπτώσεων
- ένα προσδιοριστικό μοντέλο βροχής-απορροής

Αν τώρα ο *χρονικός ορίζοντας της πρόγνωσης γίνει πολύ μεγαλύτερος* (πράγμα απολύτως συνηθισμένο στα προβλήματα σχεδιασμού αντιπλημμυρικών έργων) γίνεται φανερό ότι η προσδιοριστική αντιμετώπιση είναι ανέφικτη και αποκτά προβάδισμα η πιθανοτική προσέγγιση.

Αν διαθέτουμε ένα επαρκές ιστορικό δείγμα πλημμυρών στις διατομές του ποταμού που μας ενδιαφέρουν, τότε μπορούμε να στηριχτούμε αποκλειστικά στην πιθανοτική προσέγγιση. Όμως αυτό δεν είναι πάντα εφικτό, αφού πολλές φορές η διαθέσιμη ιστορική πληροφορία για την παροχή του ποταμού είναι ανεπαρκής ή ανύπαρκτη.

- θα χρειαστεί να καταστρώσουμε ένα προσδιοριστικό μοντέλο που να συνδέει την παροχή του ποταμού σε διάφορες διατομές του γιατί ακόμη και αν υπάρχει ιστορική πληροφορία της παροχής του ποταμού, είναι πιθανό να μη συμπίπτει η θέση μέτρησης με τη θέση των έργων.

Κατά συνέπεια σε ένα πρόβλημα μακροπρόθεσμης πρόγνωσης κυριαρχεί η πιθανοτική προσέγγιση, χωρίς όμως να αποκλείεται η συνδυασμένη χρήση προσδιοριστικών μοντέλων.

1.9 Σκιαγραφία της υδρολογικής πληροφορίας

1.9.1 Σημασία και κατάταξη της υδρολογικής πληροφορίας

- ***«Μια μέτρια μέτρηση αξίζει πολύ περισσότερο από έναν καλό υπολογισμό»***

- **Το σύνολο των πρωτογενών και επεξεργασμένων μετρήσεων των συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου σε μια περιοχή αποτελεί την *υδρολογική πληροφορία* της περιοχής.**

- **Οι υδρολογικές μεταβλητές διακυμαίνονται *στο χώρο και το χρόνο***

Για την αποτύπωση της *διακύμανσης στο χώρο* υπάρχουν δύο ειδών τεχνικές:

- **Η συμβατική και πιο διαδεδομένη τεχνική χρησιμοποιεί *σημειακές μετρήσεις* σε πολλά σημεία της περιοχής που ενδιαφέρει. (βροχόμετρο – σταθμήμετρο)**

- **Η πιο σύγχρονη τεχνική *επιφανειακών μετρήσεων* δίνει το πεδίο μεταβολής μιας μεταβλητής σε μια ολόκληρη επιφάνεια, το μέγεθος της οποίας καθορίζεται από την εμβέλεια του οργάνου. (μετεωρολογικά ραντάρ – δορυφόροι)**

Η διακύμανση των υδρολογικών μεταβλητών στο χρόνο επιβάλλει την παρακολούθησή τους στην περιοχή που ενδιαφέρει για κάποιο μικρό ή μεγάλο χρονικό διάστημα.

- ***Κύρια ή πρωτεύουσα πληροφορία*** της τεχνικής υδρολογίας είναι οι μετρήσεις της παροχής των υδατορευμάτων.

Δυστυχώς για τις υδρολογικές μελέτες, η πρωτεύουσα πληροφορία είναι συνήθως ελλιπής ή ανύπαρκτη, γιατί όπως θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια, η μέτρηση της παροχής είναι μια δύσκολη αλλά και δαπανηρή επιχείρηση.

- **Δευτερεύουσα (αλλά πολύτιμη) πληροφορία** της τεχνικής υδρολογίας είναι οι μετρήσεις των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Συγκρινόμενα με τις παροχές, τα κατακρημνίσματα έχουν πολύ πυκνότερο δίκτυο σημειακών μετρήσεων και πολύ μακρύτερες ιστορικές χρονοσειρές, για τον απλό λόγο ότι η καταγραφή τους ήταν και είναι πολύ ευκολότερη και φθηνότερη.

- ***Τριτεύουσα πληροφορία*** της τεχνικής υδρολογίας είναι οι μετρήσεις όλων των υπόλοιπων υδρομετεωρολογικών μεταβλητών που κατά περίπτωση χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση ή και την απευθείας εκτίμηση της κύριας ή της δευτερεύουσας πληροφορίας.

Ερευνώντας τη φυσική δομή και τις σχέσεις μεταξύ των βασικών υδρομετεωρολογικών μεταβλητών η υδρολογία μπορεί να βελτιώσει την υδρολογική πληροφορία που ήδη υπάρχει, αξιοποιώντας κάθε διαθέσιμη μέτρηση στην περιοχή που ενδιαφέρει.

1.9.2 Συμβατικά και αυτόματα όργανα σημειακών μετρήσεων

Μέχρι πρόσφατα, τα όργανα των σημειακών υδρολογικών και μετεωρολογικών μετρήσεων αποτελούνταν αποκλειστικά από μηχανικά μέρη, υπό την επιτήρηση *παρατηρητών*.

Τα *συμβατικά όργανα* μετρήσεων διακρίνονται σε δύο κύριους τύπους:

τα απλά και τα καταγραφικά.

Την τελευταία δεκαετία έχουν αναπτυχθεί νέοι τύποι οργάνων, τα *αυτόματα όργανα, τα* οποία λειτουργούν χωρίς παρατηρητή.

Τα όργανα αυτά μετατρέπουν τις ενδείξεις που παίρνουν οι *αισθητήρες* τους σε ψηφιακά σήματα, τα οποία καταχωρούνται αυτόματα σε *καταχωρητές δεδομένων* (data loggers).

- Η εισαγωγή των αυτόματων ψηφιακών οργάνων επέτρεψε την *τηλεμετρία,* δηλαδή την μετάδοση των μετρήσεων μέσω κατάλληλης ζεύξης (τηλεφωνικής, δορυφορικής, ραδιοκυμάτων) σε απομακρυσμένα σημεία

Αξιοποιώντας και τις διαθέσιμες σήμερα δυνατότητες δικτύωσης των υπολογιστών, και ειδικότερα του *διαδικτύου* (internet), μπορούν οι μετρήσεις από τους αυτόματους τηλεμετρικούς σταθμούς να είναι διαθέσιμες παγκοσμίως σε ελάχιστο χρόνο μετά τη λήψη τους.

1.9.3 Δίκτυα υδρομετεωρολογικών μετρήσεων

- **Η παρακολούθηση και γνώση της γεωγραφικής μεταβλητότητας των υδρολογικών και μετεωρολογικών μεταβλητών προϋποθέτει την ανάπτυξη *δικτύων μετρήσεων* με πολλούς σταθμούς σημειακών μετρήσεων.**

- **Η πυκνότητα, η ποιότητα και η χρονική διάρκεια λειτουργίας ενός εγκατεστημένου δικτύου μετρήσεων της υδρολογικής πληροφορίας, χαρακτηρίζουν το μέγεθος και την ποιότητα της υπάρχουσας στην περιοχή υποδομής για σύνταξη μελετών και κατασκευή έργων αξιοποίησης των υδατικών πόρων και έργων προστασίας από τους υδρολογικούς κινδύνους.**

- **Η προμήθεια εξοπλισμού καλής ποιότητας, η εγκατάσταση και η λειτουργία ενός δικτύου υδρομετεωρολογικών σταθμών εξαρτάται πρώτα από τις πιστώσεις που θα διατεθούν, αλλά χρειάζεται στη συνέχεια εκπαιδευμένο προσωπικό για τη λειτουργία και συντήρησή του.**

- ***Η ύπαρξη ενός επαρκούς και αξιόπιστου δικτύου μετρήσεων της υδρολογικής πληροφορίας αποτελεί το πρώτο έργο υποδομής για την αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού μιας χώρας.***

1.9.4 Συλλογή, πρώτη επεξεργασία και διαχείριση της πληροφορίας

- **'Οσο καλό και αν είναι ένα δίκτυο υδρολογικών μετρήσεων, παρουσιάζει, όπως και κάθε μετρητικό σύστημα *τυχαία ή συστηματικά σφάλματα*.**

Ο ακριβής εντοπισμός και η εξάλειψή τους είναι συνάρτηση του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί μεταξύ της καταγραφής της πληροφορίας και της πρώτης επεξεργασίας της, δηλαδή ενός πρώτου ελέγχου και στη συνέχεια ταξινόμησής της.

Η σημασία αυτής της ανάγκης *για άμεση (σε ελάχιστο χρόνο) πρώτη επεξεργασία της μετρημένης πληροφορίας*, γίνεται τόσο μεγαλύτερη όσο χειροτερεύει η ποιότητα των εγκαταστάσεων του δικτύου και των υπηρεσιών συντήρησης και λειτουργίας του.

- **Σήμερα η πληροφορική βοηθάει αυτοματοποιώντας και καθιστώντας ευχερή τη διαχείριση της υδρολογικής πληροφορίας με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθώς και την πρόσβαση σε αυτή.**

Αυτό γίνεται με αυτόνομη αρχειοθέτηση σε κεντρικούς ή προσωπικούς υπολογιστές, με χρήση κοινών αρχείων υπολογιστή ή οργανωμένων βάσεων δεδομένων και τη δημιουργία δικτυωμένων ή κατανεμημένων βάσεων δεδομένων σε συνεργαζόμενους υπολογιστές.

- **Η πρόσβαση στα δεδομένα από τους ενδιαφερόμενους μελετητές είναι σημαντικότατη και γίνεται με *πρόσβαση μέσω του διαδικτύου*.**

1.9.5 Επεξεργασία και αξιοποίηση της πληροφορίας

➢ Οι άμεσες μετρήσεις των υδρολογικών μεταβλητών, αποτελούν την ***πρωτογενή*** υδρολογική πληροφορία, η οποία όμως απαιτεί διάφορα στάδια επεξεργασίας προτού γίνει κατάλληλη για άμεσες εφαρμογές.

Τα ***κύρια στάδια επεξεργασίας*** περιλαμβάνουν:

1) μετατροπές χρονικού βήματος (με συνάθροιση)
2) έλεγχο ομογένειας, εντοπισμό και άρση των ανομογενειών (π.χ. μεμονωμένων ή συστηματικών σφαλμάτων)
3) συμπλήρωση των ελλείψεων μετρήσεων (λόγω βλάβης οργάνων κτλ.)
4) εξαγωγή δευτερογενών μεταβλητών (π.χ. παροχής από στάθμη, εξάτμισης από άλλες μετεωρολογικές μεταβλητές κτλ.)

- **Η επεξεργασμένη, πλέον, πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για *λήψη αποφάσεων* από τον υδρολόγο, ο οποίος καλείται :**

να εκτιμήσει και να προβλέψει τη χωροχρονική διανομή των υδατικών πόρων (καταλήγοντας σε αποφάσεις κατασκευής πολυδάπανων έργων) στηριζόμενος συνήθως σε μικρές (και μερικές φορές ανύπαρκτες) ιστορικές χρονοσειρές της κύριας υδρολογικής πληροφορίας (παροχές).

- **Πρέπει να επεξεργαστεί ένα *δείγμα* και να γνωματεύσει για τη συμπεριφορά όλου του *πληθυσμού* από τον οποίο το δείγμα αυτό προέκυψε.**

<u>Αντιμετωπίζει μάλιστα ιδιαίτερες δυσκολίες:</u>

- **πρώτα γιατί το δείγμα δεν το διαλέγει ο ίδιος (όπως θα έκανε π.χ. ο κοινωνιολόγος), αλλά παίρνει ότι του δίνει το φυσικό περιβάλλον**
- **δεύτερο γιατί τα υδρολογικά γεγονότα δεν είναι, όπως είδαμε, τελείως τυχαία γεγονότα (όπως θα ήθελε η κλασική στατιστική)**
- **τρίτο γιατί η επιθυμητή ομογένεια των δεδομένων ενός δείγματος είναι και δύσκολη και ευαίσθητη (εξαρτάται π.χ. από γενικές ή ειδικές αλλαγές στη διαδικασία μέτρησης αλλά και στο φυσικό περιβάλλον).**

Τρεις είναι οι *κύριες φάσεις αξιοποίησης της πληροφορίας* ενός υδρολογικού δείγματος για τη λήψη αποφάσεων:

1) η περιγραφή της πληροφορίας, που περιλαμβάνει ταξινόμηση και συμπύκνωσή της με τη βοήθεια γραφημάτων ή χαρακτηριστικών τιμών της (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, κτλ.)

2) η επιλογή ή κατάστρωση ενός μοντέλου, δηλαδή το "ντύσιμό" της πληροφορίας με κάποιο πιθανοτικό ή στοχαστικό μοντέλο, που πρέπει να ταιριάζει κατά το δυνατό καλύτερα στο ιστορικό δείγμα

3) η πρόγνωση, δηλαδή προβολή στο μέλλον του επιλεγμένου μοντέλου για την εκτίμηση των υδρολογικών μεταβλητών σχεδιασμού, έξω από το εύρος της ιστορικής χρονοσειράς

- Στα επόμενα κεφάλαια θα αντιμετωπίσουμε, ξεχωριστά για καθεμιά από τις υδρολογικές μεταβλητές, τον τρόπο επεξεργασίας και αξιοποίησης της δρολογικής πληροφορίας.