

Υδρομετεωρολογία

Εισαγωγή

Δημήτρης Κουτσογιάννης
Τομέας Υδατικών Πόρων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Αθήνα 2000

1. Γενικές έννοιες (ορισμοί, ιστορικό)

Ορισμός της υδρολογίας

- ✓ **Υδρολογία** (hydrology) 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.
- ✓ **Τεχνική υδρολογία** (engineering hydrology) είναι ο κλάδος της υδρολογίας που έχει στόχο την ποσοτική εκτίμηση και πρόγνωση των υδρολογικών μεγεθών.

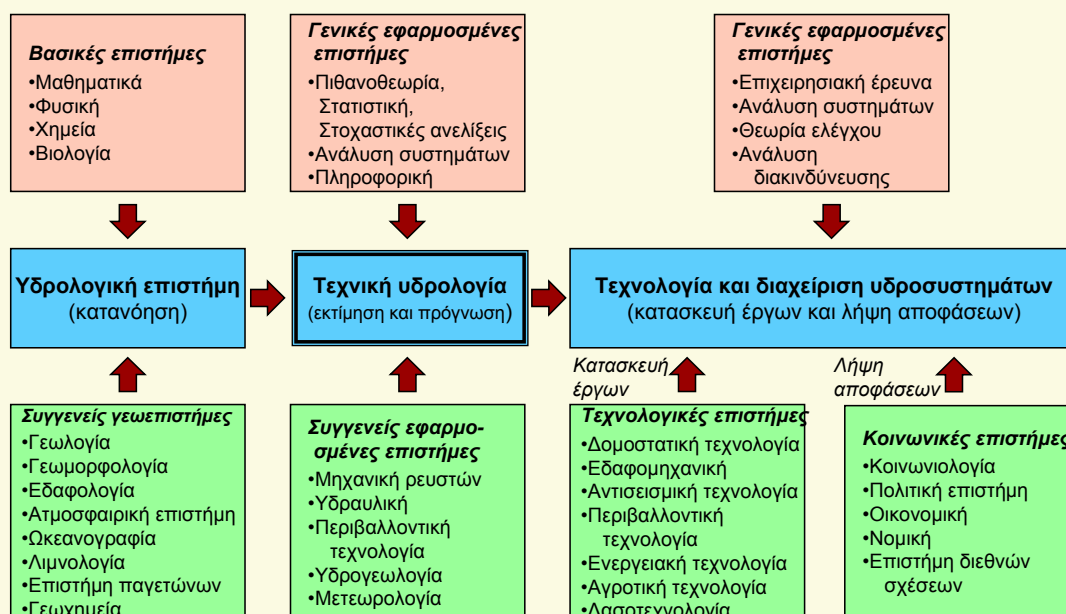
Σημείωση: Ο ορισμός της υδρολογίας προτάθηκε το 1962 από μια Αμερικανική Επιτροπή υπό τον W. Langbein και υιοθετήθηκε από την UNESCO στη διεθνή υδρολογική δεκαετία (1965-74) (βλ. U.S. Committee on Opportunities in the Hydrological Sciences, 1991, και Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999)

Διασαφήνιση του ορισμού της υδρολογίας

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)

Σημείωση: Διατυπώθηκε από την U.S. Committee on Opportunities in the Hydrological Sciences (1991).

Ένταξη της υδρολογίας στο ευρύτερο επιστημονικό και τεχνολογικό πλαίσιο



Ορισμός της μετεωρολογίας

- ✓ **Μετεωρολογία** (meteorology) είναι η επιστήμη που ασχολείται με
 - τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα και τη χρονικά εξαρτημένη συμπεριφορά τους, και
 - τις αλληλεπιδράσεις τους με την επιφάνεια της γης, τους ωκεανούς καθώς και τα έμβια όντα.
- ✓ Η μετεωρολογία είναι η επιστήμη του **καιρού**.
 - Καιρός είναι η κατάσταση της ατμόσφαιρας πάνω από μια δεδομένη περιοχή για ένα δεδομένο χρόνο.
 - Ο καιρός περιγράφεται από ένα σύνολο *μετεωρολογικών μεταβλητών* (στοιχείων καιρού).

Σημείωση: Βλ. και Wallace & Hobbs (1997, σ. 1)· Ahrens (1993, σ. 428).

Ορισμός της κλιματολογίας

- ✓ **Κλιματολογία** (climatology) είναι η επιστήμη που ασχολείται με το **κλίμα**.
- ✓ Κλίμα είναι η σύνθεση των στοιχείων του καιρού για ένα μακρό χρονικό διάστημα.
 - Η έννοια του κλίματος συνυφαίνεται με τη στατιστική εικόνα του μεταβλητού καιρού.
 - Στο μακρό χρονικό διάστημα απαλείφονται τα σφάλματα και εδραιώνονται οι στατιστικές παράμετροι.
- ✓ Η μετεωρολογία και η κλιματολογία είναι οι δύο κύριες **ατμοσφαιρικές επιστήμες**.

Κύριοι κλάδοι των ατμοσφαιρικών επιστημών

✓ Μετεωρολογία

- **Φυσική μετεωρολογία** (physical meteorology): Δομή και σύνθεση της ατμόσφαιρας, μεταφορά ακτινοβολίας και ακουστικών κυμάτων, διεργασίες σχηματισμού νεφών, κ.ά.
- **Συνοπτική μετεωρολογία** (synoptic meteorology): Περιγραφή, ανάλυση και πρόβλεψη των ατμοσφαιρικών κινήσεων μεγάλης κλίμακας.
- **Δυναμική μετεωρολογία** (dynamic meteorology): Εφαρμογή των αρχών της ρευστοδυναμικής στην κίνηση της ατμόσφαιρας.

✓ Κλιματολογία

- **Φυσική κλιματολογία** (physical climatology): Ανάλυση των θεμελιωδών αιτιών του κλίματος.
- **Κλιματογραφία** (climatology): Γεωγραφική περιγραφή και ταξινόμηση των κλιμάτων σε διάφορες χωρικές κλίμακες.
- **Εφαρμοσμένη κλιματολογία** (applied climatology): Εφαρμογή των κλιματικών παραμέτρων στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων.

Σημείωση: Βλ. και Wallace & Hobbs (1997, σσ. 1-2).

Ορισμός της υδρομετεωρολογίας

- ✓ Ευρύτερος ορισμός: World Meteorological Organization (Fourth Congress, 1963)
 - Η υδρομετεωρολογία ασχολείται με τη μελέτη της ατμοσφαιρικής και επίγειας φάσης του υδρολογικού κύκλου με έμφαση στις αλληλοσυσχετίσεις των δύο αυτών φάσεων.
- ✓ Ειδικότερος ορισμός: Fry and Showalter (1945)
 - Υδρομετεωρολογία είναι ένας συνδυασμός εξειδικευμένης μετεωρολογίας και υδρολογίας που έχει εφαρμογή στην επίλυση προβλημάτων και την κατανόηση φυσικών φαινομένων για τα οποία καμία από τις δύο επιστήμες δεν επαρκεί. Η υδρομετεωρολογία δεν είναι μια ξεχωριστή επιστήμη αλλά μάλλον ένα πεδίο ολοκλήρωσης της υδρολογίας και μετεωρολογίας.
- ✓ Ειδικότερος ορισμός: Wiesner (1970)
 - Υδρομετεωρολογία είναι η μελέτη των ατμοσφαιρικών διεργασιών, οι οποίες επηρεάζουν τους υδατικούς πόρους της γης και ενδιαφέρουν τον υδρολόγο μηχανικό.
- ✓ Διεργασίες που πρωτίστως ενδιαφέρουν την υδρομετεωρολογία:
 - Οι ατμοσφαιρικές διεργασίες που περιλαμβάνουν μετατροπές του νερού στην ατμόσφαιρα και συγκεκριμένα οι κατακρημνίσεις και η εξατμοδιαπνοή.

Σύντομο ιστορικό

α. Πριν τον 20ό αιώνα

- ✓ 6ος -5ος αιώνας π.Χ.: Πρώτες ορθές επιστημονικά εξηγήσεις μετεωρολογικών φαινομένων από Ίωνες και Αθηναίους φιλοσόφους (Αναξίμενης, 585-525· Ίππων, 5ος αιώνας· Αναξαγόρας, 500-428, Ιπποκράτης).
- ✓ 4ος-3ος αιώνας π.Χ.: Αριστοτέλης (384-323): συγγραφή *Μετεωρολογικών* (340). Ακολουθούν οι Θεόφραστος (372-287) και Επίκουρος (341-270).
- ✓ 16ος-18ος αιώνας μ.Χ: Εφεύρεση θερμομέτρου (Γαλιλαίος, 1592, 1612, Fahrenheit, 1709), και βαρομέτρου (Τορρικέλλι, 1643). Γέννηση της ενόργανης μετεωρολογίας (Μέγας Δούκας Φερδινάνδος της Τοσκάνης, 1653). Καθιέρωση, μετά από μετρήσεις, της έννοιας του υδρολογικού κύκλου (Perrault, Mariotte, Halley, τέλος 17ου αιώνα). Γέννηση της σύγχρονης υδραυλικής (Bernoulli, Euler, Chezy, κ.ά, αρχές 18ου αιώνα).
- ✓ 19ος αιώνας: Δημιουργία δικτύων μετεωρολογικών σταθμών (Lamark, La Place, Lavoisier). Καθιέρωση της τηλεγραφικής μεταβίβασης μετεωρολογικών παρατηρήσεων (Henry, 1849) για λόγους πρόβλεψης (Le Verrier, 1854) και προειδοποίησης (Ballot, 1860). Ίδρυση μετεωρολογικών υπηρεσιών (Le Verrier, Γαλλία, 1855) και διεθνή μετεωρολογικού οργανισμού (1878).

Σύντομο ιστορικό

β. 20ος αιώνας

- ✓ 1927, 1930: Εφεύρεση ραδιοβολίσεων για τη μέτρηση της ανώτερης ατμόσφαιρας.
- ✓ 1931, 1946: Πειραματική εφαρμογή τεχνικών τροποποίησης καιρού (τεχνητής βροχής).
- ✓ 1940-44: Αυτόματοι μετεωρολογικοί σταθμοί, χρήση πυραύλων για μετρήσεις ανώτερης ατμόσφαιρας.
- ✓ 1953: Αερόστατα σταθερού ύψους.
- ✓ 1960 - σήμερα:
 - Χρήση υπολογιστών για μετεωρολογικές εφαρμογές: Μοντέλα αριθμητικής πρόγνωσης καιρού, κλιματικά μοντέλα.
 - Μετεωρολογικοί δορυφόροι (1960: εκτόξευση πρώτου μετεωρολογικού δορυφόρου – Tiros I)
 - Τηλεμετρία
 - Ραντάρ καιρού

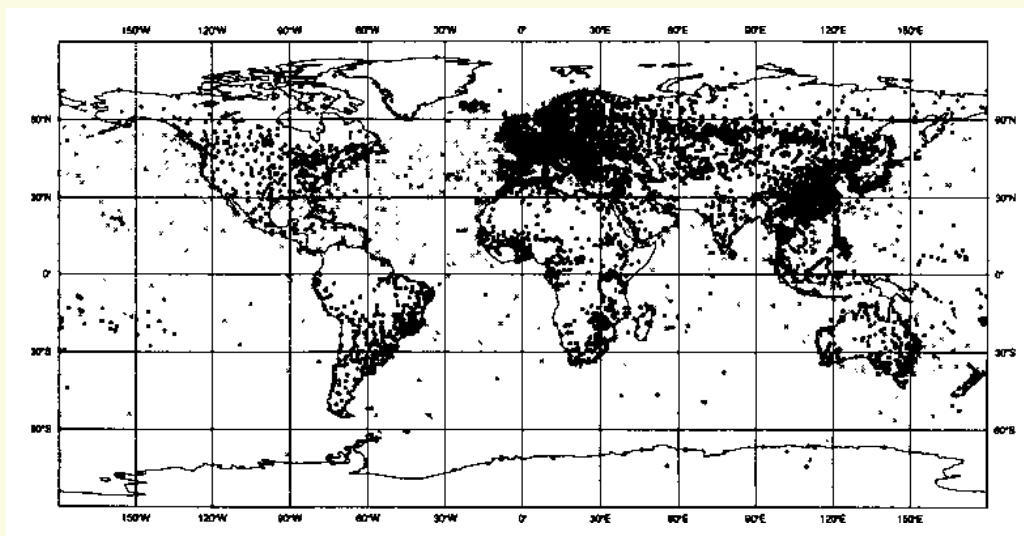
2. Εισαγωγή στις μετεωρολογικές μετρήσεις

Τύποι μετρήσεων

- ✓ Δίκτυα μετεωρολογικών σταθμών εδάφους
 - Μετρήσεις μέσω οργάνων: θερμοκρασίας αέρα, ατμοσφαιρικής πίεσης, ατμοσφαιρικής υγρασίας, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, βροχόπτωσης, ηλιοφάνειας, ακτινοβολίας, θερμοκρασίας εδάφους κ.ά.
 - Παρατηρήσεις καιρού, νεφών.
- ✓ Θαλάσσιες παρατηρήσεις
 - μετεωρολογικά σκάφη
 - μετεωρολογικοί πλωτήρες (σημαδούρες)
- ✓ Δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών ανώτερης ατμόσφαιρας (εκτέλεση ραδιοβολίσεων, ανεμοβολίσεων)
- ✓ Δίκτυο ραντάρ καιρού (βροχόπτωση)
- ✓ Δίκτυο μετεωρολογικών δορυφόρων
 - γεωσύγχρονοι δορυφόροι
 - ηλιοσύγχρονοι δορυφόροι (πολικής τροχιάς)

Σημείωση: Βλ. και McIlveen (1992, σσ. 15-46).

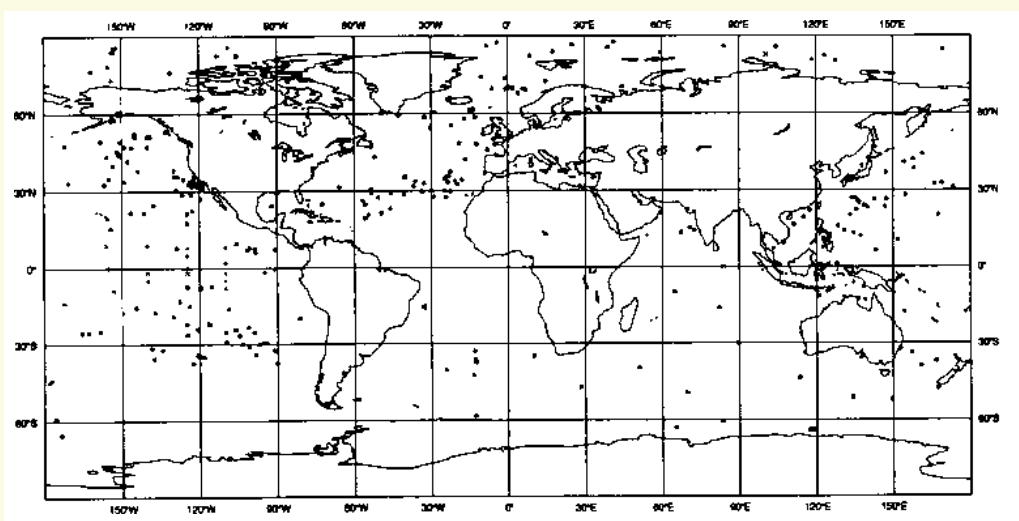
Θέσεις συνοπτικών σταθμών εδάφους και μετεωρολογικών πλοίων



• Συνοπτικοί σταθμοί εδάφους
× Μετεωρολογικά πλοία

Σύνολο θέσεων παρατήρησης 10 529 (στις 29/2/1994)
Πηγή Stull (1995)

Θέσεις μετεωρολογικών πλωτήρων



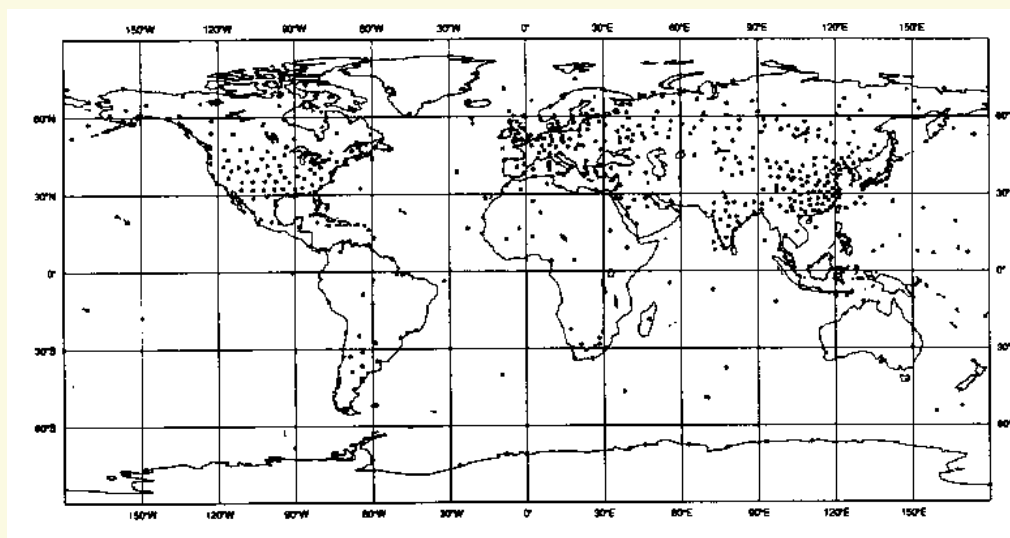
- Περιφερόμενοι
- × Αγκυρωμένοι

Σύνολο πλωτήρων 906 (στις 29/2/1994)
Πηγή Stull (1995)

Υδρομετεωρολογία - Εισαγωγή

13

Θέσεις ραδιοβολίσεων



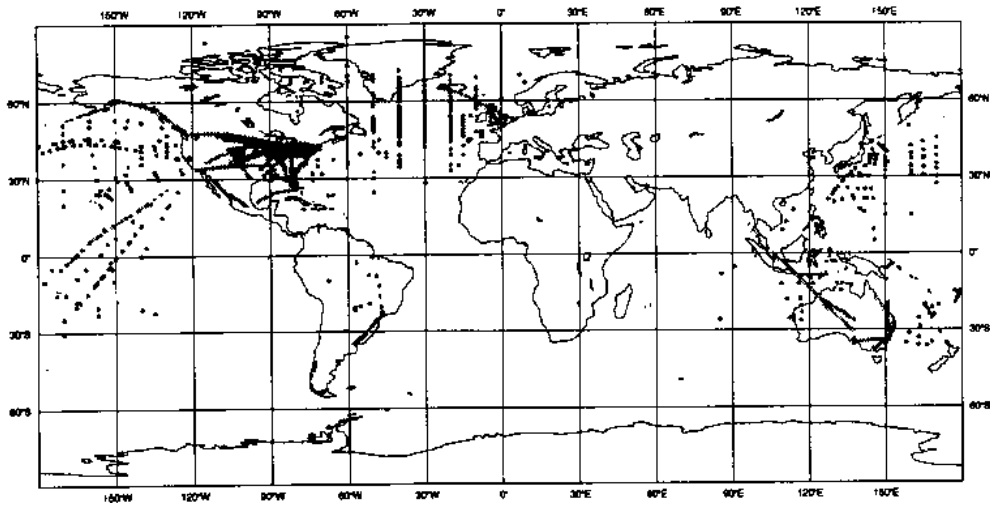
- Απογείωση από την ξηρά
- × Απογείωση από πλοία

Σύνολο θέσεων 625 (στις 29/2/1994)
Πηγή Stull (1995)

Υδρομετεωρολογία - Εισαγωγή

14

Θέσεις δεδομένων ανώτερης ατμόσφαιρας μετρημένων από εμπορικά αεροσκάφη



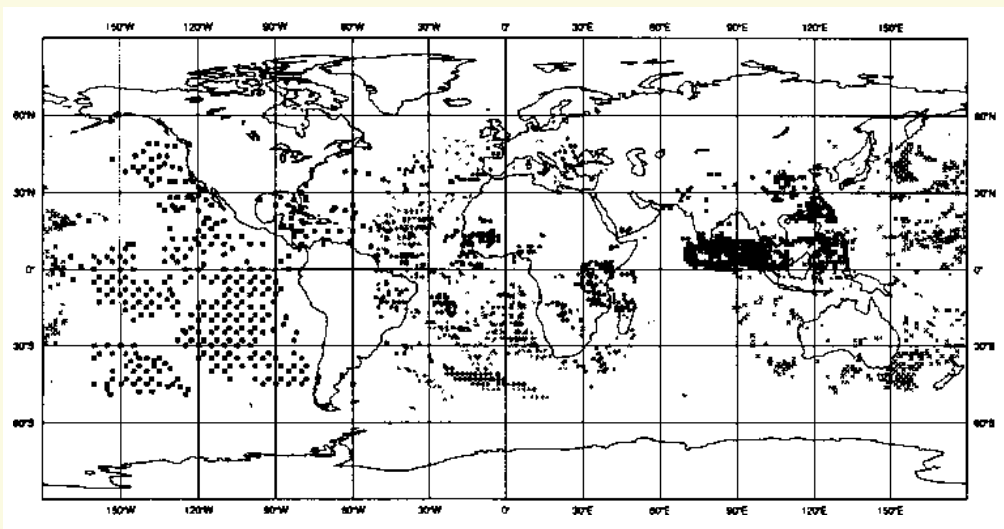
• Συμβατικές μετρήσεις
× Αυτόματες μετρήσεις

Σύνολο θέσεων 3 558 (στις 29/2/1994)
Πηγή Stull (1995)

Υδρομετεωρολογία - Εισαγωγή

15

Θέσεις παρατηρήσεων ανέμου ανώτερης ατμόσφαιρας από γεωσύγχρονους δορυφόρους

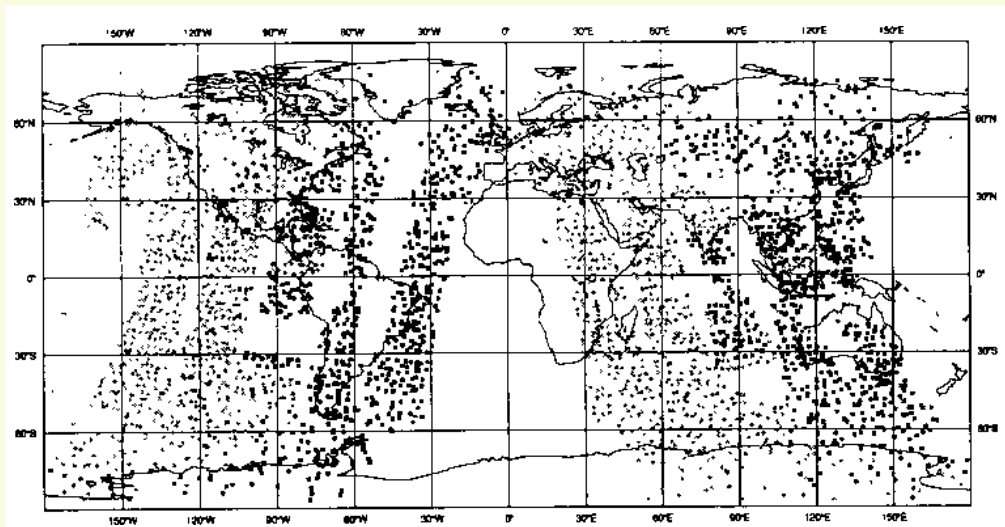


Σύνολο θέσεων 2 141 (στις 29/2/1994)
Πηγή Stull (1995)

Υδρομετεωρολογία - Εισαγωγή

16

Θέσεις παρατηρήσεων θερμοκρασίας ανώτερης ατμόσφαιρας από ηλιοσύγχρονους δορυφόρους



Σύνολο θέσεων 3 208 (στις 29/2/1994)
Πηγή Stull (1995)

Υδρομετεωρολογία - Εισαγωγή

17

3. Υδρολογικός κύκλος και ποσοτική έκφραση του Παρουσία του νερού στη γη

Μορφή νερού	Συνολική ποσότητα		Ποσότητα γλυκού 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	1 385 984 610	100	35 029 210	100

Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος (1999)

Υδρομετεωρολογία - Εισαγωγή

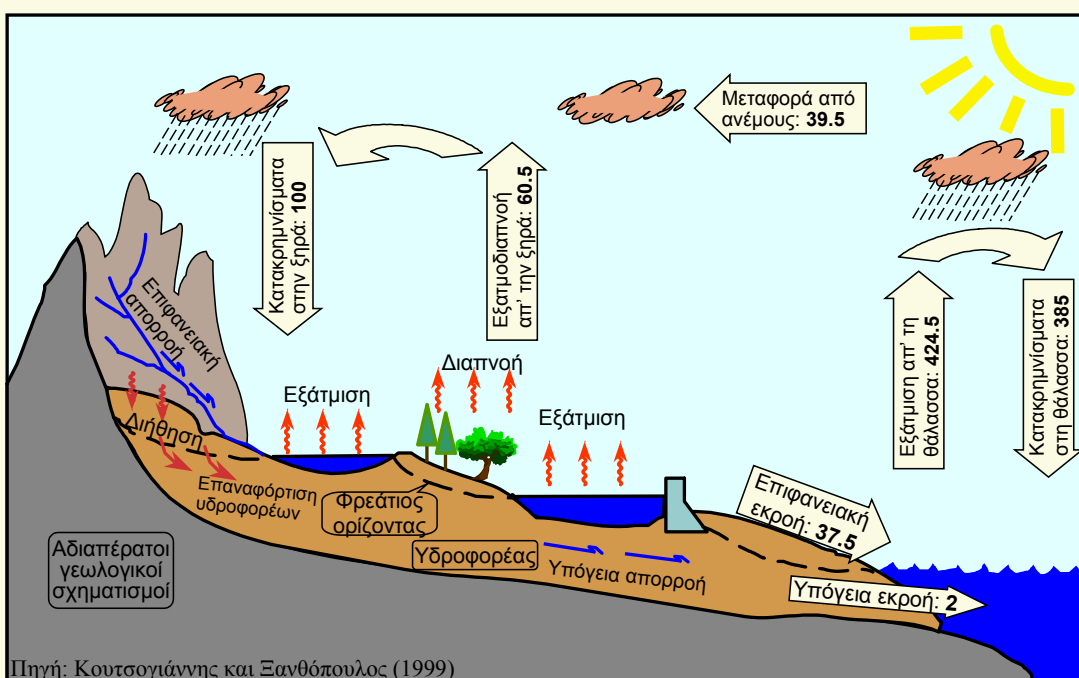
18

Κυκλοφορία του νερού στη γη

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 κατακρημνισμάτων, %
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 Εξατμοδιαπνοή Συνολική απορροή Επιφανειακή συνιστώσα απορροής Υπόγεια συνιστώσα απορροής	119 72 47 44.7 2.3	799 484 316 300 16	3.77 2.28 1.49 1.42 0.07	100.0 60.5 39.5 37.6 1.9

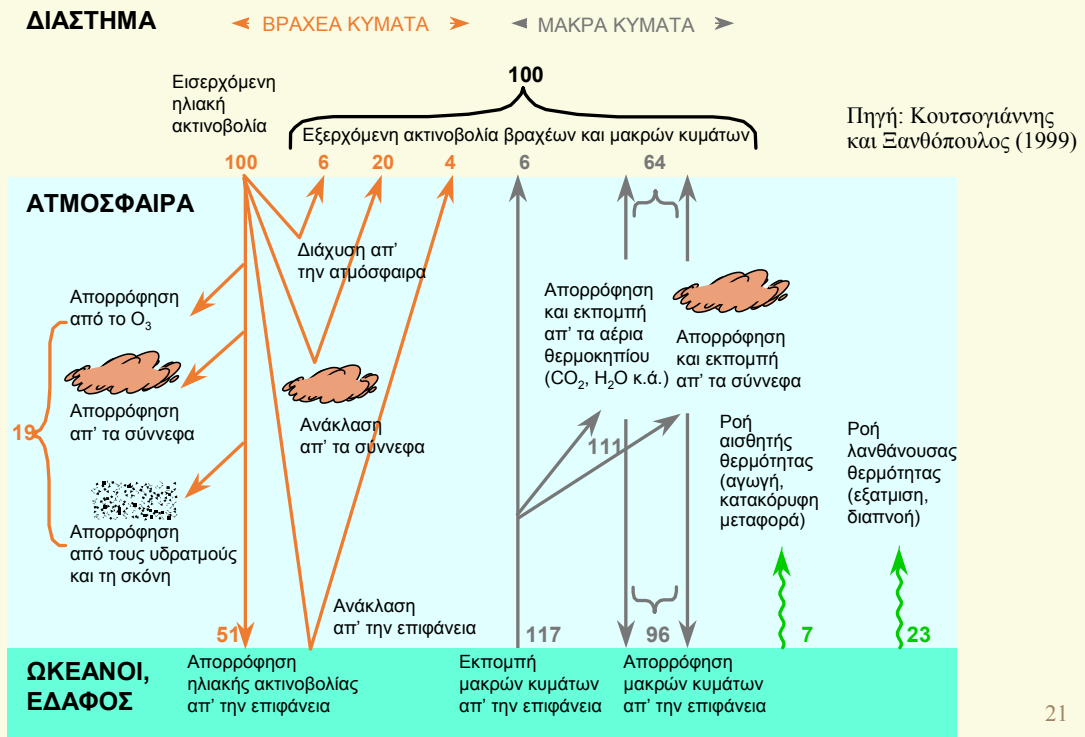
Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος (1999)

Υδρολογικός κύκλος – Υδατικό ισοζύγιο της γης



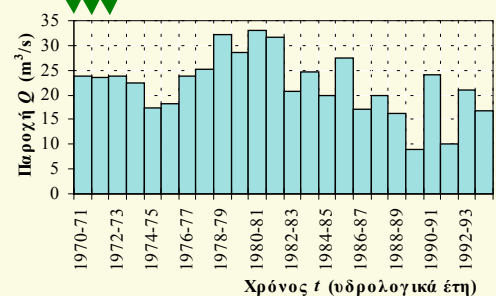
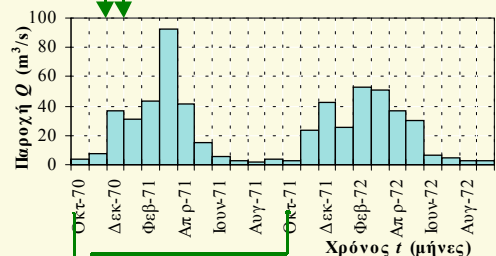
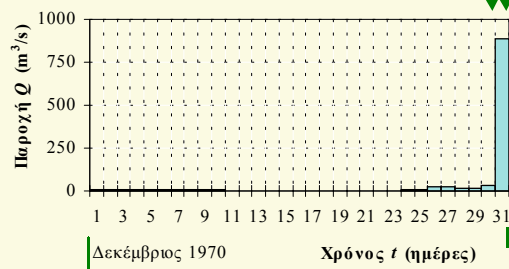
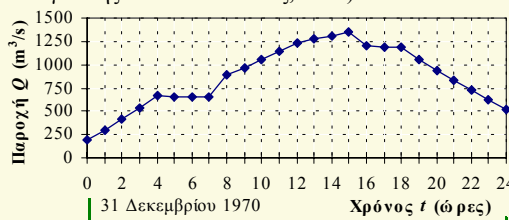
Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος (1999)

Ενεργειακό ισοζύγιο της γης

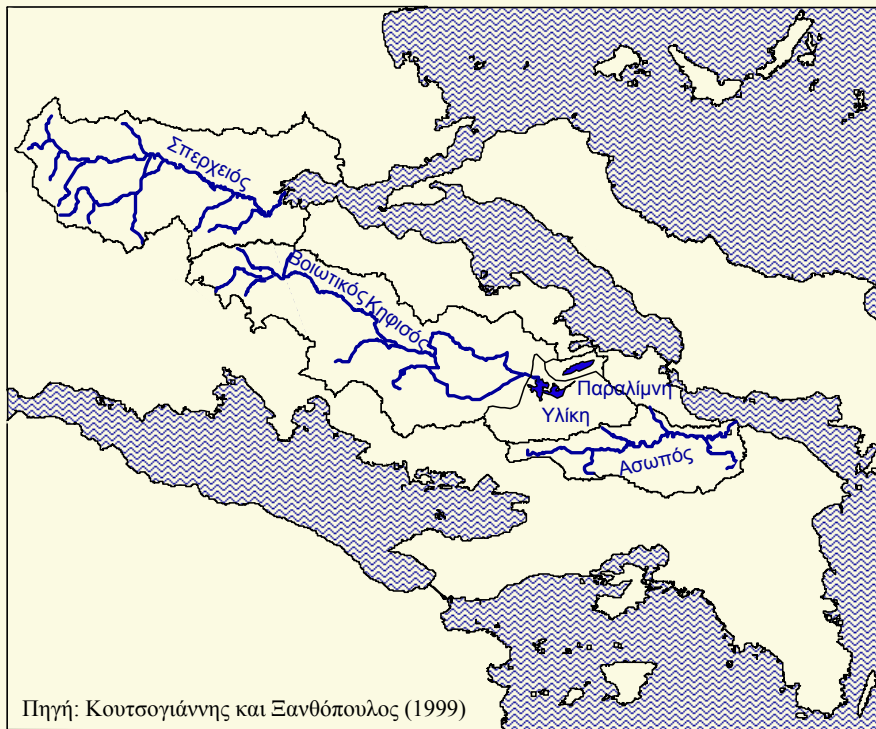


Χαρακτηριστικές χρονικές κλίμακες

Δεδομένα: Παροχή Ενήνου στη θέση Πόρος Ρηγαίου (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999)



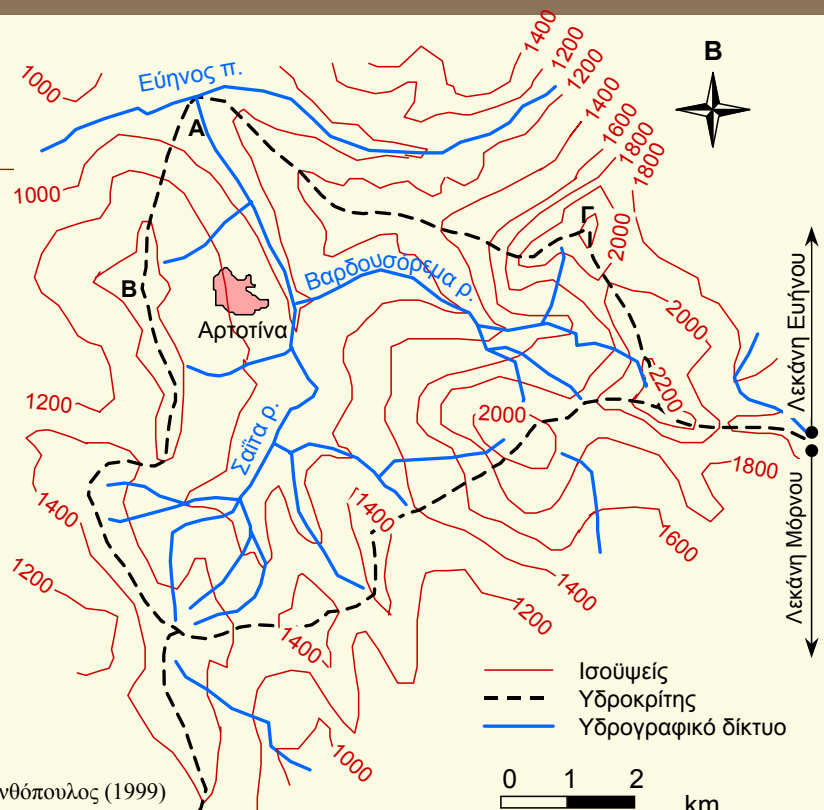
Χωρικές κλίμακες της υδρολογίας: Η λεκάνη απορροής



Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος (1999)

23

Λεκάνη απορροής: Λεπτομέρεια



Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος (1999)

Υδρομετεωρολογία - Εισαγωγή

24

Χωρικές κλίμακες της υδρολογίας: Το υδατικό διαμέρισμα



25

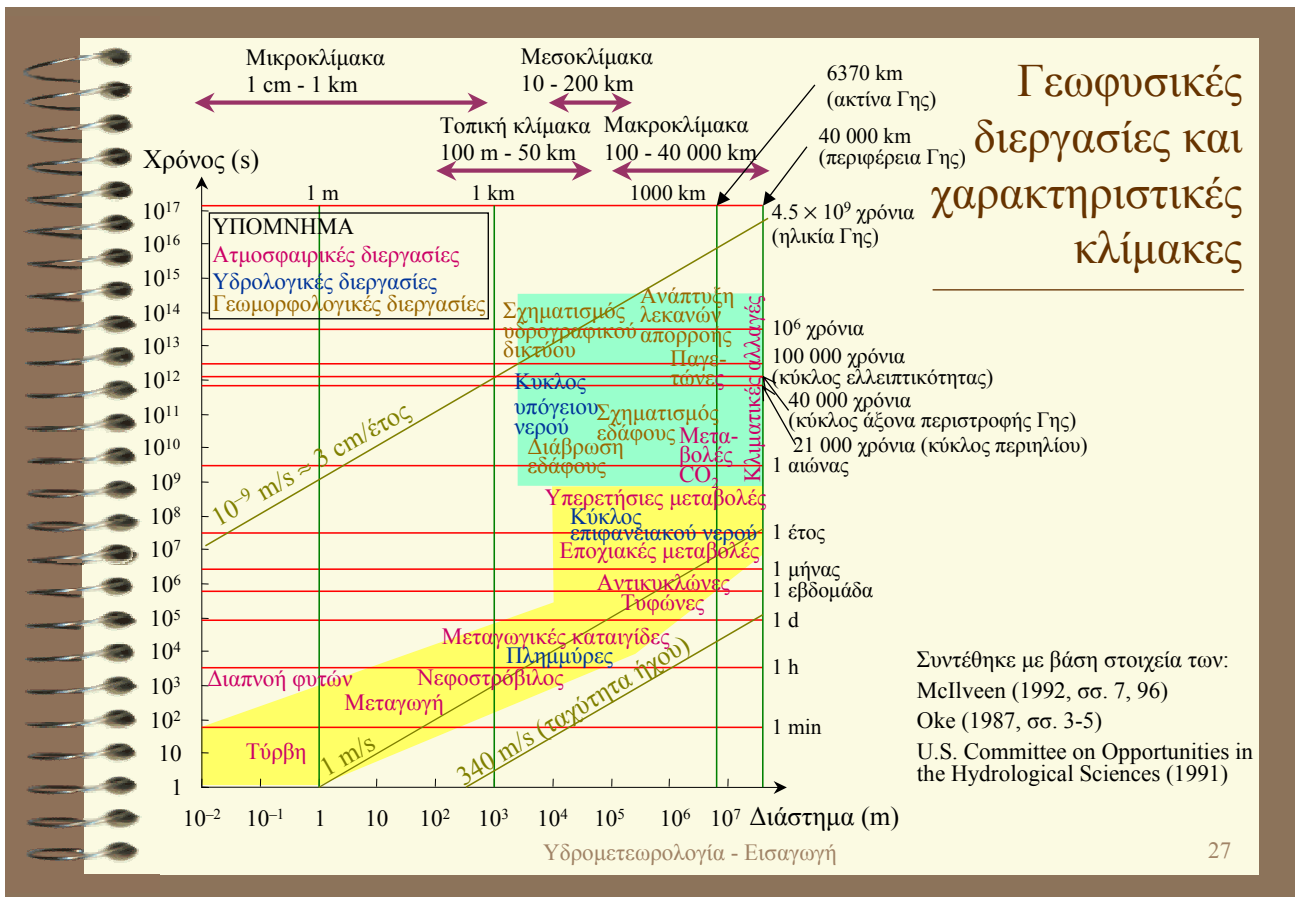
Χαρακτηριστικές χωρικές κλίμακες της μετεωρολογίας

✓ Οριζόντιες κλίμακες

- Μικροκλίμακα: 1 cm - 1 km. Χαρακτηριστικά φαινόμενα: τύρβη, θερμικές ανωστικές κινήσεις, μικροκλίμα κοντά στην κοίτη ποταμού.
- Τοπική κλίμακα: 100 m - 50 km. Χαρακτηριστικά μετεωρολογικά φαινόμενα: νεφοστρόβιλοι (tornadoes).
- Μεσοκλίμακα: 10 - 200 km. Χαρακτηριστικά μετεωρολογικά φαινόμενα: μεταγωγικές καταιγίδες
- Μακροκλίμακα: 100 - 40 000 km
 - Συνοπτική κλίμακα: η τυπική κλίμακα των χαρτών καιρού, της τάξης των 1000 km. Χαρακτηριστικά μετεωρολογικά συστήματα: κυκλώνες και αντικυκλώνες.
 - Πλανητική κλίμακα: Γενική κυκλοφορία

✓ Κατακόρυφες κλίμακες

- Πάχος τροπόσφαιρας (≈ 10 km)
- Πάχος συνοριακού στρώματος (την ημέρα 1-2 km, τη νύχτα ≈ 100 m).



Βιβλιογραφία για παραπέρα μελέτη

- ✓ Κουτσογιάννης, Δ. και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.
- ✓ Dingman, S. L., *Physical Hydrology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.
- ✓ Wallace, J. W., and P. V. Hobbs, *Atmospheric Science, An Introductory Survey*, Academic Press, San Diego, Ca., 1977
- ✓ McIlveen, R., *Fundamentals of Weather and Climate*, Chapman, 1992.
- ✓ U.S. Committee on Opportunities in the Hydrological Sciences, *Opportunities in the Hydrological Sciences*, edited by P. S. Eagleson, National Academy Press, Washington, D.C., 348 pp., 1992.
- ✓ Ahrens, C. D., *Essentials of Meteorology, An Invitation to the Atmosphere*, West Publishing, Minneapolis, 1993.
- ✓ Wiesner C. J., *Hydrometeorology*, Chapman and Hall, London, 1970.
- ✓ Fry, A. S., and A. K. Showalter, *Hydrometeorology*, Section XIII in *Handbook of Meteorology*, edited by F. A. Berry, E. Bollay, and N. R. Beers, McGraw-Hill, New York, 1945.
- ✓ Oke, T. R., *Boundary Layer Climates*, 2nd edition, Routledge, London, 1987.
- ✓ Stull, R. B., *Meteorology Today for Scientists and Engineers*, West Publishing, Minneapolis, 1995.