



**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

Ενότητα 2: Στοιχεία Μετεωρολογίας - Υετόπτωση

Καθ. Αθανάσιος Λουκάς

Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Πολυτεχνική Σχολή

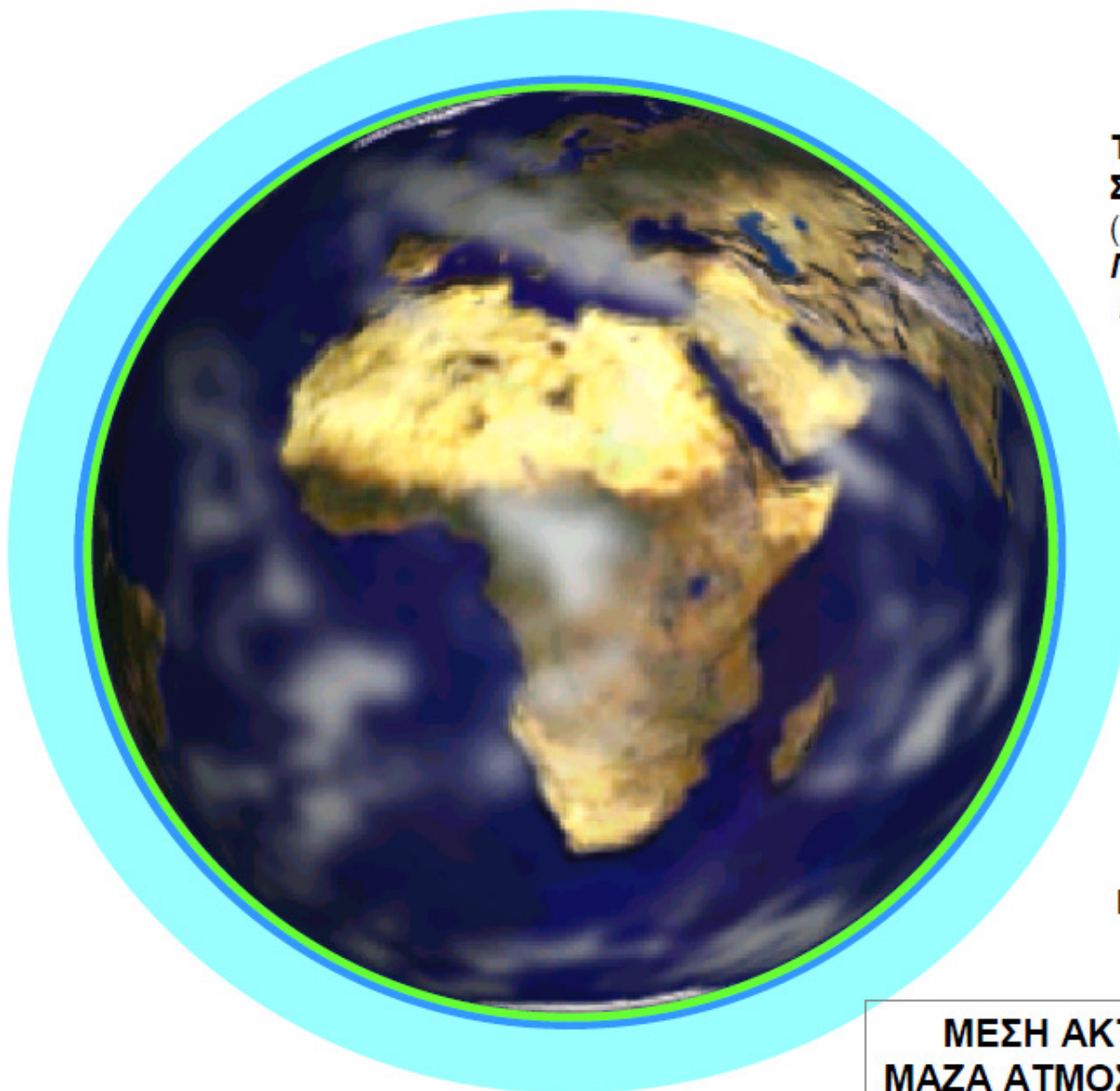
Διάρθρωση του μαθήματος

Στοιχεία Μετεωρολογίας - Υετόπτωση

- **ΦΥΣΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**
- **ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**
- **ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ**
- **ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ**
- **ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**



ΓΗ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ



**ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ
ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΑ**
(ΥΨΟΣ 50 km -
ΠΟΣΟΣΤΟ
ΜΑΖΑΣ 99.9%)

ΟΜΟΙΟΣΦΑΙΡΑ
(ΥΨΟΣ 85 km -
ΠΟΣΟΣΤΟ
ΜΑΖΑΣ 99.999%)

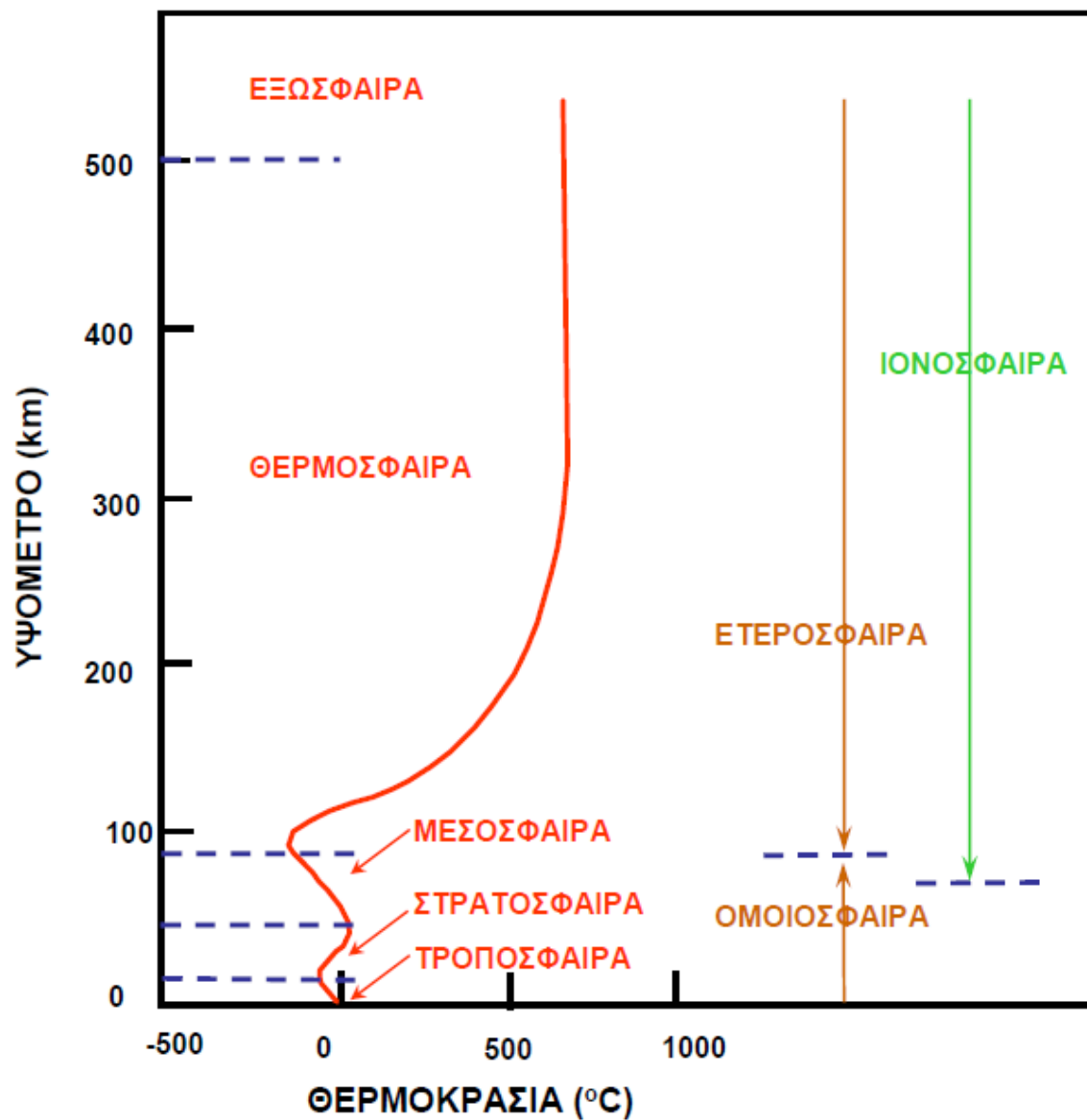
**ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ,
ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΑ,
ΜΕΣΟΣΦΑΙΡΑ
ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΣΦΑΙΡΑ**
(ΥΨΟΣ 500 km)

ΜΕΣΗ ΑΚΤΙΝΑ ΓΗΣ: 6370 km
ΜΑΖΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ: $5.14 \cdot 10^{18}$ kg

Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012. http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lection2_S.pdf



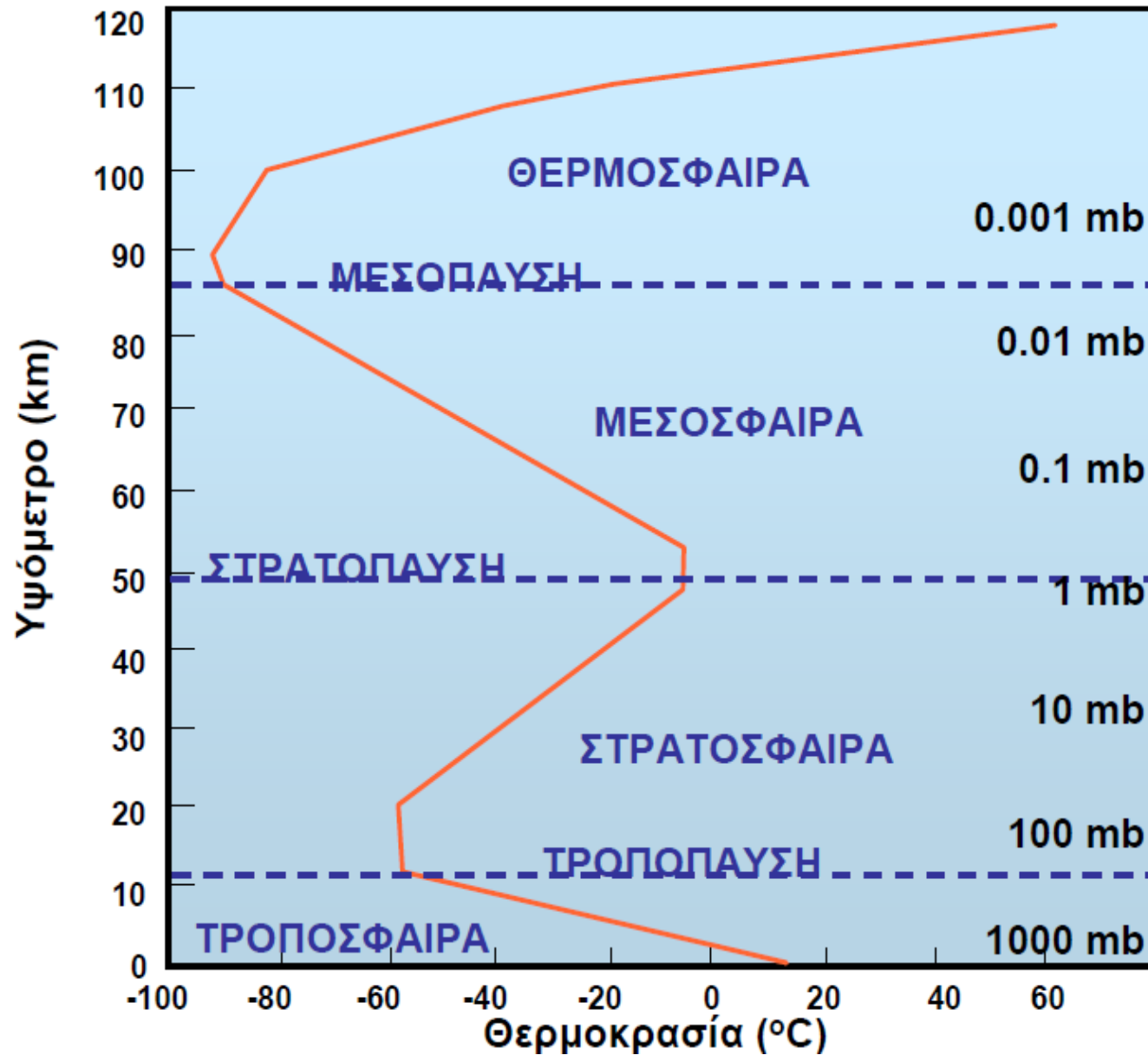
ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ



Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012.
http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lection2_S.pdf



ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ



Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012.
http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lection2_S.pdf



ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΟΜΟΙΟΣΦΑΙΡΑ

Στοιχεία			Ενώσεις		
Αέριο	Σύμβολο	Ποσοστό όγκου (%)	Αέριο	Σύμβολο	Ποσοστό όγκου (%)
Άζωτο	N ₂	78.08	Υδρατμοί	H ₂ O	0-4
Οξυγόνο	O ₂	20.95	Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	0.035
Όζον	O ₃	0.000004			
Αργόν	Ar	0.93	Μεθάνιο	C H ₄	0.00017
Νέον	Ne	0.0018	Οξείδιο του αζώτου	N ₂ O	0.00003
Ήλιον	He	0.0005	Ατμοσφαιρικά αιωρήματα		0.000001
Υδρογόνο	H ₂	0.00005			
Ξένον	Xe	0.000009	Χλωροφθοράνθρακες	CFCs	0.00000001
Κρυπτόν	Kr	0.0011			



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής καθορίζονται βασικώς από τις κλιματικές, γεωγραφικές και γεωλογικές συνθήκες της περιοχής αυτής.

Κλιματικά στοιχεία σημασίας

- **Ηλιακή ακτινοβολία**
- **Βροχοπτώσεις**
- **Άνεμοι**
- **Θερμοκρασία**
- **Υγρασία**



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

Γεωγραφικές συνθήκες σημασίας

- **Ανάγλυφο**
- **Βλάστηση**

Γεωλογικές συνθήκες σημασίας

- **Η σύσταση του επιφανειακού στρώματος του εδάφους**
- **Η σύσταση και η διάταξη των πετρωμάτων**



ΑΝΕΜΟΣ

Ως άνεμος χαρακτηρίζεται ο ατμοσφαιρικός αέρας ο οποίος βρίσκεται σε κίνηση με έντονη οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του.

Η κίνηση του αέρα προέρχεται από την ύπαρξη διαφοράς στην ένταση της ατμοσφαιρικής πιέσεως μεταξύ δύο γειτονικών περιοχών.

Η διαφορά αυτή της ατμοσφαιρικής πιέσεως οφείλεται στην διαφορετική θερμοκρασία του αέρα στις εν λόγω περιοχές.

Οι διαφορές στην θερμοκρασία του αέρα οφείλονται

- **Στο ανομοιόμορφο και ανομοιογενές της επιφάνειας της γης**
- **Στην ανομοιόμορφη κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας**



ΑΝΕΜΟΣ

Ο άνεμος χαρακτηρίζεται από

- Την ταχύτητα του
- Την διεύθυνση του

- Η ταχύτητα εκφράζεται σε **m/s** , **km/h** , **kn** (κόμβους) και η μέτρηση της γίνεται με τα ανεμόμετρα.
- Παλαιότερα, αλλά σε περιορισμένη κλίμακα ακόμη και σήμερα, χρησιμοποιούνταν για την υποδήλωση της ταχύτητας του ανέμου η **κλίμακα Beaufort** ή **ανεμομετρική κλίμακα**. Αυτή βασίζεται στην φαινόμενη επίδραση του ανέμου σε ορισμένα αντικείμενα στην ξηρά ή στην επιφάνεια της θάλασσας.



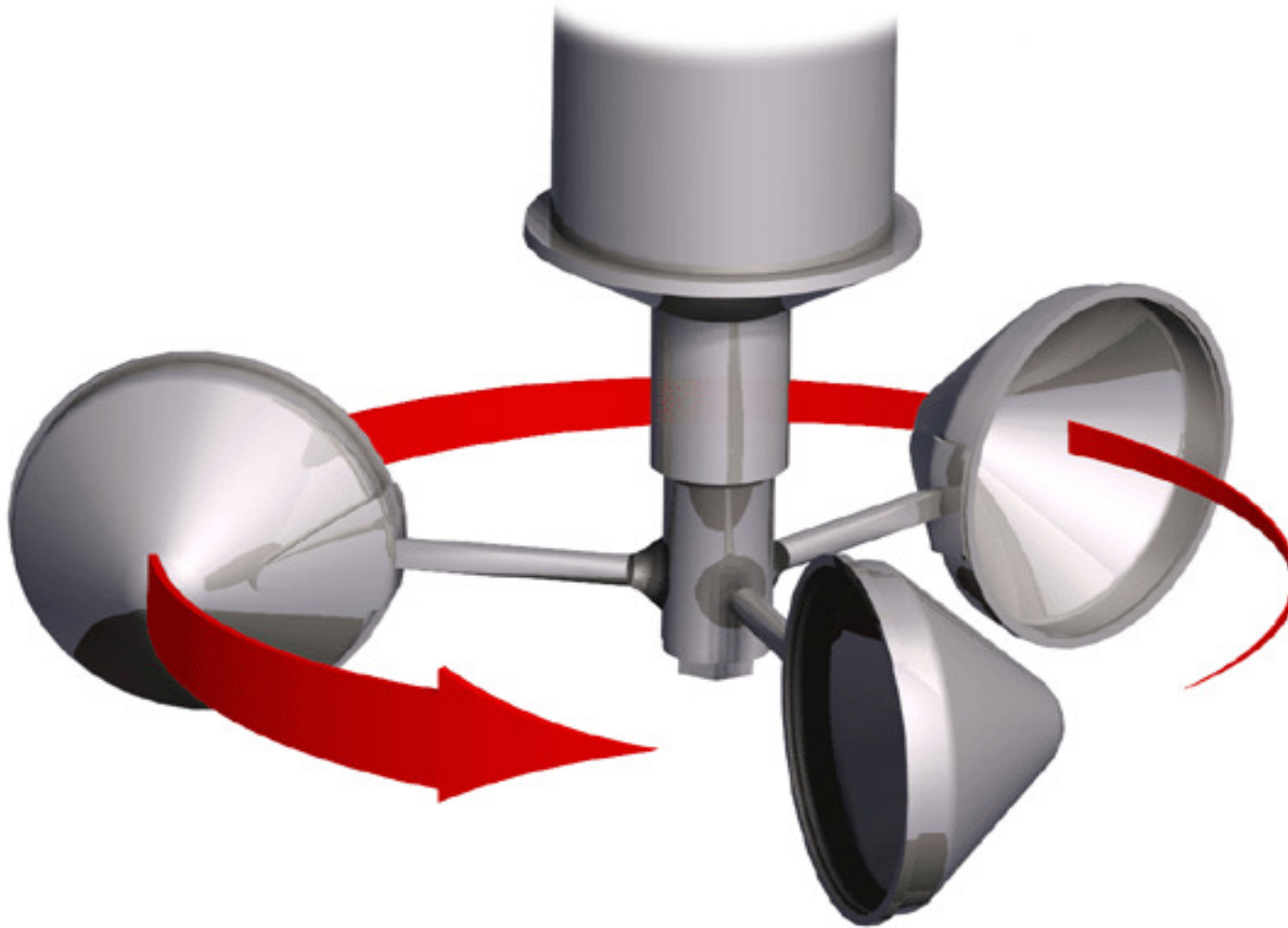
ΚΛΙΜΑΚΑ BEAUFORT ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΕΣ

Αριθμός Κλίμακας Beaufort	Όνομασία ανέμου		Ταχύτητα ανέμου		Ενδείξεις της επιδράσεως του ανέμου στην ξηρά
	Διεθνής	Ελληνική	km/hr	[kn]	
0	Calm	Νηνεμία	<1	<1	Άπνοια. Ο καπνός ανυψώνεται κατακορύφως
1	Light air	Υποπνέων	1-5	1-3	Η διεύθυνση του ανέμου δείχνεται από την απόκλιση του ανυψούμενου καπνού. Ο ανεμοδείκτης παραμένει ακίνητος
2	Light breeze	Ασθενής	6-11	4-6	Αισθητός στο πρόσωπο, θρόισμα των φύλλων, κίνηση ανεμοδείκτη
3	Gentle breeze	Λεπτός	12-19	7-10	Φύλλα και μικροί κλάδοι σε συνεχή κίνηση. Ξεδίπλωμα μικρής σημαίας
4	Moderate breeze	Μέτριος	20-29	11-16	Σηκώνει σκόνη και φύλλα χαρτιού. Κινεί μικρούς κλάδους δένδρων. Κυμάτισμα σημαίας
5	Fresh breeze	Λαμπρός	30-39	17-21	Μικρά δένδρα με φύλλα αρχίζουν να λυγίζουν. Σχηματισμός κυματιδίων σε μεσόγεια νερά.
6	Strong breeze	Ισχυρός	40-50	22-27	Μεγάλοι κλάδοι δένδρων σε κίνηση. Σφύριγμα των τηλεγραφικών συρμάτων. Η ομπρέλα χρησιμοποιείται με δυσκολία
7	Near gale	Σφοδρός	51-61	28-33	Κινεί ολόκληρα δένδρα. Το βάδισμα αντιθέτως προς τον άνεμο γίνεται με δυσκολία
8	Gale	Θυελλώδης	62-74	34-40	Σπάζει κλαδιά δένδρων. Παρεμποδίζει το βάδισμα
9	Strong gale	Θύελλα	75-87	41-47	Ελαφρές ζημιές στις οικοδομές
10	Storm	Ισχυρή θύελλα	88- 102	48-55	Ξεριζώνει δένδρα και προκαλεί σημαντικές ζημιές στις οικοδομές
11	Violent storm	Σφοδρή θύελλα	103-116	56-63	Προκαλεί εκτεταμένες ζημιές
12	Hurricane	Τυφώνας	> 117	> 64	Εξαιρετικά σοβαρές καταστροφές

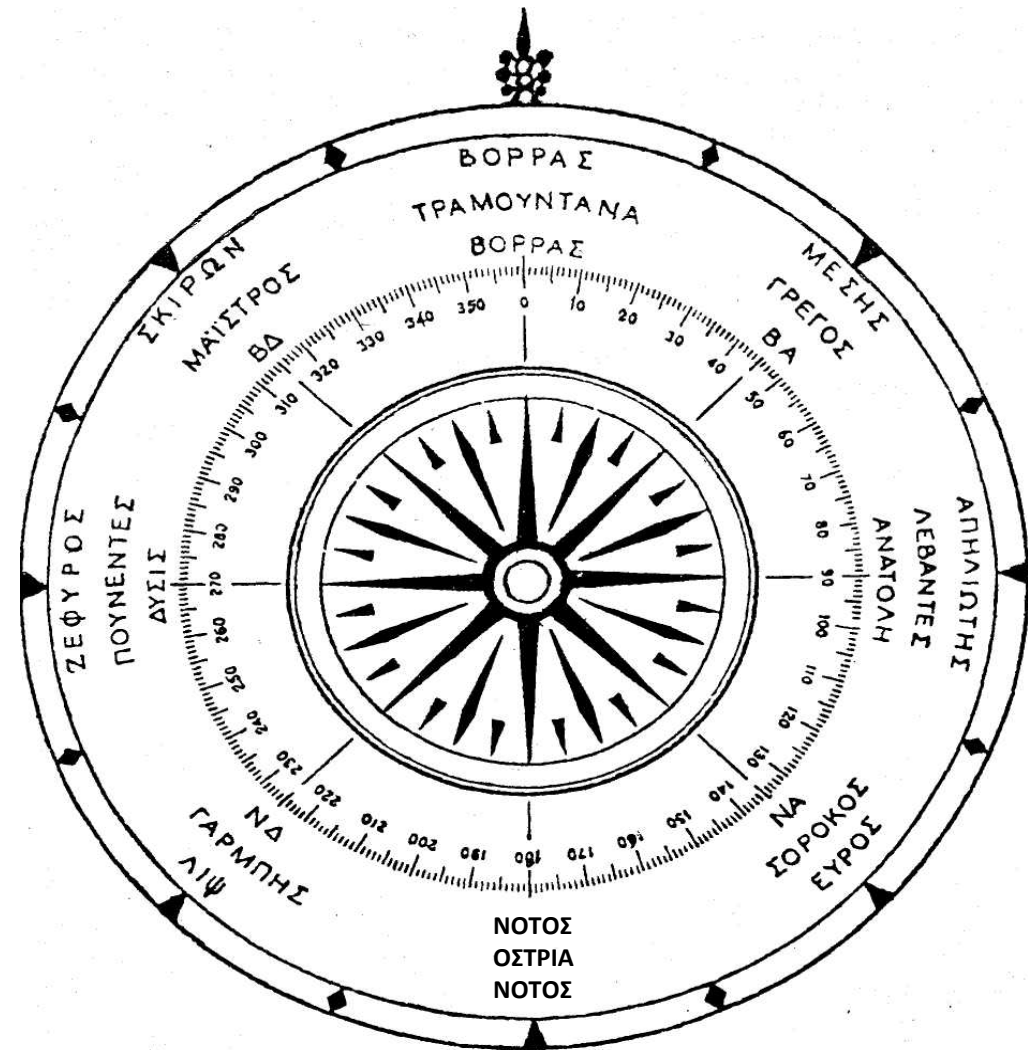


Όργανο μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου

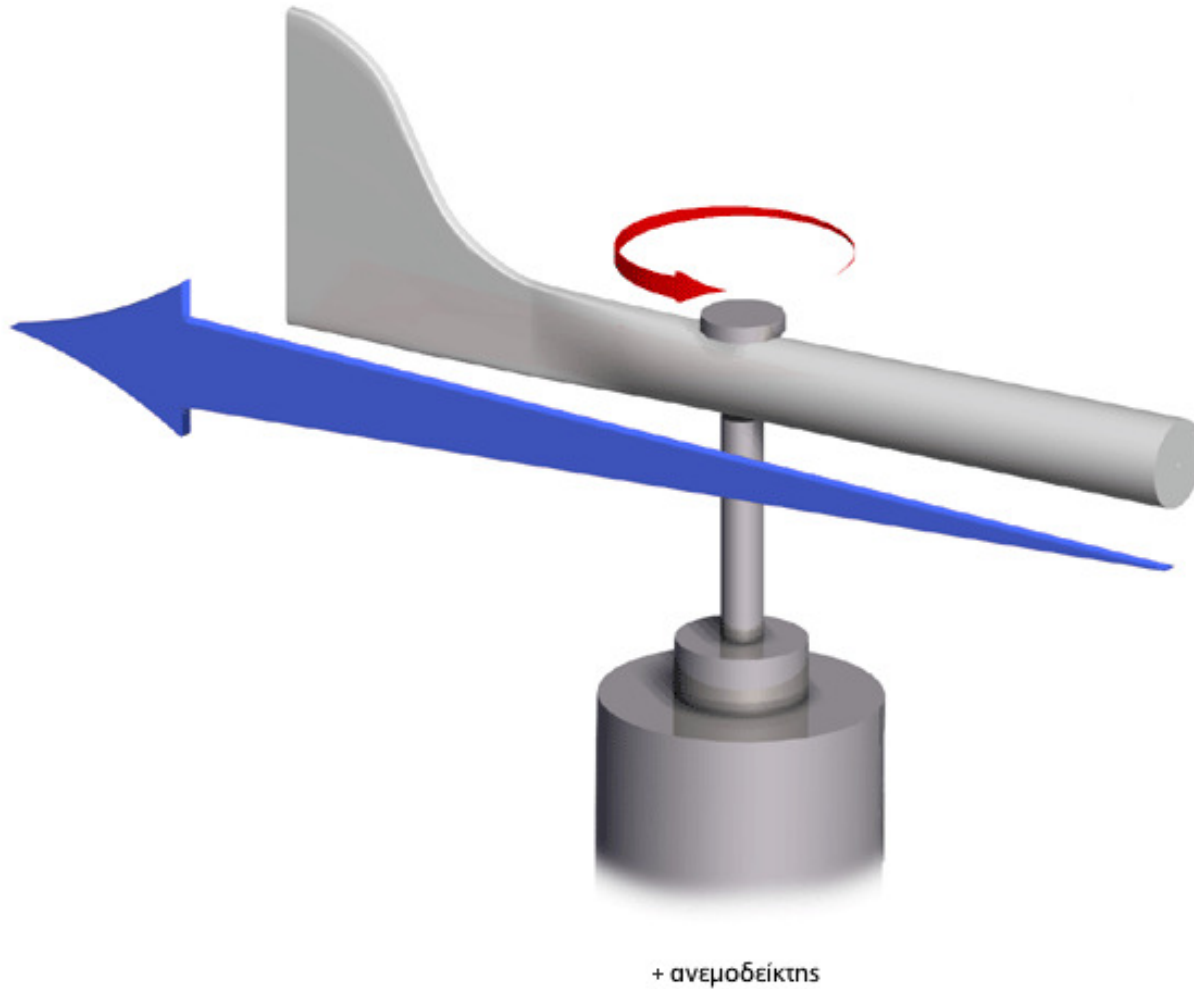
+ ανεμόμετρο



- Η διεύθυνση του ανέμου καθορίζεται από το σημείο του ορίζοντα από το οποίο προέρχεται ο άνεμος. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε το ανεμολόγιο.



Όργανο μέτρησης της διεύθυνσης του ανέμου



- Η δημιουργία των ανέμων οφείλεται είτε στα γενικότερα αίτια αναταραχής της ατμόσφαιρας ή σε τοπικά αίτια με τα οποία προκαλούνται οι **τοπικοί άνεμοι**.
- Έτσι, η θαλάσσια και η απόγειος αύρα και οι αύρες των ορέων και των κοιλάδων προκύπτουν ως αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ γειτονικών περιοχών κατά την διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Η διεύθυνση των τοπικών ανέμων επηρεάζεται σημαντικά από το ανάγλυφο της ξηράς.
- Η ταχύτητα του ανέμου στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας είναι μειωμένη λόγω των αντιστάσεων τις οποίες προβάλλουν η επιφάνεια της γης, τα δένδρα και τα διάφορα άλλα εμπόδια.
- Δημιουργούνται έτσι τριβές και αποτέλεσμα αυτών είναι η δημιουργία ενός στρώματος τριβών.

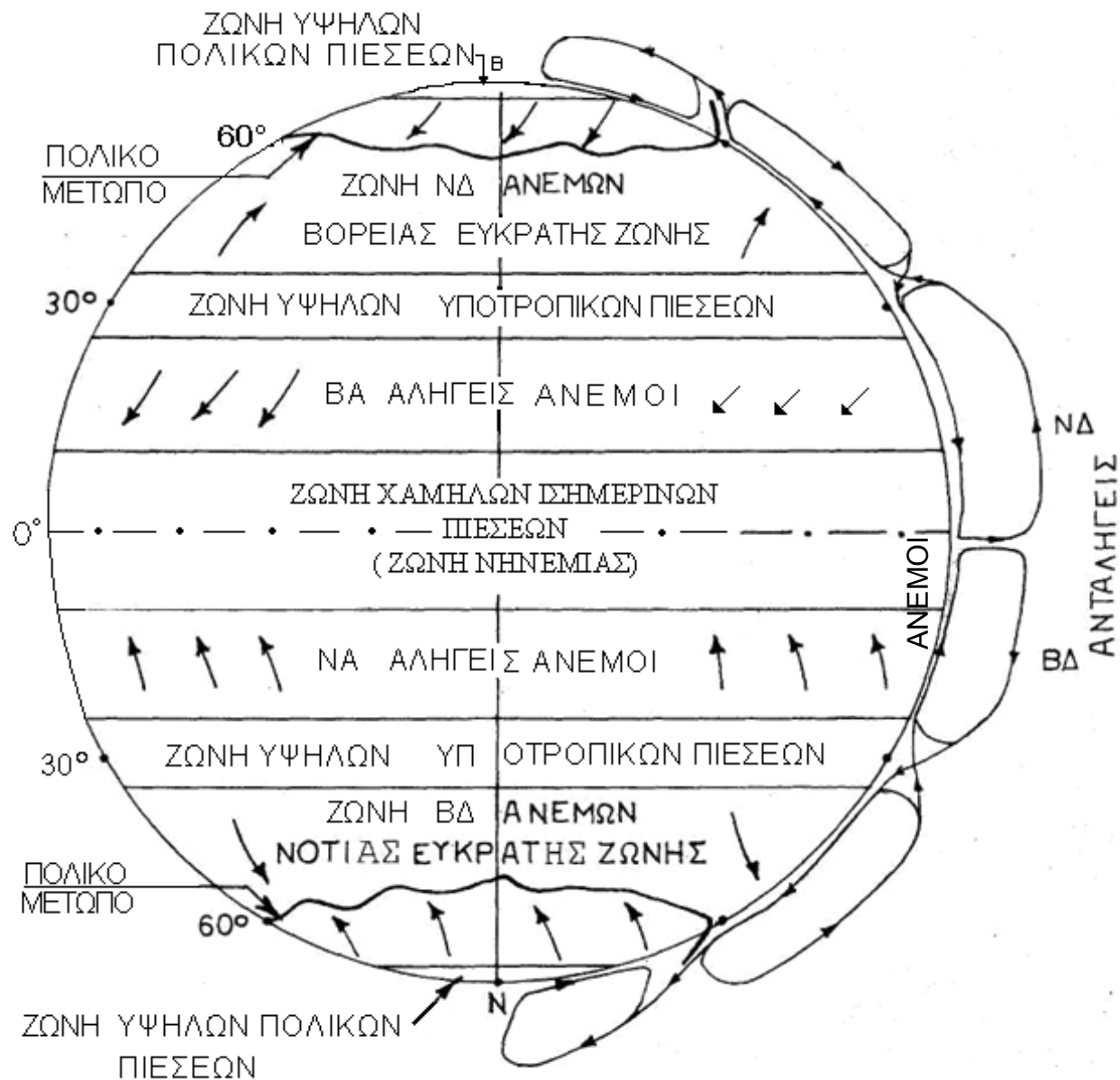


ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Η **ηλιακή ακτινοβολία** αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας του συστήματος γη - ατμόσφαιρα και καθορίζει τον καιρό και το κλίμα των διαφόρων περιοχών της γης σε συνδυασμό με την φύση και το ανάγλυφο της επιφάνειας της.



Σχηματική παράσταση ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε Γη με ομαλή και ομοιόμορφη επιφάνεια




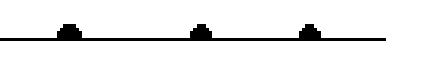
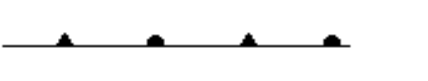
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙΡΟΥ

Ως **αέρια μάζα** χαρακτηρίζεται μια πελωρίων διαστάσεων μάζα αέρα της οποίας οι φυσικές ιδιότητες είναι περίπου ομοιόμορφες κατά την οριζόντια κατεύθυνση, οι μεταβολές όμως αυτών είναι απότομες στα όρια μεταξύ γειτονικών μαζών.

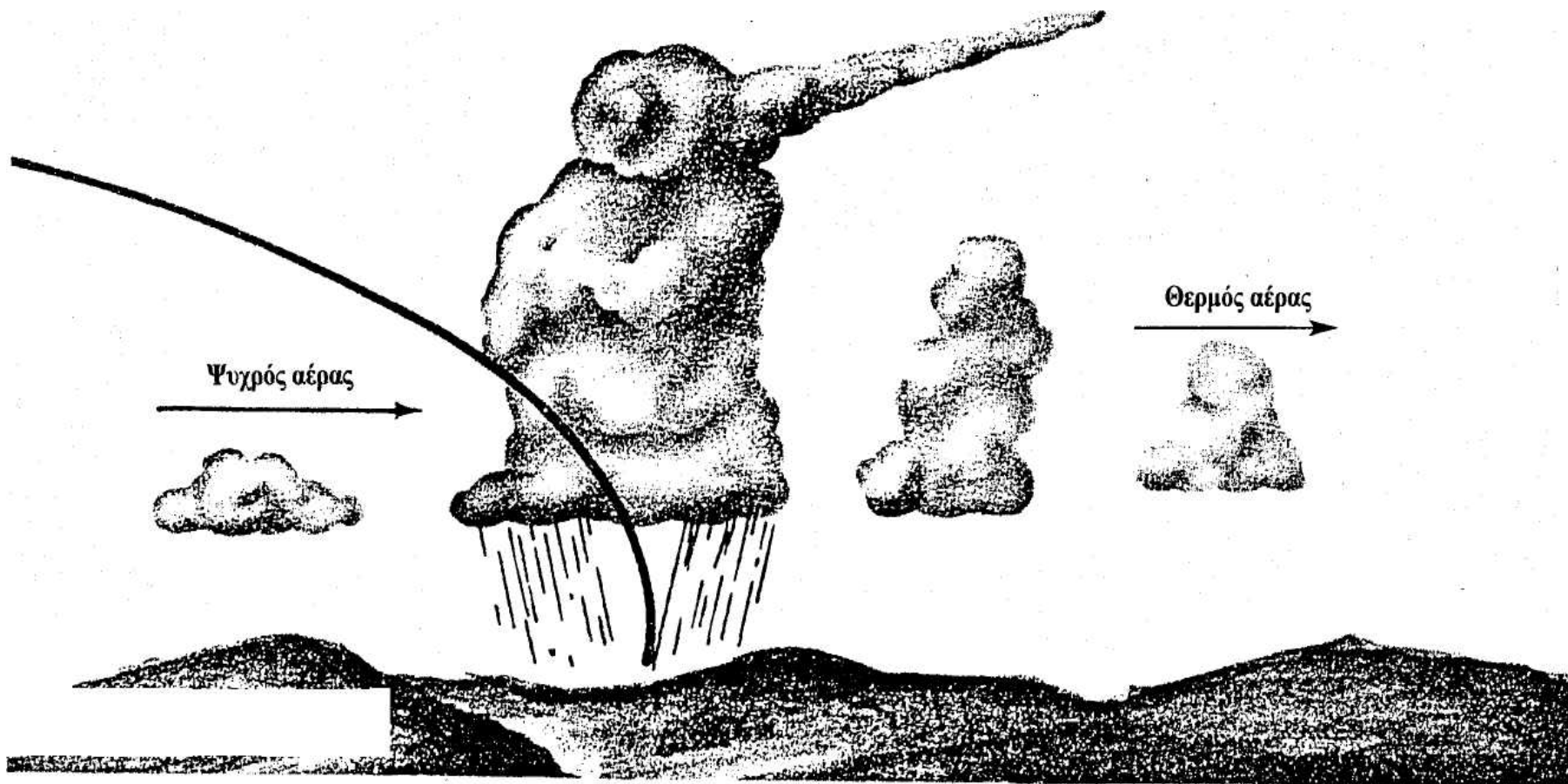
- Οι φυσικές ιδιότητες των αερίων μαζών αντανakλούν το κλίμα των γεωγραφικών περιοχών στις οποίες σχηματίσθηκαν.
- Μια αέρια μάζα μετακινούμενη έξω από την περιοχή σχηματισμού της χαρακτηρίζεται ως θερμή ή ψυχρή αναλόγως του εάν είναι θερμότερη ή ψυχρότερη της επιφάνειας υπεράνω της οποίας κινείται.
- Ως μέτωπο χαρακτηρίζεται η τομή με το έδαφος της μετωπικής επιφάνειας, δηλαδή της μεταβατικής ζώνης μεταξύ δύο γειτονικών, αλλά διαφορετικών ως προς τα χαρακτηριστικά τους, αερίων μαζών οι οποίες είναι συγκλίνουσες, όπου η μία κινείται προς την άλλη προκαλώντας την εκτόπιση της.



Τα μέτωπα διακρίνονται αναλόγως με την μετακίνηση τους σε :

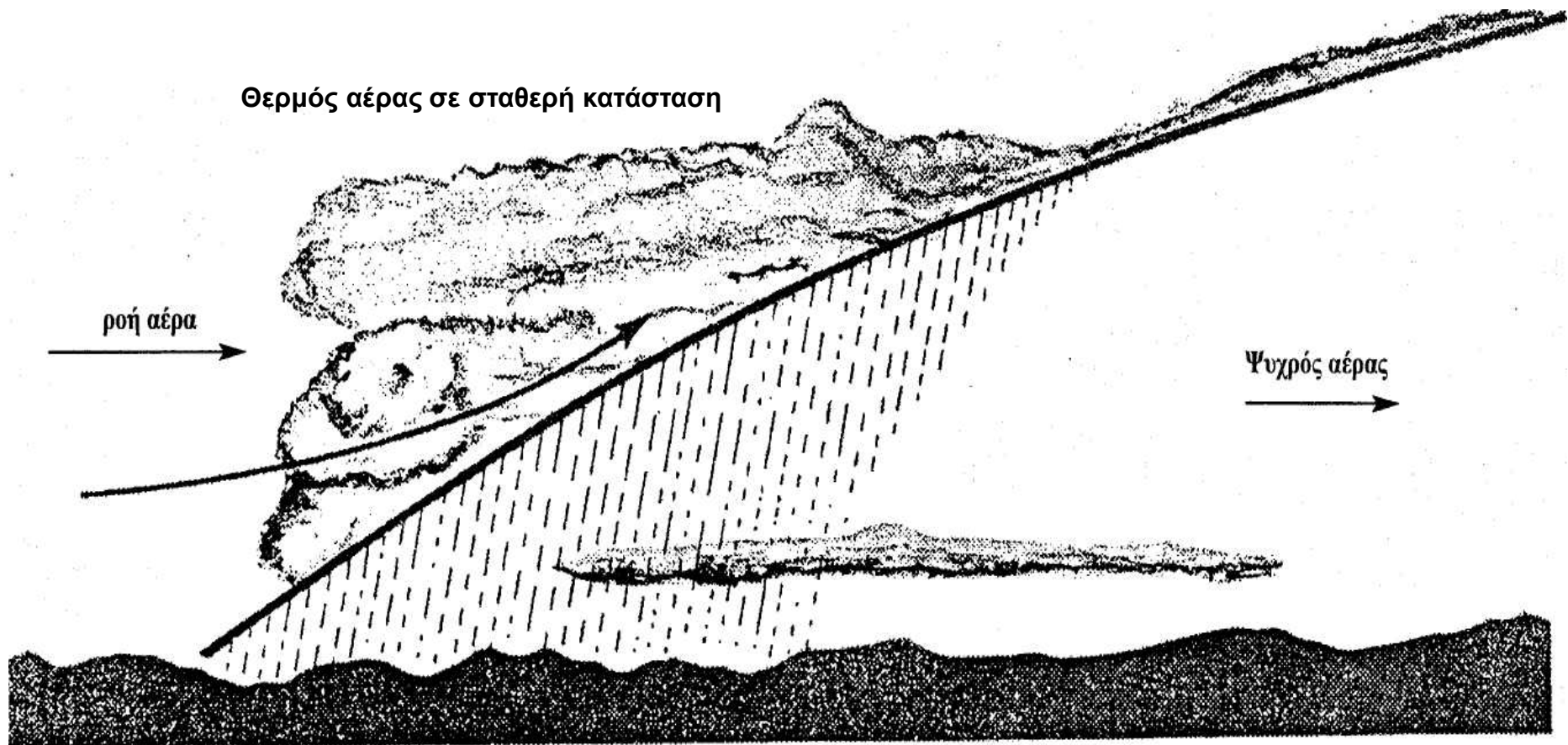
- **Ψυχρό μέτωπο** (ο ψυχρός αέρας αντικαθιστά τον θερμό, )
- **Θερμό μέτωπο** (ο θερμός αέρας αντικαθιστά τον ψυχρό, )
- **Συνεσφιγμένο μέτωπο** (ο ψυχρός αέρας αντικαθιστά πλήρως τον θερμό και η διαχωριστική επιφάνεια τους μεταφέρεται ψιλότερα στην ατμόσφαιρα, )





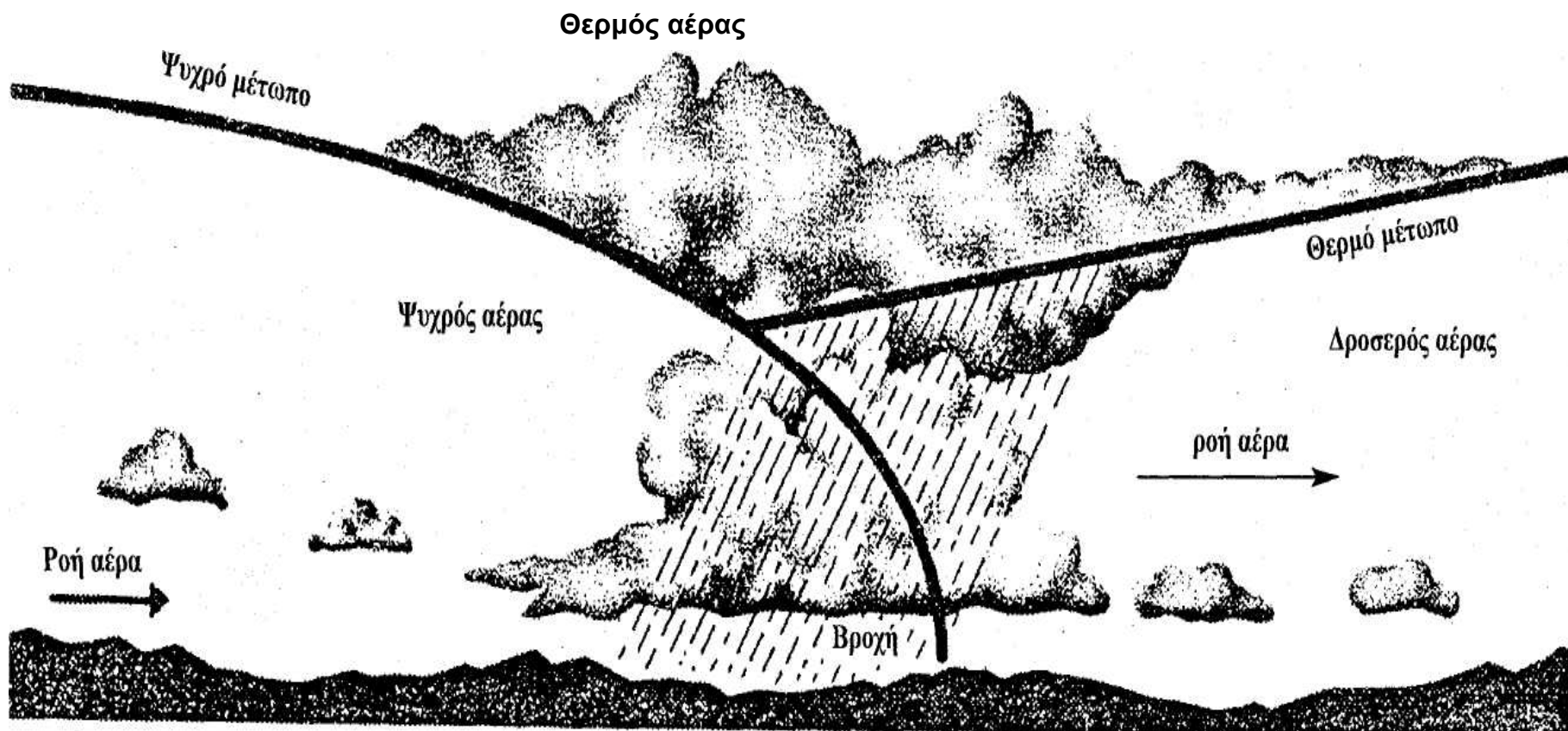
Κατάσταση δημιουργίας ψυχρού μετώπου σε κατακόρυφη τομή





Κατάσταση δημιουργίας θερμού μετώπου σε κατακόρυφη τομή



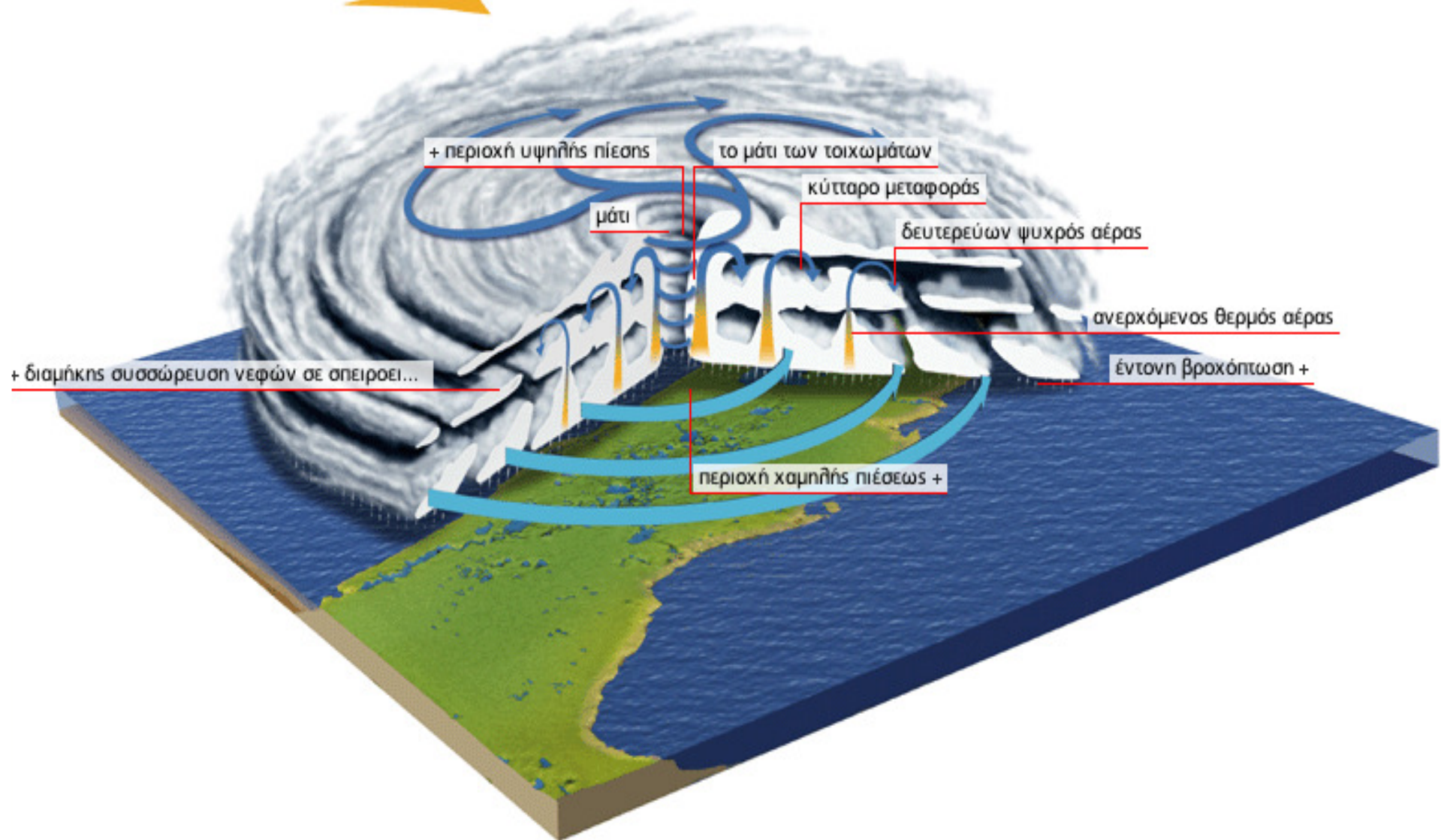


Κατάσταση δημιουργίας συνεσφιγμένου μετώπου σε κατακόρυφη τομή



Τροπικός κυκλώνας

+ επικρατέστερος άνεμος



ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Μέτρηση της θερμοκρασίας και επεξεργασία των μετρήσεων

- Η μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα επιτυγχάνεται με τα **θερμόμετρα** ή τους **θερμογράφους**.
- Τα όργανα αυτά τοποθετούνται μέσα στον **Μετεωρολογικό κλωβό** σε ύψος 2m από την επιφάνεια του εδάφους.

Εκτός από το κοινό θερμόμετρο, το οποίο παρέχει την θερμοκρασία της στιγμής παρατηρήσεως, στον Μετεωρολογικό κλωβό μπορεί να υπάρχουν επιπλέον τα :

- Θερμόμετρα υγρού
ακροβάθμια θερμόμετρα
 - θερμόμετρο μεγίστου
 - θερμόμετρο ελαχίστου
- ηλεκτρικά θερμόμετρα
θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης
θερμοζεύγη
- διμεταλλικά θερμόμετρα



Ακροβάθμια θερμομέτρα



+ ελαχιστοβάθμιο θερμομέτρο



+ μεγιστοβάθμιο θερμομέτρο



ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

- Στους Μετεωρολογικούς σταθμούς χωρίς αυτογραφικά όργανα η ανάγνωση των θερμομέτρων γίνεται σε καθορισμένες χρονικές στιγμές κάθε ημέρας, συνήθως την 08:00, 14:00 και 20:00 ώρα.

Ορισμοί

Μέση θερμοκρασία της ημέρας :

Ο αριθμητικός μέσος όρος των τριών παραπάνω παρατηρήσεων της ημέρας.

Μέση θερμοκρασία του μήνα :

Ο αριθμητικός μέσος όρος των μέσων θερμοκρασιών των ημερών του υπόψη μήνα.

Μέση θερμοκρασία του έτους :

Ο αριθμητικός μέσος όρος των μέσων θερμοκρασιών των μηνών του υπόψη έτους.

Ημερήσιο θερμομετρικό εύρος : Ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας δεδομένης ημέρας.



ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Ετήσιο θερμομετρικό εύρος : Ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ των μέσων θερμοκρασιών του θερμότερου και του ψυχρότερου μήνα του έτους.

Υδρολογικό έτος : 1^η Οκτωβρίου έως 30^η Σεπτεμβρίου του επόμενου έτους.

Κανονική (ημερήσια, μηνιαία ή ετήσια) θερμοκρασία : ο μέσος όρος μιας ορισμένης τριακονταετίας.

Θερμοβαθμίδα : Η ταχύτητα μεταβολής της θερμοκρασίας του αέρα σε συνάρτηση με το ύψος (έχουμε περίπου $-0,65^{\circ}\text{C}$ ανά 100m ύψους για την τροπόσφαιρα).



Γεωγραφική κατανομή της θερμοκρασίας

- Η γεωγραφική διανομή της θερμοκρασίας του στρώματος του αέρα πλησίον της επιφάνειας της γης έχει την μέγιστη τιμή της στον Ισημερινό και βαθμιαίως μειώνεται προς τους πόλους.
- Στο εσωτερικό των ηπείρων και σε ακάλυπτες με βλάστηση εκτάσεις η θερμοκρασία είναι υψηλότερη κατά το θέρος και χαμηλότερη κατά τον χειμώνα σε σχέση, αντιστοίχως, με παραθαλάσσιες περιοχές ή δασώδεις εκτάσεις οι οποίες ευρίσκονται στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος.
 - ελάττωση 0,5-1 °C ανά 100m



ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

Ορισμοί και ιδιότητες των υδρατμών της ατμόσφαιρας

Ατμοσφαιρική υγρασία : Η ποσότητα των υδρατμών που περιέχει ο ατμοσφαιρικός αέρας.

- Η ατμοσφαιρική υγρασία προέρχεται από την εξατμισοδιαπνοή των φυτών και κυρίως από την εξάτμιση των ωκεανών.
- Υπό συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσεως οι υδρατμοί διέπονται από τους νόμους των αερίων. Σε ένα μίγμα αερίων, καθένα από αυτά ασκεί την δική του μερική πίεση η οποία είναι ανεξάρτητη των πιέσεων οι οποίες ασκούνται από τα υπόλοιπα αέρια.



ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

Τάση υδρατμών e : Η μερική πίεση των υδρατμών μέσα στο μίγμα αέρα-υδρατμών (mb, $1 \text{ mb} = 1000 \text{ dyn/cm}^2 = 100 \text{ Pa}$).

Όταν η μέγιστη ποσότητα υδρατμών, η οποία αντιστοιχεί σε ορισμένη θερμοκρασία, περιέχεται σε ένα χώρο, αυτός καλείται **κορεσμένος** (σε υδρατμούς).

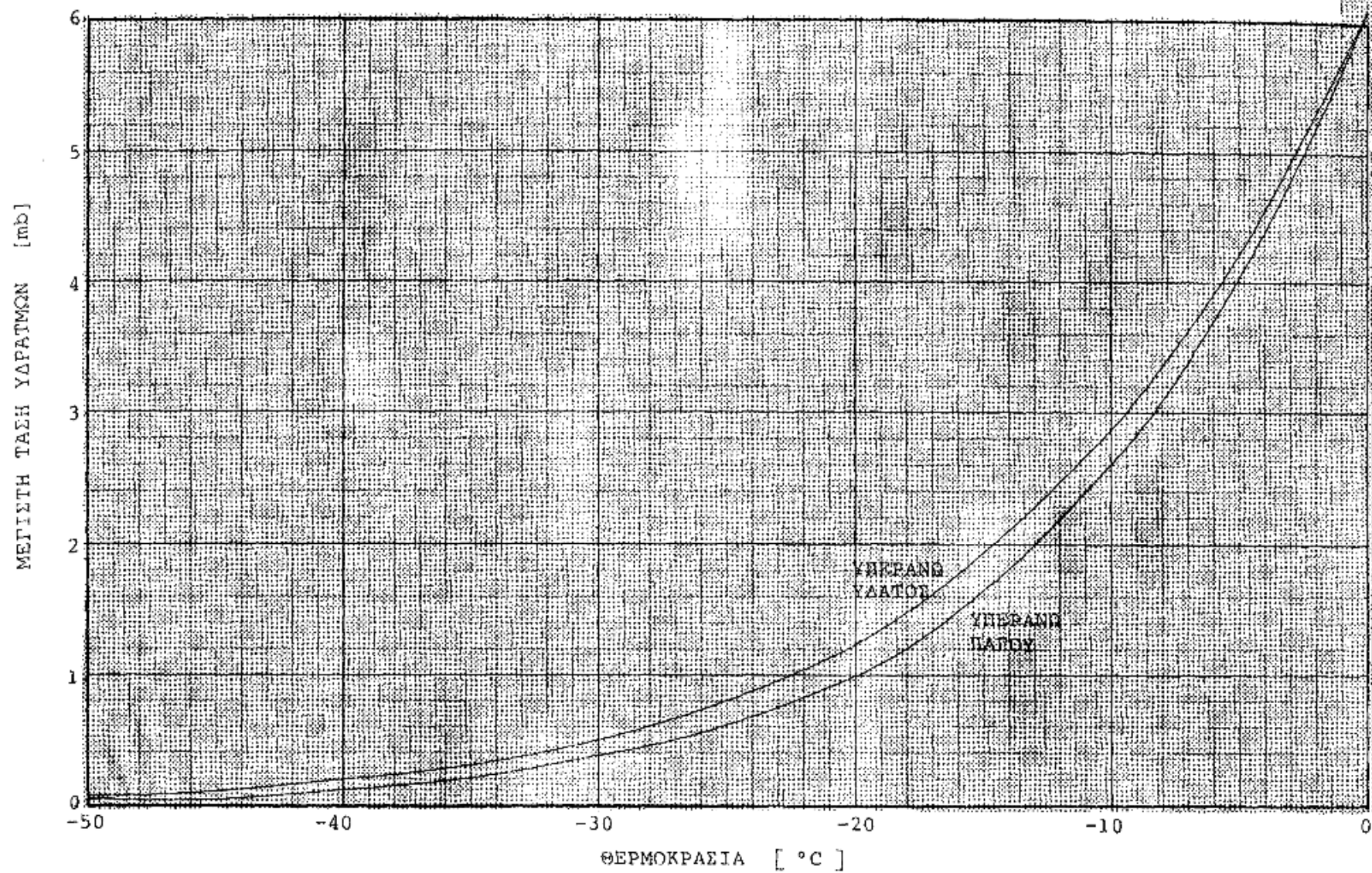
Μέγιστη τάση υδρατμών e_s : η μερική πίεση η οποία ασκείται από τους υδρατμούς υπό συνθήκες κορεσμού.



ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Θερμοκρασία θ [°C]	Μέγιστη τάση υδρατμών e_s [mb]		Θερμοκρασία θ [°C]	Μέγιστη τάση υδρατμών e_s [mb]
	Υπεράνω ύδατος (σε υπέρτηξη)	Υπεράνω πάγου		
			0	6.11
			5	8.72
-50	0.06356	0.03935	10	12.27
-40	0.1891	0.1283	15	17.04
-30	0.5088	0.3798	20	23.37
-20	12.540	1.032	25	31.67
-10	28.627	2.597	30	42.43
-9	30.971	2.837	35	56.24
-8	33.484	3.097	40	73.78
-7	36.177	3.379	45	95.86
-6	39.061	3.685	50	123.40
-5	42.148	4.015	55	157.50
-4	45.451	4.372	60	199.26
-3	48.981	4.757	65	250.18
-2	52.753	5.173	70	311.69
-1	56.780	5.623	75	385.55
0	61.070	6.107	80	473.67
			85	578.07
			100	1013.25

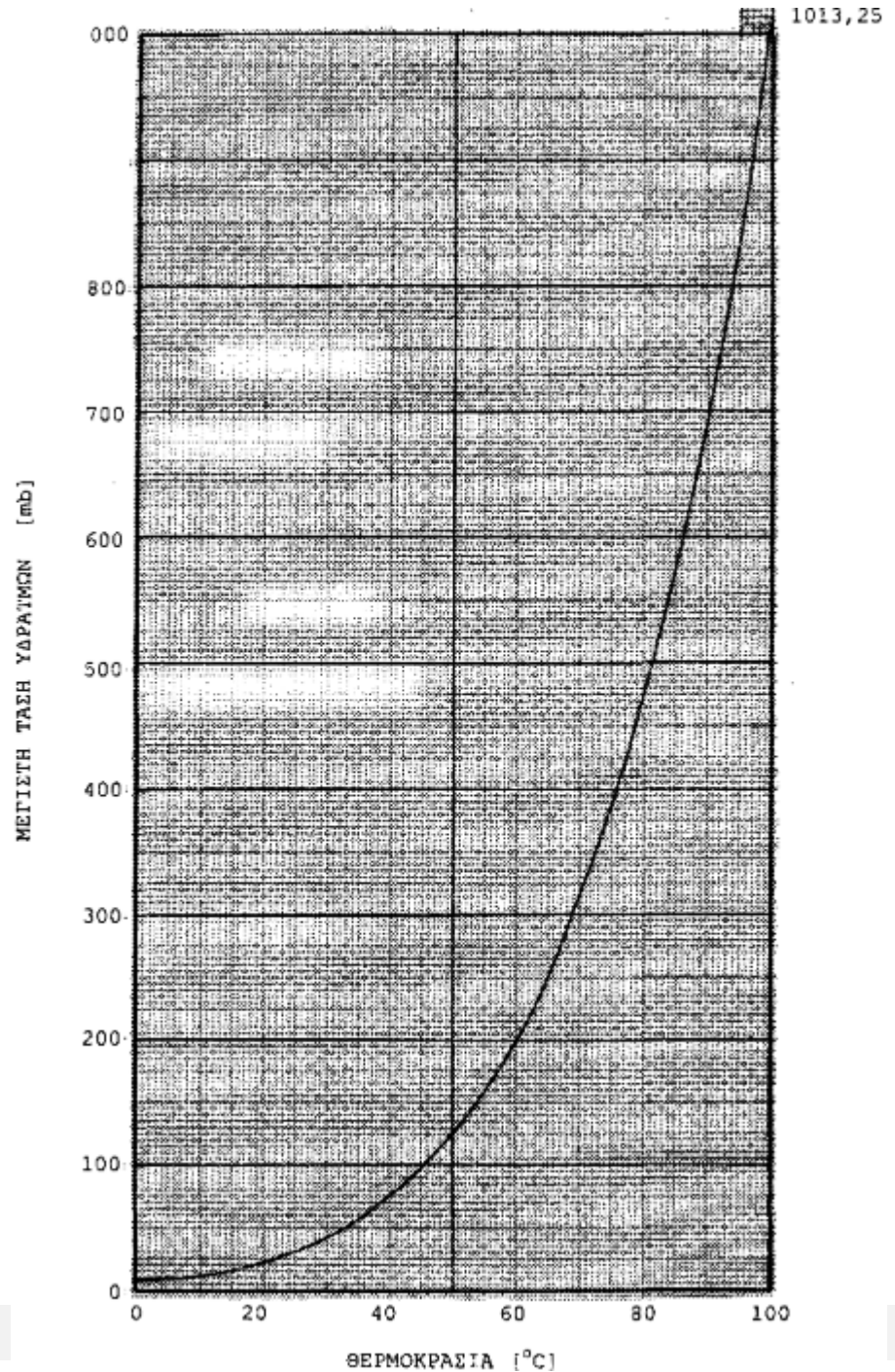




Μεταβολή της μέγιστης τάσεως των υδρατμών με την θερμοκρασία για $-50 \leq \Theta \leq 0^{\circ}\text{C}$.



Μεταβολή της
μέγιστης
τάσεως των
υδρατμών με τη
θερμοκρασία
για $0 \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$



Η ειδική πυκνότητα των υδρατμών, με βάση την πυκνότητα ξηρού αέρα της ίδιας θερμοκρασίας και πίεσης, ανέρχεται σε 0.622 ή κατά προσέγγιση σε 5/8.

Καταστατική εξίσωση ενός αερίου :

$$p = \rho \cdot R \cdot T$$

p = η πίεση του αερίου

ρ = η πυκνότητα του

T = η απόλυτη θερμοκρασία σε βαθμούς °K

R = η ειδική σταθερά του αερίου (για ξηρό αέρα $R_\alpha = 2870 \text{ mb/}^\circ\text{K}$,για τους υδρατμούς $R_\nu = R_\alpha / 0,622 \approx 8R_\alpha / 5$)



Πυκνότητα υδρατμών ρ_v (σε gr/cm^3):

$$\rho_v = \frac{5}{8} \frac{e}{R_a T}$$

Πυκνότητα ξηρού αέρα $\rho_{\xi\alpha}$ (σε gr/cm^3):

$$\rho_{\xi\alpha} = \frac{p_{\xi}}{R_a T}$$



Πυκνότητα του υγρού αέρα $\rho_{υα}$:

$$\rho_{υα} \equiv \rho_v + \rho_{ξα} = \frac{p}{R_α T} \left[1 - \frac{3}{8} \frac{e}{p} \right]$$

Η **απόλυτη υγρασία**, $h_α$, ορίζεται ως η μάζα των υδρατμών η οποία περιέχεται σε μια μονάδα όγκου του αέρα. Επομένως ταυτίζεται με την ρ_v .



Η **σχετική υγρασία**, h_r , ορίζεται ως η επί τοις εκατό αναλογία της ποσότητας των υδρατμών οι οποίοι υπάρχουν σε ένα χώρο προς την ποσότητα την οποία ο χώρος αυτός θα μπορούσε να συγκρατήσει υπό συνθήκες κορεσμού για την ίδια θερμοκρασία και είναι ίδια με την εκατοστιαία αναλογία της πραγματικής τάσεως των υδρατμών e προς την μέγιστη τάση αυτών στην ίδια θερμοκρασία :

$$h_r = 100 \frac{e}{e_s}$$



Σημείο δρόσου T_δ : Η θερμοκρασία κατά την οποία μια μάζα αέρα, ψυχόμενη, υπό σταθερή πίεση και χωρίς την προσθήκη ή αφαίρεση υδρατμών, γίνεται κορεσμένη.

Όταν η σχετική υγρασία είναι γνωστή, το σημείο δρόσου μπορεί να εκτιμηθεί με αρκετή ακρίβεια με τον παρακάτω τύπο :

$$T - T_\delta \cong (14.55 + 0.114T) \sigma + [(2.5 + 0.007 T) \sigma]^3 + (15.9 + 0.117 T) \sigma^{14}$$

T = θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) και $\sigma = 1 - h_r/100$



Αναλογία μίξεως r :

$$r \equiv \frac{\rho_v}{\rho_{\xi\alpha}} = \frac{5}{8} \frac{e}{p-e}$$

Ειδική υγρασία s :

$$s = \frac{\rho_v}{\rho_{\nu\alpha}} = \frac{5}{8} \frac{e}{p - 3e/8} \approx \frac{5}{8} \frac{e}{p}$$



Κατακρημνίσιμο νερό : Η περιεχόμενη σε ένα στρώμα αέρα ποσότητα υγρασίας που μπορεί να εκφραστεί σε ισοδύναμο πάχος στρώματος νερού.

Η μάζα υδρατμών, η οποία περιέχεται σε μια στήλη αέρα με βάση εμβαδού A και ύψος dz , είναι $dm = \rho_v A dz$. Για στήλη αέρα, η οποία εκτείνεται από ύψος z_1 σε ύψος z_2 , η μάζα αυτή θα είναι :

$$m = \int_{z_1}^{z_2} \rho_v A dz$$



Δεδομένου ότι στην ατμόσφαιρα επικρατούν, κατά μεγάλη προσέγγιση, συνθήκες υδροστατικής διανομής της πίεσεως, η σχέση μεταξύ πίεσεως και υψομέτρου εκφράζεται με την εξίσωση :

$$dp = - \rho_{υα} g dz$$

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας



Ύψος κατακρημνίσιμου νερού :

$$h = \frac{1}{\rho g} \int_{p_2}^{p_1} s \, dp$$

ρ = η πυκνότητα του νερού

p_1 και p_2 = η ατμοσφαιρική πίεση αντίστοιχα στα ύψη z_1 και z_2 .

s = η ειδική υγρασία στο ύψος z όπου αντιστοιχεί ατμοσφαιρική πίεση p .



Ο υπολογισμός του ολοκληρώματος της προηγούμενης εξίσωσης επιτυγχάνεται προσεγγιστικώς με την διαίρεση της στήλης ύψους ($z_2 - z_1$) σε στρώματα σε καθένα από τα οποία η ειδική υγρασία δύναται να θεωρηθεί ότι κατανέμεται ομοιομόρφως.

$$h = 1.02 \sum [\bar{s} \Delta p]$$

s =(σε g/g) είναι η μέση τιμή της ειδικής υγρασίας σε καθένα από τα στρώματα αυτά.

Δp = η διαφορά πίεσεως (σε mb) μεταξύ των άκρων κάθε στρώματος.

Σ = το άθροισμα των σχετικών τιμών για όλα τα στρώματα



Μέτρηση της υγρασίας, γεωγραφική κατανομή και χρονικές μεταβολές

Η μέτρηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας επιτυγχάνεται με :

- **Ψυχρόμετρο**
 - Ξηρό θερμόμετρο
 - Υγρό θερμόμετρο
- **Υγρόμετρο με τρίχα**
- **Υγρογράφος**
- **Ηλεκτρικό υγρόμετρο**



Όργανα μέτρησης της υγρασίας



ψυχρόμετρο



ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα οι **Αυτόματοι Μετεωρολογικοί Σταθμοί (ΑΜΣ)**. Οι ΑΜΣ συλλέγουν, καταγράφουν, αποθηκεύουν, μεταφέρουν και επεξεργάζονται με τον κατάλληλο εξοπλισμό τους τις κλιματολογικές παραμέτρους.

Ένας **ΑΜΣ** περιλαμβάνει την **Κεντρική Μονάδα** και ένα σύστημα **αισθητών**, ο καθένας των οποίων παρακολουθεί μια ορισμένη μετεωρολογική παράμετρο.



ΕΙΔΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΩΝ

Ο όρος **κατακρημνίσματα** χρησιμοποιείται για να περιγράψει μαζικά τις μετρήσιμες ποσότητες νερού που φτάνουν στην επιφάνεια της γης ως συνέπεια της υγροποίησης ατμοσφαιρικών υδρατμών. Στην Ελλάδα κυριαρχούν τρεις κύριες μορφές κατακρημνισμάτων:

- **Βροχή:** είναι το συνηθέστερο φαινόμενο, υπερέχει ποσοτικά πολύ των άλλων μορφών κατακρημνισμάτων και δημιουργεί τα σημαντικότερα φαινόμενα επιφανειακής απορροής. Η **βροχή** αποτελείται από σταγόνες νερού διαμέτρου συνήθως από 0.5 μέχρι 6 mm.
- **Χιόνι:** είναι η κυριότερη πηγή της εαρινής και θερινής απορροής
- **Χαλάζι:** έχει καταστροφικά αποτελέσματα, ιδίως στη γεωργία

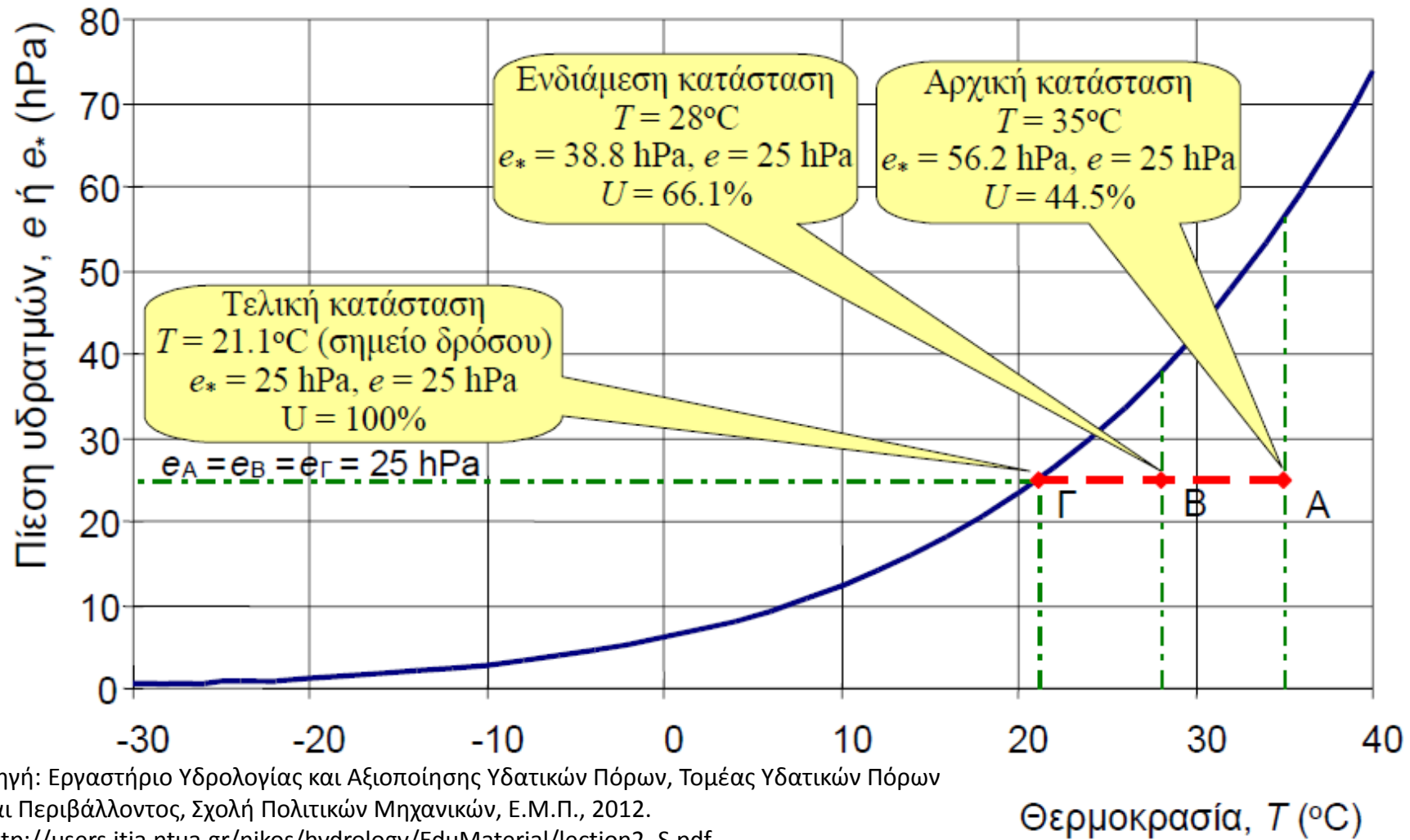
Υπάρχουν και άλλες μορφές κατακρημνισμάτων, όπως π.χ. το **χιονόβροχο**

Διαφορετικό μηχανισμό γέννησης και μικρότερη σημασία για την υδρολογία έχουν οι **υδρολογικές αποθέσεις** που περιλαμβάνουν τη **δρόσο**, τη **πάχνη**, τη **βρέχουσα ομίχλη** και την **αχλύ**.



ΦΥΣΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΩΝ

ΣΧΕΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΥΔΡΑΤΜΩΝ, ΠΙΕΣΗΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ, ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ, ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟΥ ΔΡΟΣΟΥ

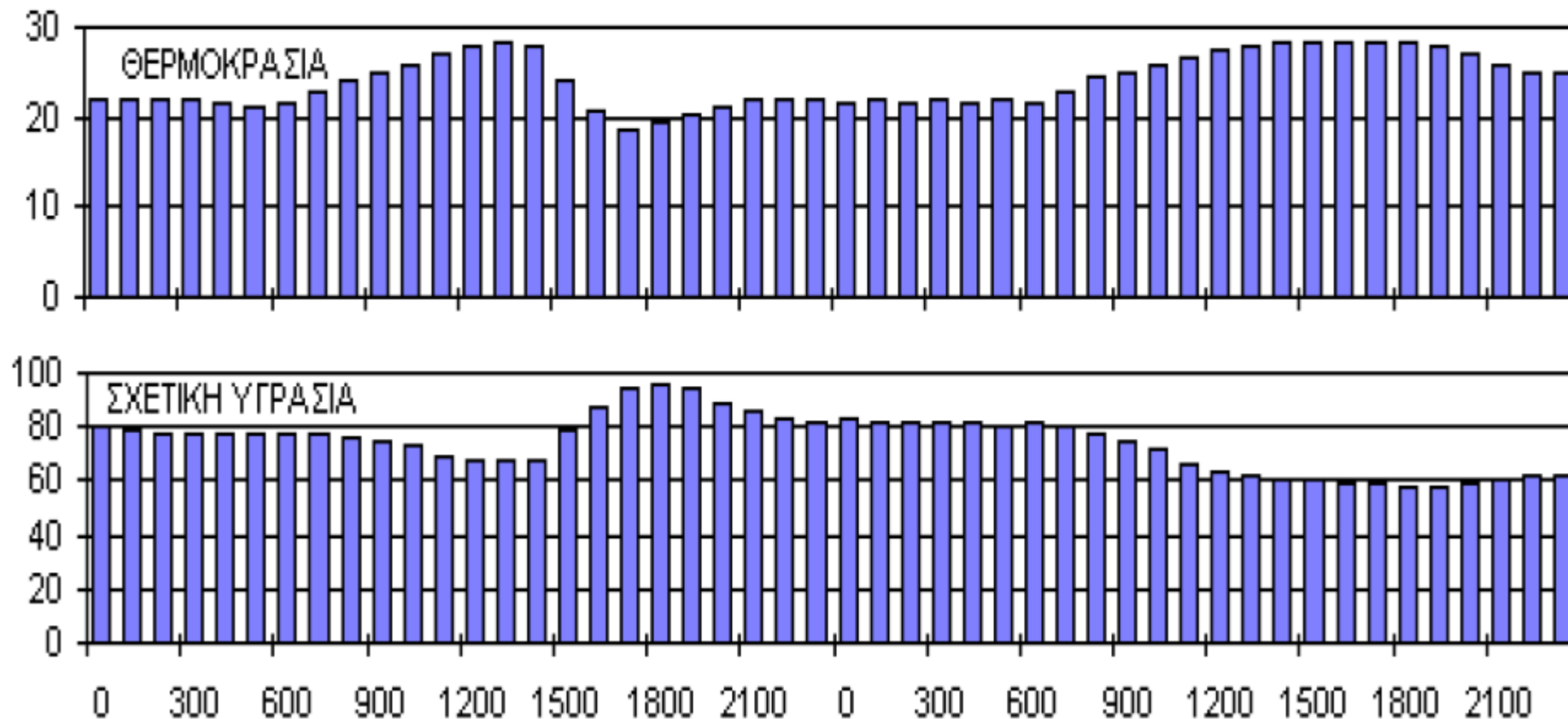


Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012.
http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lection2_S.pdf



ΦΥΣΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΩΝ

ΣΧΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ



Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012. http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lection2_S.pdf



ΦΥΣΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΩΝ

ΓΕΝΕΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΩΝ

- Δημιουργία θερμοδυναμικής κατάστασης κορεσμού των υδρατμών. Σχεδόν πάντα είναι αποτέλεσμα της διόγκωσης και ψύξης του εμπλουτισμένου σε υγρασία αέρα κατά την ανοδική πορεία του. Η ανοδική κίνηση ευνοείται σε συνθήκες *ασταθούς ατμόσφαιρας*, δηλαδή σε συνθήκες απότομης μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα με το υψόμετρο
- Συμπύκνωση των υδρατμών σε λεπτά σταγονίδια ενδεικτικής μέσης διαμέτρου 10 ως 30 μm ή μικρούς κρυστάλλους (ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατεί). Για να πραγματοποιηθεί απαιτείται η διεργασία της *πυρηνοποίησης*

ΠΥΡΗΝΟΠΟΙΗΣΗ (NUCLEATION PROCESS). Η δράση ειδικών σωματιδίων (πυρήνες) κατά την υγροποίηση των υδρατμών στα νέφη. Η υγροποίηση απαιτεί τη δημιουργία διεπιφανείας μεταξύ της υγρής και της αέριας φάσης και άρα την ύπαρξη υγροσκοπικών πυρήνων. Η διεργασία έχει μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις και πραγματοποιείται δυσκολότερα αν ο πυρήνας αποτελείται από μόρια νερού (ομογενής πυρηνοποίηση). Αντίθετα η διεργασία ευνοείται αν ο πυρήνας έχει διαφορετική προέλευση όπως σκόνη, προϊόντα καύσης, κρύσταλλοι άλατος (ετερογενής πυρηνοποίηση).

- Εντυπωσιακή αύξηση της μάζας των σταγόνων (ή των κρυστάλλων πάγου) σε *μεγέθη κατακρημνίσιμα*. Η αύξηση μπορεί να είναι 10^6 φορές και πραγματοποιείται μέχρις ότου οι δυνάμεις βαρύτητας της μεμονωμένης σταγόνας υπερνικήσουν την αιώρηση που της δημιουργεί η τυρβώδης διάχυση (διεργασίες *σύμφυσης των σταγονιδίων - ανάπτυξης των παγοκρυστάλλων*)

ΣΥΜΦΥΣΗ ΝΕΦΟΣΤΑΓΟΝΙΔΙΩΝ

(COALESCENCE PROCESS). Ο σχηματισμός μιας μόνον υγρής σταγόνας από την ένωση δύο ή περισσότερων σταγόνων που συγκρούονται. Η διεργασία πραγματοποιείται στα *θερμά νέφη*, όπου με τις συγκρούσεις μεταξύ των νεφοσταγονιδίων επιτυγχάνεται ο πολλαπλασιασμός της μάζας τους σε κατακρημνίσιμα μεγέθη.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΑΓΟΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ (ICE CRYSTAL PROCESS).

Η επαύξηση της μάζας των παγοκρυστάλλων με την απορρόφηση των γειτονικών υγρών σταγόνων. Η διεργασία πραγματοποιείται στα *ψυχρά νέφη*, όπου σε θερμοκρασίες μικρότερες του μηδενός συνυπάρχουν παγοκρύσταλλοι με νεφοσταγονίδια. Όταν τα τελευταία παγώνουν πριν ενωθούν με τους παγοκρυστάλλους έχουμε την διεργασία της *πρόσφυσης* (accretion)

- Συνεχής τροφοδότηση με νέους υδρατμούς, ώστε να συντηρηθούν επί αρκετό χρόνο οι διεργασίες των τριών προηγούμενων βημάτων



ΧΙΟΝΙ

- Το **χιόνι (snow)** είναι μορφή κατακρήμνισης που δημιουργείται από τη συμπύκνωση των υδρατμών σε θερμοκρασία κατώτερη των 0°C. Κατακρημνίζεται με τη μορφή απλών κρυστάλλων ή συνδυασμών και εναποτίθεται στο έδαφος σαν **χιονοκάλυψη (snow cover)**, εκτός αν λειώσει κατά τη διαδρομή του στην ατμόσφαιρα και να μετατραπεί σε βροχή.
- Συνεχής χιονόπτωση μπορεί να σχηματίσει **συσσώρευση χιονιού (snow pack)** στο έδαφος. Στις πολικές περιοχές αλλά και στα ψηλότερα όρη, όπου πέφτει σε μεγάλη ποσότητα και έκταση, η πίεση των επάνω στρώσεων το μετατρέπει σε πάγο, σχηματίζοντας έτσι τους **παγετώνες (glacier)**.
- Μετά την εναπόθεση του χιονιού αρχίζει η διαδικασία του **μεταμορφισμού** όπου οι δενδριτικοί παγοκρύσταλλοί αποσυντίθενται σε θραύσματα τα οποία στη συνέχεια μεγαλώνουν και γίνονται πιο στρογγυλά. Εάν υπάρχει θερμοβαθμίδα στο συσσωρευμένο χιόνι οι μεγαλύτεροι κόκκοι σχηματίζονται κοντά στο έδαφος και ονομάζονται **πάχνη βάθους (depth hoar)**.
- Σε διαλέκτους βορείων χωρών (Γροιλανδία, Σκανδιναβία) υπάρχουν δεκάδες λέξεις για να περιγράψουν το χιόνι όχι μόνο ως προς τη μορφή του αλλά και σε άλλα χαρακτηριστικά

Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012.
http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lection2_S.pdf



ΧΑΛΑΖΙ

- ▶ Τα υδροσταγονίδια και οι παγοκρύσταλλοι που βρίσκονται μέσα στα σύννεφα μεταφέρονται πάνω και κάτω από τα ισχυρά ανοδικά και καθοδικά ρεύματα. Στους σωρειτομελανίες οι θερμοκρασίες στα ανώτερα στρώματα μπορούν να φτάσουν και τους $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Έτσι σταγόνες οι οποίες ανεβαίνουν παγώνουν και στη συνέχεια μεταφέρονται στα κατώτερα στρώματα όπου οι θερμοκρασίες είναι θετικές και δημιουργείται ένα υγρός μανδύας γύρω τους ο οποίος στη συνέχεια παγώνει όταν μεταφέρονται εκ νέου στα ανώτερα στρώματα. Αυτή η διεργασία συνεχίζεται και το μέγεθος του χαλαζόκοκκου αυξάνει μέχρι που γίνεται αρκετά βαρύν ώστε να υπερνικήσει τα ανοδικά ρεύματα και να πέσει στο έδαφος.
- ▶ Οι καταστροφές είναι ανάλογες του μεγέθους (συνήθως μεταξύ 0.5 και 15 cm), της ταχύτητας πτώσης και της διάρκειας (συνήθως είναι λίγα λεπτά). Έχουν παρατηρηθεί χαλαζόκοκκοι βάρους ενός κιλού στην Ουγκάντα που είχαν αποτέλεσμα το θάνατο 96 ανθρώπων (*Γ. Μελανίτης, Ο καιρός και τα μυστικά του*)



Χαλαζόκοκκος οπού διακρίνεται η σύμφυση παγοκρυστάλλων



Χαλαζόκοκκοι στους οποίους διακρίνονται οι διαδοχικοί μανδύες

Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012. http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lection2_S.pdf



ΟΜΙΧΛΗ

Η ομίχλη είναι φαινόμενο που συμβαίνει στην ατμόσφαιρα, πολύ κοντά στην επιφάνεια της γης και αποτελείται από μικρά υδροσταγονίδια προερχόμενα από την συμπύκνωση των υδρατμών. η οποία συμβαίνει όταν η αέρια μάζα που είναι σε επαφή με τη γη ψύχεται. Κατά συνέπεια η ομίχλη είναι απλά ένα χαμηλό νέφος.

Η ομίχλη προκαλεί ελάττωση της ορατότητας δημιουργώντας προβλήματα στις συγκοινωνίες. Ανάλογα με τη ορατότητα η ομίχλη διακρίνεται σε

Ξηρή Αχλύ (ορατότητα > 2 km), **Υγρή Αχλύ** (ορατότητα 1-2 km) και

Ομίχλη (ορατότητα <1 km)

Ανάλογα με το μηχανισμό δημιουργίας της διακρίνεται σε:

Ομίχλη ακτινοβολίας. Δημιουργείται όταν το έδαφος ψύχεται λόγω της νυκτερινής ακτινοβολίας της γης και κατά συνέπεια ψύχεται και ο αέρας που έρχεται σε επαφή με αυτό. Η διεργασία ευνοείται όταν υπάρχει μεγάλη σχετική υγρασία, αίθριος και ασθενής άνεμος ενώ αντίθετα η ομίχλη διαλύεται όταν ενισχύεται ο άνεμος και αυξάνεται η θερμοκρασία.

Ομίχλη αναμίξεως. Δημιουργείται όταν συναντώνται δύο αέριες μάζες διαφορετικής θερμοκρασίας και υγρασίας και η προκύπτουσα αέρια μάζα από την ανάμιξη αυτή έχει θερμοκρασία τέτοια ώστε να συμπυκνωθούν οι υδρατμοί που περιέχει

Ομίχλη μεταφοράς. Δημιουργείται από την μεταφορά υγρού και σχετικά θερμού αέρα πάνω από ψυχρότερη επιφάνεια.

Θαλάσσιο καπνό. Είναι η ομίχλη μεταφοράς όταν συμβαίνει πάνω από τη θάλασσα



ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ

- Οι **καταιγίδες** είναι βίαια ατμοσφαιρικά φαινόμενα που χαρακτηρίζονται από ραγδαίες βροχές, ισχυρούς ανέμους με μεταβλητή ένταση και διεύθυνση, οι οποίοι συνήθως φτάνουν τα 50-80 km/h ή ακόμα και τα 100 km/h, από ισχυρές ηλεκτρικές εκκενώσεις (κεραυνούς) και πολλές φορές από χαλάζι. Η διάρκεια μιας καταιγίδας είναι συνήθως μικρότερη από δύο ώρες αλλά οι υψηλές εντάσεις βροχής είναι ικανές να προκαλέσουν πλημμύρες.
- Η καταιγίδα αναπτύσσεται όταν η ατμόσφαιρα είναι έντονα ασταθής (δηλαδή, ευνοούνται οι ανοδικές κινήσεις των αερίων μαζών) και υπάρχει μεγάλη ποσότητα υδρατμών στα κατώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, ο θερμός και υγρός αέρας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους ανέρχεται γρήγορα και ψύχεται. Η υγρασία που υπάρχει στην ατμοσφαιρική μάζα συμπυκνώνεται σε παγοκρυστάλλους και υδροσταγονίδια με αποτέλεσμα το σχηματισμό ογκωδών νεφών.
- Η ανάπτυξη των καταιγιδοφόρων νεφών (**σωρειτομελανίες – cumulonimbus Cb**) είναι το κύριο χαρακτηριστικό της καταιγίδας. Τα νέφη αυτά έχουν πολύ μεγάλο όγκο και μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη. Η κορυφή τους μπορεί να ξεπεράσει και τα 12 km. Το ανώτερο τμήμα τους σχεδόν πάντα απλώνεται με τη μορφή άκμονα, ενώ η βάση τους είναι οριζόντια σε χαμηλό ύψος από το έδαφος



ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ

- Οι καταιγίδες υπάγονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους:
 - αέριας μάζας (τοπικές ή θερμικές),
 - ορογραφικές και
 - μετωπικές.

Στην Ελλάδα οι πρώτες δημιουργούνται κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές, οι δεύτερες στα δυτικά προσήνεμα του ορεινού όγκου της ηπειρωτικής χώρας και οι τρίτες κυρίως την περίοδο Νοεμβρίου-Μαΐου και συνδέονται με την διέλευση υφέσεων από τον Ελληνικό χώρο.



ΣΩΡΕΙΤΟΜΕΛΑΝΙΕΣ - CUMULONIMBUS (CB)

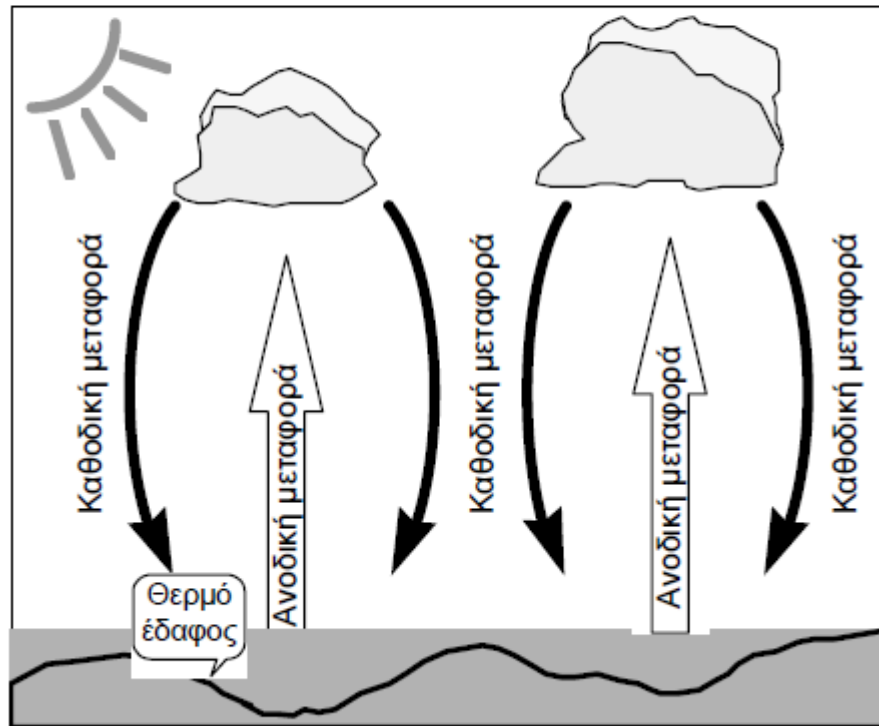


Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012. http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lecture2_S.pdf

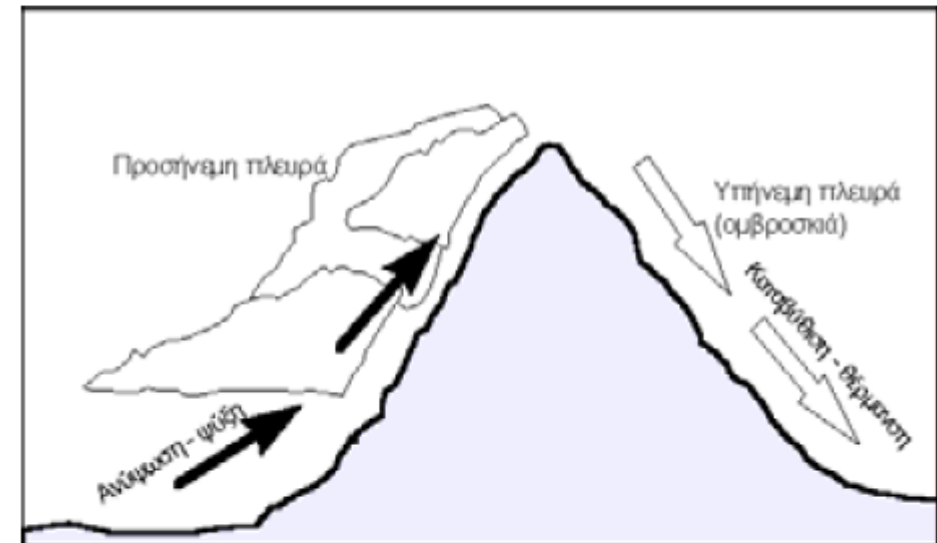


ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΩΝ

ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΕΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



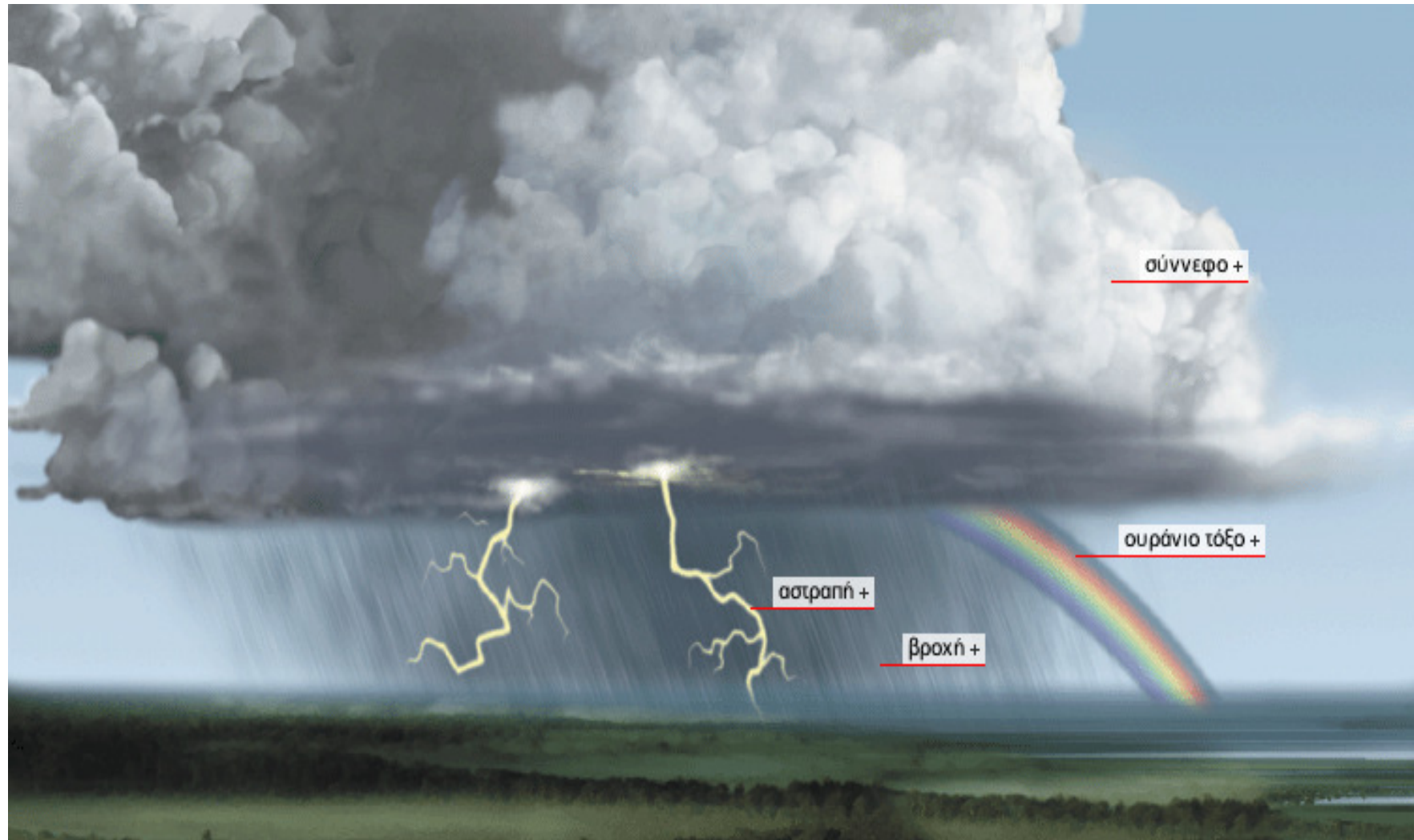
ΟΡΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012. http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lection2_S.pdf



ΚΑΤΑΙΓΙΔΑ



ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΩΝ

Αρχές μετρήσεως των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων

- Οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις μετρούνται βασικά με το πάχος του υδάτινου στρώματος το οποίο θα σχηματιζόταν σε μια οριζόντια επιφάνεια εάν οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις παρέμεναν στην θέση πτώσεως χωρίς καμιά απώλεια. Το πάχος αυτό του υδάτινου στρώματος χαρακτηρίζεται ως **ύψος** της ατμοσφαιρικής κατακρημνίσεως και εκφράζεται σε χιλιοστόμετρα [mm].
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την Τεχνική Υδρολογία έχει και η ένταση της ατμοσφαιρικής κατακρημνίσεως, όπου είναι το πραγματοποιούμενο ύψος της ατμοσφαιρικής κατακρημνίσεως σε μια μονάδα του χρόνου.
- Ιδιαίτερη σημασία έχει η ένταση των ραγδαίων βροχών.
- Η αρχή στην οποία στηρίζεται η μέτρηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων συνίσταται στην τοποθέτηση των οργάνων σε ανοικτό χώρο.



Βροχόμετρα: Παρέχουν μόνον το συνολικό ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων.

Βροχογράφοι: Παρέχουν το εκάστοτε ύψος της ατμοσφαιρικής κατακρημνίσεως ως συνάρτηση του χρόνου.

Η μέτρηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων εμφανίζει σημαντικές δυσχέρειες, τεχνικές και οικονομικές.

- **Τεχνικές δυσχέρειες:**

- Έχουμε σημαντική μεταβολή του μεγέθους μιας ατμοσφαιρικής κατακρημνίσεως ανάλογα με την θέση τοποθέτησης του οργάνου(μικρή εμβέλεια, φυσικά εμπόδια).
- Η παρουσία του οργάνου δημιουργεί αεροδυναμικές διαφορές στον χώρο που μεταβάλλουν το αποτέλεσμα.

- **Οικονομικές δυσχέρειες:**

- Χρειάζεται μεγάλος αριθμός βροχομέτρων για λεπτομερείς μετρήσεις, πράγμα που έρχεται σε σύγκρουση με το υπέρογκο κόστος για την επίτευξη αυτού του στόχου.



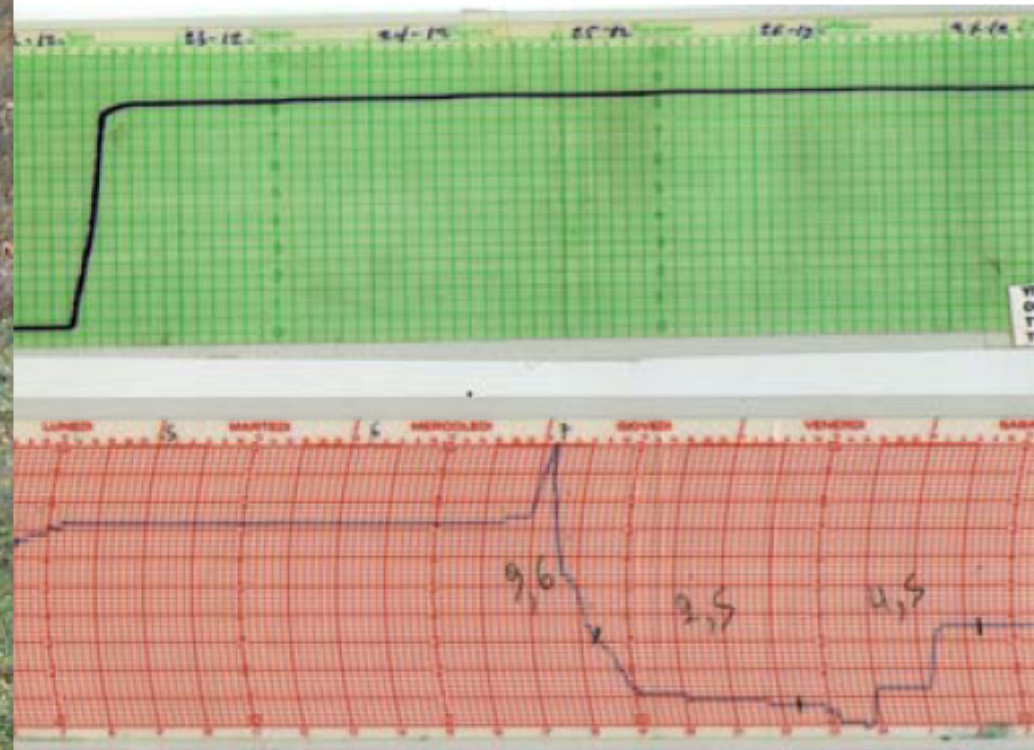
ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

(Συμβατικός τρόπος)

ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΣ



ΤΑΙΝΙΕΣ ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΥ



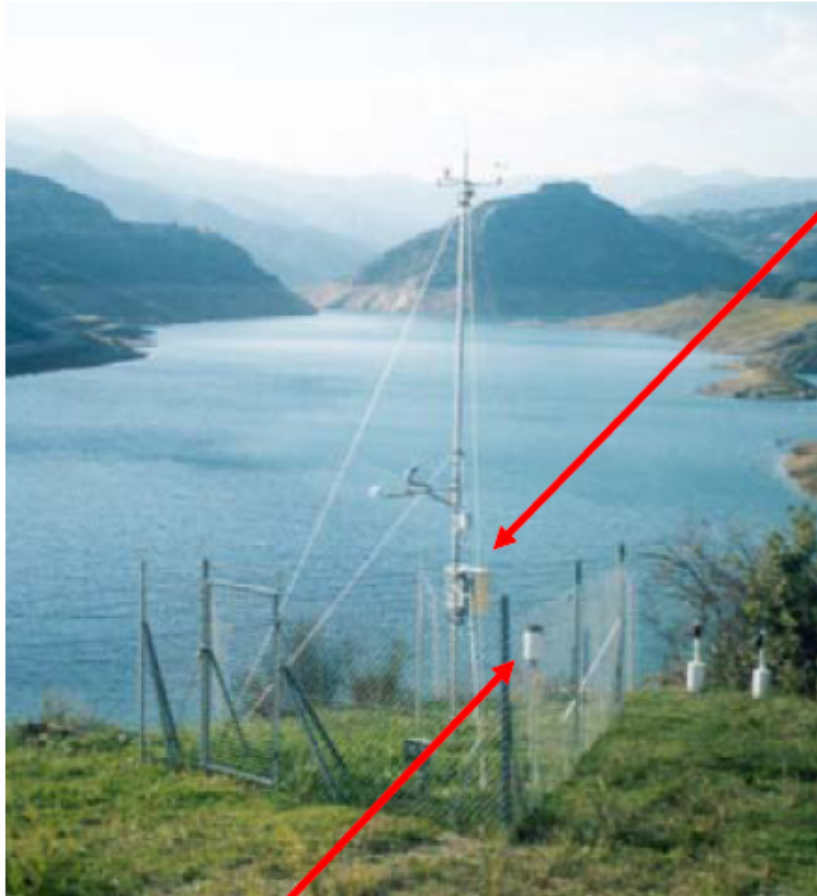
Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012.
http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lection2_S.pdf



ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

(Αυτόματος τρόπος)

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ



**Αισθητήρας
βροχής**

**Καταχωρητής δεδομένων
(data logger)**

Μεταφορά μετρήσεων σε υπολογιστή
(σε ομαλή λειτουργία μέσω τηλεφωνικής
γραμμής)

Εισαγωγή των
μετρήσεων σε
βάση
δεδομένων.
Έλεγχος,
επεξεργασία
και παραγωγή
χρονοσειρών

Διαδίκτυο

Πρωτογενείς
μετρήσεις σε
πραγματικό χρόνο

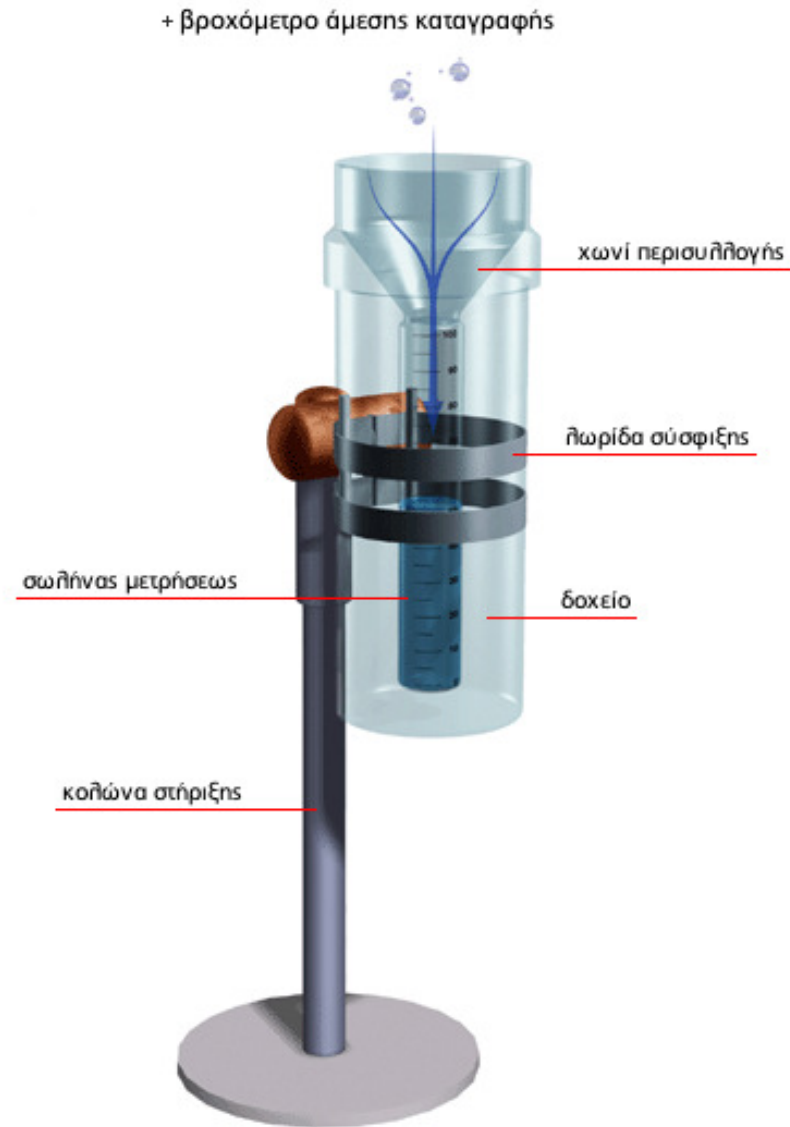
Επεξεργασμένες
ιστορικές
χρονοσειρές

Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012. http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lection2_S.pdf



Όργανα μετρήσεως των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων

1. Απλό βροχόμετρο



Όργανα μετρήσεως των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων

2. Ολοκληρωτικό βροχόμετρο

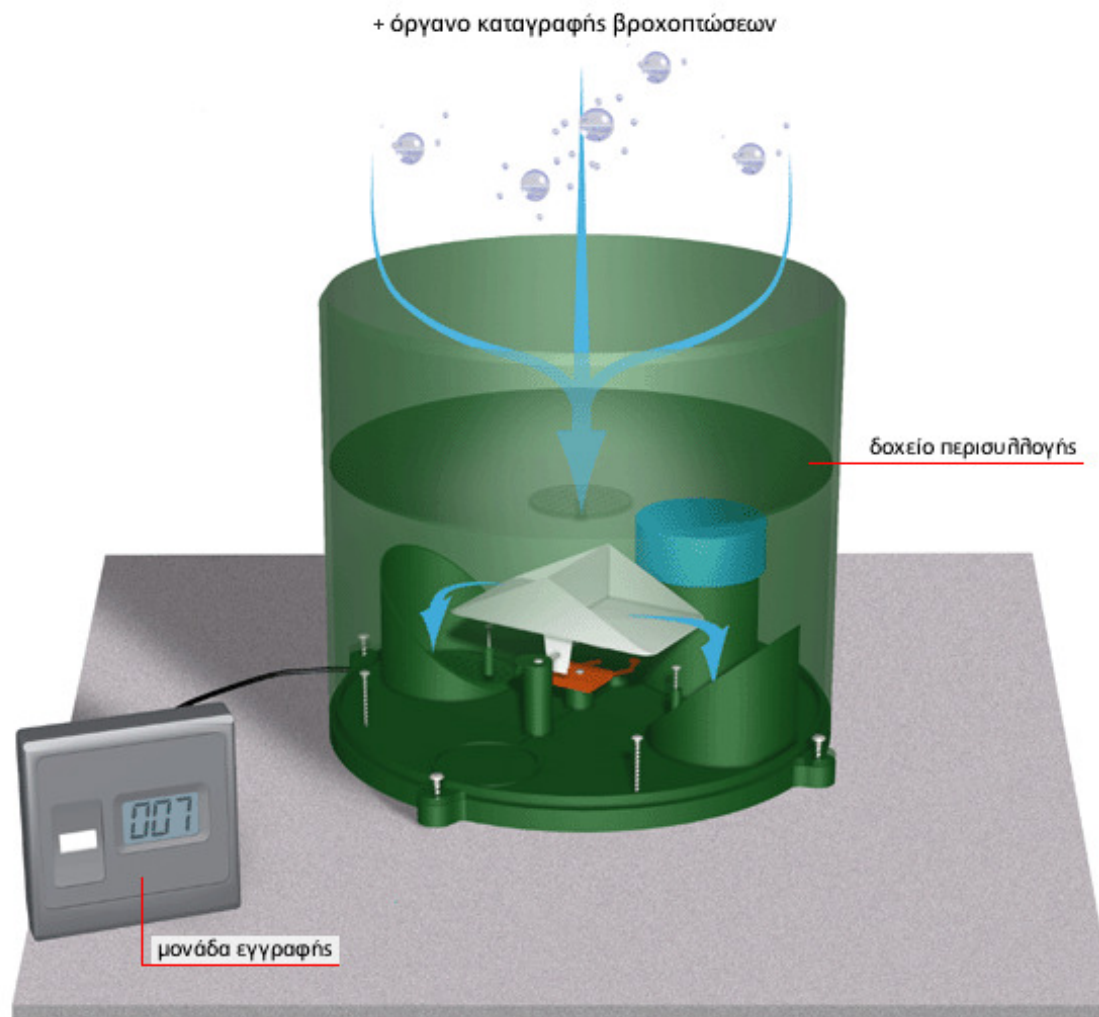
+ χιονόμετρο



Όργανα μετρήσεως των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων

3. Βροχογράφος

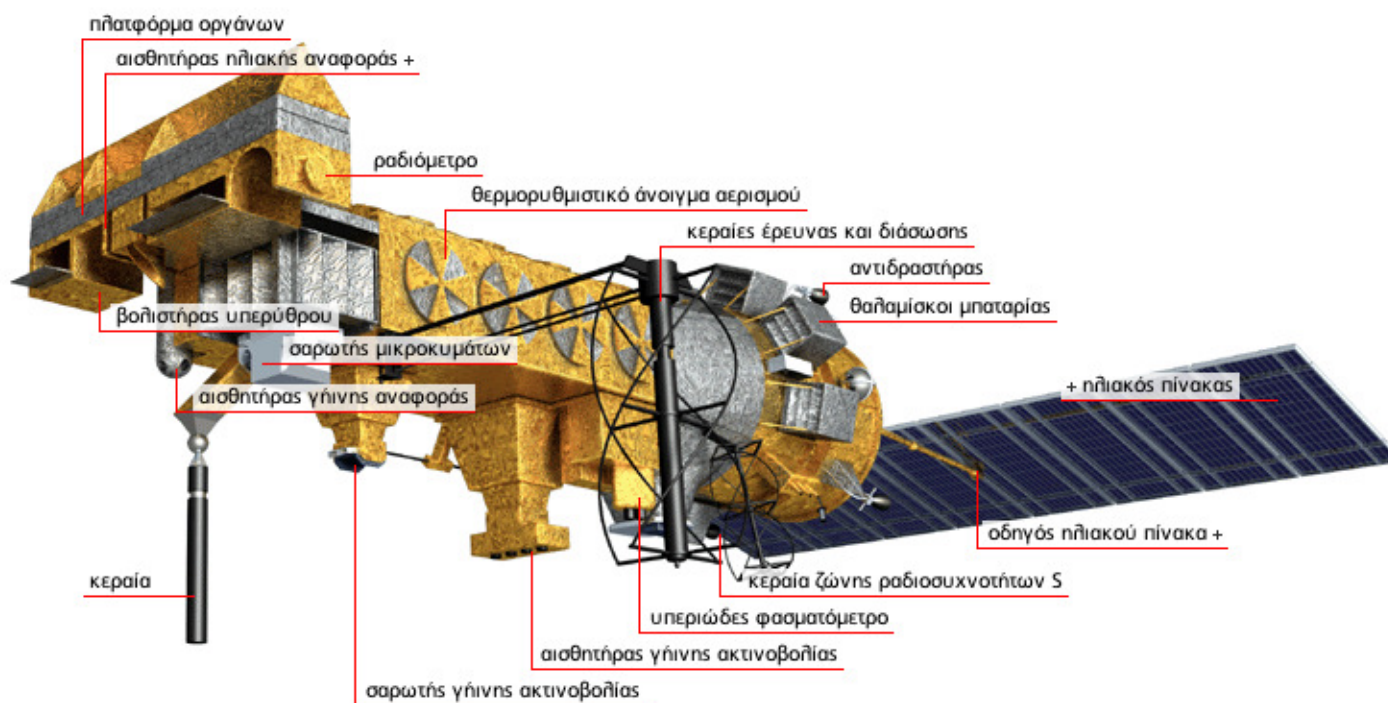
- Βροχογράφος με ανακλινόμενο κάδο



Όργανα μετρήσεως των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων

- Βροχογράφος με ζυγό.
 - Βροχογράφος με πλωτήρα.
4. Συσκευές RADAR.
 5. Τεχνητοί δορυφόροι.

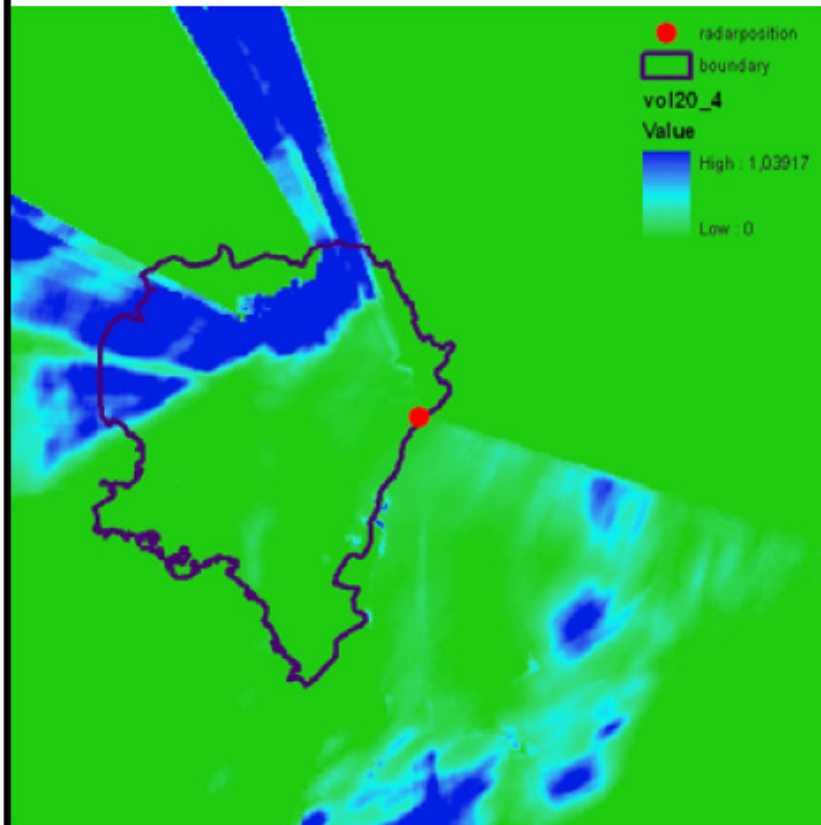
Μετεωρολογικός δορυφόρος πολικής τροχιάς



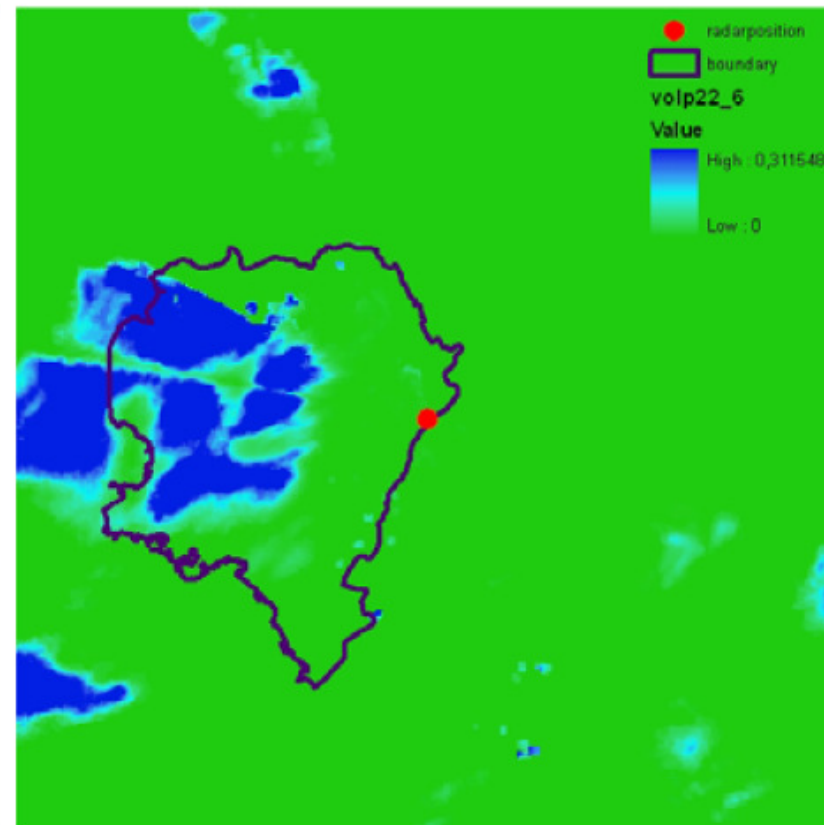
ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

Μετεωρολογικό radar

17/11/2008



20:40 UTC

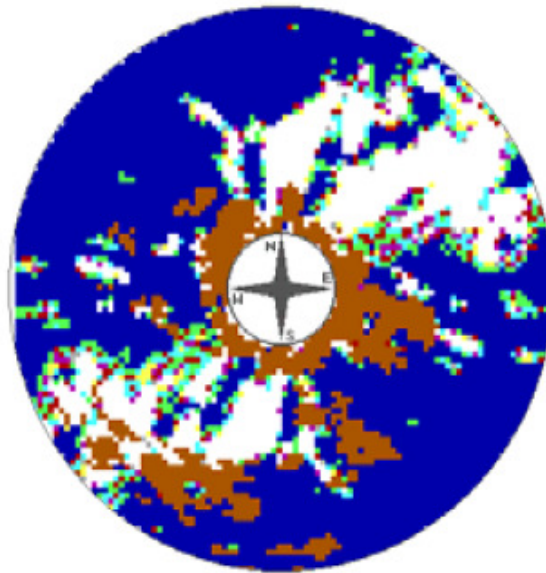
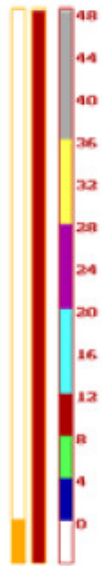


23:00 UTC

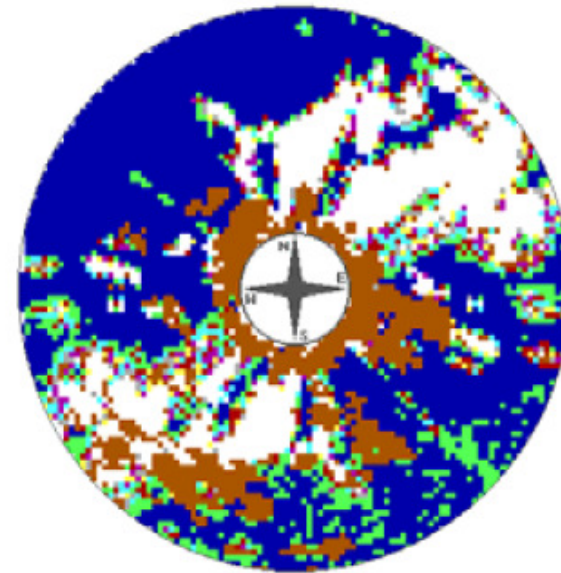
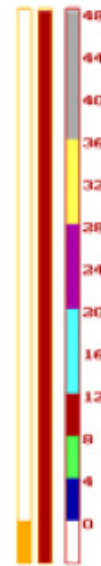


ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

Μετεωρολογικό radar



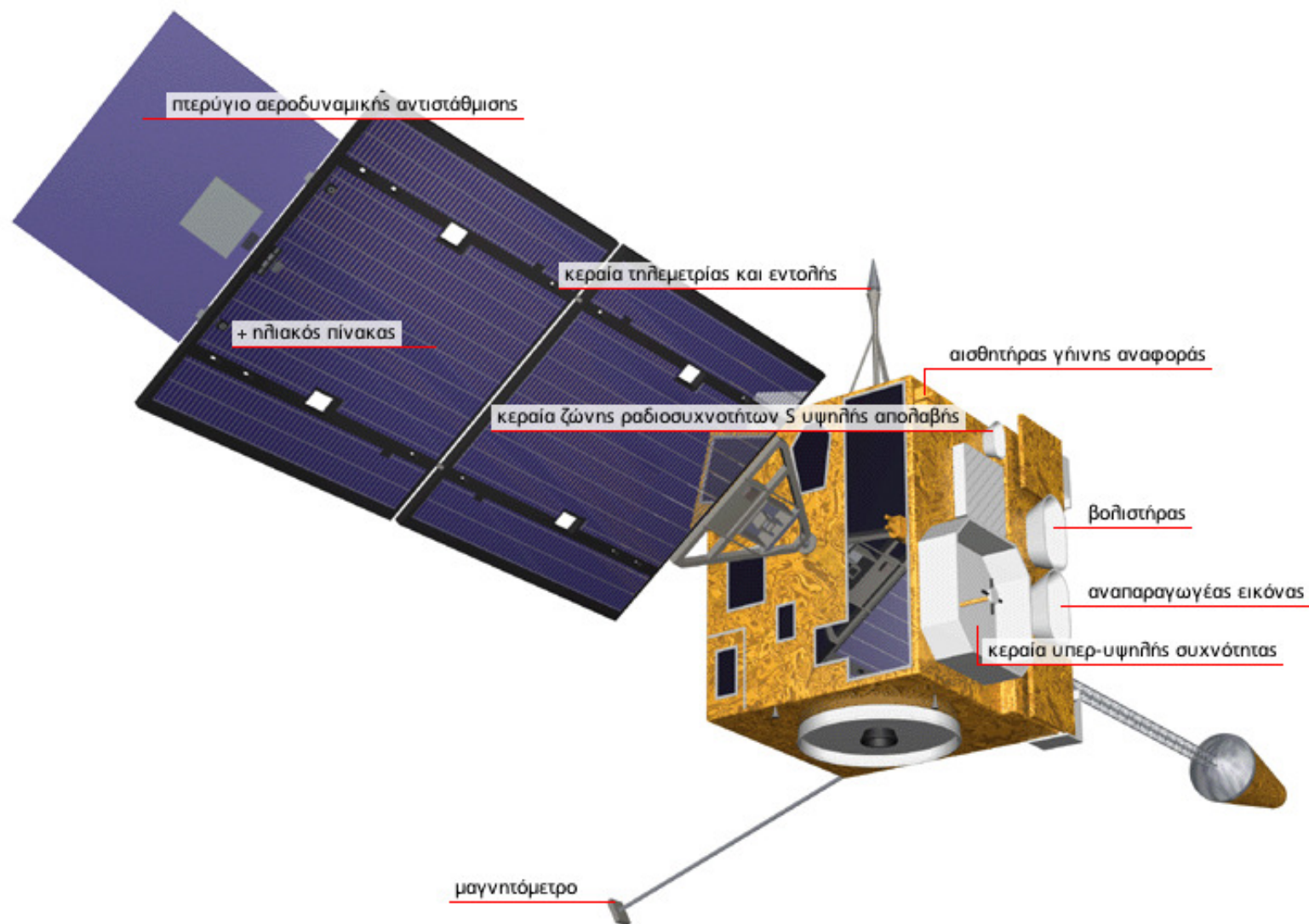
Μη ρυθμισμένο
πεδίο βροχής



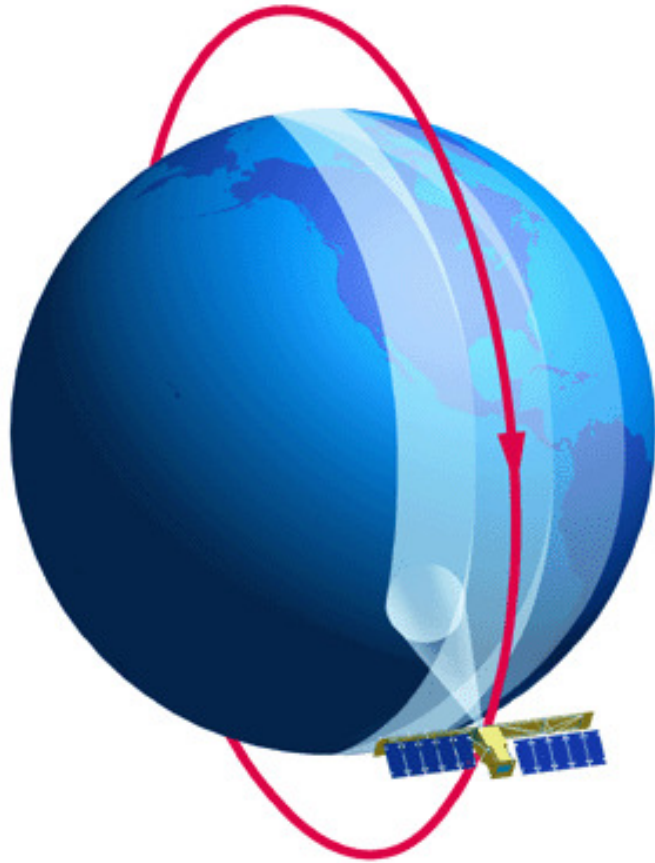
Πεδίο βροχής ρυθμισμένο
με επίγεια βροχόμετρα



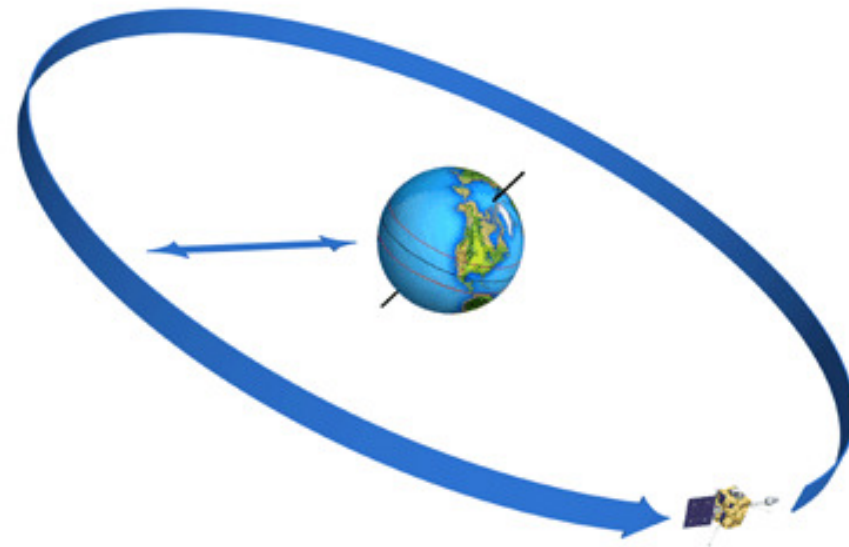
Γεωστατικός δορυφόρος



Τροχιά μετεωρολογικών δορυφόρων



πολική τροχιά



γεωστατική τροχιά



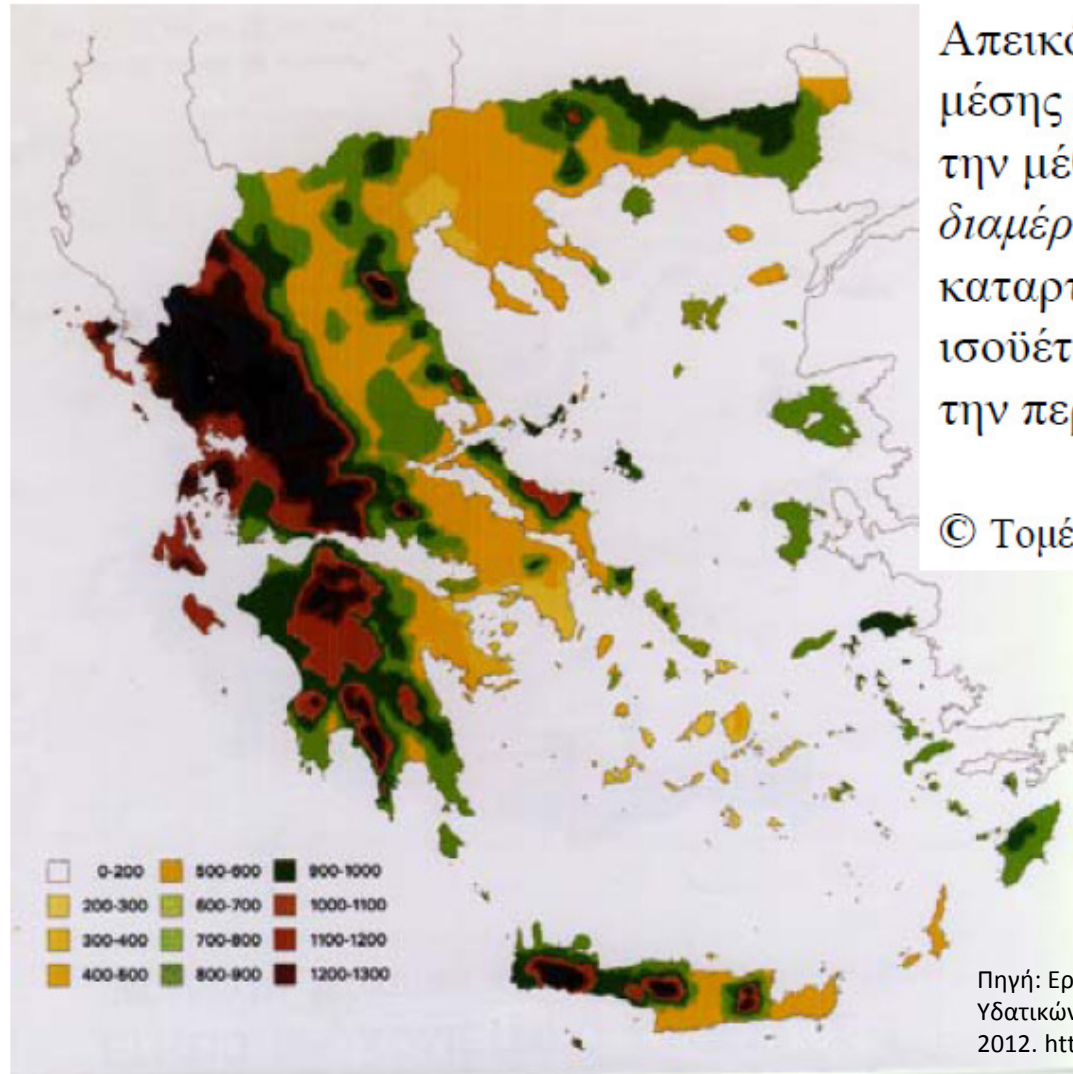
Προσδιορισμός του ισοδύναμου νερού στο χιόνι

- **Ισοδύναμο νερό ή υδατοϊσοδύναμο του χιονιού** χαρακτηρίζεται το ύψος του υδάτινου στρώματος το οποίο θα προέκυπτε ύστερα από τήξη του θεωρούμενου στρώματος χιονιού.
- Η συνηθέστερη μέθοδος προσδιορισμού του ισοδύναμου νερού του χιονιού γίνεται με δειγματοληψίες κατά μήκος του καλούμενου **διαδρόμου χιονομετρήσεων** ο οποίος επιλέγεται εκ των προτέρων ύστερα από σχετική επιτόπια μελέτη.



ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΩΝ

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ



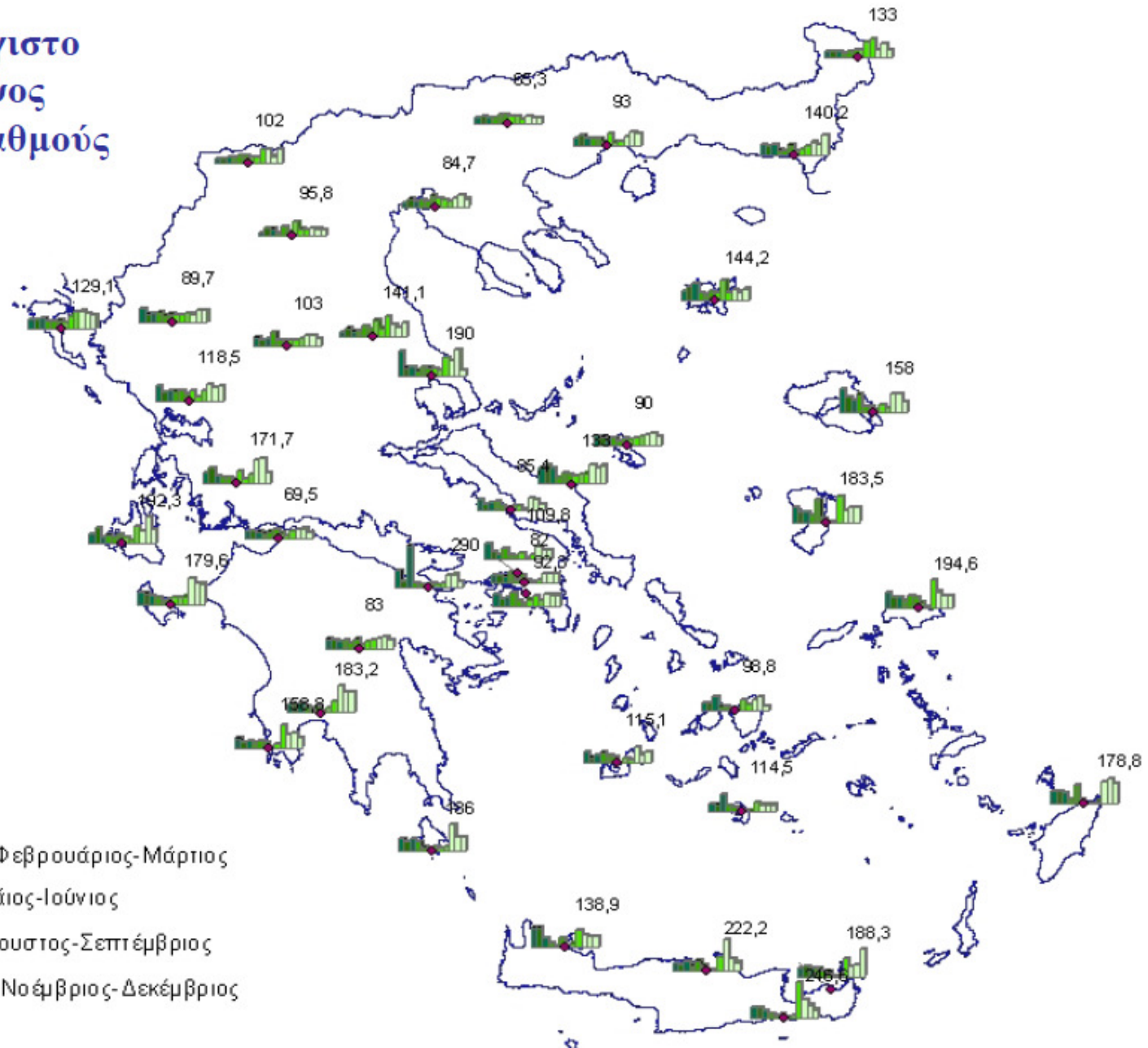
Απεικόνιση της επιφάνειας μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, με την μέθοδο της ψηφιδωτής διαμέρισης. Η επιφάνεια καταρτίστηκε με βάση τις ισοϋέτιες καμπύλες της ΔΕΗ για την περίοδο 1950-74.

© Τομέας Υδατικών Πόρων

Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012. http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lection2_S.pdf



Απόλυτο μέγιστο ημερήσιο ύψος υετού σε σταθμούς της ΕΜΥ 1965-1996



Πηγή: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., 2012.
http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/lecture2_S.pdf



Βροχομετρικά δίκτυα

- **Βροχομετρικό δίκτυο** χαρακτηρίζεται το δίκτυο που δημιουργείται από τους **βροχομετρικούς σταθμούς** μιας περιοχής και χρησιμοποιείται για την καταγραφή και ανάλυση των κατακρημνισμάτων.
- Η **πυκνότητα** και η **ποιότητα** ενός βροχομετρικού δικτύου εξαρτάται κυρίως από τους σκοπούς που εξυπηρετεί και την απαιτούμενη ακρίβεια των παρατηρήσεων.



ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πυκνότητα δικτύου σε σχέση με τις γενικές υδρομετεωρολογικές συνθήκες (Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός, WMO)

- Ένα βροχογράφο ανά 600-900 km² σε επίπεδες περιοχές για ήπιες μεσογειακές και τροπικές ζώνες
- Ένα βροχογράφο ανά 100-250 km² σε ορεινές περιοχές για ήπιες μεσογειακές και τροπικές ζώνες
- Ένα βροχογράφο ανά 25 km² σε ημιορεινές περιοχές με έντονη διαφοροποίηση στη βροχή
- Ένα βροχογράφο ανά 1500-10000 km² σε ξηρές και πολικές ζώνες.

Πυκνότητα σταθμών βροχομετρικών παρατηρήσεων ανάλογα με την έκταση αγροτικών υδρολογικών λεκανών (Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός, WMO)

Έκταση υδρολογικής λεκάνης, στρέμματα	Αναλογία Km ² / σταθμό	Ελάχιστος αριθμός σταθμών
0 - 120	0.13	1
120 - 140	0.20	2
400 - 800	0.25	3
800 - 2000	0.40	1 ανά 0.4 Km ²
2000 - 10000	1.00	1 ανά 1 Km ²
10000 - 20000	2.50	1 ανά 2.5 Km ²
>20000	7.50	1 ανά 7.5 Km ²



ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η επάρκεια ή μη ενός δικτύου βροχογράφων προσδιορίζεται στατιστικά. Ο βέλτιστος αριθμός βροχογράφων που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο ποσοστό λάθους στην εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης είναι:

$$N=(C_v/\epsilon)^2$$

όπου:

N = ο βέλτιστος αριθμός των βροχογράφων

C_v = ο συντελεστής μεταβλητότητας της βροχής των βροχογράφων

ϵ = το επιθυμητό ποσοστό λάθους

Η τυπική τιμή του ϵ είναι 10%. Εάν η τιμή αυτή μειωθεί, απαιτούνται περισσότεροι βροχογράφοι.

Εάν για παράδειγμα υπάρχουν m βροχογράφοι σε μία λεκάνη απορροής και $P_1, P_2, P_3, \dots, P_m$ είναι τα ύψη βροχής για συγκεκριμένο χρονικό βήμα, τότε ο συντελεστής C_v είναι:

$$C_v=100S/P$$

όπου P είναι η μέση τιμή της βροχόπτωσης που κατέγραψαν οι βροχογράφοι:

$$P = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_i$$

και S είναι η τυπική απόκλιση:

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2}{m-1} \right]^{0.5}$$

Επάρκεια δικτύων σημειακών μετρήσεων



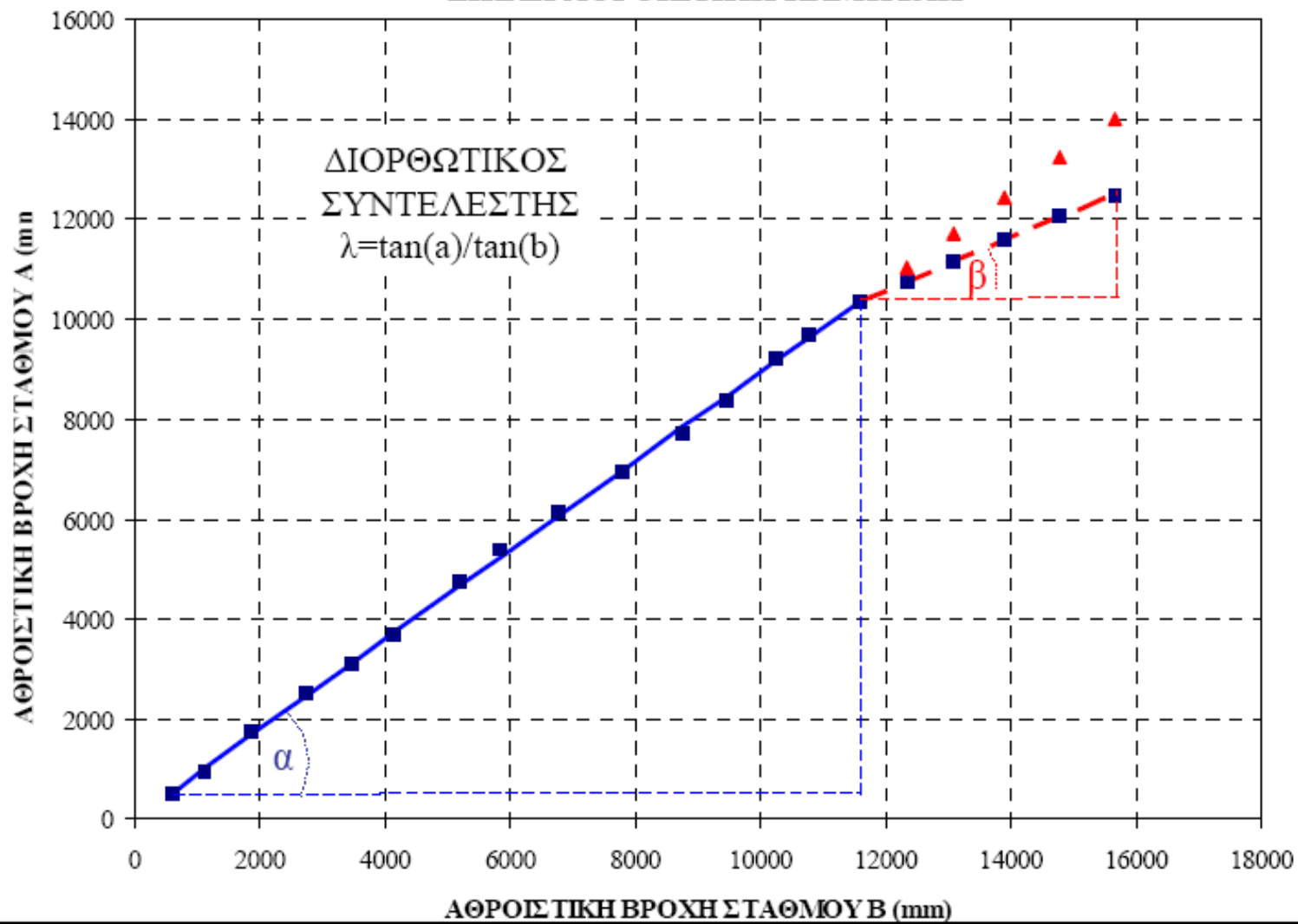
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ – ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΜΟΓΕΝΕΙΑΣ

- Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την μέτρηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (αντικατάσταση οργάνου, αλλαγή της θέσεως του κλπ.). Για να είναι, συνεπώς, οι βροχομετρικές παρατηρήσεις **ομογενείς**, οι παράγοντες αυτοί πρέπει να παραμένουν αμετάβλητοι.
- Για να ληφθεί υπόψη η σχετική επίδραση των παραγόντων αυτών, όταν έχουν επενεργήσει, ώστε οι παρατηρήσεις ενός Σταθμού να καταστούν ομογενείς, χρησιμοποιείται η τεχνική της **διπλής αθροιστικής καμπύλης**.
- Κατά την τεχνική αυτή τα αθροιστικά εποχιακά ή ετήσια ύψη βροχής του θεωρούμενου Σταθμού συγκρίνονται με τις αντίστοιχες αθροιστικές τιμές της μέσης βροχοπτώσεως μιας αντιπροσωπευτικής ομάδας γειτονικών Σταθμών, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως βασικοί. Η ομάδα αυτή πρέπει να περιλαμβάνει περί τους 10 βροχομετρικούς Σταθμούς, τα στοιχεία των οποίων έχουν ελεγχθεί και είναι ομογενή και αξιόπιστα.
- Σημαντική αλλαγή στην κλίση της προκύπτουσας καμπύλης υποδηλώνει ανομογένεια η οποία οφείλεται σε αλλαγή της θέσεως του οργάνου κατά το παρελθόν ή σε άλλη σχετική μεταβολή στον θεωρούμενο Σταθμό.
- Η διόρθωση επιτυγχάνεται με τον πολλαπλασιασμό των αρχικών στοιχείων με τον λόγο των κλίσεων των δύο τμημάτων της αθροιστικής καμπύλης (της κλίσης του νεότερου προς την κλίση του παλαιότερου).



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ

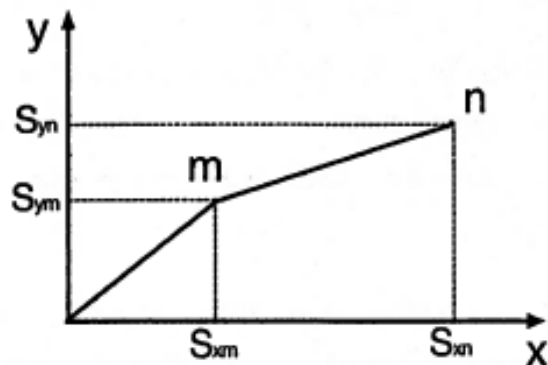
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΠΛΗΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

Η διπλή αθροιστική καμπύλη εξάγεται ως έξης: θεωρώντας δύο γειτονικούς σταθμούς X και Y , στους οποίους η χρονοσειρά ετήσιων βροχοπτώσεων συμβολίζεται με x και y , εξάγονται οι αθροιστικές χρονοσειρές, δηλαδή:

$$SX_j = \sum_{i=1}^j X_i \quad \text{ΚΑΙ} \quad SY_j = \sum_{i=1}^j Y_i$$



$$\lambda = \frac{SY_n - SY_m}{SX_n - SX_m} \cdot \frac{SX_m}{SY_m}$$

Ακολουθώντας, πολλαπλασιάζοντας τις τιμές y_{m+1} ως y_n με λ , η χρονοσειρά y διορθώνεται.



Επεξεργασία των βροχομετρικών παρατηρήσεων στο χώρο

Συμπλήρωση των βροχομετρικών παρατηρήσεων

- Σε αρκετούς μετεωρολογικούς σταθμούς για διάφορους λόγους μπορεί να έχουμε έλλειψη ορισμένων παρατηρήσεων που εμποδίζουν τις μετέπειτα εκτιμήσεις μας.
- Για τον σκοπό αυτόν χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην ύπαρξη ταυτόχρονων παρατηρήσεων σε γειτονικούς Σταθμούς οι οποίοι είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι γύρω από τον Σταθμό με τις ελλιπείς παρατηρήσεις και παρουσιάζουν υδρολογική ομοιογένεια.



Απλές Μέθοδοι Συμπλήρωσης Βροχόπτωσης

- i. Εάν το κανονικό ετήσιο ύψος βροχής καθενός από τους τρεις γειτονικούς Σταθμούς Α, Β, Γ διαφέρει από εκείνο του θεωρούμενου Σταθμού Χ κατά λιγότερο του 10%, τότε ο απλός αριθμητικός μέσος όρος των ενδείξεων των τριών Σταθμών αντικαθιστά την παρατήρηση που λείπει του υπόψη Σταθμού.
- ii. Εάν η παραπάνω διαφορά είναι μεγαλύτερη του 10% ακόμη και για έναν από τους τρεις Σταθμούς, τότε χρησιμοποιείται ο αριθμητικός μέσος όρος με βάρος ο οποίος δίνεται από την σχέση

$$P_X = \frac{1}{3} \left[\frac{N_X}{N_A} P_A + \frac{N_X}{N_B} P_B + \frac{N_X}{N_\Gamma} P_\Gamma \right]$$

- iii. Εάν διατίθεται επαρκής αριθμός ομοειδών παρατηρήσεων στους τέσσερις Σταθμούς, τότε με την εφαρμογή της πολλαπλής γραμμικής παλινδρομής θα προκύψει η σχέση

$$P_X = \alpha_0 + \alpha P_A + \beta P_B + \gamma P_\Gamma$$

$\alpha_0 \approx 0$

$$\alpha = N_X / 3 \cdot N_A, \beta = N_X / 3 \cdot N_B, \gamma = N_X / 3 \cdot N_\Gamma$$

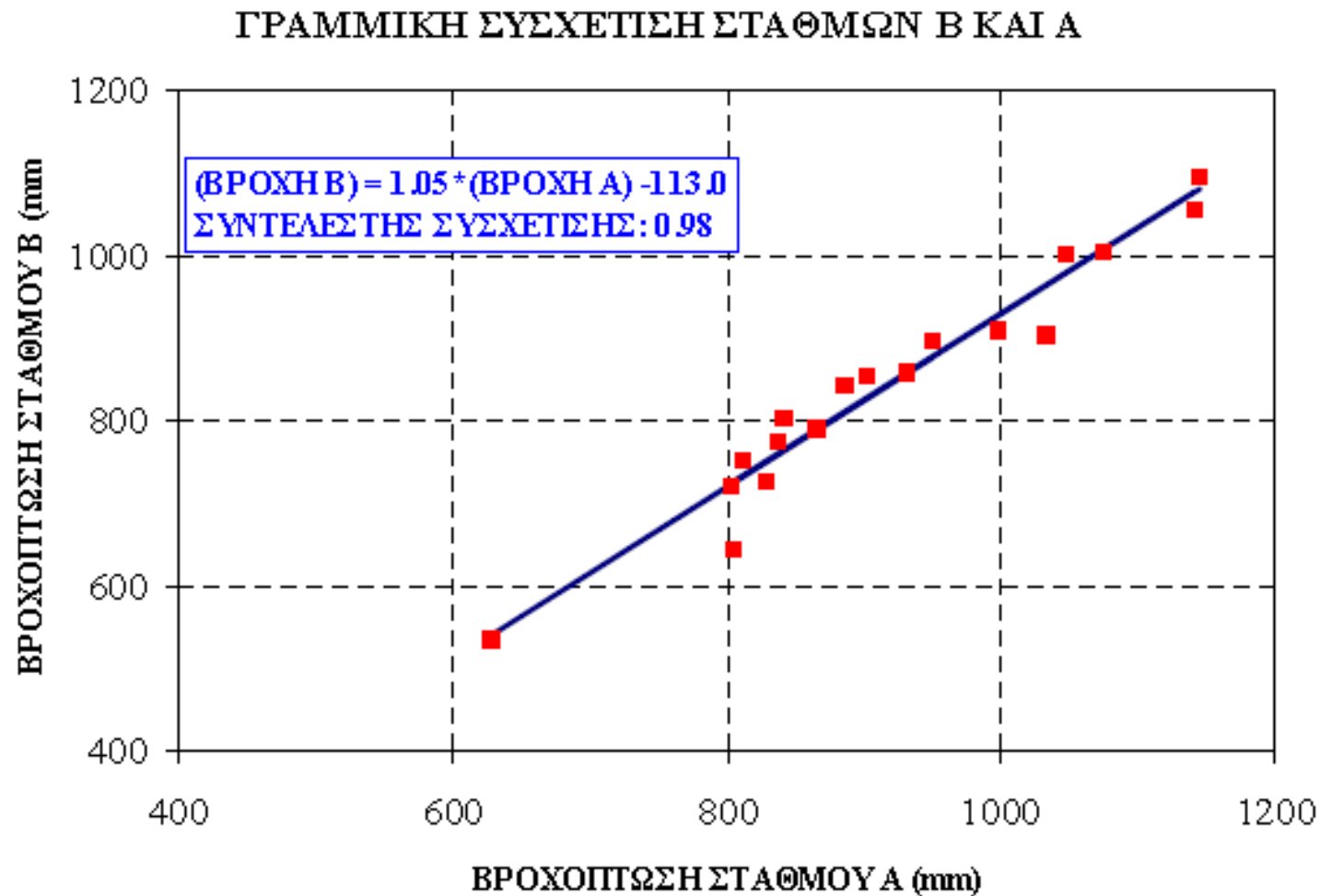
P = το ύψος βροχής της θεωρούμενης περιόδου

N = το κανονικό ετήσιο ύψος βροχής

Οι δείκτες υποδηλώνουν τον αντίστοιχο σταθμό.



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

Ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης

$$Y=a+b*x$$

όπου y εξαρτημένη μεταβλητή και x ανεξάρτητη μεταβλητή

Παράμετροι

Συναρτήσεις EXCEL

Κλίση ευθείας $b = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2}$

$$b = \text{SLOPE}(y, x)$$

Σταθερά $a = \bar{y} - b\bar{x}$

$$a = \text{INTERCEPT}(y, x)$$

Συντελεστής
συσχέτισης $\text{Correl}(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$

$$r = \text{CORREL}(y, x)$$



Μέθοδος σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων (ΣΑΑ)

Η παρεμβολή γίνεται με βάση τη σχέση:

$$h = \frac{d_1^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_1 + \frac{d_2^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_2 + \dots + \frac{d_N^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_N$$

όπου :

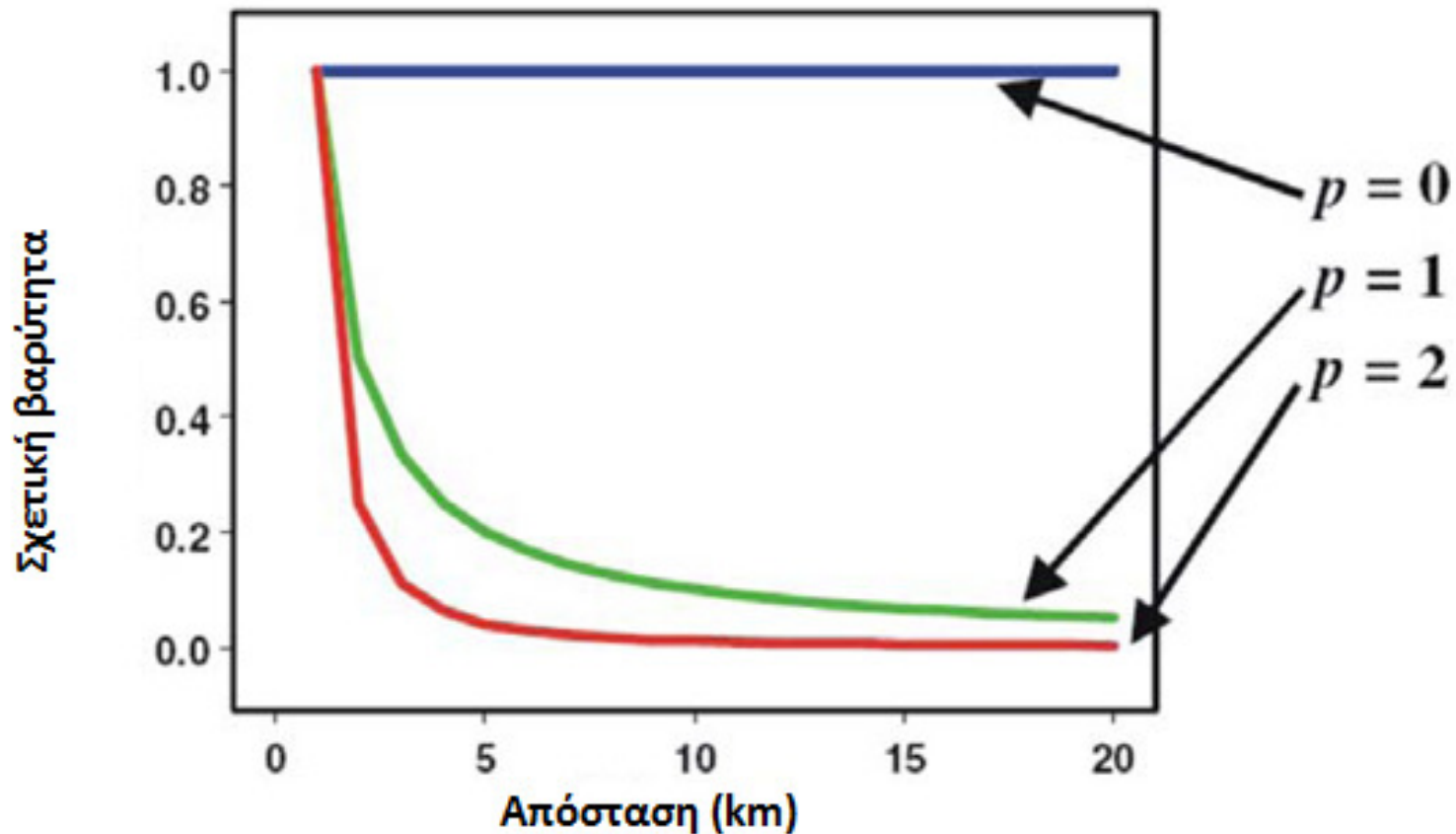
h	η τιμή της μεταβλητής στη ζητούμενη θέση
N	ο αριθμός των σημείων που συμμετέχουν
$h_1, h_2, h_3, \dots, h_N$	οι σημειακές μετρήσεις στα σημεία 1, 2, 3, ..., N
$d_1, d_2, d_3, \dots, d_N$	οι αποστάσεις του κυττάρου από τα σημεία 1, 2, 3, ..., N
k	ο συντελεστής επιρροής της απόστασης

Η τιμή του εκθέτη k συνήθως λαμβάνεται 1 ή 2

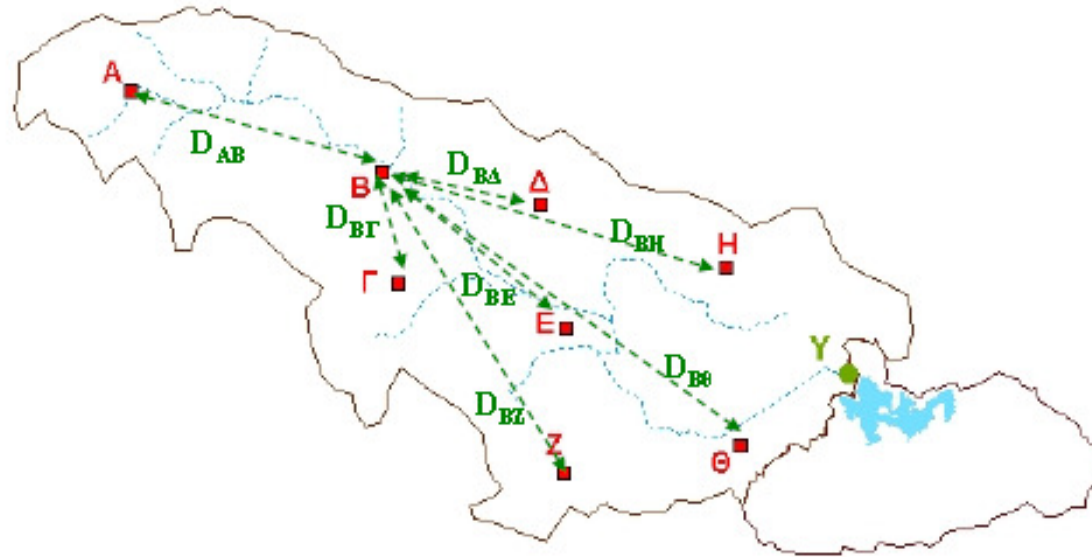


Η επίδραση της δύναμης στη μέθοδο ΣΑΑ (Inverse Distance Weighting, IDW)

Διάγραμμα βάρους – απόστασης



ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΣΑΑ



$$P_B = \frac{1/D_{AB}^2 * P_A}{\sum D} + \frac{1/D_{\Gamma B}^2 * P_{\Gamma}}{\sum D} + \frac{1/D_{\Delta B}^2 * P_{\Delta}}{\sum D} + \frac{1/D_{\Theta B}^2 * P_{\Theta}}{\sum D} + \frac{1/D_{\text{ΖB}}^2 * P_{\text{Ζ}}}{\sum D} + \frac{1/D_{\text{ΗB}}^2 * P_{\text{Η}}}{\sum D} + \frac{1/D_{\text{ΥB}}^2 * P_{\text{Υ}}}{\sum D}$$

$$\sum D = \frac{1}{D_{AB}^2} + \frac{1}{D_{\Gamma B}^2} + \frac{1}{D_{\Delta B}^2} + \frac{1}{D_{\Theta B}^2} + \frac{1}{D_{\text{ΖB}}^2} + \frac{1}{D_{\text{ΗB}}^2} + \frac{1}{D_{\text{ΥB}}^2}$$

P: βροχόπτωση σε mm

D: απόσταση μεταξύ σταθμών σε m



Μεταβολή του ύψους βροχοπτώσεως με το υψόμετρο

- Από τις μετρήσεις των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων προκύπτει ότι , το μέσο ετήσιο ύψος αυτών αυξάνει με το υψόμετρο και η μεταβολή ισχύει μέχρι ορισμένου υψομέτρου πέρα από το οποίο το βροχομετρικό ύψος αρχίζει να ελαττώνεται.
- Αυτό συμβαίνει κυρίως στην προσήνεμη πλευρά των ορέων και στην υψομετρική ζώνη στην οποία κυρίως εκδηλώνεται η ορογραφική επίδραση στην δημιουργία των βροχοπτώσεων.
- Δεν μπορούμε όμως να έχουμε έγκυρα αποτελέσματα από αυτή την μέθοδο διότι όπως γνωρίζουμε υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο των κατακρημνίσεων.



ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Κατηγορίες μεθόδων

ΑΜΕΣΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ

- Αριθμητικός μέσος
- Πολύγωνα Thiessen
- Δύο αξόνων (Bethlahmy's)
- Υψομετρική μέθοδος

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ (ισοπληθείς καμπύλες)

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ (ψηφιδωτή διαμέριση)

- Βέλτιστης παρεμβολής (kriging)
- Ελάχιστων τετραγώνων με πολυώνυμα
- Πολυωνύμων Langrange
- Παρεμβολής spline
- Πολυτετραγωνικής παρεμβολής
- Σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων (ΣΑΑ)



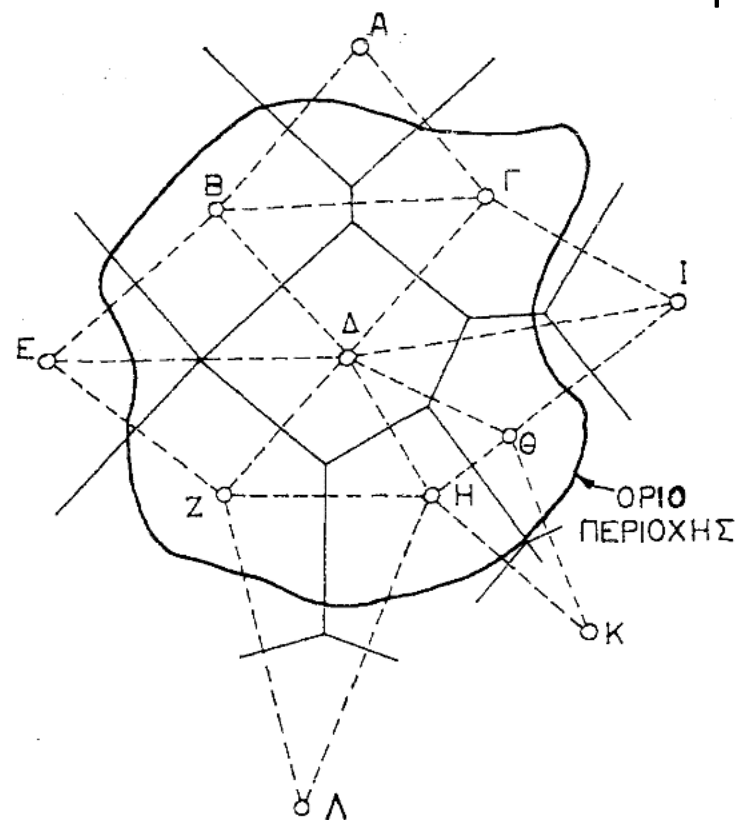
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μέθοδοι Άμεσης Ολοκλήρωσης

ι. Μέθοδος Thiessen.

Η μέθοδος χρησιμοποιεί τον παράγοντα βάρους που αντιστοιχεί στα εμβαδά των πολυγώνων επηρεασμού κάθε σταθμού όπως προκύπτει με τη χάραξη των μεσοκαθέτων επί των αποστάσεων των σταθμών μεταξύ τους.

Το μέσο ύψος της βροχής στην θεωρούμενη περιοχή βρίσκεται με πολλαπλασιασμό του ύψους βροχής κάθε Σταθμού με το αντίστοιχο βάρος και άθροιση των γινομένων. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.



Πολύγωνα Μεθόδου Thiessen.



- Το μέσο ύψος της βροχής στην θεωρούμενη λεκάνη απορροής βρίσκεται με πολλαπλασιασμό του ύψους βροχής κάθε Σταθμού με το αντίστοιχο βάρος και άθροιση των γινομένων

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ THIESSEN

Βροχομετρικός Σταθμός	Παρατηρηθείσα Βροχή [mm]	Εμβαδό Πολυγώνων Thiessen		Ισοδύναμο ύψος βροχής [mm]
		[km ²]	% συνόλου	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (2) × (4) : 100
A	16.5	18.1	1.1	0.2
B	37.1	310.8	19.2	7.1
Γ	48.8	282.3	17.4	8.5
Δ	68.3	310.8	19.2	13.1
E	39.1	51.8	3.2	1.3
Z	75.7	238.3	14.7	11.1
H	127.0	212.4	13.1	16.6
Θ	114.3	196.8	12.1	13.9
Σύνολο	—	1621.3	100.0	71.8



ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μέθοδοι Άμεσης Ολοκλήρωσης

ii. Μέθοδος των ισοϋετών καμπύλων.

Στην μέθοδο αυτή τα ύψη της βροχής κάθε βροχομετρικού Σταθμού σημειώνονται επάνω στον χάρτη και διαμορφώνονται οι ισοϋετείς καμπύλες με αντίστοιχες διαδικασίες όπως οι υψομετρικές καμπύλες στην τοπογραφία.

Στην συγκεκριμένη μέθοδο λαμβάνονται όμως υπόψη και όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατανομή της βροχής.

Το μέσο ύψος της βροχής προσδιορίζεται κατόπιν από τα εμβαδά των επιφανειών, οι οποίες ορίζονται από γειτονικές ισοϋετείς καμπύλες, και από τα αντίστοιχα ύψη βροχής, τα οποία για κάθε επιφάνεια λαμβάνονται ίσα με τον μέσο όρο των τιμών των εκατέρωθεν ισοϋετών καμπύλων.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να δώσει ακριβέστερα αποτελέσματα, σε σχέση με την μέθοδο Thiessen, όταν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες για την κατανομή της βροχής.



ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μέθοδοι Άμεσης Ολοκλήρωσης

iii. Υψομετρική μέθοδος.

Για τις ορεινές περιοχές ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας (WMO) συνιστά την χρήση της υψομετρικής μεθόδου.

Η ουσία της μεθόδου συνίσταται στην συσχέτιση του ύψους της βροχής (το οποίο αντιστοιχεί σε ορισμένο υψόμετρο) με το τμήμα της επιφάνειας της Λεκάνης απορροής το οποίο έχει το ίδιο υψόμετρο.

Με σειρά εμβαδομετρήσεων προσδιορίζονται τα στοιχεία της υψομετρικής καμπύλης.

Έτσι βρίσκουμε την σχέση εμβαδού-υψομέτρου $A(z)$ και στην συνέχεια βρίσκουμε την σχέση ύψους βροχής-υψομέτρου $h(z)$.

Με την σχέση του $A(z)$ και του $h(z)$ μπορούμε να βρούμε τον όγκο της βροχής στην θεωρούμενη περιοχή από τον τύπο :

$$V = \int_{z_0}^{z_M} h(z) dA(z)$$

z_0 = το ελάχιστο υψόμετρο της περιοχής

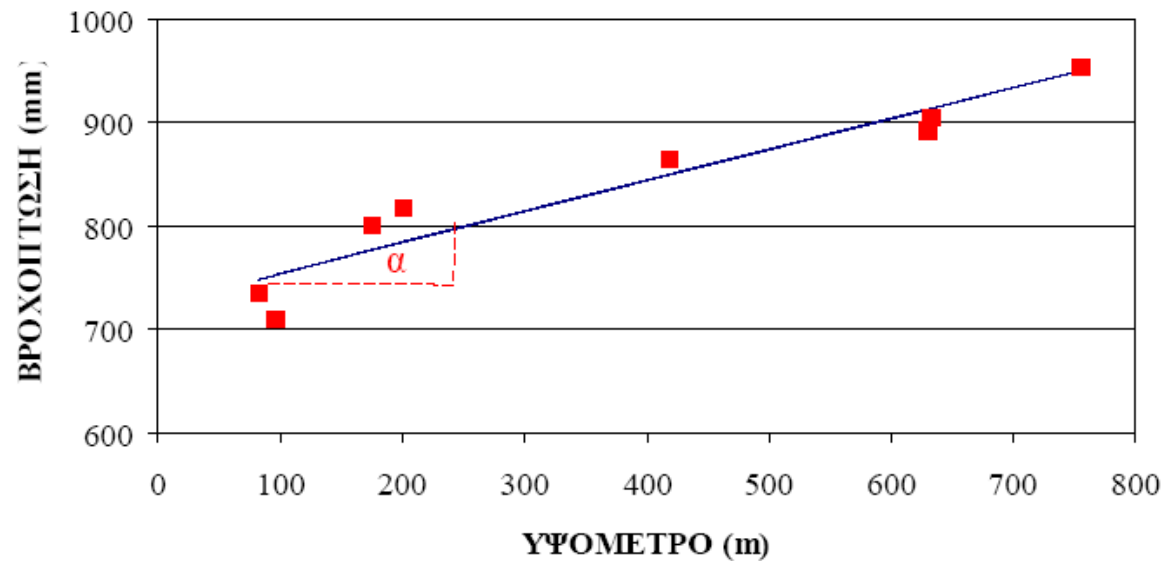
z_M = το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής



ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΕΛΛΕΙΨΕΩΝ – ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ – ΑΝΑΓΩΓΗ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΓΩΓΗ



$$\mu = \frac{\bar{P}_{\lambda\epsilon\kappa\acute{\alpha}\nu\eta\varsigma} + \tan \alpha * (\bar{Z}_{\lambda\epsilon\kappa\acute{\alpha}\nu\eta\varsigma} - \bar{Z}_{\sigma\tau\alpha\theta\mu\acute{\omega}\nu})}{\bar{P}_{\lambda\epsilon\kappa\acute{\alpha}\nu\eta\varsigma}}$$



Βιβλιογραφία

Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. 2012. «Κατακρημνίσματα», Διαφάνειες του μαθήματος «Τεχνική Υδρολογία»
<http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/>

Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος. «Τεχνική Υδρολογία», Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

Κουτσογιάννης, Δ. «Στατιστική Υδρολογία», Έκδοση 4, 312 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.

Μιμίκου, Μ.Α. και Ε.Α. Μπαλτάς. «Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 5^η Έκδοση, 2012.

Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. «Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων», Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούδη, 2001.

Τσακίρης, Γ. «Υδατικοί Πόροι Ι. Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Συμμετρία, 1995.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

