

Αρχές Οικολογίας και Περιβαλλοντικής Χημείας

Κλιματική αλλαγή

Νίκος Μαμάσης
Τομέας Υδατικών Πόρων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Αθήνα 2008

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ Παρατηρημένες χρονοσειρές

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Μηνιαίες θερμοκρασίες στην Κεντρική Αγγλία από το 1659 (το μεγαλύτερο ομογενές δείγμα στον κόσμο).

Μηνιαίες θερμοκρασίες Ευρωπαϊκών πόλεων (Μόναχο από το 1781, Βιέννη-Βερολίνο-Παρίσι από το 1761).

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ

Η πιο γνωστή χρονοσειρά βροχόπτωσης είναι συνδυασμός μετρήσεων από ερασιτέχνες παρατηρητές τον 18^ο και 19^ο αιώνα στην Αγγλία και Ουαλία που την επεξεργάστηκε ο Symons. Στη συνέχεια άλλοι ερευνητές την επέκτειναν προς τα πίσω μέχρι το 1727 και σήμερα συνεχίζεται από την Μετεωρολογική υπηρεσία της Αγγλίας.

Στην Κίνα με βάση λεπτομερείς αναφορές για ξηρασίες και πλημμύρες για κάθε έτος σε περισσότερα από 100 σημεία ερευνητές έχουν δημιουργήσει χρονοσειρά που αρχίζει από τον 15^ο αιώνα. Αν και δεν προέρχεται από μετρήσεις αλλά από ιστορικές παρατηρήσεις είναι σημαντική αναφορά για τις κλιματολογικές συνθήκες.

ΑΠΟΡΡΟΗ

Έχουν βρεθεί χαραγμένες σε πέτρινη επιγραφή οι στάθμες του Νείλου για το χρονικό διάστημα από 3090-2400 π.Χ. Πιο αξιόπιστες αλλά σποραδικές στάθμες υπάρχουν κατά το διάστημα 622-1284 μ.Χ.

Υποκατάστατα (proxy) δεδομένα

Στρωματομενοί πυρήνες πάγου, δακτύλιοι δένδρων, απολιθωμένη γύρη, παγετώνες, ίχνη από στάθμη λιμνών, αποθέσεις στον πυθμένα λιμνών και ωκεανών

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

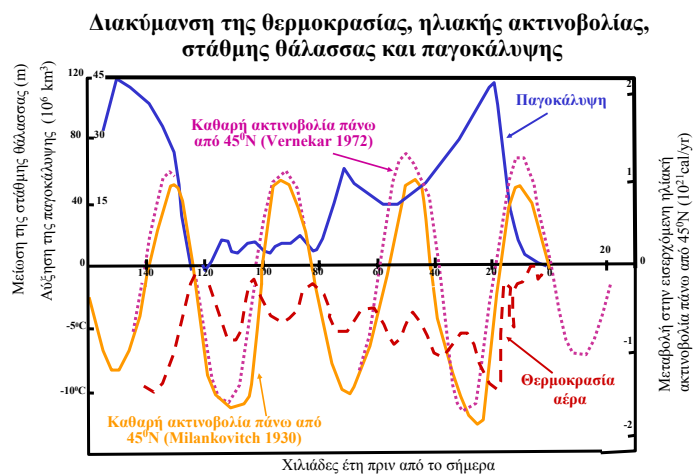
Ιστορική εξέλιξη υδρομετεωρολογικών μεταβλητών



Πηγή: Mason, 1976

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

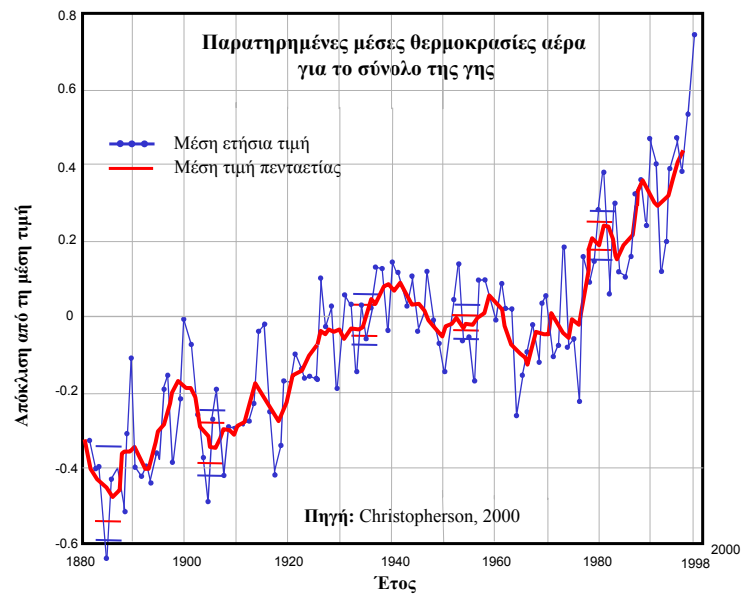
Ιστορική εξέλιξη υδρομετεωρολογικών μεταβλητών



Πηγή: Mason, 1976

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Ιστορική εξέλιξη υδρομετεωρολογικών μεταβλητών



ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Αιτίες

Πρωτογενείς αιτίες

- Μεταβολές στην εξερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία
- Μεταβολές στην ατμοσφαιρική σύνθεση (φυσικές ή ανθρωπογενείς)
- Αστρονομικές μεταβολές (απόσταση γης-ηλίου, αξιμούθιο ηλίου)
- Γεωλογικές μεταβολές

Δευτερογενείς αιτίες

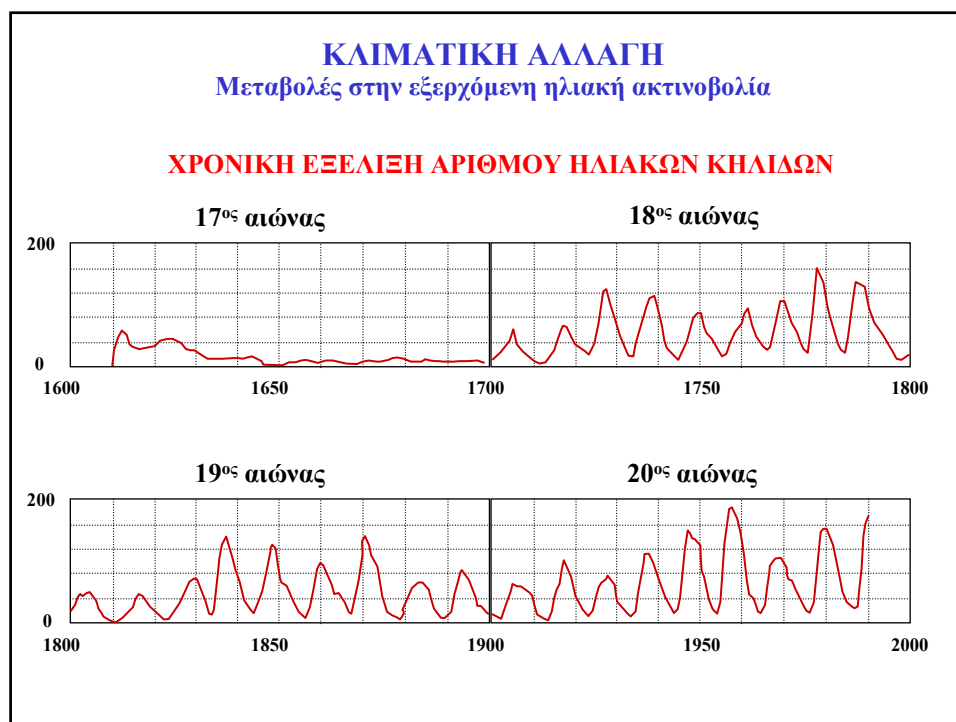
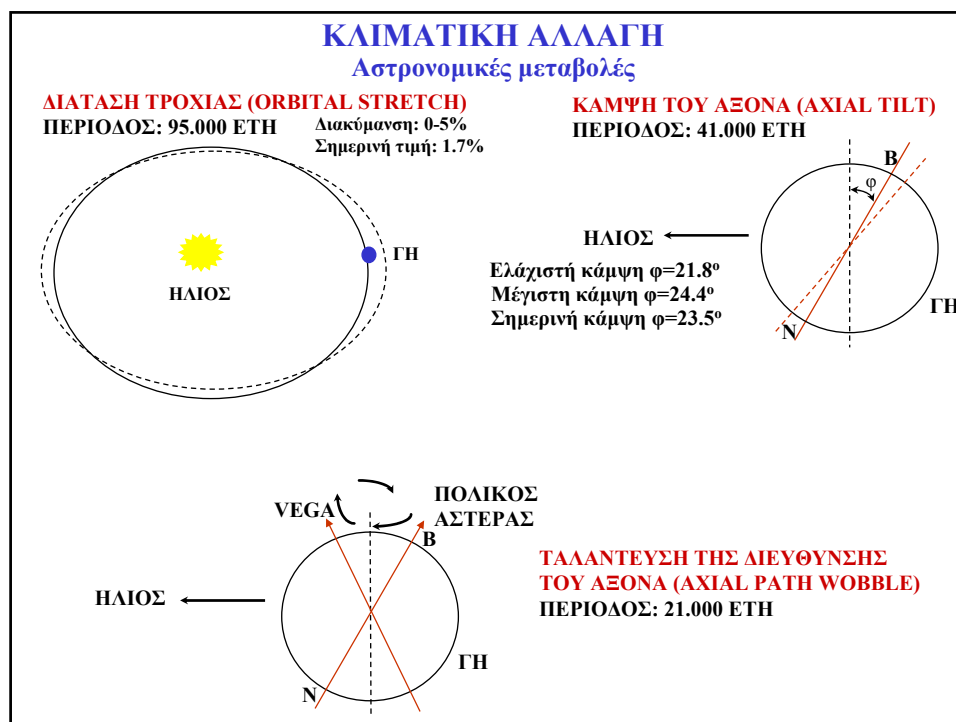
- Μεταβολές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία
- Λειτουργία μηχανισμών αλληλεπίδρασης (αυξανόμενων ή αυτορυθμιζόμενων)

Παραδείγματα

Αύξηση των πάγων → αύξηση της ανακλαστικότητας → μείωση της θερμοκρασίας → αύξηση χιονιού και πάγων

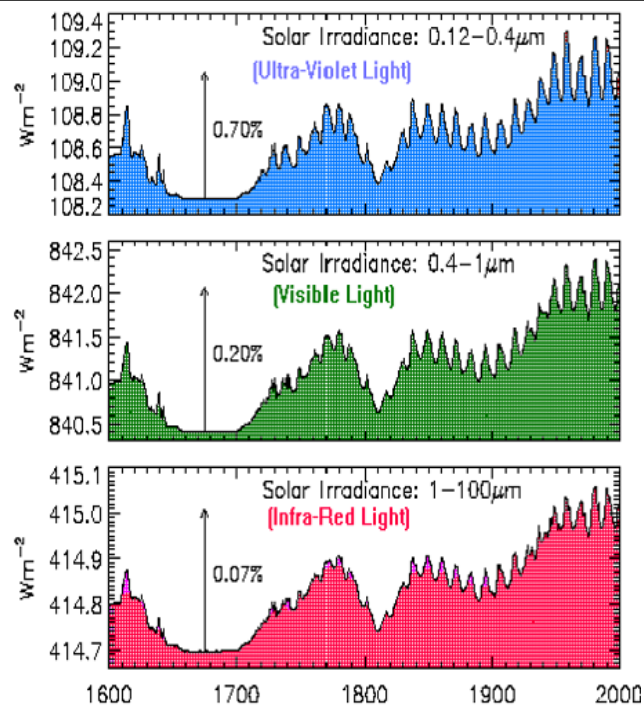
Αύξηση θερμοκρασίας → αύξηση της εξάτμισης και των υψηλών νεφών → αύξηση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας → μείωση της θερμοκρασίας

Αύξηση θερμοκρασίας → αύξηση υδρατμών και διαπνοής των φυτών → μείωση του διαλυμένου στους ωκεανούς CO_2 και αύξηση του μεθανίου από τους υγροτόπους → αύξηση των αερίων θερμοκηπίου → αύξηση θερμοκρασίας.



ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Μεταβολές στην
εξερχόμενη ηλιακή
ακτινοβολία σε όλα τα
μήκη κύματος



ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Πιθανές επιπτώσεις ανόδου θερμοκρασίας

- Άνοδος στάθμης της θάλασσας που θα οφείλεται κυρίως στη θερμική διαστολή του νερού και δευτερευόντως στην τήξη αλπικών παγετώνων. Αυτό θα έχει αποτέλεσμα το πλημμύρισμα παραλιακών εκτάσεων και νησιών, αλλοίωση και διάβρωση των ακτών, υποβάθμιση των υδροφόρων οριζόντων
- Αλλαγές στη χωροχρονική κατανομή των κλιματικών παραμέτρων θα επηρεάσουν αρνητικά τη γεωργική παραγωγή, θα εντείνουν την ερημοποίηση και την συχνότητα των φυσικών καταστροφών (ξηρασίες, πλημμύρες κλπ)
- Άλλες συνέπειες όπως η μετατόπιση δασών προς τις πολικές περιοχές, διατάραξη οικοσυστημάτων, υποβάθμιση συνθηκών ζωής σε πόλεις με τροπικό κλίμα, κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό και δυσχέρεια λειτουργίας πολλών τεχνικών έργων (φράγματα, αρδευτικά κλπ)

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Ιστορική πραγματικότητα στην Ευρώπη

Λιώνουν οι πάγοι σε μεγάλο τμήμα της Γροιλανδίας	985 (μ.Χ.)
Το καλοκαίρι στην Ευρώπη ξεκινά τον Απρίλιο ή το Μάρτιο, είναι θερμότερο, μεγάλης διάρκειας και με ελάχιστες βροχές	1420, 1473, 1540, 1893
Στο Παρίσι και πιο νότια τα δένδρα ανθίζουν τα Χριστούγεννα	1357, 1361
Ο Τάμεσης σχεδόν ξεραίνεται (μετατρέπεται σε ρυάκι και διασχίζεται με τα πόδια), ενώ η θάλασσα προωθείται μέχρι τη Γέφυρα του Λονδίνου	1114, 1325-1326, 1538-1541, 1665-1666, 1716
Μέσα σε δεκαετίες γίνονται εναλλαγές ψυχρών και θερμών περιόδων	1330-1340 (μετάβαση από τη θερμή μεσαιωνική περίοδο στο «μικρο-παγετωνικό αιώνα»)
Διαδοχικά ψυχρά καλοκαίρια δεν επιτρέπουν ωρίμανση των φρούτων (π.χ. σταφυλιών)	1435-1347, 1812-1817

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Ιστορική πραγματικότητα στην Ελλάδα

Φθινόπωρο και χειμώνας χωρίς καθόλου βροχή (σαν να είναι καλοκαίρι)	1680/1681, 1695/1696, 1712-1714
Συνεχείς βροχές γεννούν πλημμύρες και δεν επιτρέπουν την καλλιέργεια αγροτικών προϊόντων	1684/1685
Πυκνές χιονοπτώσεις, μόνιμα χιόνια σε όλη τη διάρκεια του έτους ακόμη και στην Κρήτη	1699/1700
Κρύοι χειμώνες, λίμνες (π.χ. Ιωαννίνων) παγωμένες για τρεις μήνες	1686/1687

Συνέπειες: Λιμοί, επιδημίες, καταστροφές, εκτόξευση τιμών, πυρκαγιές

Αντιμετώπιση: Προσευχή, λιτανείες

Πηγές: J.H. Brazell (1968), *London Weather*, HMSO (Meteorological Office)

H.H. Lamb (1982), *Climate, History and the Modern World*, Methuen

C. Pfister (1988), Variations in the spring-summer climate of central Europe from the high middle ages to 1850, Lecture notes in earth sciences, Vol. 16, Long and short term variability of climate, edited by H. Wanner, U. Siegenthaler, pp. 57-82, Berlin

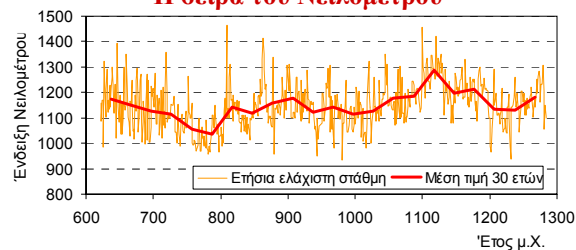
E. Xoplaki, P. Maheras and J. Luterbacher (2001), Variability of climate in Meridional Balkans during the periods 1675–1715 and 1780–1830 and its impact on human life, *Climatic Change*, 48: 581–615

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Παρατηρήσεις πάνω στα ιστορικά γεγονότα

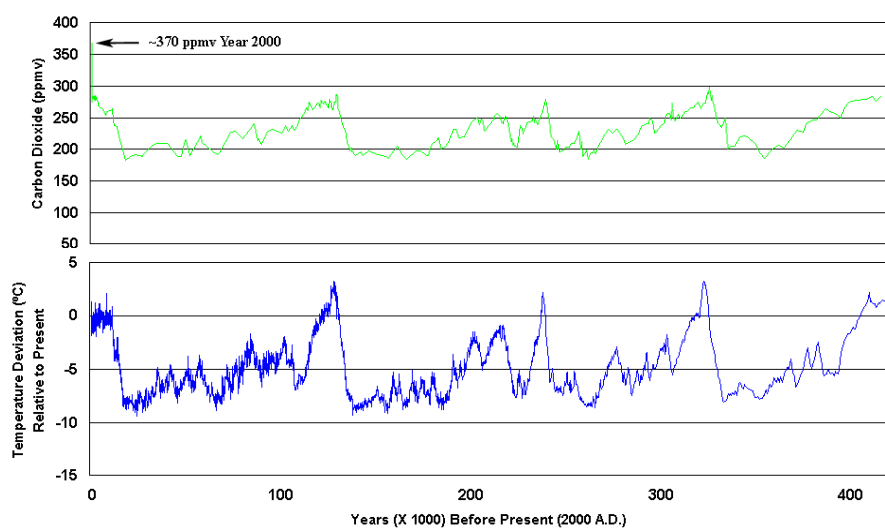
- Καιρικά και κλιματικά φαινόμενα εξαιρετικά ασυνήθιστα και ακραία – με βάση τη σημερινή ανθρώπινη εμπειρία
- Αβάσιμη η εικόνα ενός σταθερού κλίματος – «Καθεστώς» η αλλαγή του κλίματος:
«Το κλίμα αλλάζει ακανόνιστα, για άγνωστους λόγους, σε όλες τις κλίμακες» *National Research Council (1991), Opportunities in the Hydrologic Sciences, National Academy Press, Washington DC, USA*
- Τάση συσσώρευσης όμοιων φαινομένων σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους

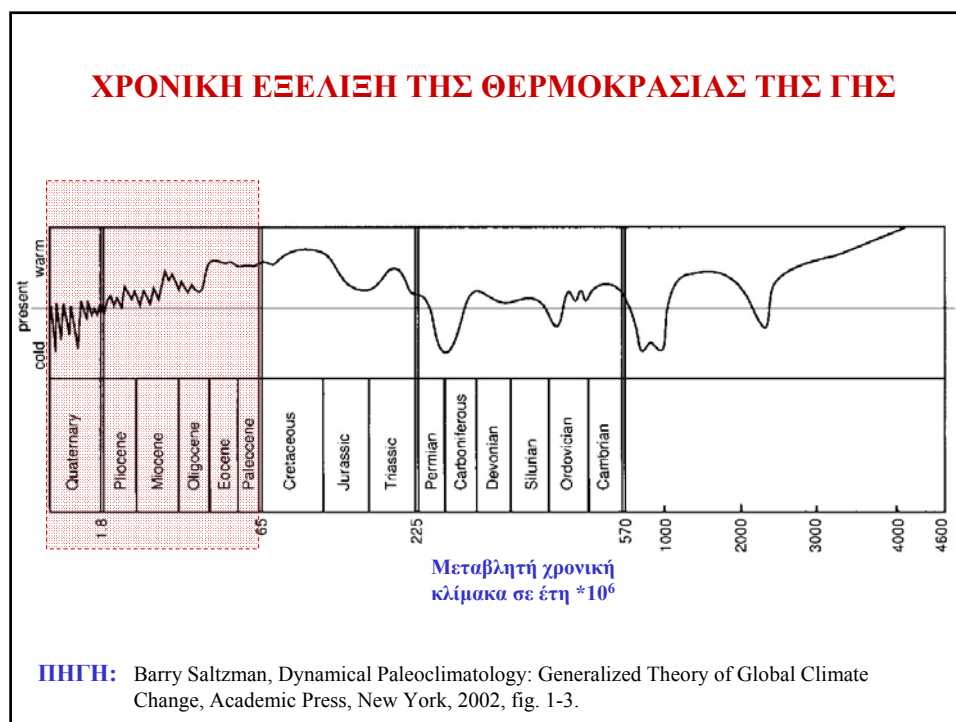
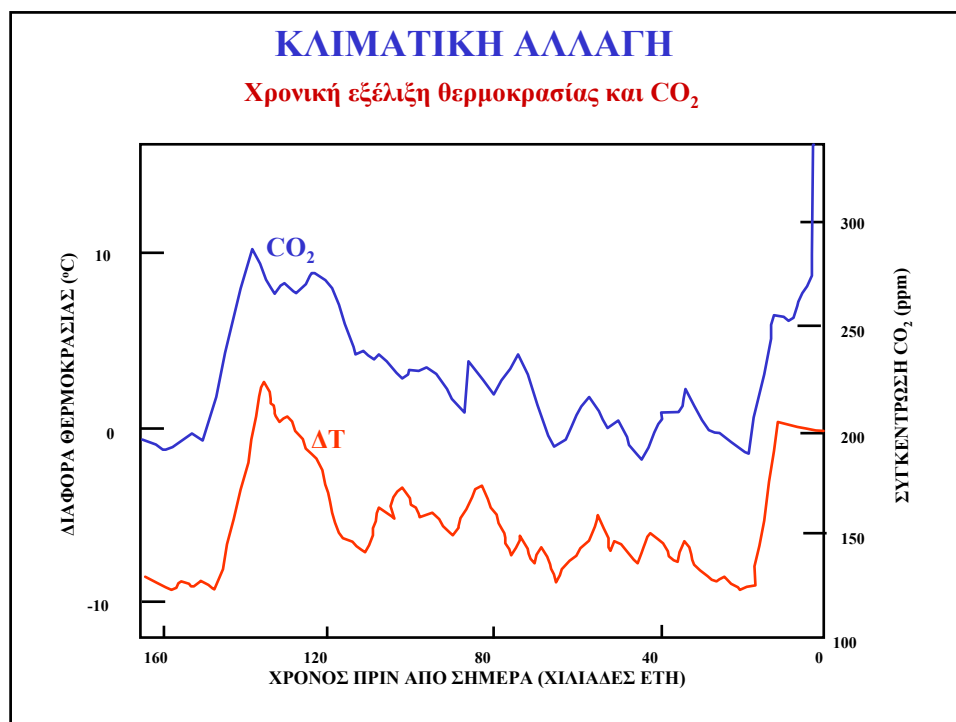
Η σειρά του Νειλομέτρου



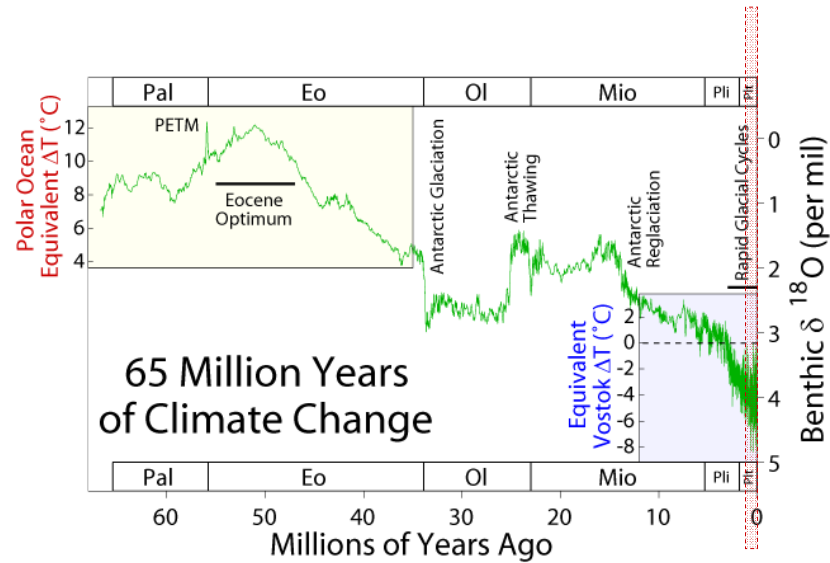
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Χρονική εξέλιξη θερμοκρασίας και CO₂ στην Ανταρκτική



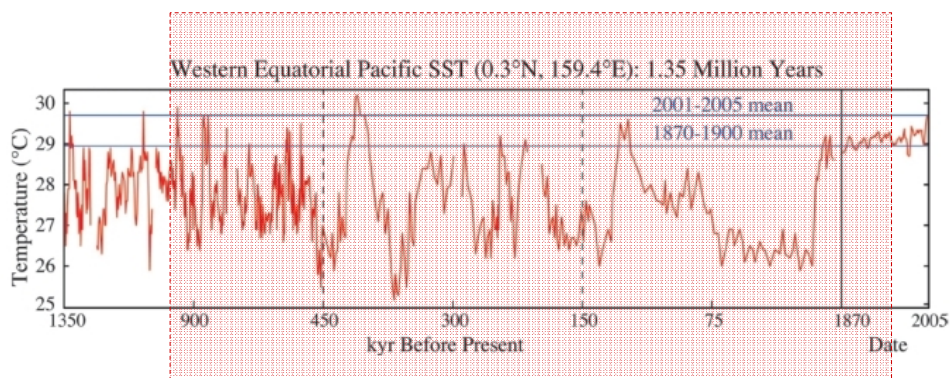


ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 65.000.000 ΕΤΗ



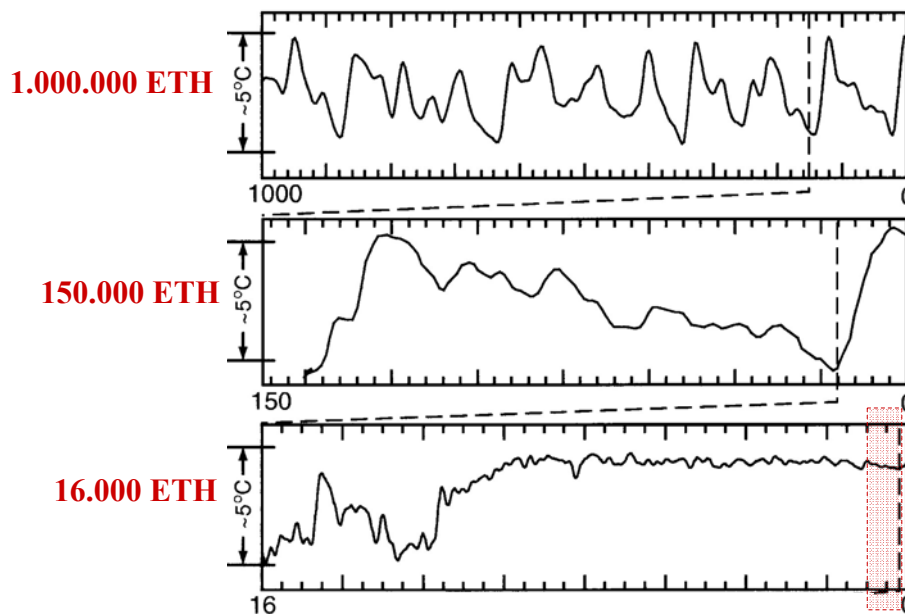
ΠΗΓΗ: Robert Rohde, http://en.wikipedia.org/wiki/Image:65_Myr_Climate_Change.png

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΡΗΝΙΚΟΥ ΩΚΕΑΝΟΥ ΣΤΟΝ ΙΣΗΜΕΡΙΝΟ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ $1.35 \cdot 10^6$ ΕΤΗ



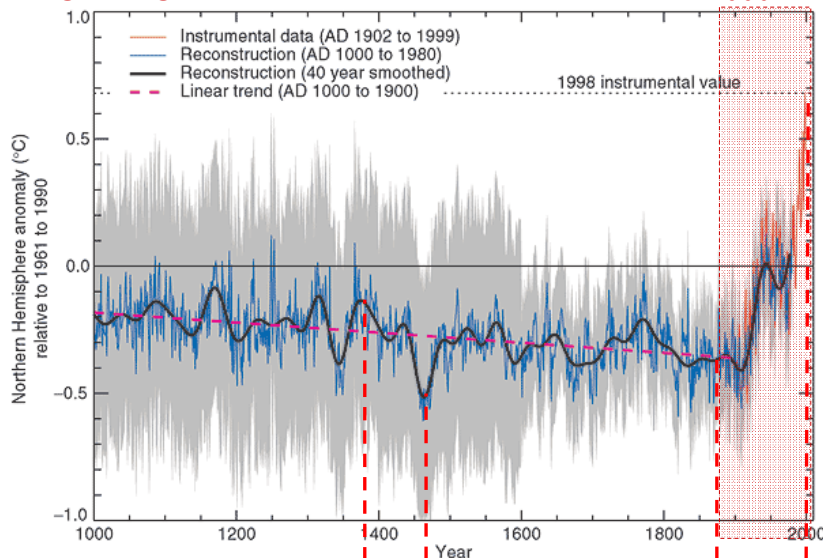
ΠΗΓΗ: James Hansen, Makiko Sato, Reto Ruedy, Ken Lo, David W. Lea, and Martin Medina-Elizade, [Global temperature change](#), *Proc. Nat. Acad. Sci.* **103** (2006), 14288-14293.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ:



ΠΗΓΗ: Barry Saltzman, *Dynamical Paleoclimatology: Generalized Theory of Global Climate Change*, Academic Press, New York, 2002, fig. 3-4.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 1000 ΧΡΟΝΙΑ

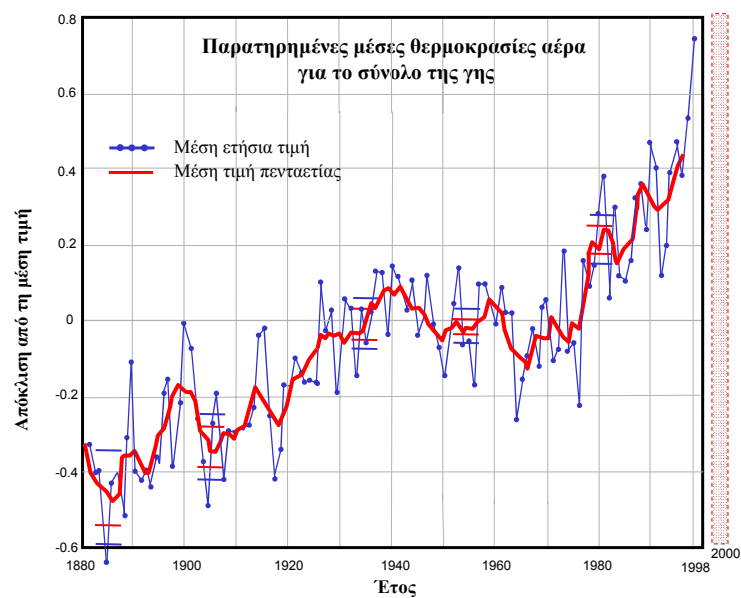


Donatello, (1386-1466). Ιταλός γλύπτης της Αναγέννησης. Βίωσε πτώση θερμοκρασίας 0.4 °C.

Jeanne Louise Calment, (1875-1997). Γαλλίδα με την μεγαλύτερη επιβεβαιωμένη διάρκεια ζωής στον κόσμο. Βίωσε άνοδο θερμοκρασίας 0.9 °C.

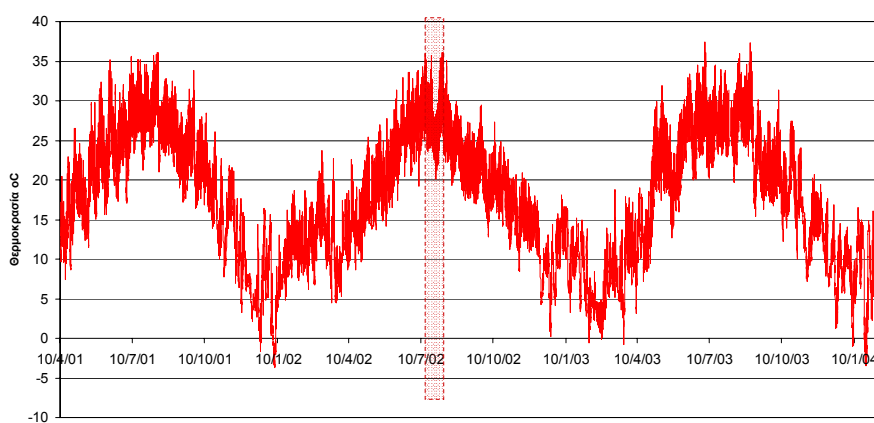
ΠΗΓΗ: Mann, Bradley and Hughes *Climate Change 2001: The Scientific Basis*.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 120 ΧΡΟΝΙΑ



ΠΗΓΗ: Christopherson, 2000

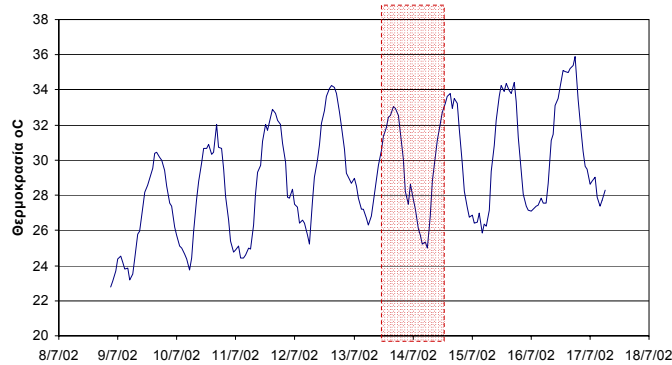
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΓΙΑ 3 ΕΤΗ*



* Συνήθης διάρκεια ζωής ενός ποντικιού.

Σε αυτή τη χρονική κλίμακα γίνεται αντιληπτή η ημερήσια και εποχιακή περιοδικότητα αλλά υπάρχει η αίσθηση ενός προσδιοριστικού τρόπου μεταβολής

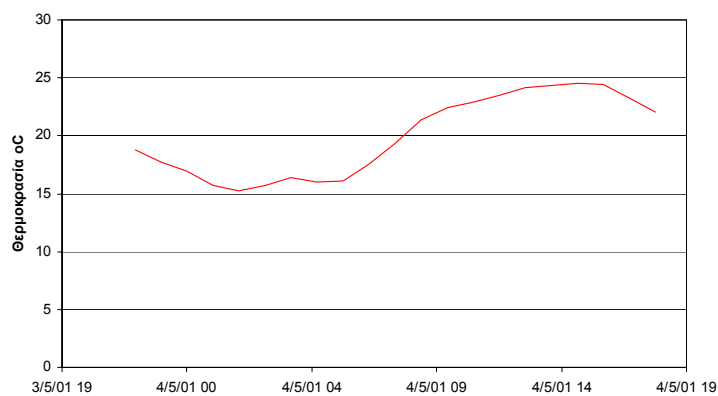
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΓΙΑ 10 ΗΜΕΡΕΣ *



* Συνήθης διάρκεια ζωής μιας οικιακής μύγας.

Σε αυτή τη χρονική κλίμακα γίνεται αντιληπτή η ημερήσια περιοδικότητα αλλά η εποχιακή περιοδικότητα φαίνεται σαν ανοδική τάση

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΓΙΑ 20 ΩΡΕΣ *



* Συνήθης διάρκεια ζωής μιας μύγας Mayfly.

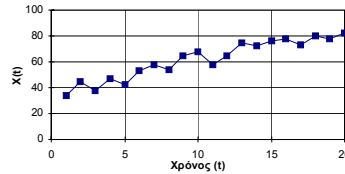
Σε αυτή τη χρονική κλίμακα δεν γίνεται αντιληπτή η ημερήσια περιοδικότητα. Τρεις ώρες πριν πεθάνει θα μπορούσε σχολιάσει “Ποτέ μέχρι τώρα στη ζωή μου δεν αισθάνθηκα τόσο ζέστη”

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ

Ανίχνευση τάσεων

Δοκιμή Kendall

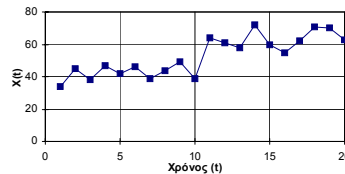
Δοκιμή γραμμική συσχέτισης



Ανίχνευση αλμάτων

Δοκιμή Kruscal-Wallis

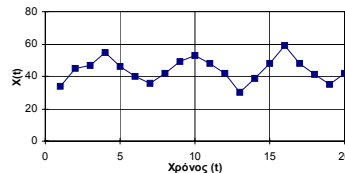
Δοκιμή διαφοράς μέσων τιμών



Ανίχνευση περιοδικοτήτων

Προσδιορισμός αρμονικών κατά Fourier

Περιοδόγραμμα



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ahrens, C. D., *Essentials of Meteorology, An Invitation to the Atmosphere*, West Publishing, Minneapolis, 1993
- Arms, K., *Environmental Science*, Saunders College Publishing, 1994
- Manahan S. E., *Environmental Science and Technology*, Lewis Publishers, New York, 1997
- Mason B. J., *Towards the understanding and prediction of climatic variations*, Quart. J. of the R. Meteorological Society, 1976
- Skinner, B. J., and S.C. Porter, *The blue planet, An introduction to earth system science*, John Wiley & Sons Inc., 1995
- Κουτσογιάννης, Δ. και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997
- Μαμάσης, Ν., και Δ. Κουτσογιάννης, *Σημειώσεις Υδρομετεωρολογίας - Μέρος Β*, Έκδοση 2, 176 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2000.
- Χατζημπίρος Κ. και Α. Ανδρεαδάκης, *Οικολογία για μηχανικούς*, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2000
- Χατζημπίρος Κ., *Οικολογία, Οικοσυστήματα και προστασία του περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2001