



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Εύα- Στυλιανή Στείρου

**Διερεύνηση και αξιολόγηση μεθόδων
ομογενοποίησης υδροκλιματικών δεδομένων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτρης Κουτσογιάννης

Αθήνα 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η μελέτη της Κλιματικής Αλλαγής μέσα σε λίγες μόνο δεκαετίες έχει αναπτυχθεί σε σημείο αιχμής της έρευνας σε πολλές χώρες και μάλιστα σε ιδιαίτερο επιστημονικό κλάδο που βασίζεται σε διαφορετικά στοιχεία- από συλλογή ιστορικών καταγραφών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, μέχρι μετρήσεις δορυφόρων, μετρήσεις χαρακτηριστικών των ωκεανών και παγετώνων, δημιουργία βάσεων δεδομένων και στατιστική/μαθηματική επεξεργασία τους και τέλος ανάπτυξη σεναρίων εξέλιξης του κλίματος και των επιπτώσεων της στον πλανήτη και σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης ζωής.

Η μελέτη διαφόρων παραμέτρων της κλιματικής μεταβολής αποτελεί και αντικείμενο έρευνας του Τομέα Υδατικών Πόρων της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, και στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται και η παρούσα Διπλωματική εργασία.

Αντικείμενό της είναι η εστίαση σε ένα από τα βασικά στοιχεία της κλιματικής αλλαγής, της αύξησης της θερμοκρασίας, και ειδικότερα στο πρόβλημα της ομογενοποίησης των χρονοσειρών θερμοκρασιών, στις οποίες βασίζονται και οι συχνά αντικρουόμενες εκτιμήσεις της αύξησης της θερμοκρασίας τα τελευταία 100 περίπου χρόνια.

Η προσέγγιση του θέματος γίνεται από διάφορες σκοπιές, συστηματική βιβλιογραφική μελέτη, κριτική αξιολόγηση δεδομένων, μεθόδων επεξεργασίας τους και αποτελεσμάτων, ανάλυση υπαρχόντων δεδομένων και αξιολόγηση μεθόδων στατιστικής ομογενοποίησης χρονοσειρών σε συνθετικές χρονοσειρές, και εκτιμάται ότι μπορεί να είναι χρήσιμη για μια περαιτέρω συμβολή στη μελέτη προβλημάτων της Κλιματικής Αλλαγής.

Τη Διπλωματική αυτή επέβλεψε ο Καθ. κ. Δ. Κουτσογιάννης ο οποίος έχει το χάρισμα να εμπνέει ένα φοιτητή, και να μετατρέπει την προσπάθεια του σε ευχαρίστηση. Ελπίζω να μπορεί να συνεχίσει και στις συνθήκες που διαγράφονται στο εγγύς μέλλον. Κυρίως γι' αυτό τον ευχαριστώ θερμά, καθώς και όσους άλλους συνέβαλαν ή στήριξαν την εργασία μου, από το Πολυτεχνείο μέχρι το κοντινό μου περιβάλλον.

Οκτώβρης 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	i
Περίληψη	v
Abstract	vi
1 Εισαγωγή	1
2 Η αύξηση της θερμοκρασίας τον 20^ο αιώνα	5
2.1 Εισαγωγή: Θεωρίες για αύξηση της θερμοκρασίας και προβλέψεις	5
2.2 Το ζήτημα της αύξησης της θερμοκρασίας σύμφωνα με την IPCC	6
2.3 Παρατηρήσεις γύρω από τη Διακήρυξη της IPCC	12
2.4 Οι σκεπτικιστές της κλιματικής μεταβολής	12
3 Τύποι και βάσεις δεδομένων	14
3.1 Τύποι δεδομένων	14
3.2 Βάσεις δεδομένων	15
4 Ανομογένειες των χρονοσειρών θερμοκρασίας	20
4.1 Τυπολογία ανομογενειών χρονοσειρών θερμοκρασίας εδάφους	21
4.1.1 Σφάλματα θερμομέτρων/καταγραφών (measurement bias)	22
4.1.2 Μεταβολές συνθηκών μετρήσεων	23
4.1.3 Διαφορές στη μέθοδο υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας και στο χρόνο δειγματοληψίας	30
5 Τυπική μεθοδολογία επεξεργασίας δεδομένων θερμοκρασίας	32
5.1 Ανίχνευση και απομάκρυνση χονδροειδών σφαλμάτων – ακραίων τιμών (outliers)	33
5.2 Αναγωγή δεδομένων σε τυποποιημένες συνθήκες μέτρησης (τυποποιημένους χρόνους παρατήρησης, όργανα αναφοράς κλπ) και διόρθωση καταγεγραμμένων αλλαγών	35
5.3 Ομογενοποίηση των δεδομένων με στατιστικά τεστ	38
5.3.1 Απόλυτες (absolute) μέθοδοι αναγνώρισης ανομογενειών	41
5.3.1.1 Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) for a single break ..	41
5.3.1.2 Buishand range test	43
5.3.1.3 Pettit test	44
5.3.1.4 Von Neumann ratio test	45

5.3.2	Σχετικές (relative) μέθοδοι αναγνώρισης ανομογενειών	45
5.3.2.1	Easterling and Peterson test	46
5.3.2.2	Standard Normal Homogeneity Test for single shifts	50
5.3.2.3	Standard Normal Homogeneity Test for trends	52
5.3.2.4	Bivariate test	53
5.3.2.5	Menne and Williams test	55
5.3.3	Σύγκριση και σχολιασμός απόλυτων και σχετικών μεθόδων αναγνώρισης ανομογενειών	57
6	Συλλογή δεδομένων – Δειγματοληψία	58
6.1	Επιλογή τύπου δεδομένων	58
6.2	Επιλογή βάσης δεδομένων	58
6.3	Δειγματοληψία – Κριτήρια	59
6.4	Πορεία συλλογής δεδομένων	65
6.5	Προβλήματα κατά τη συλλογή δεδομένων	67
7	Επεξεργασία – Σχολιασμός δεδομένων	68
7.1	Μαθηματική προσέγγιση της αύξησης της μέσης ετήσιας παγκόσμιας θερμοκρασίας	68
7.2	Αλγόριθμος υπολογισμού μέσων ετήσιων θερμοκρασιών σε χρονοσειρές με κενά	69
7.3	Εκτίμηση της γραμμικής τάσης επεξεργασμένων και αρχικών δεδομένων και της διαφοράς τους	70
7.4	Υπολογισμός του αριθμού των σταθμών με θετική και αρνητική διαφορά κλίσεων	71
7.5	Αλγόριθμος αποτύπωσης σε χάρτη	71
7.6	Υπολογισμός του συντελεστή Hurst σε αρχικά και επεξεργασμένα δεδομένα χαρακτηριστικών πραγματικών χρονοσειρών	72
7.7	Αξιολόγηση – Σχολιασμός των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας	74
8	Παράδειγμα εφαρμογής του SNHT σε συνθετικά δεδομένα	75
8.1	Εφαρμογή του SNHT σε συνθετικά δεδομένα με κανονική κατανομή και τεχνητό άλμα	77
8.2	Εφαρμογή του SNHT σε ομογενή συνθετικά δεδομένα με μακροπρόθεσμη εμμονή	80

8.3 Εφαρμογή του SNHT σε συνθετικά δεδομένα με μακροπρόθεσμη εμμογή και τεχνητό άλμα	85
9 Κριτική προσέγγιση	89
9.1 Διόρθωση χρονοσειρών με βάση στατιστικές μεθόδους και όχι καταγεγραμμένα μεταδεδομένα (metadata) στο αρχείο του σταθμού	89
9.2 Στατιστική σημαντικότητα και διόρθωση σφαλμάτων	90
9.3 Το ζήτημα της τυχαιοποίησης των σφαλμάτων	91
9.4 Το ζήτημα της ανεξαρτησίας των δεδομένων	93
9.5 Τυχαιότητα και μακροπρόθεσμη εμμογή	93
9.6 Μικροκλιματικές διαφορές και χρονοσειρές αναφοράς	95
9.7 Μετρολογικές παρατηρήσεις	96
9.8 Πειραματική διαδικασία	97
9.9 Πρακτική συνέπεια της ομογενοποίησης	99
10 Συμπεράσματα και Προτάσεις	101
10.1 Συμπεράσματα	101
10.2 Προτάσεις	103
Αναφορές	104
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	109
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	111
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	126

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική αυτή εστιάστηκε στη μελέτη των ανομογενειών των χρονοσειρών θερμοκρασίας των τελευταίων περίπου εκατό χρόνων, των μεθόδων διόρθωσής τους και των αποτελεσμάτων της διόρθωσης αυτής και εξελίχθηκε σε τρεις κατευθύνσεις:

Από συστηματική βιβλιογραφική διερεύνηση καταγράφηκαν, ταξινομήθηκαν και αξιολογήθηκαν οι παρατηρούμενες ανομογένειες στις ιστορικές και σύγχρονες χρονοσειρές θερμοκρασίας και οι μέθοδοι διόρθωσής τους. Διαπιστώθηκε ότι οι μέθοδοι αυτές είναι κυρίως στατιστικές και όχι επαρκώς τεκμηριωμένες πειραματικά και συνήθως δεν υποστηρίζονται από μεταδεδομένα. Σε πολλές μάλιστα περιπτώσεις οι προτεινόμενες διορθώσεις δεν είναι καν στατιστικά σημαντικές.

Από την παγκόσμια βάση δεδομένων GHCN-Monthly Version 2 εξετάστηκαν όλοι οι σταθμοί που περιείχαν αρχείο αρχικών και επεξεργασμένων δεδομένων και ικανοποιούσαν ορισμένα κριτήρια χρονικής πληρότητας. Ειδικά για τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, λόγω του μεγάλου πλήθους των διαθέσιμων σταθμών, επιλέχτηκε αριθμός σταθμών που προέκυψε με κατάλληλη δειγματοληψία. Συνολικά εξετάστηκαν 181 σταθμοί παγκοσμίως, στους οποίους υπολογίστηκε η διαφορά των γραμμικών τάσεων εκατονταετίας μεταξύ διορθωμένων και μη δεδομένων. Διαπιστώθηκε ότι στα 2/3 περίπου των σταθμών η ομογενοποίηση αύξησε τις θετικές τάσεις ή μείωσε τις αρνητικές.

Έγινε εφαρμογή της κυριότερης μεθόδου ομογενοποίησης SNHT for single shifts σε συνθετικά δεδομένα με επιλεγμένα στατιστικά χαρακτηριστικά με και χωρίς την προσθήκη τεχνητού άλματος. Η μέθοδος είχε ικανοποιητική συμπεριφορά σε ανεξάρτητα δεδομένα που ακολουθούν κανονική κατανομή, αλλοίωσε όμως ομογενείς χρονοσειρές που παρουσίαζαν μακροπρόθεσμη εμμονή.

Τα παραπάνω συμπεράσματα θέτουν ορισμένες δεσμεύσεις για τις διαδικασίες ομογενοποίησης και οδηγούν στην άποψη ότι μια πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας τον τελευταίο αιώνα φαίνεται να είναι μεταξύ 0.4°C και 0.7°C, τιμές που έχουν προκύψει από αδιόρθωτα και διορθωμένα στοιχεία αντίστοιχα.

ABSTRACT

This study focuses on the inhomogeneities of temperature time series covering the last 100 years, as well as on the methods used for their adjustment, and has three components.

Based on a systematic study of scientific literature, observed inhomogeneities in historical and modern time series and their adjustment methods were recorded, classified and evaluated. It was found that these methods are mainly statistical, not well documented by experiments and are rarely supported by metadata. In many of the cases studied the proposed corrections are not even statistically significant.

From the global database GHCN-Monthly Version 2 all stations containing both raw and adjusted data and satisfying certain criteria of continuity were examined. Specifically concerning the United States of America, because of the big number of available stations, stations were chosen after a suitable sampling. 181 stations in total were analysed globally. For these stations the differences between the adjusted and non-adjusted linear 100-year trends were calculated. It was found that in the two thirds of the cases, the homogenisation procedure increased positive or decreased the negative temperature trends differences.

The most common homogenisation method ‘SNHT for single shifts’ was applied to synthetic time series with selected statistical characteristics, occasionally with offsets. The method was satisfactory when applied to data following the normal distribution, but not in data with long-term persistence.

The above results put some constraints in the use of homogenisation procedures and tend to indicate that the global temperature increase during the last century is between 0.4°C and 0.7°C, estimates derived from raw and adjusted data, respectively.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συζήτηση γύρω από τις μεταβολές του κλίματος και την αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη που ήρθε στο προσκήνιο τη δεκαετία του 1950 συνεχίζεται με αμείωτη ένταση. Το ενδιαφέρον γύρω από τις μεταβολές του κλίματος και τις πιθανές επιπτώσεις που μπορεί να έχουν αυτές στο οικοσύστημα, τις ανθρώπινες κοινωνίες και την ποιότητα ζωής πάνω στον πλανήτη έχει οδηγήσει σε μια τεράστια προσπάθεια συλλογής, επεξεργασίας και αξιολόγησης κλιματικών δεδομένων (θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, ηλιοφάνεια, βροχόπτωση κ.ά.) παγκοσμίως και ανάπτυξης μοντέλων κλιματικής πρόγνωσης (IPCC,2007). Πιο συγκεκριμένα, οδήγησε σε:

1. ανάπτυξη των μετρητικών σταθμών. Ειδικότερα, εγκατάσταση σταθμών σε περιοχές που δεν υπήρχαν (μεγάλες περιοχές στην Αφρική και τη Νότια Αμερική, Ανταρκτική), πυκνωση του υπάρχοντος δικτύου και εισαγωγή νέων καταγραφικών οργάνων και τεχνικών.
2. εισαγωγή και άλλων μεθόδων συλλογής δεδομένων (δορυφορικά δεδομένα, δεδομένα από την επιφάνεια της θάλασσας), καθώς και άλλων τύπων δεδομένων (συγκεντρώσεις αερίων στην ατμόσφαιρα).
3. επέκταση των μετρήσεων ως προς το χρόνο και επανέλεγχο- αξιοποίηση δεδομένων από μειωμένης αξιοπιστίας σταθμούς, ώστε να διερευνηθούν τυχόν μεταβολές του κλίματος. Αυτό γίνεται με χρήση μετρήσεων παραδοσιακών οργάνων (θερμομέτρων- βροχομέτρων) για χρονικό διάστημα 100-150 ετών, με πειράματα για αναγωγή των παλιών μετρήσεων στις νέες συνθήκες μέτρησης, με σύγκριση με άλλα κλιματικά φαινόμενα (π.χ. καταγεγραμμένη συννεφιά) κ.ά.
4. χρήση υποκατάστατων μεθόδων (πυρήνες πάγου, δενδροχρονολόγηση, ισότοπα)
5. ανάπτυξη βάσεων δεδομένων και στατιστικών και κλιματολογικών μοντέλων.

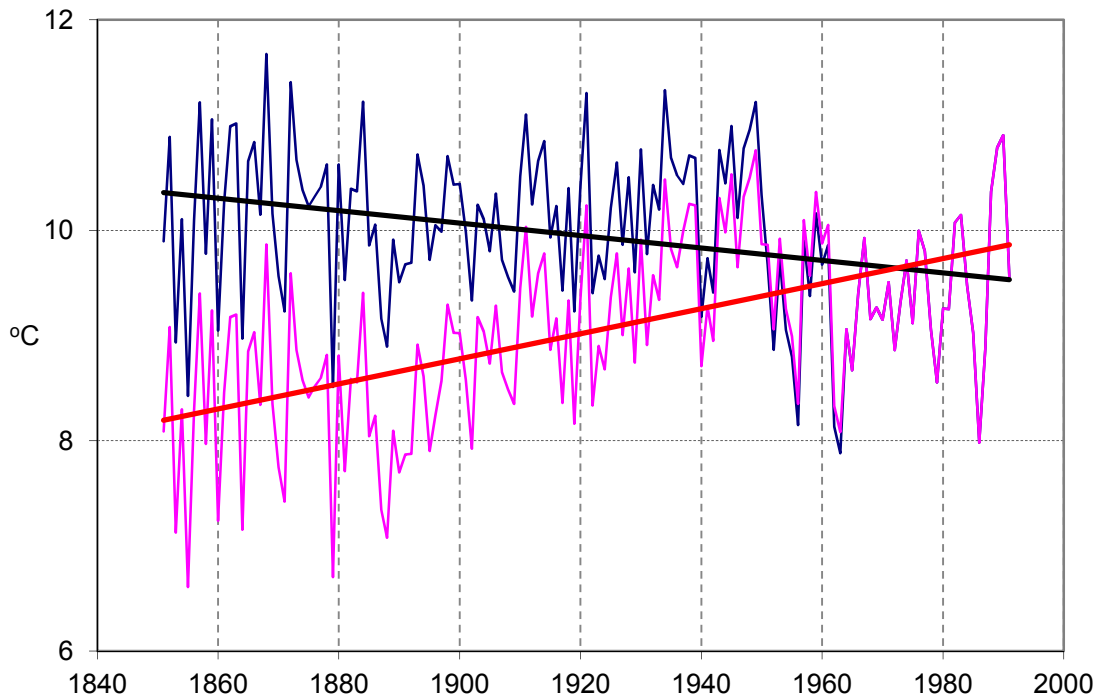
Στα πλαίσια αυτά έχει γίνει μια μεγάλη προσπάθεια αξιοποίησης των ιστορικών κλιματικών δεδομένων, τα οποία όμως προκύπτουν από διαφορετικές μετρητικές διαδικασίες, περιέχουν κενά και σφάλματα. Για το λόγο αυτό έχουν γίνει προσπάθειες να αξιολογηθούν και να διορθωθούν τα ιστορικά αυτά δεδομένα, ώστε να προκύψουν αρχεία μεταβολών

θερμοκρασίας, βροχόπτωσης κλπ που εκφράζουν τυχόν κλιματικές αλλαγές. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως ομογενοποίηση χρονοσειρών και βασίζεται σε στατιστικές κυρίως αναλύσεις. Η χρήση και γενίκευση των μεθόδων ομογενοποίησης έχει δημιουργήσει σημαντικές διαφοροποιήσεις στις χρονοσειρές, επειδή εισάγει διορθώσεις όχι μόνο σε περιπτώσεις που είναι τεκμηριωμένες από άλλα στοιχεία (metadata), αλλά και σε περιπτώσεις για τις οποίες δεν υπάρχει τέτοια πληροφορία. Πολλοί υποστηρίζουν ότι αυτές οι διορθώσεις τείνουν να διογκώσουν την πραγματική ή φημολογούμενη αύξηση της θερμοκρασίας κατά τον εικοστό αιώνα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μια κριτική ως προς τη σκοπιμότητα και την αξιοπιστία πολλών από αυτές τις διορθώσεις (π.χ. <http://climateaudit.org/2010/11/11/y2k-re-visited/>).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εμφανίζεται στο Σχήμα 1.1. Ο συγκεκριμένος σταθμός από την Ολλανδία είναι ένας από τους πολλούς σταθμούς που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία και που η επεξεργασία που έχει γίνει στα δεδομένα θερμοκρασίας του έχει μεταβάλλει κατά πολύ τη γραμμική τάση που εμφανίζει. Τα αρχικά δεδομένα δείχνουν μια μείωση της θερμοκρασίας κατά 0.6°C περίπου σε διάρκεια 100 ετών, ενώ τα επεξεργασμένα δεδομένα δείχνουν μια αύξηση 1.2 °C.

Οι συχνά μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα αρχικά και τα επεξεργασμένα θερμοκρασιακά δεδομένα και η έντονη συζήτηση γύρω από τη διόρθωση των θερμοκρασιών έδωσαν το αρχικό κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η εργασία αυτή έχει τετραπλό σκοπό. Να διερευνήσει:

1. ποιες είναι οι ανομογένειες των χρονοσειρών θερμοκρασίας εδάφους,
2. ποιες στατιστικές μέθοδοι έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ανομογενειών και την αντιμετώπιση –αξιολόγησή τους,
3. τι επιπτώσεις έχει η ομογενοποίηση (υπολογιστική προσέγγιση) χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα σε παγκόσμια κλίμακα δεδομένα, στην εκτίμηση της κλιματικής μεταβολής σε περίοδο 100 ετών, και
4. να σκιαγραφηθούν όρια εφαρμογής των μεθόδων αυτών για την αξιόπιστη και αντικειμενική ομογενοποίηση των χρονοσειρών.



***Σχήμα 1.1** Χαρακτηριστική περίπτωση μεγάλης μεταβολής των κλιματικών χαρακτηριστικών ενός σταθμού μέτρησης θερμοκρασίας: σταθμός De bilt (Ολλανδία), στοιχεία από τη βάση δεδομένων GHCN Monthly Version 2. Με μπλε χρώματα εμφανίζεται η αρχική (ανεπεξεργαστη) χρονοσειρά και με ροζ χρώμα η επεξεργασμένη χρονοσειρά. Με μαύρο χρώμα παρουσιάζεται η γραμμική τάση που εμφανίζουν τα αρχικά δεδομένα, ενώ με κόκκινο χρώμα η γραμμική τάση που εμφανίζουν τα επεξεργασμένα δεδομένα.*

Για το σκοπό αυτό εξετάστηκαν όλες οι διαθέσιμες χρονοσειρές θερμοκρασιών που καλύπτουν περίοδο άνω των 100 ετών από όλο τον κόσμο:

- Επιλέχθηκαν σταθμοί για τους οποίους διατίθενται τα αρχικά και τα επεξεργασμένα (μετά από ομογενοποίηση) δεδομένα και οι οποίοι πληρούσαν συγκεκριμένα κριτήρια (βάση δεδομένων, χρονική πληρότητα, χωρική κατανομή). Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μηνιαία ιστορικά θερμοκρασιακά δεδομένα από την επιφάνεια του εδάφους.
- Με βάση τα δεδομένα αυτά και με χρήση γραμμικής παρεμβολής υπολογίστηκε η τάση μεταβολής της θερμοκρασίας αρχικών και επεξεργασμένων χρονοσειρών και διερευνήθηκε κατά πόσο αυτές οι τάσεις διαφοροποιούνται μεταξύ τους. Επίσης εξετάστηκε κατά πόσο η επεξεργασία των δεδομένων μεταβάλλει άλλα στατιστικά χαρακτηριστικά τους (π.χ. μακροπρόθεσμη εμμονή).

- Έγινε διερεύνηση των διαφόρων τύπων μετρήσεων θερμοκρασίας π.χ. μετρήσεις από υδραργυρικά θερμοόμετρα, μετρήσεις μεγίστου- ελαχίστου και των μεθόδων υπολογισμού της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας.
- Έγινε καταγραφή και αξιολόγηση των μεθόδων επεξεργασίας, και κυρίως ομογενοποίησης των χρονοσειρών θερμοκρασίας.
- Διερευνήθηκαν και αξιολογήθηκαν πειραματικές διαδικασίες από τις οποίες προέκυψαν μέθοδοι επεξεργασίας των δεδομένων.

Τέλος, για λόγους πληρότητας της κριτικής προσέγγισης, έγιναν κάποιες εφαρμογές της κυριότερης μεθόδου ομογενοποίησης, όπως αυτή προέκυψε από τη βιβλιογραφική έρευνα, σε συνθετικές χρονοσειρές με διαφορετικά στατιστικά χαρακτηριστικά.

2. Η ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΝ 20^ο ΑΙΩΝΑ

2.1. Εισαγωγή: Θεωρίες για αύξηση της θερμοκρασίας και προβλέψεις

Η συζήτηση γύρω από το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την επίδρασή του στην παγκόσμια θερμοκρασία ξεκίνησε τον 19^ο αιώνα (airp.org/history/climate/co2.htm). Το ζήτημα όμως της κλιματικής αλλαγής ήρθε με έντονο τρόπο στο προσκήνιο αρκετά αργότερα, στα μέσα της δεκαετίας του 1950 με τις πρώτες υψηλής ακρίβειας μετρήσεις συγκέντρωσης ατμοσφαιρικού CO₂ (Keeling, 1961, 1998). Οι μετρήσεις αυτές πυροδότησαν μια έντονη συζήτηση γύρω από την αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη, τις αιτίες στις οποίες μπορεί να οφείλεται μια τέτοια αύξηση, το φαινόμενο του θερμοκηπίου κλπ.

Μέσα στον προηγούμενο αιώνα θεωρείται ότι η θερμοκρασία αυξήθηκε κατά περίπου 0.6-0.7^ο C (IPCC, 2007). Κλιματικά μοντέλα που κατασκευάστηκαν για την πρόβλεψη των μελλοντικών μεταβολών του κλίματος προβλέπουν και περαιτέρω σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας. Σημαντικό τμήμα της αύξησης αυτής αποδίδεται από αρκετούς ερευνητές και μεγάλο τμήμα της κοινής γνώμης σε ανθρωπογενείς παράγοντες (αύξηση εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα κλπ).

Η όλη συζήτηση για την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη προκάλεσε ένα μεγάλο ενδιαφέρον για τα ιστορικά θερμοκρασιακά δεδομένα και οδήγησε στην ανάπτυξη νέων μεθόδων συλλογής δεδομένων, τη συνεχή διεύρυνση των βάσεων δεδομένων και τη βελτίωση των χαρακτηριστικών των ήδη υπαρχόντων σταθμών καταγραφής θερμοκρασιών. Σήμερα, υπάρχουν πλέον διαθέσιμα διάφορων τύπων δεδομένα, όπως παραδοσιακές θερμομετρήσεις σε κλωβούς, μετρήσεις στη θάλασσα και μετρήσεις δορυφορικές.

Αυτό έχει οδηγήσει σε ένα εξαιρετικά μεγάλο όγκο δεδομένων, τόσο μετρήσεων όσο και άλλων πληροφοριών (metadata), τα οποία αντιστοιχούν σε εθνικές, περιφερειακές ή παγκόσμιες βάσεις δεδομένων, ανοιχτές ή κλειστές (δηλαδή με ελεύθερη ή όχι πρόσβαση), με διαφορετικά επίπεδα πληροφoρίας η καθεμία. Οι βάσεις αυτές περιέχουν δεδομένα θερμοκρασιών, αλλά και βροχοπτώσεων, ατμοσφαιρικών πιέσεων, ηλιοφάνειας κλπ., στοιχεία δηλαδή που σχετίζονται με το κλίμα και τις μεταβολές του. Τα στοιχεία αυτά σε

πολλές περιπτώσεις μελετώνται συγκριτικά μεταξύ τους για να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με τις μεταβολές του κλίματος.

Δύο παραδείγματα πολύ σημαντικών και ευρύτατα χρησιμοποιούμενων «ανοιχτών» βάσεων δεδομένων με παγκόσμια κάλυψη είναι οι GHCN Monthly Version 2 (Global Historical Climatology Network) και CRUTEM3, οι οποίες αναλύονται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 3.

2.2. Το ζήτημα της αύξησης της θερμοκρασίας σύμφωνα με την IPCC

Ένα σημαντικό στοιχείο σχετικά με τις μεταβολές κλίματος και παγκόσμιας θερμοκρασίας είναι η μεγάλη ποικιλία και η απόκλιση των απόψεων των ερευνητών. Η πλειοψηφία των ερευνητών γύρω από τις μεταβολές των θερμοκρασιών σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο υποστηρίζει την ύπαρξη κλιματικών μεταβολών της τάξης μεγέθους 0.6-0.7^o C σε διάστημα ενός αιώνα που αναφέρθηκε παραπάνω (IPCC, 2007). Μεταξύ τους όμως υπάρχουν αρκετές διαφοροποιήσεις όσον αφορά το πραγματικό μέγεθος αυτής της μεταβολής. Υπάρχουν ωστόσο ερευνητές που αμφισβητούν τα αποτελέσματα αυτά. Αυτοί συνηθίζεται να αποκαλούνται ως σκεπτικιστές (sceptics). Κάποια στοιχεία για τους ερευνητές αυτούς αναφέρονται παρακάτω, στην Παράγραφο 2.4.

Η επικρατούσα άποψη σχετικά με την κλιματική αλλαγή συμπυκνώνεται και εκφράζεται συνήθως από τα IPCC Assessment Reports. Η IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) είναι ένα επιστημονικό διακυβερνητικό σώμα επιφορτισμένο με την αξιολόγηση των πιο πρόσφατων επιστημονικών, τεχνικών και κοινωνικο-οικονομικών πληροφοριών σχετικά με την κατανόηση των κλιματικών μεταβολών. Η τελευταία διακήρυξη της IPCC έγινε το 2007 (**IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007**).

Η διακήρυξη του 2007, στο κομμάτι που αφορά τη μεταβολή των θερμοκρασιών στην επιφάνεια του εδάφους, στηρίχθηκε:

1. στην ανάλυση της ερευνητικής ομάδας που σχετίζεται με τη βάση δεδομένων CRUTEM3 για τις μεταβολές της θερμοκρασίας στον Πλανήτη την περίοδο 1850-2005 (CRU/Hadley Centre gridded land-surface air temperature version 3; CRUTEM3) of Brohan et al. (2006),

σε συνδυασμό με τις αναλύσεις των:

2. operational version of the Global Historical Climatology Network (GHCN) data set (National Climatic Data Center (NCDC); Smith and Reynolds, 2005; Smith et al. 2005),
3. National Aeronautics and Space Administration's (NASA) Goddard Institute for Space Studies (GISS; Hansen et al., 2001), και
4. Lugin a et al. (2005)

Στο Σχήμα 2.1 συνοψίζονται οι εκτιμήσεις των κλιματικών ανωμαλιών, δηλαδή αποκλίσεις από μια μέση παγκόσμια θερμοκρασία, των τεσσάρων διαφορετικών ομάδων ερευνητών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η χωρική κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους παγκοσμίως από τους σταθμούς καταγραφής θερμοκρασιών που χρησιμοποιήθηκαν για το Fourth Assessment Report ανέρχεται στο 71%, σημαντικά μεγαλύτερη από το 54% της Third Assessment Report (2001). Βασικό μειονέκτημα είναι ότι όπως και στην Third Assessment Report οι τροπικές περιοχές υποαντιπροσωπεύονται.

Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα της καθεμιάς από τις τέσσερις ομάδας όσον αφορά τις γραμμικές τάσεις μεταβολής της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους, στο Βόρειο, το Νότιο Ημισφαίριο και παγκοσμίως παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1, σε συνδυασμό με αποτελέσματα από τη μελέτη δεδομένων από το ανώτερο στρώμα του ωκεανού (SST) και την επιφάνεια της θάλασσας κατά τις νυχτερινές ώρες (NMAT).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1 και στον Πίνακα 2.1, οι μακροπρόθεσμες μεταβολές που προκύπτουν από τις διαφορετικές επεξεργασίες είναι σε γενική συμφωνία. Αν και ποιοτικά όμως υπάρχει μια συμβατότητα, παρατηρούνται κάποιες διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα κάθε ομάδας.

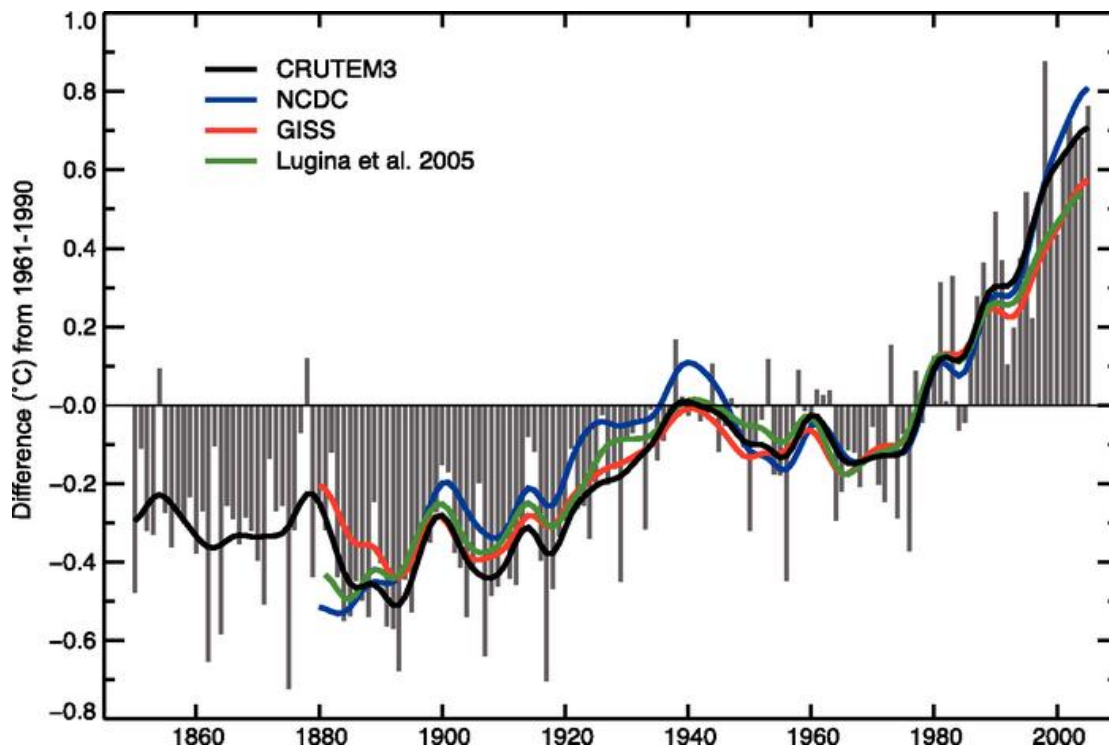
Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται:

- στις διαφορετικές τεχνικές και υποθέσεις (π.χ. διάσταση καννάβου κλπ) εκτίμησης των μέσων τιμών της θερμοκρασίας,
- στη διαφορετική αντιμετώπιση των κενών στα καταγεγραμμένα δεδομένα,
- στο διαφορετικό αριθμό σταθμών που χρησιμοποιεί για την επεξεργασία της η κάθε ερευνητική ομάδα CRUTEM3, NCDC και GISS (4349, 7230 και >7200 αντίστοιχα), αν και οι περισσότεροι από τους βασικούς σταθμούς είναι κοινοί, και

- στις διαφορετικές μεθόδους ομογενοποίησης που χρησιμοποιεί η κάθε ομάδα για τον περιορισμό των ανομογενειών.

Dataset	Temperature Trend (°C per decade)		
	1850–2005	1901–2005	1979–2005
Land: Northern Hemisphere			
CRU (Brohan et al., 2006)	0.063 ± 0.015	0.089 ± 0.025	0.328 ± 0.087
NCDC (Smith and Reynolds, 2005)		0.072 ± 0.026	0.344 ± 0.096
GISS (Hansen et al., 2001)		0.083 ± 0.025	0.294 ± 0.074
Lugina et al. (2006)		0.079 ± 0.029	0.301 ± 0.075
Land: Southern Hemisphere			
CRU (Brohan et al., 2006)	0.036 ± 0.024	0.077 ± 0.029	0.134 ± 0.070
NCDC (Smith and Reynolds, 2005)		0.057 ± 0.017	0.220 ± 0.093
GISS (Hansen et al., 2001)		0.056 ± 0.012	0.085 ± 0.055
Lugina et al. (2005)		0.058 ± 0.011	0.091 ± 0.048
Land: Globe			
CRU (Brohan et al., 2006)	0.054 ± 0.016	0.084 ± 0.021	0.268 ± 0.069
NCDC (Smith and Reynolds, 2005)		0.068 ± 0.024	0.315 ± 0.088
GISS (Hansen et al., 2001)		0.069 ± 0.017	0.188 ± 0.069
Lugina et al. (2005)		0.069 ± 0.020	0.203 ± 0.058
Ocean: Northern Hemisphere			
UKMO HadSST2 (Rayner et al., 2006)	0.042 ± 0.016	0.071 ± 0.029	0.190 ± 0.134
UKMO HadMAT1 (Rayner et al., 2003) from 1861	0.038 ± 0.011	0.065 ± 0.020	0.186 ± 0.060
Ocean: Southern Hemisphere			
UKMO HadSST2 (Rayner et al., 2006)	0.036 ± 0.013	0.068 ± 0.015	0.089 ± 0.041
UKMO HadMAT1 (Rayner et al., 2003) from 1861	0.040 ± 0.012	0.069 ± 0.011	0.092 ± 0.050
Ocean: Globe			
UKMO HadSST2 (Rayner et al., 2006)	0.038 ± 0.011	0.067 ± 0.015	0.133 ± 0.047
UKMO HadMAT1 (Rayner et al., 2003) from 1861	0.039 ± 0.010	0.067 ± 0.013	0.135 ± 0.044

Πίνακας 2.1. Συνοπτικός πίνακας όπου παρουσιάζονται τριών ειδών γραμμικές τάσεις αύξησης της θερμοκρασίας: στην επιφάνεια του εδάφους (*land*) όπως υπολογίστηκαν από τέσσερις ερευνητικές ομάδες, στο ανώτερο στρώμα του ωκεανού (υποδηλώνεται με κωδικό SST και βάση HadSST2), και πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας κατά τις νυχτερινές ώρες (NMAT- Nighttime Marine Air Temperature- υποδηλώνεται με βάση HadMAT1).



Σχήμα 2.1. Με τη μαύρη καμπύλη παρουσιάζεται η ανάλυση των δεδομένων θερμοκρασίας της ερευνητικής ομάδας που σχετίζεται με τη βάση δεδομένων CRUTEM3 για την περίοδο 1850-2005 συγκριτικά με τις αναλύσεις των ομάδων NCDC (Smith and Reynolds, 2005; μπλε καμπύλη), GISS (Hansen et al., 2001; κόκκινη καμπύλη) και Lugina et al. (2005; πράσινη καμπύλη). Τα δεδομένα θερμοκρασίας από κάθε σταθμό έχουν αναχθεί σε anomalies, δηλαδή αποκλίσεις από τον κλιματικό μέσο όρο σε κάθε περιοχή. Ως κλιματικός μέσος όρος έχει ληφθεί ο μέσος όρος των ετών 1961-1990. Τα ετήσια δεδομένα από τους διαθέσιμους σταθμούς παγκοσμίως έχουν συγκεντρωθεί και έχουν υπολογιστεί οι αποκλίσεις (anomalies) από μια μέση παγκόσμια θερμοκρασία.

Τα συμπεράσματα που καταγράφηκαν στο Assessment Report της IPCC από τη σύνθεση των παραπάνω αναλύσεων συνοψίζονται παρακάτω (προφανώς και τα συμπεράσματα αφορούν το 2007):

1. Παρατηρήσεις από όργανα τα τελευταία 157 χρόνια δείχνουν ότι οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους έχουν αυξηθεί παγκοσμίως αν και με σημαντικές τοπικές διαφοροποιήσεις. Εκφρασμένες με μια μέση ετήσια τιμή, οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους αυξήθηκαν κατά περίπου 0.74°C τα τελευταία εκατό χρόνια (ανάμεσα στο 1906 και το 2005). Η αύξηση της θερμοκρασίας αυτή δεν ήταν ούτε γραμμική, ούτε ομοιόμορφη σε διαφορετικές εποχές και τοποθεσίες.
2. Ανάμεσα στο 1850 και το 1915 δεν υπήρξε σημαντική αλλαγή εκτός από αυξομειώσεις που σχετίζονται με τη φυσική μεταβλητότητα και που μπορεί να οφείλονταν σε

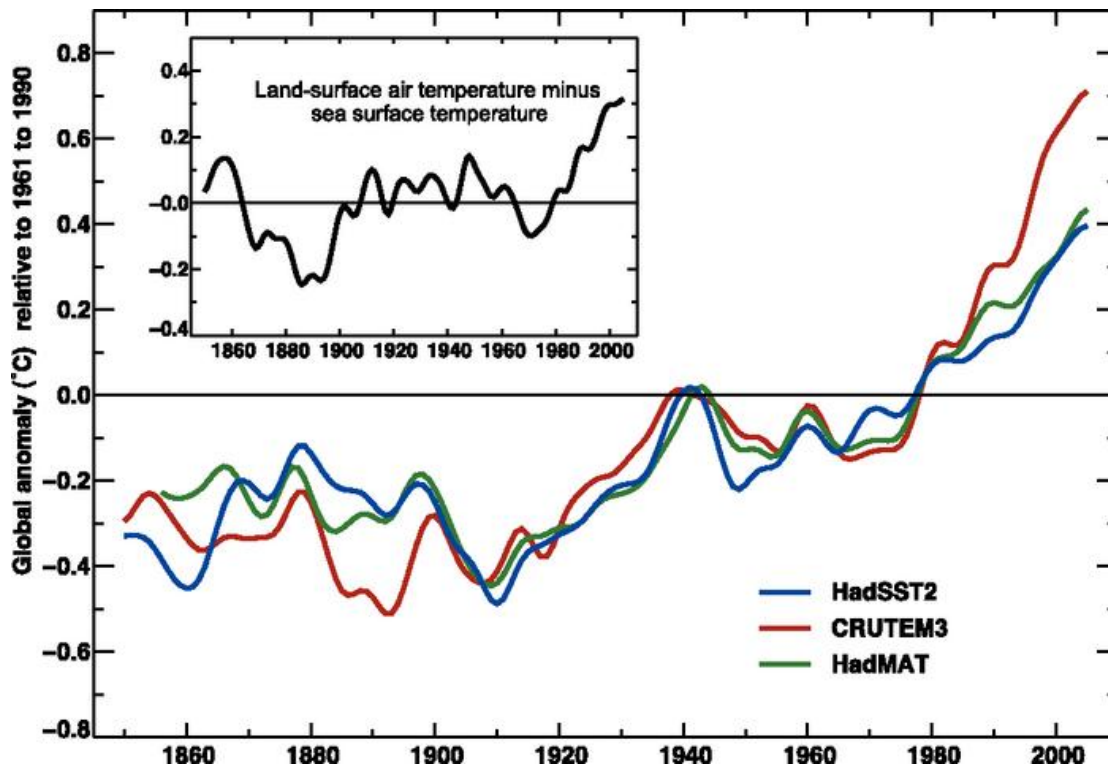
ανεπαρκή δειγματοληψία. Από τη δεκαετία του 1910 μέχρι τη δεκαετία του 1940 η μέση ετήσια θερμοκρασία αυξήθηκε (0.35°C) ακολουθούμενη από μια μικρή μείωση (0.1°C) και μια πιο έντονη θέρμανση (0.55°C) μέχρι το τέλος του 2006. Τα δύο θερμότερα χρόνια ήταν το 1998 και το 2005 και 11 από τα 12 θερμότερα καταγεγραμμένα χρόνια ήταν ανάμεσα στα 1995 και 2006. Μόνο το 1996 δεν συμπεριλήφθηκε στη λίστα- τη θέση του πήρε το 1990.

3. Η αύξηση της θερμοκρασίας, κυρίως από τη δεκαετία του 1970, ήταν γενικά μεγαλύτερη στη στεριά από τους ωκεανούς (Σχήμα 2.2). Όσον αφορά στις εποχές, η αύξηση της θερμοκρασίας ήταν μεγαλύτερη στο ημισφαίριο που είχε κάθε φορά χειμώνα. Κάποιες περιοχές «κρύωσαν» από το 1901, κυρίως στον Βόρειο Ατλαντικό κοντά στις νότιες περιοχές της Γροιλανδίας. Η θέρμανση σε αυτό το διάστημα ήταν μεγαλύτερη στο εσωτερικό της ηπειρωτικής Ασίας και της Βόρειας Αμερικής. Πάντως, καθώς αυτές οι περιοχές παρουσιάζουν σημαντική μεταβλητότητα από χρονιά σε χρονιά, το πιο εμφανές σημάδι θέρμανσης εμφανίστηκε σε περιοχές με μικρά και μεσαία γεωγραφικά πλάτη, ιδίως στους τροπικούς ωκεανούς.

4. Πρόσθετη αύξηση της θερμοκρασίας εμφανίζεται σε πόλεις και αστικές περιοχές (νησίδες αυξημένης θερμοκρασίας λόγω αστικοποίησης (urban heat island effect) αλλά έχει περιορισμένη έκταση γεωγραφικά και οι επιδράσεις της μειώνονται αποκλείοντας τους σταθμούς που έχουν επηρεαστεί και αυξάνοντας το εύρος του σφάλματος.

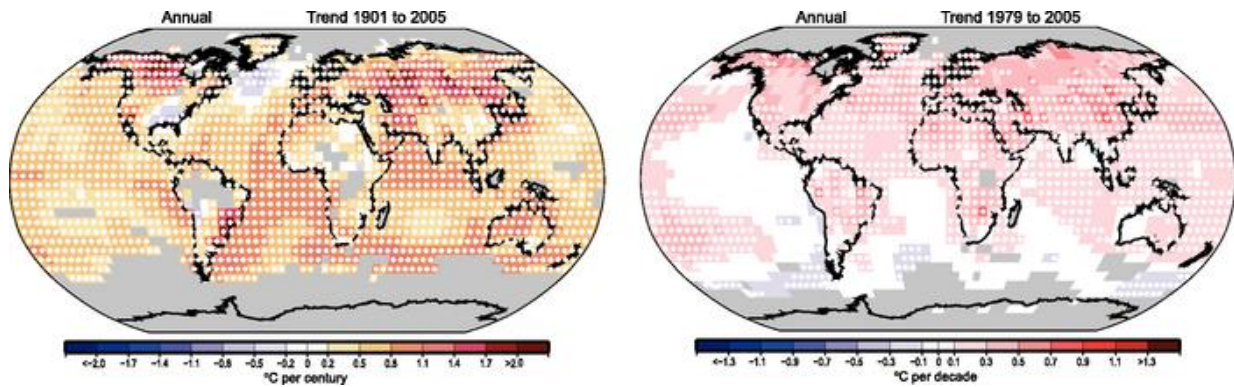
5. Πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, παρατηρήσεις από δορυφόρους σε παγκόσμια κλίμακα από τα τέλη της δεκαετίας του 1950 δείχνουν ότι η τροπόσφαιρα (μέχρι ύψος 10 km περίπου από το έδαφος) θερμάνθηκε με ελαφρώς μεγαλύτερο ρυθμό από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ η στρατόσφαιρα (10–30 km περίπου από το έδαφος) ψυχράνθηκε αισθητά από το 1979.

6. Επιβεβαίωση της αύξησης της θερμοκρασίας έρχεται από τη θέρμανση των ωκεανών, την αύξηση της στάθμης της θάλασσας, το λιώσιμο των παγετώνων, την υποχώρηση των πάγων στην Αρκτική και τη μειωμένη κάλυψη χιονιού στο Βόρειο Ημισφαίριο. Σε συμφωνία έρχονται και οι μειώσεις της διάρκειας εποχών παγετού ποταμών και λιμνών, ενώ το λιώσιμο των παγετώνων της Γροιλανδίας έγινε πλέον εμφανές.



Σχήμα 2.2. Ετήσιες αποκλίσεις από τη μέση τιμή των ετών 1961-1990 για θερμοκρασίες: στο ανώτερο στρώμα του ωκεανού (μπλε καμπύλη, έναρξη χρονοσειράς το 1856), πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας κατά τις νυχτερινές ώρες (πράσινη καμπύλη, έναρξη χρονοσειράς το 1850) και στην επιφάνεια του εδάφους (κόκκινη καμπύλη, έναρξη χρονοσειράς το 1850). Και οι τρεις χρονοσειρές τερματίζονται το 2005. Το ένθετο διάγραμμα παρουσιάζει εξομαλυμένες διαφορές ανάμεσα στις αποκλίσεις των θερμοκρασιών στην επιφάνεια του εδάφους και στο ανώτερο στρώμα του ωκεανού (διαφορά της μπλε από την κόκκινη καμπύλη).

Στο Σχήμα 2.3 εικονίζεται η ετήσια κατανομή των ετήσιων μεταβολών των θερμοκρασιών στην επιφάνεια του εδάφους από το 1901 μέχρι το 2005 (αριστερός χάρτης) και από το 1979 μέχρι το 2005 (δεξιός χάρτης) όπως συμπεριλήφθηκε στην Fourth Assessment Report της IPCC. Για την τάση εκατονταετίας, η αύξηση της θερμοκρασίας είναι στατιστικά σημαντική σχεδόν σε όλη την επιφάνεια του εδάφους με εξαίρεση μια περιοχή νότια της Γροιλανδίας, τρεις μικρότερες περιοχές στα νοτιοανατολικά των Ηνωμένων Πολιτειών και κομμάτια της Βολιβίας και του Κογκό. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι πιο έντονη στο εσωτερικό της ηπειρωτικής Ασίας και της βορειοδυτικής Βόρειας Αμερικής, σε κάποιες περιοχές μεσαίου γεωγραφικού πλάτους στο Βόρειο Ημισφαίριο και στη βορειοανατολική Βραζιλία. Στην πιο πρόσφατη περίοδο (1979-2005) μερικές περιοχές θερμάνθηκαν ουσιαστικά ενώ κάποιες ψυχράθηκαν ελαφρά σε ετήσια βάση. Η νοτιοδυτική Κίνα ψυχράθηκε από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, όμως οι περισσότερες περιοχές που ψυχράθηκαν από το 1979 ήταν θαλάσσιες περιοχές στο Νότιο Ημισφαίριο.



Σχήμα 2.3. Γραμμικές τάσεις μεταβολής της θερμοκρασίας. Αριστερά: για την περίοδο 1901-2005 (°C ανά αιώνα), και Δεξιά: για την περίοδο 1979-2005 (°C ανά δεκαετία). Τα στοιχεία για τη δημιουργία των δύο διαγραμμάτων, που δημοσιεύτηκαν από το IPCC Fourth Assessment Report πάρθηκαν από το NCDC (Smith and Reynolds, 2005)

2.3. Παρατηρήσεις γύρω από τη Διακήρυξη της IPCC

Από τα αποτελέσματα της IPCC μπορούν να τονιστούν δύο σημεία:

1. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η αύξηση της θερμοκρασίας δεν ήταν ούτε γραμμική ούτε σταθερή. Αντίθετα οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας τα τελευταία εκατό χρόνια φαίνεται να είναι δηλωτικές ενός πιο σύνθετου φαινομένου.
2. Τα αποτελέσματα της IPCC για την κλιματική μεταβολή βασίζονται σε επεξεργασία των δεδομένων με διάφορους τρόπους (ομογενοποίηση χρονοσειρών, χωρικές παρεμβολές τύπου krigging κλπ), των οποίων οι επιπτώσεις δεν είναι σαφείς.

2.4. Οι σκεπτικιστές της κλιματικής μεταβολής

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υπάρχουν ερευνητές που αμφισβητούν τα αποτελέσματα της IPCC, το μέγεθος της αύξησης της θερμοκρασίας που παρουσιάζεται και τη μεθοδολογία με την οποία προέκυψε αυτό το αποτέλεσμα. Οι ερευνητές αυτοί είναι μειοψηφική ομάδα και αντιμετωπίζονται συχνά με δυσπιστία από τους επιστημονικούς κύκλους. Πάντως, αν και η άποψη τους ξεκίνησε ως περιθωριακή, έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος. Βρίσκεται όμως μακριά από το να είναι επικρατούσα.

Οι 'sceptics', όπως συχνά αποκαλούνται οι παραπάνω ερευνητές δημοσιεύουν τις αναλύσεις και τα αποτελέσματά τους κυρίως σε blogs, καθώς δημοσιεύσεις τους γίνονται με δυσκολία δεκτές σε έγκυρα επιστημονικά περιοδικά (π.χ. <http://climateaudit.org/2010/11/11/y2k-re-visited/> , <http://wattsupwiththat.com/2011/01/13/tale-of-the-global-warming-tiger/>)

Κάποια από τα κυριότερα blogs με κριτική ματιά πάνω στην κυρίαρχη αντίληψη για το κλίμα είναι τα:

- <http://wattsupwiththat.com> του Anthony Watts
- <http://climateaudit.org> του Stephen McIntyre, και
- <http://pielkeclimatesci.wordpress.com> του Roger Pielke Sr

3. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1. Τύποι δεδομένων

Οι πρώτες μετρήσεις και καταγραφές θερμοκρασίας ξεκίνησαν λίγο μετά από την εφεύρεση του θερμομέτρου στις αρχές του 1600 (IPCC, 2007). Το πρώτο μετεωρολογικό δίκτυο δημιουργήθηκε στη βόρεια Ιταλία το 1653 (Kington, 1988). Μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα συστηματικές παρατηρήσεις του καιρού γίνονταν ήδη στις περισσότερες κατοικημένες περιοχές του πλανήτη. Τα πρώτα όργανα μέτρησης ήταν υδραργυρικά θερμομέτρα, τοποθετημένα συνήθως 1.25-2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Αρχικά τα θερμομέτρα ήταν ανεπαρκώς προστατευμένα από άμεση έκθεση σε ηλιακές ακτίνες και καιρικά φαινόμενα. Στη συνέχεια όμως τοποθετήθηκαν σε μετεωρολογικούς κλωβούς, οι οποίοι υπέστησαν στη διάρκεια του χρόνου σημαντικές αλλαγές θέσης, προσανατολισμού, κλπ (Böhm *et al.*, 2010). Στις ΗΠΑ, όπου και υπάρχει το πυκνότερο δίκτυο σταθμών καταγραφής θερμοκρασιών, σημαντικές αλλαγές έγιναν κυρίως στη δεκαετία του 1980 με την εισαγωγή ηλεκτρονικών καταγραφικών θερμομέτρων μεγίστου-ελαχίστου σε πλαστικά καλύμματα (Quayle *et al.*, 1991).

Το δίκτυο των οργάνων καταγραφής θερμοκρασιών διευρύνθηκε και στη θάλασσα. Επίσημος διεθνής συντονισμός μετεωρολογικών παρατηρήσεων από σκάφη ξεκίνησε το 1853 (Quetelet, 1854). Σήμερα, στην επιφάνεια της θάλασσας γίνονται μετρήσεις από καταγραφικά όργανα σε σκάφη αλλά και σημαδούρες (buoys).

Επιπρόσθετα με τα δεδομένα στην επιφάνεια του εδάφους και της θάλασσας που περιγράφηκαν παραπάνω, μετρήσεις θερμοκρασίας πάνω από την επιφάνεια έχουν γίνει με μετεωρολογικά μπαλόνια, με λογική κάλυψη πάνω από το έδαφος από το 1958 και και από δορυφόρο από το 1979. Δορυφορικά μικροκυματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργηθεί ένα «αρχείο δορυφορικών θερμοκρασιών» για ατμοσφαιρικά στρώματα μεγάλου πάχους συμπεριλαμβανομένης της τροπόσφαιρας (μέχρι ύψος 10 km περίπου από το έδαφος) και της κατώτερης στρατόσφαιρας (10–30 km περίπου από το έδαφος).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στην παρούσα εργασία μελετώνται χρονοσειρές με τουλάχιστον 100 χρόνια καταγεγραμμένων θερμοκρασιών. Η παρούσα εργασία θα

περιοριστεί σε ανάλυση ιστορικών θερμοκρασιακών στην επιφάνεια της γης (historical land surface temperature data).

3.2. Βάσεις δεδομένων

Για την ανάλυση των μεταβολών του κλίματος και των φαινομένων που συνδέονται με αυτό έχει γίνει συλλογή των δεδομένων που έχουν καταγραφεί παγκοσμίως σε βάσεις δεδομένων.

Οι μεγαλύτερες αυτή τη στιγμή βάσεις δεδομένων όσον αφορά σε historical land surface temperature data και στις οποίες στηρίζονται οι αναλύσεις και οι διακηρύξεις σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη είναι οι

1. GHCN Monthly Version 2 (Global Historical Climatology Network)
2. CRUTEM3 dataset

Η βάση GHCN Monthly Version 2

Η βάση δεδομένων GHCN-Monthly Version 2 (Global Historical Climatology Network-Monthly, <http://www.ncdc.noaa.gov/ghcnm/v2.php>) περιέχει δεδομένα θερμοκρασιών, βροχοπτώσεων και πιέσεων από χιλιάδες επίγειους σταθμούς σε ολόκληρο τον κόσμο και έχει συγκροτηθεί από στοιχεία που προέρχονται από πλήθος μικρότερων βάσεων δεδομένων. Μια λίστα αυτών των βάσεων παρατίθεται στον Πίνακα 3.1.

Η GHCN-Monthly αναπτύχθηκε αρχικά στις αρχές της δεκαετίας του 1990 από το National Climatic Data Center (NCDC) του National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) των ΗΠΑ. Μια δεύτερη εκδοχή (Version 2) κυκλοφόρησε το 1997 μετά από εκτεταμένες προσπάθειες να αυξηθεί ο αριθμός των σταθμών και το μήκος των χρονοσειρών των υδροκλιματικών δεδομένων (Peterson and Vose, 1997). Κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας τον Μάιο 2011, μια τρίτη εκδοχή της βάσης δεδομένων, η GHCN Monthly Version 3 αντικατέστησε τη δεύτερη εκδοχή. Καθώς για την επεξεργασία δεδομένων θερμοκρασιών που έγινε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής αλλά και στην πιο πρόσφατη διακυβερνητική διακήρυξη για το κλίμα χρησιμοποιήθηκε η Version 2, θα γίνει σχολιασμός αυτής της έκδοσης.

Data Source	Number of Mean Temperature Stations	Number of Max/Min Temperature Stations
NCAR's World Monthly Surface Station Climatology	3,563	0
NCDC's Maximum/Minimum Temperature Data Set	3,179	3,179
Deutscher Wetterdienst's Global Monthly Surface Monthly Climatic Data for the World	2,559	0
World Weather Records (1971-80)	2,176	0
World Weather Records (1961-70)	1,912	0
World Weather Records (1961-70)	1,858	0
U.S. Summary of the Day Data Set	1,463	1,463
U.S. Historical Climatology Network	1,221	1,221
A Climatological Database for Northern Hemisphere	920	0
Australian National Climate Center's Data Set for North American Climate Data, NCDC	785	785
North American Climate Data, NCDC	764	764
Bo-Min's Data Set for the People's Republic of China	378	0
USSR Network of CLIMAT stations	243	0
Daily Temperature and Precipitation Data for 223 USSR	223	223
Two Long-Term Databases for the People's Republic of ASEAN Climatic Atlas	205	60
ASEAN Climatic Atlas	162	162
Pakistan's Meteorological and Climatological Data Set	132	132
Diaz's Data Set for High-Elevation Areas	100	0
Douglas' Data Set for Mexico	92	0
Ku-nil's Data Set for Korea	71	71
Jacka's Data Set for Antarctic Locales	70	0
Monthly Data for the Pacific Ocean / Western Americas	60	0
U.S. Historical Climatology Network (Alaska)	47	47
Muthurajah's Data Set for Malaysia	18	18
Hardjawinata's Data Set for Indonesia	13	13
Fitzgerald's Data Set for Ireland	11	11
Sala's Data Set for Spain	3	0
Al-kubaisi's Data Set for Qatar	1	1
Al-sane's Data Set for Kuwait	1	1
Stekl's Data Set for Ireland	1	1

Πίνακας 3.1. Πηγές θερμοκρασιακών δεδομένων για τη βάση *GHCN Monthly Version 2*

Πάντως, στα πλαίσια αργότερα της αξιολόγησης των μεθόδων επεξεργασίας των θερμοκρασιακών δεδομένων, θα αξιολογηθούν και οι μέθοδοι ελέγχου ποιότητας και απαλλαγής των δεδομένων από ανομογένειες που χρησιμοποιήθηκαν στην Version3 (Menne and Williams, 2009).

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τις θερμοκρασίες, η GHCN Monthly Version 2 περιέχει μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για 7280 σταθμούς και maximum/minimum θερμοκρασιακά δεδομένα για 4966 σταθμούς. Όλοι οι σταθμοί περιέχουν τουλάχιστον 10 χρόνια καταγεγραμμένων στοιχείων. Το αρχείο περιέχει επίσης ομογενοποιημένα (επεξεργασμένα) δεδομένα για ένα υποσύνολο της βάσης δεδομένων (5206 σταθμοί με μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και 3647 σταθμοί με maximum/minimum θερμοκρασίες). Το αρχείο των ομογενοποιημένων σταθμών είναι λίγο μικρότερο από αυτό των μη επεξεργασμένων δεδομένων καθώς επεξεργασία έγινε στους σταθμούς που περιείχαν τουλάχιστον 20 έτη καταγεγραμμένων θερμοκρασιών, ενώ και σε κάποιους απομονωμένους σταθμούς με περισσότερα έτη η ομογενοποίηση δεν μπορούσε να δικαιολογηθεί επαρκώς.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του δικτύου των ομογενοποιημένων σταθμών περιγράφεται από τους Easterling and Peterson (1995) .

Εκτός από τα θερμοκρασιακά δεδομένα η βάση GHCN-Monthly Version 2 περιέχει δεδομένα βροχοπτώσεων από 20590 σταθμούς και δεδομένα ατμοσφαιρικής πίεσης στη στάθμη της θάλασσας από 2668 σταθμούς παγκοσμίως.

Γενικά πιο πυκνό δίκτυο σταθμών και καλύτερη χωρική κάλυψη είναι εμφανή στην Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη, την Αυστραλία και περιοχές της Ασίας. Μεγαλύτερη συγκέντρωση σταθμών παρατηρείται επίσης στο Βόρειο σε σχέση με το Νότιο Ημισφαίριο.

Η βάση CRUTEM3 dataset

Η βάση δεδομένων CRUTEM3 (<http://hadleyserver.metoffice.com/crutem3/>) είναι μια κανναβοποιημένη (gridded) βάση που περιέχει αποκλίσεις της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης από μία μέση τιμή (global historical land surface temperature anomalies) σε παγκόσμια κλίμακα . Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα για κάθε μήνα από τον Ιανουάριο 1850 για κάρναβο 5 μοιρών. Η CRUTEM3 είναι προϊόν συνεργασίας του Met Office Hadley Centre και του Climatic Research Unit του University of East Anglia. Ο συνδυασμός των

δεδομένων της βάσης CRUTEM3 και της βάσης HadSST2 (η οποία περιέχει θερμοκρασιακά δεδομένα από το ανώτερο στρώμα της θάλασσας) αποτελούν την ευρύτερη βάση δεδομένων HadCRUT3.

Τα δεδομένα καννάβου βασίζονται σε ένα αρχείο μέσω μηνιαίων θερμοκρασιών που παρέχονται από περισσότερους από 4000 κλιματικούς σταθμούς σε όλο τον κόσμο. Τα θερμοκρασιακά δεδομένα κάθε σταθμού μετατρέπονται σε anomalies αφαιρώντας τη μέση θερμοκρασία της περιόδου 1961-90 για τον συγκεκριμένο σταθμό, και κάθε grid-box value είναι ο μέσος όρος όλων των anomalies των σταθμών στο συγκεκριμένο grid-box. Όπως και για την μέση anomaly, εκτιμήσεις γίνονται για τις αβεβαιότητες που προκαλούνται από κακής ποιότητας μετρήσεις, για αβεβαιότητες στα δεδομένα των σταθμών και στη δειγματοληψία λόγω του περιορισμένου αριθμού των διαθέσιμων μετρήσεων και μεγάλης κλίμακα συστηματικά σφάλματα όπως η αστικοποίηση (Brohan *et al.*, 2006).

Εκτός από τις βάσεις δεδομένων που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν αναπτυχθεί και πολλές μικρότερες βάσεις δεδομένων κάποιες από τις οποίες έχουν συμπεριληφθεί και σε αυτές που αναλύθηκαν, π.χ. GHCN. Επιπλέον οι υπάρχουσες βάσεις δεδομένων συμπληρώνονται και επεκτείνονται, π.χ. GHCN-daily.

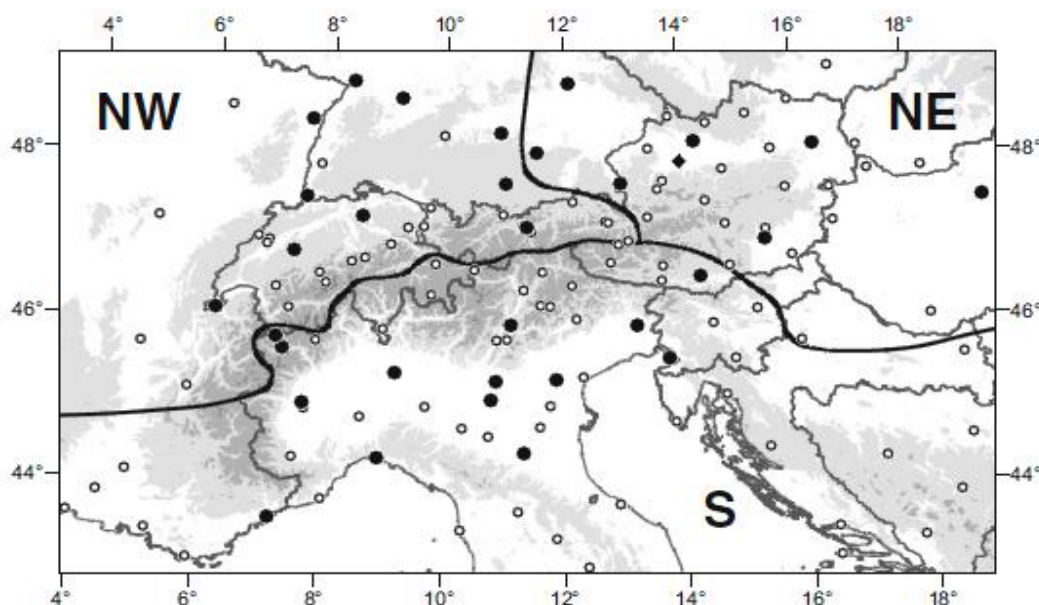
Η βάση HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region

Η βάση δεδομένων HISTALP αποτελείται από μηνιαίες ομογενοποιημένες καταγραφές θερμοκρασιών, πιέσεων, βροχοπτώσεων, ηλιοφάνειας και συννεφιάς για την ευρύτερη περιοχή των Άλπεων. Συγκεκριμένα περιέχει 131 χρονοσειρές θερμοκρασιών, 192 χρονοσειρές βροχοπτώσεων, 72 ατμοσφαιρικής πίεσης, 55 ηλιοφάνειας και 66 συννεφιάς (σύνολο 516 χρονοσειρές). Το σημαντικό στοιχείο της βάσης δεδομένων HISTALP είναι η ποικιλία των μεταβλητών που συλλέγονται και μελετώνται και κυρίως η ύπαρξη χρονοσειρών θερμοκρασιών που ξεκινούν από το 1760. Η Ευρώπη είναι και η μόνη περιοχή του κόσμου με χρονοσειρές θερμοκρασιών που ξεκινούν τόσο παλιά (Böhm *et al.*, 2010). Οι τοποθεσίες των σταθμών που συνθέτουν το δίκτυο HISTALP σημειώνονται στο Σχήμα 3.1.

Μια συγκριτική παρουσίαση των τριών βάσεων που αναλύθηκαν παραπάνω παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.2.

Βάσεις δεδομένων	Κάλυψη	Τύπος δεδομένων	Διάθεση	Χρονική κλίμακα δεδομένων	Άλλα χαρακτηριστικά
GHCN Monthly-Version 2	παγκόσμια	ιστορικές θερμοκρασίες εδάφους, βροχοπτώσεις, πιέσεις	αρχικά και επεξεργασμένα δεδομένα	μηνιαία	
CRUTEM3	παγκόσμια	ιστορικές θερμοκρασίες εδάφους	επεξεργασμένα δεδομένα	μηνιαία	κανναβοποιημένη βάση δεδομένων
HISTALP	Κεντρική Ευρώπη-ευρύτερη περιοχή των Άλπεων	ιστορικές θερμοκρασίες εδάφους, βροχοπτώσεις, πιέσεις, ηλιοφάνεια, συννεφιά	επεξεργασμένα δεδομένα	μηνιαία	περιέχει τις παλιότερες καταγραφές ιστορικών θερμοκρασιών εδάφους

Πίνακας 3.2. Συγκριτική παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών των δύο κύριων βάσεων δεδομένων που περιέχουν ιστορικά δεδομένα θερμοκρασιών από την επιφάνεια του εδάφους, *GHCN Monthly- Version 2* και *CRUTEM3* και της σημαντικής μικρότερης βάσης *HISTALP*.



Σχήμα 3.1. Οι τοποθεσίες των σταθμών καταγραφής θερμοκρασιών που απαρτίζουν το δίκτυο *HISTALP* (Böhm et al., 2010). Με άσπρους κύκλους σημειώνονται 102 περιοχές με καταγραφές θερμοκρασιών που ξεκινούν το δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα, με μαύρους κύκλους οι 32 χρονοσειρές που ξεκινούν πριν το 1850 και απαρτίζουν μια ξεχωριστή υπο-βάση δεδομένων, και με μαύρο ρόμβο (πάνω δεξιά) σημειώνεται ο συγκριτικός σταθμός *Kremsmünster*, στον οποίο έχει διατηρηθεί ο παλιός κλωβός προστασίας των οργάνων καταγραφής της θερμοκρασίας. Με έντονες μαύρες γραμμές σημειώνονται οι βασικές υποπεριοχές που ορίστηκαν με κριτήριο τη θερμοκρασία από τους Auer et al. (2007).

4. ΑΝΟΜΟΓΕΝΕΙΕΣ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Οι χρονοσειρές που περιγράφουν θερμοκρασίες είναι κατ' αρχήν διαφορετικής προέλευσης. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο Γ, μετρήσεις παίρνονται από την επιφάνεια της γης, από όργανα πάνω σε σκάφη, από δορυφόρους κλπ. Έχουμε δηλαδή ένα συνδυασμό καταγραφών από πολύ διαφορετικές πηγές. Διαφοροποιήσεις υπάρχουν ακόμα και στις παραδοσιακά μετρούμενες θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια του εδάφους: οι τρόποι και οι συνθήκες μέτρησης της θερμοκρασίας (τύπος οργάνων, απόσταση οργάνων από την επιφάνεια του εδάφους κλπ) μεταβάλλονται από τόπο σε τόπο και από εποχή σε εποχή. Στη διεθνή βιβλιογραφία έχει γίνει προσπάθεια αναλυτικής περιγραφής των τρόπων και συνθηκών μέτρησης της θερμοκρασίας (π.χ. Böhm *et al.*, 2010). Ο συνδυασμός των διαφορετικών καταγραφών και κυρίως των αλλαγών στους τρόπους καταγραφής θεωρείται ότι εισάγει ανομογένειες στα δεδομένα.

Με τον όρο **ανομογένεια** χαρακτηρίζονται συνήθως ατέλειες ή πιθανές ατέλειες των μετρήσεων, καθώς επίσης και τμήματα χρονοσειρών ή και ολόκληρες χρονοσειρές που δεν θεωρούνται αντιπροσωπευτικές των κλιματικών μεταβολών της θερμοκρασίας μιας ευρύτερης περιοχής ως συνάρτηση του χρόνου.

Ο επίσημος ορισμός των **ομογενών χρονοσειρών** που δίνεται στη βιβλιογραφία είναι χρονοσειρές στις οποίες οι μεταβολές οφείλονται αποκλειστικά σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών και του κλίματος (Conrad and Pollak, 1962).

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούνται από τις ανομογένειες (ατέλειες/σφάλματα και μη αντιπροσωπευτικότητα) έχει απασχολήσει τους ερευνητές και έχει οδηγήσει

- σε μεθόδους εντοπισμού των ανομογενειών (homogeneity tests), και
- σε διόρθωση ή και απαλοιφή των αντίστοιχων στοιχείων (δεδομένων),

που εξετάζονται αναλυτικά στο επόμενο Κεφάλαιο.

Οι ανομογένειες των χρονοσειρών θερμοκρασιών έχουν επομένως διαφορετική προέλευση και χαρακτηριστικά, τα οποία συχνά δεν τεκμηριώνονται με λεπτομέρεια στις διορθώσεις που γίνονται, κυρίως λόγω του όγκου των δεδομένων και της ποικιλίας των ανομογενειών. Η

ασάφεια αυτή γύρω από τη διόρθωση των χρονοσειρών είναι από τα κρίσιμα σημεία που τροφοδοτούν τις διαμάχες γύρω από το θέμα της «κλιματικής αλλαγής».

Για το λόγο αυτό, μετά από επισταμένη μελέτη της βιβλιογραφίας σε παγκόσμια κλίμακα, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις δημοσιεύσεις που προτείνουν μεθόδους εντοπισμού των ανομογενειών (Easterling and Peterson, 1995, Alexandersson and Moberg, 1997 κ.ά.), έγινε μια τυπολογική ταξινόμηση των περιπτώσεων ανομογενειών των χρονοσειρών που συνήθως οδηγούν σε «διορθωμένες» σειρές.

4.1 Τυπολογία ανομογενειών χρονοσειρών θερμοκρασίας εδάφους

Σε γενικές γραμμές, με βάση τη μελέτη της βιβλιογραφίας που αναφέρεται πιο πάνω στην εισαγωγή του παρόντος Κεφαλαίου, οι ανομογένειες χρονοσειρών θερμοκρασίας εδάφους, κυρίως αυτών που καλύπτουν χρονικά διαστήματα >100 χρόνια μπορούν να διακριθούν σε κάποιες κατηγορίες:

(α) ως προς τις αιτίες των ανομογενειών, και

(β) ως προς τη μορφή με την οποία εμφανίζονται οι ανομογένειες στις μετρήσεις.

Συγκεκριμένα, μπορεί να προταθεί ο παρακάτω διαχωρισμός που αναλύεται και τεκμηριώνεται στις επόμενες παραγράφους.

α) ως προς τις αιτίες:

1. Σφάλματα θερμομέτρων/καταγραφών (measurement bias), και
2. Μεταβολές συνθηκών μετρήσεων,
3. Διαφορές στη μέθοδο υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας και στο χρόνο δειγματοληψίας.

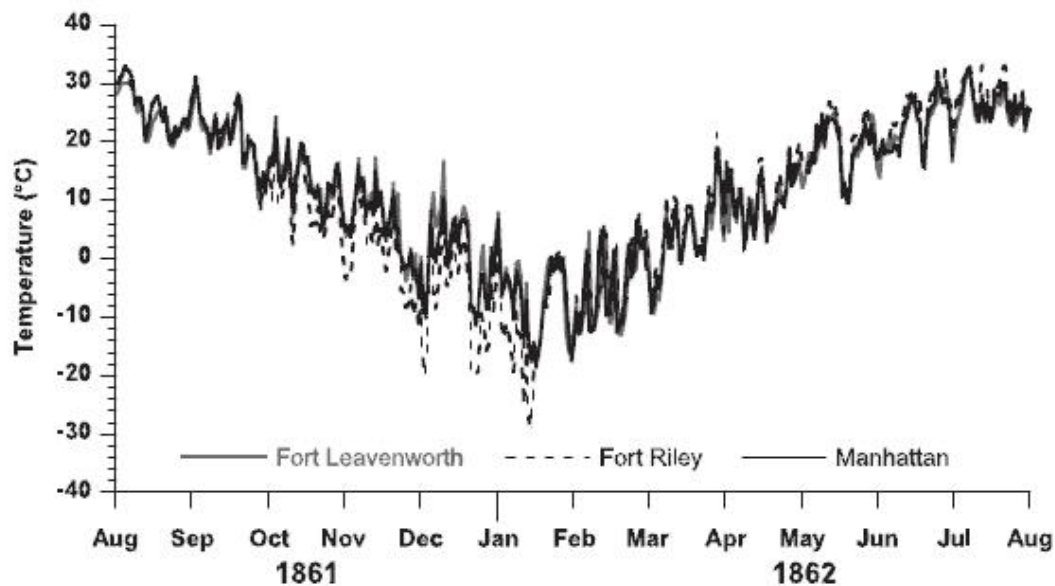
β) ως προς τη μορφή:

1. άλματα (offsets), δηλαδή μεταβολές στη μέση τιμή,
2. μεταβολές κλίσης (trends), ή
3. μεμονωμένες μη αντιπροσωπευτικές τιμές.

4.1.1 Σφάλματα θερμομέτρων/καταγραφών (measurement bias)

Οι περιπτώσεις αυτές αφορούν:

1. Προβλήματα ρύθμισης-διακρίβωσης (calibration) ή σφάλματα οργάνων. Οι ανομογένειες σε αυτή την περίπτωση έχουν συνήθως τη μορφή μεμονωμένων λανθασμένων τιμών ή και συστηματικών σφαλμάτων σε μια ολόκληρη περίοδο καταγραφών (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1. Σύγκριση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών από τρεις σταθμούς του Kansas των ΗΠΑ: Fort Leavenworth, Fort Riley και Manhattan (Burnette et al., 2010). Ανάμεσα στο Σεπτέμβριο 1861 και τον Ιανουάριο 1862 παρατηρείται μια απόκλιση ανάμεσα στους σταθμούς στα Fort Riley και Manhattan, περιοχές που απέχουν μόνο 6.5 km. Η απόκλιση αυτή που φτάνει τους $13.28^{\circ} C$ εικάζεται από τους Burnette et al. ότι προκλήθηκε από απορρύθμιση ή ζημιά θερμομέτρου.

2. Υποκειμενικά σφάλματα καταγραφών των μετρήσεων. Αυτά αφορούν είτε μετρήσεις που καταγράφηκαν εξ' αρχής λανθασμένα, είτε αντιγράφηκαν λανθασμένα, είτε καταγράφηκαν με χρονική διαφορά από την αναφερόμενη, π.χ. αντί για 9 το βράδυ, νωρίτερα, είτε ακόμα καταγράφηκαν μετά από αυθαίρετη εκτίμηση του χειριστή του οργάνου (Peterson et al., 1998). Σφάλματα μετρήσεων θεωρούνται επίσης και οι επαναλήψεις ίδιων γεγονότων (Menne et al., 2009).

4.1.2 Μεταβολές συνθηκών μετρήσεων

Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις:

1) Ασυνέχειες στη διαδικασία των μετρήσεων, κυρίως αντικατάσταση των θερμομέτρων με θερμομέτρα ίδιου ή συνηθέστερα άλλου τύπου και ρύθμιση (εσφαλμένη ή και κανονική) των οργάνων (calibration).

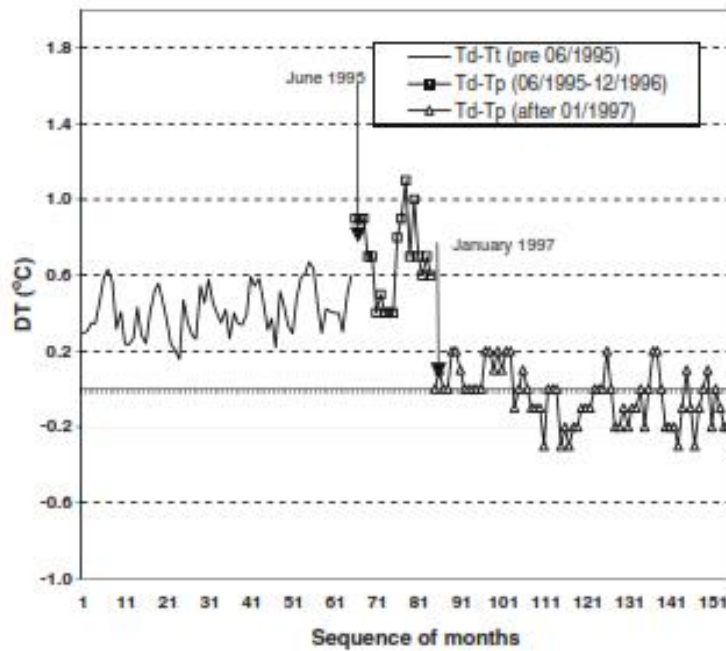
Η διαδικασία αυτή δημιουργεί βασικά μετατοπίσεις (offsets) και θεωρείται κύρια πηγή ανομογενειών, είτε τεκμηριωμένων από metadata είτε όχι, λόγω ατελούς αρχείου στο θερμοκρασιακό σταθμό (Easterling and Peterson, 1995).

Παράδειγμα ανομογενειών από αλλαγή οργάνου και στη συνέχεια ρύθμισή του παρατηρείται στο θερμοκρασιακό σταθμό στο Αστεροσκοπείο Αθηνών (Σχήμα 4.2). Για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας το Αστεροσκοπείο Αθηνών ήταν εξοπλισμένο με υδραργυρικά θερμομέτρα από τα οποία γινόταν ανάγνωση τριών τιμών ημερησίως (στις 08:00, 14:00, 20:00 τοπική ώρα) και με διμεταλλικό θερμογράφο Richard συνεχούς καταγραφής σε πλάκα Stevenson. Οι ωριαίες καταγραφές από το θερμογράφο ελέγχονταν και διορθώνονταν από τις απευθείας αναγνώσεις των θερμομέτρων. Το Αστεροσκοπείο Αθηνών ήταν επίσης εξοπλισμένο με μηχανικά θερμομέτρα μεγίστου/ελαχίστου Negretti and Rutherford, τα οποία κατέγραφαν μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες τιμές (Founda *et al.*, 2009).

Τον Ιούνιο 1995 έγινε αντικατάσταση του θερμογράφου από ηλεκτρονικό θερμομέτρο και τον Ιανουάριο 1997 εφαρμόστηκε μια διόρθωση στο νέο όργανο, αλλαγές που προκάλεσαν δυο εμφανείς ανομογένειες στα καταγεγραμμένα δεδομένα.

Οι ασυνέχειες που συνδέονται με την αλλαγή της τεχνολογίας των θερμομέτρων είναι πολύ συνηθείς και θεωρούνται από τις πιο σημαντικές.

Σε γενικές γραμμές μια σημαντική αλλαγή οργάνων γίνεται σχεδόν ταυτόχρονα σε μεγάλες περιοχές. Ξεκινούν από τους κεντρικούς σταθμούς μέτρησης και φτάνουν με μια μικρή συνήθως καθυστέρηση που μπορεί όμως να φτάσει και τη δεκαετία στις γύρω περιοχές.



Σχήμα 4.2. Χρονοσειρά διαφορών (DT) από το Αστεροσκοπείο Αθηνών ανάμεσα στις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που προκύπτουν από αναγνώσεις υδραργυρικών θερμομέτρων και τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που προκύπτουν από: (α) το συμβατικό τρόπο πριν την αλλαγή οργάνου τον Ιούνιο 1995, (β) την ανάγνωση ηλεκτρονικού οργάνου μετά την αλλαγή οργάνου και πριν τη ρύθμισή του (*calibration*) τον Ιανουάριο 1997, και (γ) την ανάγνωση ηλεκτρονικού οργάνου μετά και από τη ρύθμισή του (Founda *et al.*, 2009).

Στις ΗΠΑ σημαντική αλλαγή των οργάνων μέτρησης θερμοκρασίας συνέβη στα μέσα και τέλη της δεκαετίας του 1980 (Quayle *et al.*, 1991), με την αντικατάσταση των υδραργυρικών θερμομέτρων (liquid-in-glass- LIG thermometers) με καταγραφικά όργανα μεγίστου-ελαχίστου (thermistor Maximum- Minimum Temperature System- MMTS).

Στην Ευρώπη σημαντική αλλαγή οργάνων έλαβε γύρω στα 1860, με την εγκαίνιαση μιας ‘μοντέρνας’ εποχής οργάνων (‘modern’ instrumental epoch). Η αντικατάσταση αυτή των οργάνων πρέπει να κράτησε όλη τη δεκαετία του 1860 (Moberg and Bergström, 1997, Auer *et al.*, 2007).

2) Αλλαγή τύπου ή μετατόπιση του μετεωρολογικού κλωβού

Πρόκειται για περιπτώσεις αλλαγής του μετεωρολογικού κλωβού, ή μετάθεσής του. Στην πρώτη περίπτωση, αλλαγή του τύπου μετεωρολογικού κλωβού αφορά στο μέγεθος, στη διαπερατότητα (τύπος διέλευσης αέρα) και στην ανακλαστικότητα του κλωβού. Στη δεύτερη περίπτωση, η μεταβολή αφορά το ύψος, τον προσανατολισμό και τη θέση του

μετεωρολογικού κλωβού. Οι δύο αυτοί τύποι αλλαγών έχουν ως αποτέλεσμα να εισάγεται στα καταγραφόμενα δεδομένα ένα συστηματικό σφάλμα.

Συνήθως το σφάλμα αυτό είναι πιο έντονο στην ελάχιστη και μέγιστη καταγραφόμενη θερμοκρασία λόγω αυξημένης ή μειωμένης έκθεσης στον ήλιο ή βόρειους ανέμους.

Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Κεντρικής ευρώπης που περιγράφεται από τους 1850-70 έγινε στην Κεντρική Ευρώπη αντικατάσταση των μετεωρολογικών κλωβών με καινούριους. Σύμφωνα με τους Böhm *et al.*, 2010, οι παλιοί κλωβοί οδηγούσαν σε διαφοροποίηση της «πραγματικής» θερμοκρασίας εμφανίζοντας φαινομενικά μεγαλύτερες τιμές τις ζεστές περιόδους (έως και 2,5° C) και φαινομενικά πιο κρύες τις κρύες (περίπου 0,5° C). Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε “Early Instrumental Bias”.

Στις ΗΠΑ σημαντική αλλαγή των μετεωρολογικών κλωβών έγινε στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Οι αρχικοί ξύλινοι κλωβοί (Cotton Region Shelter- CRS) αντικαταστάθηκαν από κυλινδρικούς πλαστικούς κλωβούς (Quayle *et al.*, 1991). Ταυτόχρονα με την αλλαγή αυτή, συντελέστηκε και αλλαγή των οργάνων μέτρησης θερμοκρασίας, όπως αναφέρεται και παραπάνω. Οι δύο τύποι κλωβών εικονίζονται στο Σχήμα 4.3.

3) Μεταβολές των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών στη γειτονιά του μετεωρολογικού σταθμού.

Οι μεταβολές αυτές οφείλονται:

- σε αλλαγή χρήσης της γης στον περιβάλλοντα χώρο

Οι αλλαγές αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν: καλλιέργειά ή εκχέρσωση μιας περιοχής με αποτέλεσμα διαφορετική επίδραση του εδάφους στη θερμοκρασία του αέρα σε χαμηλά ύψη, κατασκευή ή απομάκρυνση κατασκευών, αστικοποίηση ή βιομηχανοποίηση αγροτικών περιοχών (urbanization) κ.ά

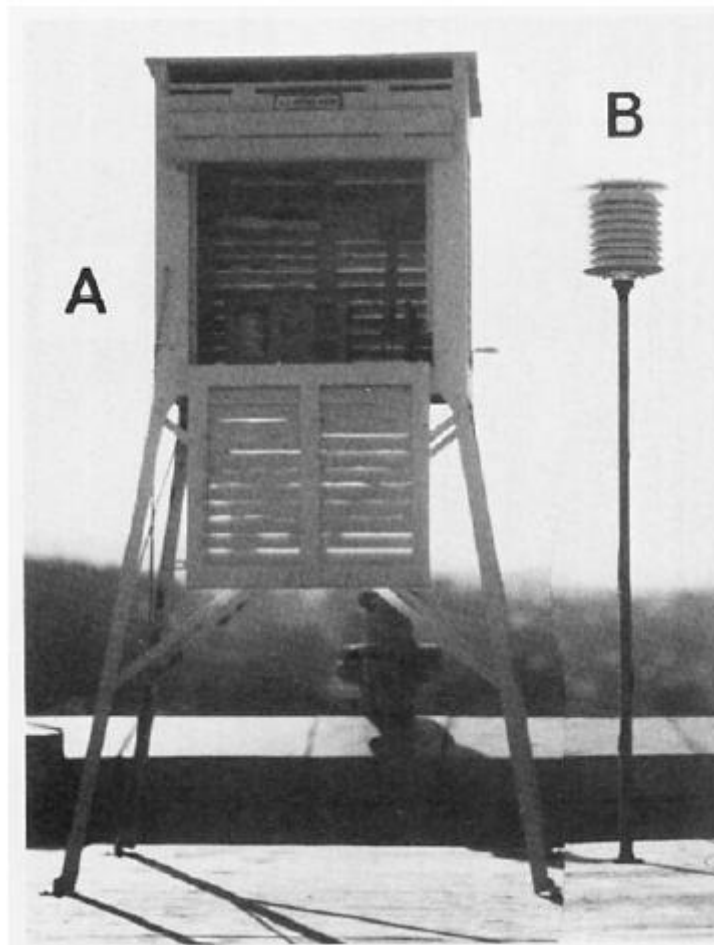
- μείωση της έκθεσης του μετεωρολογικού κλωβού /θερμομέτρου στην ηλιακή ακτινοβολία ή σε κάποια ρεύματα αέρα

Αυτό μπορεί να οφείλεται σε σκίαση λόγω ανάπτυξης ψηλών δέντρων πλησίον του καταγραφικού οργάνου, ανέγερσης κτιρίων (Alexandersson and Moberg, 1997) κ.ά.

- αύξηση της έκθεσης του μετεωρολογικού κλωβού /θερμομέτρου στην ηλιακή ακτινοβολία ή σε κάποια ρεύματα αέρα

Αντίστοιχα με πριν, μπορεί να αφαιρεθεί με κάποιο τρόπο ο παράγοντας που εμποδίζει την έκθεση του σταθμού στις καιρικές συνθήκες (π.χ. κόψιμο δέντρων).

Από τους παραπάνω τρεις παράγοντες, οι δύο τελευταίοι (αύξηση και μείωση της έκθεσης σε ηλιακή ακτινοβολία και ρεύματα αέρα) σχετίζονται με φαινόμενα αύξησης ή μείωσης της καταγραφόμενης ελάχιστης ή μέγιστης θερμοκρασίας.



Σχήμα 4.3. Εικονίζονται (α) χαρακτηριστικός ξύλινος κλωβός (CRS) που χρησιμοποιείτο μέχρι τη δεκαετία του 1980 στις ΗΠΑ και (β) πλαστικός κλωβός που αντικατέστησε τον αρχικό, φωτογραφημένοι στην ίδια κλίμακα .

Οι μεταβολές των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών στη γειτονιά του μετεωρολογικού σταθμού όταν είναι απότομες θεωρείται ότι επηρεάζουν κυρίως τη μέση τιμή των καταγραφόμενων χρονοσειρών, ενώ όταν είναι βαθμιαίες (π.χ. αστικοποίηση) θεωρείται ότι εισάγουν κυρίως γραμμικές τάσεις στα δεδομένα.

Οι μεταβολές που περιγράφηκαν όσον αφορά στις συνθήκες μέτρησης και στο περιβάλλον των σταθμών μέτρησης θερμοκρασίας δεν είναι καθόλου σπάνιες. Αντίθετα είναι εξαιρετικά διαδομένες. Εκτός από σταθμούς σε αγροτικές περιοχές, ελάχιστοι σταθμοί π.χ. δεν έχουν επηρεαστεί από την αλλαγή του άμεσου περιβάλλοντός τους.

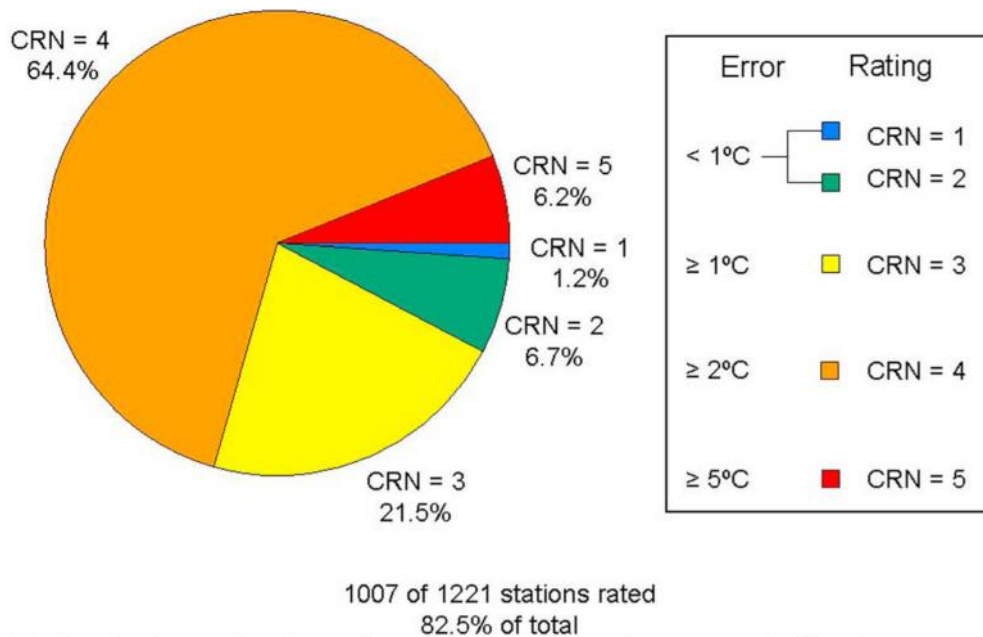
Χαρακτηριστικό παράδειγμα προκύπτει από έρευνα που έγινε από εθελοντές σε 1007 από τους 1221 σταθμούς καταγραφής θερμοκρασίας εδάφους στις ΗΠΑ που χρησιμοποιούνται από την NOAA για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το κλίμα (Fall *et al.*, 2011):

Η NOAA έχει υιοθετήσει συγκεκριμένα κριτήρια για την κατηγοριοποίηση των σταθμών αναφοράς που χρησιμοποιεί όσον αφορά στην πιθανότητα να έχουν επηρεαστεί από γειτονικές πηγές θερμότητας ή κρύου ή από τοπικά φαινόμενα (κοντινά κτίρια, χώροι πάρκινγκ κ.ά.): με σειρά αυξανόμενης πιθανότητας επιρροής από τέτοιους παράγοντες, οι σταθμοί κατατάσσονται στις κατηγορίες CRN 1-5. Κατάλληλοι θεωρούνται από την για τη μέτρηση κλιματικών τάσεων θεωρούνται από το NCDC οι σταθμοί των κατηγοριών CRN 1 και CRN 2.

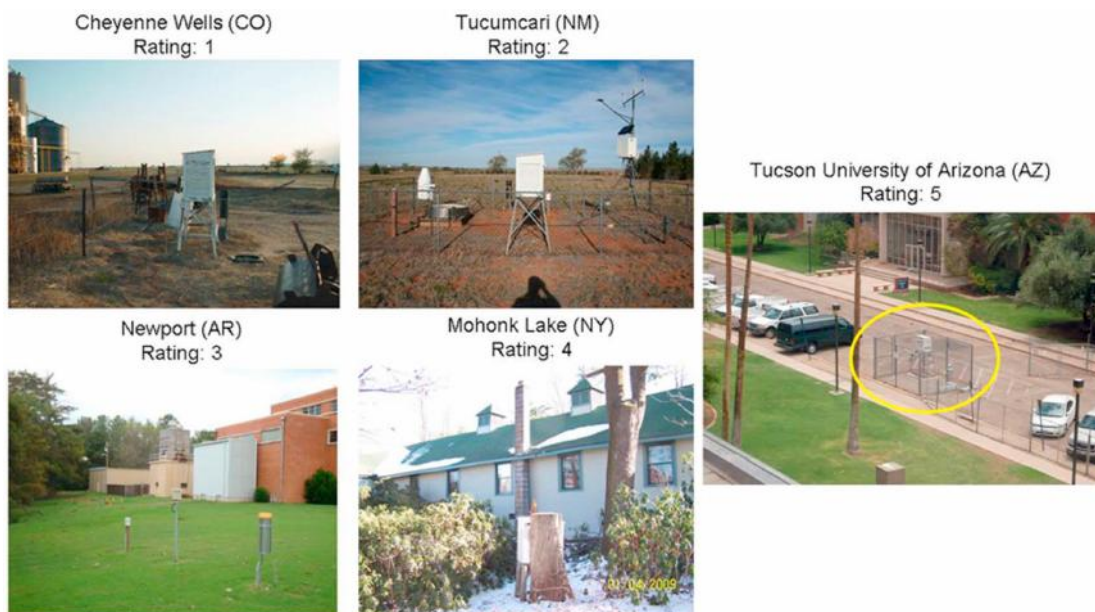
Από την επιτόπου έρευνα των εθελοντών, προέκυψε ότι μόνο 80 από τους 1007 σταθμούς που εξετάστηκαν πληρούσαν τα κριτήρια της κατηγορίας CRN 1 ή CRN 2. Από τους υπόλοιπους σταθμούς 67 κατατάσσονται στην κατηγορία CRN 5, στη χειρότερη δηλαδή κατηγορία για την εξαγωγή συμπερασμάτων (Σχήμα 4.4). Στοιχεία για την έρευνα αυτή δημοσιεύτηκαν και στο ιστολόγιο του Pielke Research Group (<http://pielkeclimatesci.wordpress.com/2011/05/11/a-summary-of-our-new-paper-analysis-of-the-impacts-of-station-exposure-on-the-u-s-historical-climatology-network-temperatures-and-temperature-trends-by-fall-et-al-2011/>) .

Στο Σχήμα 4.5 εικονίζονται κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις σταθμών που κατατάσσονται στις κατηγορίες CRN 1-5. Ο σταθμός που βαθμολογείται με 5 είναι εγκατεστημένος μέσα στο δρόμο, εντελώς ακατάλληλος δηλαδή για μέτρηση θερμοκρασίας, αφού επηρεάζεται πολύ όχι μόνο από την ύπαρξη τσιμέντου αλλά και από την κίνηση των αυτοκινήτων.

Όσον αφορά την αλλαγή των μετεωρολογικών κλωβών, από μελέτη σταθμών στην Κεντρική Ευρώπη στην περιοχή των Άλπεων (Böhm *et al.*, 2010), αναφέρεται ότι μόνο ένας μετεωρολογικός κλωβός είχε διατηρηθεί στην αρχική του κατάσταση (Kremsmünster). Όλοι οι υπόλοιποι κλωβοί είχαν αντικατασταθεί με καινούριους.



Σχήμα 4.4. Κατάταξη μετά από επιτόπιον έρευνα εθελοντών των σταθμών μέτρησης θερμοκρασίας στις ΗΠΑ με βάση το πόσο επηρεάζονται από γειτονικές πηγές θερμότητας ή κρύου ή από τοπικά φαινόμενα (Fall et al., 2011). Οι σταθμοί κατατάσσονται με φθίνουσα σειρά του δείκτη ποιότητας CRN 1-5. Κατάλληλοι για τη μέτρηση κλιματικών τάσεων θεωρούνται από το NCDC οι σταθμοί των κατηγοριών CRN 1 και CRN 2. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, μόνο 8% των σταθμών κατατάσσονται στην κατηγορία 1 ή 2, ενώ το 70% περίπου των σταθμών είναι κακής ποιότητας (κατηγορία 4 ή 5).



Σχήμα 4.5. Χαρακτηριστικά παραδείγματα σταθμών του δικτύου USHCN που κατατάσσονται σε καθεμία από τις κατηγορίες CRN 1-5 (Fall et al., 2011):

CRN 1, επίπεδη επιφάνεια χωρίς εμπόδια, με αισθητήρες τοποθετημένους τουλάχιστον 100m από τεχνητή πηγή θερμότητας και ύψος βλάστησης < 10cm, CRN 2, όμοιες συνθήκες με την κατηγορία CRN 1 αλλά με ύψος βλάστησης < 25cm, CRN 3, όμοιες συνθήκες με την κατηγορία CRN 1 αλλά χωρίς τεχνητή πηγή θερμότητας σε απόσταση 10m, CRN 4, τεχνητή πηγή θερμότητας σε απόσταση < 10m, και CRN 5, αισθητήρας τοποθετημένος δίπλα/πάνω σε τεχνητή πηγή θερμότητας.

Η περίπτωση του Kremsmünster

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τις δεκαετίες 1850-1870 έγινε εξιγχνονισμός των οργάνων στην Κεντρική Ευρώπη με την καθιέρωση των National Meteorological Services (NM's). Ανάμεσα στις σημαντικές αλλαγές που συντελέστηκαν ήταν η αντικατάσταση των παλιών μετεωρολογικών κλωβών με καινούριους που προστάτευαν πιο αποτελεσματικά τα θερμομέτρα από την απευθείας έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Η αλλαγή αυτή των συνθηκών μέτρησης προκάλεσε άλματα στις χρονοσειρές θερμοκρασίας στην Κεντρική Ευρώπη. Τα άλματα δεν γινόταν να διορθωθούν καθώς η ταυτόχρονη και απότομη αλλαγή των συνθηκών μέτρησης, χωρίς τη διατήρηση για κάποιο διάστημα των παλιών κλωβών δεν έδωσε τη δυνατότητα σύγκρισης των χρονοσειρών που μεταβλήθηκαν με γειτονικούς. Από τους παλιούς μετεωρολογικούς κλωβούς μόνο ένας διατηρήθηκε παράλληλα με τον καινούριο κλωβό που εγκαταστήθηκε: ο κλωβός στο Μοναστήρι Kremsmünster της Αυστρίας (Σχήμα 4.6).

Πειράματα που έγιναν από το 1995 μέχρι το 2002 με χρήση του παλιού και του καινούριου μετεωρολογικού κλωβού οδήγησαν στην ανάπτυξη μεθόδων για τη διόρθωση του σφάλματος που εισήχθη από την αλλαγή των κλωβών στη συγκεκριμένη περιοχή. Η αλλαγή των κλωβών και η περίπτωση του Kremsmünster περιγράφεται από τους Böhm *et al.*, 2010.



Σχήμα 4.6. Η ιστορική θέση μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας 6.9m πάνω από το έδαφος στη ΒΒΑ πρόσοψη του ιστορικού αστρονομικού πύργου στο Μοναστήρι Kremsmünster της Αυστρίας (Böhm *et al.*, 2010). Αριστερά: Οι τρεις πρώτοι όροφοι του οκταόροφου κτιρίου, Δεξιά: Υπερευρυγώνια φωτογραφία τραβηγμένη μέσα στο δωμάτιο μετεωρολογικών μετρήσεων

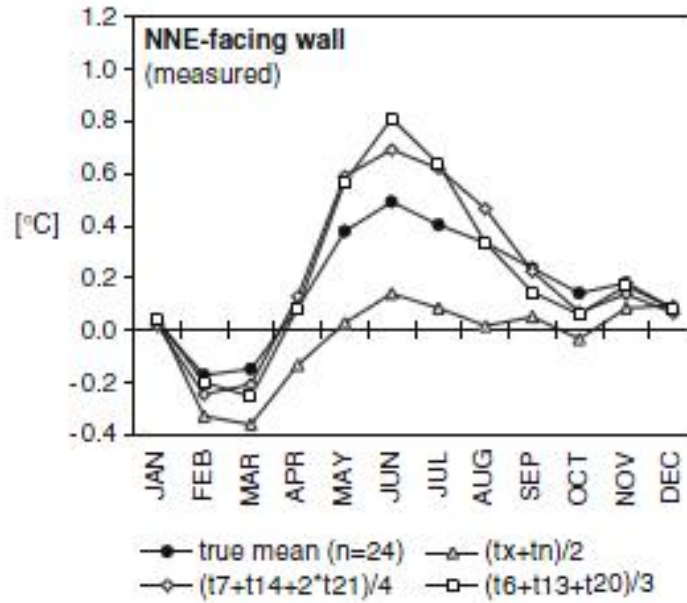
4.1.3 Διαφορές στη μέθοδο υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας και στο χρόνο δειγματοληψίας

Οι μέθοδοι και αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών διαφέρουν από εποχή σε εποχή και από χώρα σε χώρα, ακόμα και ανάμεσα σε δύο πόλεις τις ίδιας χώρας (Moberg and Bergström, 1997). Μερικοί από τους βασικότερους αλγόριθμους που έχουν χρησιμοποιηθεί ή και χρησιμοποιούνται ακόμα για τον υπολογισμό των μέσων ημερήσιων τιμών, από τις οποίες προκύπτουν στη συνέχεια οι μέσες μηνιαίες τιμές, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Οι διαφορετικοί αυτοί υπολογισμοί λόγω της ετερογένειάς τους εισάγουν ανομογένειες στα δεδομένα. Μια εκτίμηση του σφάλματος που εισάγεται έχει γίνει στις μετρήσεις από τους δύο διαφορετικούς κλωβούς στο Kremsmünster. Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες υπολογίστηκαν με τέσσερις διαφορετικούς αλγόριθμους. Οι διαφορές των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών ανάμεσα στον παλιό και τον καινούριο κλωβό για τους τέσσερις διαφορετικούς αλγόριθμους παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.7.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ανομογένειες προκύπτουν ακόμα και όταν χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος υπολογισμού των μέσων ημερήσιων τιμών, λόγω διαφοράς ώρας ή λόγω της χρονικής στιγμής που θεωρείται ότι ξεκινάει το νέο 24ωρο π.χ. τα μεσάνυχτα ή στη δύση του ήλιου (Karl *et al.*, 1986).

ΜΕΤΡΗΣΗ	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΣΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ
t_{\max}, t_{\min}	$t = (t_{\max} + t_{\min}) / 2$	(1)
t_{07}, t_{14}, t_{21}	$t = (t_{07} + t_{14} + 2 \times t_{21}) / 4$	(2),(3)
t_{06}, t_{13}, t_{20}	$t = (t_{06} + t_{13} + t_{20}) / 3$	(3)
t_{08}, t_{14}, t_{21}	$t = (t_{08} + t_{14} + 5 \times t_{21}) / 7$	(3)
$t_{01}, t_{02}, \dots, t_{23}, t_{24}$	$t = (t_{01} + t_{02} + \dots + t_{24}) / 24$	(3),(4)

Πίνακας 4.1. Αλγόριθμοι που έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορα μέρη παγκοσμίως για τον υπολογισμό μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών. Βιβλιογραφικές αναφορές: (1): Karl *et al.*, 1986, (2): Böhm *et al.*, 2010, (3): Moberg and Bergström, 1997, (4): Founda *et al.*, 2009



Σχήμα 4.7. Διαφορές στις μέσες μηνιαίες τιμές στο σταθμό Kremsmünster που προκύπτουν από τέσσερις διαφορετικούς αλγόριθμους υπολογισμού των μέσων ημερήσιων τιμών. Οι τιμές έχουν προκύψει από τη διαφορά των μετρήσεων στον παραδοσιακό και τον καινούριο κλωβό με χρήση σύγχρονων οργάνων (Böhm et al., 2010).

5. ΤΥΠΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Η αναγνώριση ανομογενειών στα θερμοκρασιακά δεδομένα οδήγησε στην ανάπτυξη στατιστικών μεθόδων ομογενοποίησης των δεδομένων. Οι πρώτες μέθοδοι φαίνεται να αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1950 (Brooks and Carruthers, 1953). Σύντομα οι μέθοδοι αυτές εξελίχθηκαν, γενικεύτηκαν, πολλαπλασιάστηκαν και σήμερα μπορεί κανείς να εντοπίσει στη βιβλιογραφία πολλές διαφορετικές μεθόδους και εκδοχές τους, οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί για την ομογενοποίηση χρονοσειρών.

Οι ανομογένειες, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο Κεφάλαιο, θεωρείται ότι εισάγονται στα δεδομένα με τη μορφή

- μεμονωμένων μη αντιπροσωπευτικών τιμών,
- τυχόν άγνωστων αλμάτων (offsets), δηλαδή μεταβολών στη μέση τιμή, ή
- μεταβολών κλίσης (trends).

Οι μέθοδοι επεξεργασίας των κλιματικών δεδομένων έχουν ως στόχο να εντοπίσουν και να αφαιρέσουν τους παραπάνω τύπους ανομογενειών. Η επεξεργασία των μηνιαίων δεδομένων εφαρμόζεται συνήθως σε δύο ή περισσότερα στάδια (συνήθως τρία), τα οποία αναλύονται παρακάτω. Μέρος της επεξεργασίας μπορεί να γίνεται στα ημερήσια δεδομένα, πριν από αυτά υπολογιστούν μέσες μηνιαίες τιμές. Οι διαφοροποιήσεις στα στάδια και τον αριθμό τους οφείλονται στη διαφορετική προσέγγιση που έχει η κάθε ερευνητική ομάδα που ασχολείται με την επεξεργασία των δεδομένων. Τα τρία βασικά στάδια κατά την επεξεργασία των δεδομένων είναι:

1. ανίχνευση και απομάκρυνση χονδροειδών σφαλμάτων- ακραίων τιμών (outliers),
2. αναγωγή δεδομένων σε τυποποιημένες συνθήκες μέτρησης (τυποποιημένους χρόνους παρατήρησης, όργανα αναφοράς κλπ) και διόρθωση καταγεγραμμένων αλλαγών, και
3. ομογενοποίηση των δεδομένων με στατιστικά τεστ.

Παρακάτω γίνεται ανάλυση των τριών αυτών βασικών σταδίων της επεξεργασίας μηνιαίων δεδομένων θερμοκρασίας.

5.1 Ανίχνευση και απομάκρυνση χονδροειδών σφαλμάτων- ακραίων τιμών (outliers)

Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνεται με δύο τρόπους:

1. εφαρμογή απευθείας στα μηνιαία δεδομένα, ή
2. εφαρμογή στα ημερήσια δεδομένα και στη συνέχεια υπολογισμός μέσω μηνιαίων τιμών.

Στα μηνιαία δεδομένα συνήθως ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

(α) Εκτιμάται η τυπική απόκλιση σ μιας χρονοσειράς, και ορίζεται μια ζώνη πλάτους $3\sigma - 5\sigma$ που αντιστοιχεί σε πιθανότητα περίπου 99-99.9999% μια τιμή που βρίσκεται έξω από αυτή να αντιστοιχεί σε χονδροειδές σφάλμα.

(β) Οι τιμές που βρίσκονται εκτός της επιλεγμένης ζώνης απομακρύνονται και τα αντίστοιχα σημεία θεωρούνται κενά και συνήθως συμπληρώνονται με ευδιάκριτες τιμές, π.χ. Ακέραιες πενταψήφιες όπως -999.9 κλπ. Η ανάλυση αυτή προϋποθέτει κανονική κατανομή των τιμών των χρονοσειρών.

Για παράδειγμα, τέτοιου τύπου τεχνική με ζώνη πλάτους 5σ εφαρμοζόταν στο δίκτυο USHCN (United States Historical Climatology Network) Version 1 (<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/ushcn/ushcn.html>).

Η απομάκρυνση των outliers από τα μηνιαία δεδομένα γίνεται και με σύγκριση των θερμοκρασιών μιας περιοχής με δεδομένα κοντινών σταθμών ή και με άλλα κλιματικά δεδομένα (π.χ. βροχοπτώσεις, ηλιοφάνεια κλπ). Η μεθοδολογία αυτή ακολουθήθηκε από τους Auer *et al.* (2007) στη βάση HISTALP.

Στα ημερήσια δεδομένα η διαδικασία διαφέρει από ομάδα σε ομάδα. Για παράδειγμα, κατά την ομογενοποίηση μέγιστων ημερήσιων χρονοσειρών θερμοκρασιών στη Μεσόγειο απομακρύνθηκαν τιμές εκτός ζώνης εύρους $\pm 4\sigma$ (Kuglitsch *et al.*, 2009) και στη συνέχεια έγινε εκτίμηση μέσω μηνιαίων τιμών.

Η τεχνική που ακολουθεί τα τελευταία χρόνια η NOAA είναι αρκετά πιο πολύπλοκη. Αρχικά εντοπίζονται στα ημερήσια δεδομένα διαφορετικοί τύποι outliers που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1 και στη συνέχεια γίνεται ένας δεύτερος έλεγχος στα μηνιαία δεδομένα όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.2 (Menne *et al.*, 2009).

TABLE I. Quality assurance checks applied to daily data.	
Data problem	Description of check
Simultaneous zeros	Identifies days on which both maximum and minimum temperature are -17.8°C (0°F)
Duplication of data	Identifies duplication of data between entire years, different years in the same month, different months within the same year, and maximum and minimum temperature within the same month
Impossible value	Determines whether a temperature exceeds known world records
Streak	Identifies runs of the same value on >15 consecutive days
Gap	Identifies temperatures that are at least 10°C warmer or colder than all other values for a given station and month
Climatological outlier	Identifies daily temperatures that exceed the respective 15-day climatological means by at least six standard deviations
Internal inconsistency	Identifies days on which the maximum temperature is less than the minimum temperature
Interday inconsistency	Identifies daily maximum temperatures that are less than the minimum temperatures on the preceding, current, and following days as well as for minimum temperatures that are greater than the maximum temperatures during the relevant 3-day window
Lag-range inconsistency	Identifies maximum temperatures that are at least 40°C warmer than the minimum temperatures on the preceding, current, and following days as well as minimum temperatures that are at least 40°C colder than the maximum temperatures within the 3-day window
Temporal inconsistency	Determines whether a daily temperature exceeds that on the preceding and following days by more than 25°C
Spatial inconsistency	Identifies temperatures whose anomalies differ by more than 10°C from the anomalies at neighboring stations on the preceding, current, and following days
"Mega" inconsistency	Looks for daily maximum temperatures that are less than the lowest minimum temperature and for daily minimum temperatures that are greater than the highest maximum temperature for a given station and calendar month

Πίνακας 5.1. Τύποι outliers στα ημερήσια δεδομένα που εντοπίζονται και απομακρύνονται από τη NOAA (Menne *et al.*, 2009)

TABLE 2. Quality assurance checks applied to monthly data.	
Data problem	Description of check
Climatological outlier	Identifies temperatures that exceed their respective climatological means for the corresponding station and calendar month by at least five standard deviations
Spatial inconsistency	Compares z scores (relative to their respective climatological means) to concurrent z scores at the nearest 20 neighbors located within 500 km of the target; a temperature fails if (i) its z score differs from the regional (target and neighbor) mean z score by at least 3.5 standard deviations and (ii) the target's temperature anomaly differs by at least 2.5°C from all concurrent temperature anomalies at the neighbors
Spatial inconsistency	Identifies temperatures whose anomalies differ by more than 4°C from concurrent anomalies at the five nearest neighboring stations whose temperature anomalies are well correlated with the target (correlation >0.7 for the corresponding calendar month)

Πίνακας 5.2. Τύποι outliers στα μηνιαία δεδομένα που εντοπίζονται και απομακρύνονται από τη NOAA (Menne et al., 2009)

5.2 Αναγωγή δεδομένων σε τυποποιημένες συνθήκες μέτρησης (τυποποιημένους χρόνους παρατήρησης, όργανα αναφοράς κλπ) και διόρθωση καταγεγραμμένων αλλαγών

Σε πολλές περιπτώσεις ακολουθεί ένα δεύτερο στάδιο κατά το οποίο οι χρονοσειρές διορθώνονται για το σφάλμα που εισάγεται από συγκεκριμένες καταγεγραμμένες αλλαγές στις συνθήκες μέτρησης, για τις οποίες έχουν υπολογιστεί διορθώσεις. Αυτές αφορούν κυρίως:

- αλλαγές των ωρών μέτρησης,
- αλλαγές των οργάνων, και
- αλλαγές των κλωβών.

Μέχρι πρόσφατα, στο δίκτυο USHCN (United States Historical Climatology Network) Version 1, η NOAA, που είναι και ο κυριότερος οργανισμός που επεξεργάζεται δεδομένα, εφήρμοζε τις παρακάτω διορθώσεις:

1. Διόρθωση σφάλματος λόγω των διαφορετικών ωρών παρατήρησης (Time of Observation Bias Adjustments- TOB).

Στους σταθμούς των ΗΠΑ παρατηρείται μια ετερογένεια όσον αφορά το κλιματικό 24ωρο. Ενώ στους κυριότερους σταθμούς συμπίπτει με την ημερολογιακή μέρα, λήγει δηλαδή τα μεσάνυχτα, στους περισσότερους από τους υπόλοιπους σταθμούς, οι οποίοι

παρακολουθούνται κυρίως από εθελοντές, η λήξη του κλιματικού 24ώρου μεταβάλλεται από σταθμό σε σταθμό και από περίοδο σε περίοδο. Οι ανομογένειες που εισάγονται στα δεδομένα λόγω των διαφορετικών ωρών παρατήρησης εκτιμήθηκαν από τους Karl *et al.* (1986), οι οποίοι και ανέπτυξαν μια μέθοδο για τη διόρθωση και την τυποποίηση των μετρήσεων.

2. Διόρθωση του σφάλματος λόγω αντικατάστασης των υδραργυρικών οργάνων σε ξύλινους κλωβούς (CRS) με καταγραφικά όργανα μεγίστου-ελαχίστου (MMTS) τη δεκαετία του 1980 (Quayle *et al.*, 1991), όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 4.

Η συγκεκριμένη αλλαγή βασίστηκε σε μια πειραματική διαδικασία που διήρκεσε από το 1980 μέχρι το 1989 και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γι' αυτό και θα παρουσιαστεί αναλυτικά.

α) Το 1980 υπήρχαν στο δίκτυο USHCN 5300 σταθμοί CRS με με ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας. Από αυτούς, 3300 μετατράπηκαν σε MMTS. Μηνιαία δεδομένα υπολογίστηκαν για 3220 από τους σταθμούς στους οποίους συντελέστηκε η συγκεκριμένη αλλαγή.

β) Για καθένα από τους σταθμούς MMTS, επιλέχτηκαν οι 40 κοντινότεροι σταθμοί CRS και υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης (r) των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών για τα 40 ζεύγη σταθμών (MMTS, CRS).

γ) Επιλέχτηκαν οι σταθμοί MMTS και οι 5 καλύτερα συσχετισμένοι σταθμοί CRS με κάθε σταθμό MMTS εφόσον και οι 5 αυτοί σταθμοί CRS είχαν $r > 0.60$.

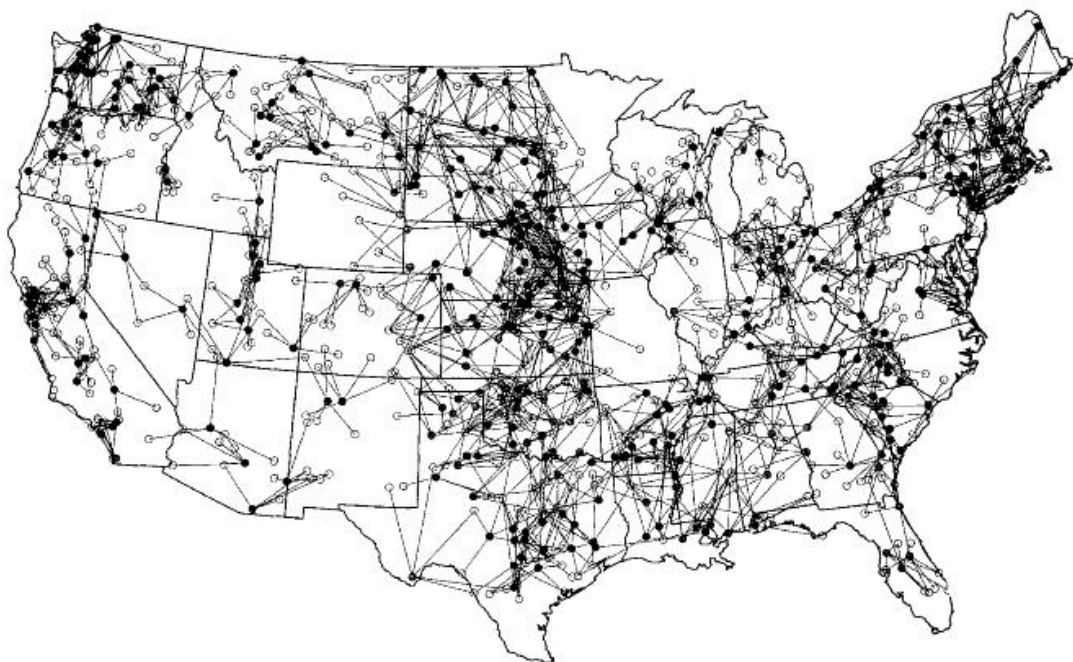
δ) Από τα παραπάνω βήματα επιλέχτηκαν 424 σταθμοί MMTS και 675 σταθμοί CRS, πολλοί από τους οποίους σχετίζονταν με παραπάνω από ένα σταθμό MMTS (Σχήμα 5.1). Αξίζει να αναφερθεί ότι μερικοί σταθμοί συσχετίζονταν ενώ απείχαν σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και εκατοντάδες χιλιόμετρα.

ε) Για τα ζεύγη (MMTS, CRS) που επιλέχτηκαν, υπολογίστηκαν μηνιαίες και ετήσιες μέγιστες, ελάχιστες και μέσες θερμοκρασιακές διαφορές και εκτιμήθηκε το σφάλμα που είχε εισαχθεί από την αλλαγή οργάνων και κλωβών (Πίνακας 5.3). Οι διορθώσεις για τα σφάλματα αυτά εφαρμόστηκαν στη συνέχεια σε όλους τους σταθμούς των ΗΠΑ.

Το 2006 έγιναν από τους Hubbard and Lin (2006) νέοι υπολογισμοί των σφαλμάτων από την αλλαγή οργάνων, και οι οποίοι υπολόγισαν το εύρος των διορθώσεων από περίπου -1°C μέχρι $+1^{\circ}\text{C}$.

3. Διόρθωση καταγεγραμμένων αλλαγών στα metadata του σταθμού σύμφωνα με τους Karl and Williams (1987).
4. Εκτίμηση τιμών για τους κενούς μήνες.
5. Διόρθωση σφάλματος λόγω του φαινομένου της αστικοποίησης σύμφωνα με τους Karl et al. (1988).

Η μεθοδολογία που παρατίθεται παραπάνω δεν εφαρμόζεται πια από τη NOAA. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται σήμερα είναι εντοπισμός όλων των αλλαγών, καταγεγραμμένων ή μη με τη μέθοδο Menne and Williams (Menne and Williams, 2009) που αναλύεται παρακάτω.



Σχήμα 5.1. Εικονίζονται οι 424 σταθμοί MMTS (μαύρα κυκλάκια) που επιλέχτηκαν από τους Quayle et al. (1991) για τον υπολογισμό διορθώσεων λόγω αλλαγής οργάνων και κλωβών. Οι σταθμοί MMTS είναι ενωμένοι με ευθείες γραμμές με τους 5 καλύτερα συσχετισμένους σταθμούς CRS (λευκά κυκλάκια).

	Maximum	Minimum	Average	Range
Winter	$-.42 \pm .06^{\circ}\text{C}$	$+.24 \pm .02^{\circ}\text{C}$	$-.08 \pm .04^{\circ}\text{C}$	$-.66 \pm .04^{\circ}\text{C}$
Spring	$-.34 \pm .02^{\circ}\text{C}$	$+.23 \pm .06^{\circ}\text{C}$	$-.05 \pm .02^{\circ}\text{C}$	$-.57 \pm .04^{\circ}\text{C}$
Summer	$-.43 \pm .04^{\circ}\text{C}$	$+.33 \pm .04^{\circ}\text{C}$	$-.05 \pm .04^{\circ}\text{C}$	$-.76 \pm .02^{\circ}\text{C}$
Fall	$-.37 \pm .04^{\circ}\text{C}$	$+.35 \pm .04^{\circ}\text{C}$	$-.02 \pm .02^{\circ}\text{C}$	$-.73 \pm .04^{\circ}\text{C}$
All Months	$-.40 \pm .02^{\circ}\text{C}$	$+.28 \pm .02^{\circ}\text{C}$	$-.06 \pm .02^{\circ}\text{C}$	$-.68 \pm .02^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 5.3. Σφάλματα λόγω αλλαγής των οργάνων στις ΗΠΑ από CRS σε MMTS σύμφωνα με τους (Quayle et al., 1991).

5.3 Ομογενοποίηση των δεδομένων με στατιστικά τεστ

Στη συνέχεια εφαρμόζονται τα λεπτομερή τεστ ομογενοποίησης. Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στα τυπικά στατιστικά τεστ Student-t και F-test. Τα τεστ αυτά έχουν στόχο να εκτιμήσουν αν δύο τμήματα μιας χρονοσειράς έχουν διαφορετικό μέσο όρο (Student-t test) και συνεπώς εκφράζουν ένα άλμα (offset) ή αντιστοιχούν σε χρονοσειρές με διαφορετικές τυπικές αποκλίσεις (F-test). Οι μέθοδοι ομογενοποίησης σχετίζονται με τα Student-t και F-test με τους παρακάτω τρόπους:

- Τα Student-t και F-test μπορεί να χρησιμοποιούνται τα ίδια ως μέθοδοι ομογενοποίησης (Štěpánek and Zahradníček, 2009).
- Τα τεστ ομογενοποίησης που αναπτύχθηκαν τα τελευταία είκοσι περίπου χρόνια έχουν βασιστεί στη λογική των κλασικών στατιστικών τεστ. Πολλές π.χ. μέθοδοι ομογενοποίησης αναζητούν κάποιο πιθανό άλμα στο μέσο όρο των δεδομένων που εξετάζουν (SNHT).
- Τα Student-t και F-test χρησιμοποιούνται επικουρικά σε κάποιες περιπτώσεις για να αξιολογηθεί η στατιστική σημαντικότητα κάποιων μεταβλητών που περιλαμβάνουν οι μέθοδοι ομογενοποίησης (π.χ. Easterling and Peterson test).

Έλεγχος με βάση το Student t-test

Συνήθως στη Στατιστική ο έλεγχος διαφοράς των μέσων τιμών δύο συνόλων/δειγμάτων γίνεται με βάση το Student t-test. Θεωρούμε δύο εκτιμήσεις με μέσες τιμές x_1 , x_2 , τυπικά σφάλματα σ_1 , σ_2 , που προέρχονται από n_1 , n_2 μετρήσεις αντίστοιχα.

Με βάση την τεχνική αυτή εξετάζεται η μεταβλητή $t=(x_1-x_2)/\sigma$ (5.1)

$$\text{όπου } \sigma = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{\nu_1} + \frac{\sigma_2^2}{\nu_2}} \quad (5.2)$$

και ελέγχεται η σημαντικότητα της μεταβλητής t με βάση τιμές t_0 που προκύπτουν από ένα αλγόριθμο ή συνήθως ένα Πίνακα με στοιχεία εισόδου το επίπεδο σημαντικότητας α (ή πιθανότητα $100-\alpha$) και το βαθμό ελευθερίας $(\nu_1+\nu_2-2)$.

Εάν $t > t_0$, τότε συνάγεται ότι οι εκτιμήσεις x_1, x_2 διαφέρουν για το επίπεδο σημαντικότητας (εμπιστοσύνης) α .

Για την εφαρμογή του κριτηρίου αυτού θεωρείται ότι τα δεδομένα θερμοκρασίας (αλλά και βροχόπτωσης κλπ) ακολουθούν κανονική κατανομή.

Έλεγχος με βάση το F-test

Το τεστ αυτό επιτρέπει να ελεγχθεί αν οι υπολογισμένες τυπικές αποκλίσεις σ_1, σ_2 , σε δύο δείγματα, που προέρχονται από ν_1, ν_2 μετρήσεις αντίστοιχα, είναι διαφορετικές, εκφράζουν δηλαδή διαφορετικούς πληθυσμούς.

Υπολογίζεται ο λόγος

$$F_c = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \quad (\text{λαμβάνοντας } \sigma_1 > \sigma_2) \quad (5.3)$$

και ελέγχεται αν

$$F_c > f \quad (5.4)$$

όπου η τιμή f προκύπτει συνήθως από Στατιστικούς Πίνακες με στοιχεία εισόδου το επίπεδο σημαντικότητας α (ή πιθανότητα $100-\alpha$) και τους βαθμούς ελευθερίας (ν_1-1) για τη στήλη και (ν_2-1) για τη σειρά του Πίνακα. Εάν ισχύει η εξίσωση (5.4), τότε θεωρείται ότι πράγματι, $\sigma_1 > \sigma_2$

Υπάρχουν δύο διαφορετικές περιπτώσεις εφαρμογής του κριτηρίου F-test.

A) Μονόπλευρος έλεγχος (1-tailed test) ο οποίος ελέγχει την υπόθεση $\sigma_1 > \sigma_2$ έναντι της εναλλακτικής (μηδενικής) υπόθεσης $\sigma_1 = \sigma_2$

B) Δίπλευρος έλεγχος (2-tailed test) ο οποίος ελέγχει την υπόθεση $\sigma_1 \neq \sigma_2$ έναντι της εναλλακτικής (μηδενικής) υπόθεσης $\sigma_1 = \sigma_2$

Στην περίπτωση αυτή είτε χρησιμοποιείται ο κατάλληλος Στατιστικός Πίνακας, είτε ο συνήθης Πίνακας αλλά πολλαπλασιάζεται το επίπεδο εμπιστοσύνης α επί 2 (δηλ. αντί για $\alpha=0.05$ (πιθανότητα 95%), το συμπέρασμα ισχύει για πιθανότητα $\alpha=0.10$ (πιθανότητα 90%).

Για μεγάλα δείγματα $f \rightarrow 1$. Π.χ. για δείγματα 60 μετρήσεων $f \approx 1.5$, για δείγματα μερικών εκατοντάδων μετρήσεων $f=1$

Τεστ αναγνώρισης ανομογενειών και ομογενοποίησης χρονοσειρών θερμοκρασίας

Οι χρησιμοποιούμενες στατιστικές μέθοδοι αναγνώρισης ανομογενειών μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

Απόλυτες μέθοδοι (absolute methods), οι οποίες εντοπίζουν τα σημεία των χρονοσειρών που θεωρούνται ως σημαντικές αποκλίσεις από τη μέση τιμή των χρονοσειρών. Οι κυριότερες από τις μεθόδους αυτές είναι οι εξής:

1. Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) for a single break (Alexandersson, 1986)
2. Buishand range test (Buishand, 1982)
3. Pettitt test (Pettitt, 1979)
4. Von Neumann ratio test (Von Neumann, 1941)

Σχετικές- συγκριτικές μέθοδοι (relative methods) οι οποίες συγκρίνουν τις εξεταζόμενες χρονοσειρές (candidate series) με μία ή περισσότερες χρονοσειρές γειτονικές χρονοσειρές αναφοράς (reference series) ή και μία συνθετική χρονοσειρά αναφοράς που θεωρείται ότι αντιστοιχούν σε κοινή κλιματολογική ενότητα και συνεπώς πρέπει να εκφράζουν κοινές μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας. Τυχόν στατιστικά σημαντικές αποκλίσεις μιας χρονοσειράς θεωρείται ότι εκφράζουν σφάλματα ή μεταβολές της μετρητικής διαδικασίας μη αντιπροσωπευτικές του κλίματος και πρέπει να διορθωθούν ή να απομακρυνθούν. Οι κυριότερες από τις μεθόδους αυτές είναι οι εξής:

1. Easterling and Peterson test (Easterling and Peterson, 1995)
2. Standard Normal Homogeneity Test for single shifts (Alexandersson and Moberg, 1997)
3. Standard Normal Homogeneity Test for trends (Alexandersson and Moberg, 1997)

4. Bivariate test (Maronna and Yohai, 1978)
5. Menne and Williams Test (Menne and Williams, 2009)

Η επιλογή και παράθεση των παραπάνω μεθόδων ομογενοποίησης βασίστηκε σε δύο κριτήρια:

- Στην ευρύτητα της εφαρμογής τους στην πράξη (π.χ. η μέθοδος Easterling and Peterson χρησιμοποιήθηκε για την ομογενοποίηση χιλιάδων σταθμών της NOAA)
- Στην αξιολόγησή τους από βιβλιογραφικές πηγές (π.χ. Sahin and Cigizoglu, 2010) ως τις σημαντικότερες μεθόδους ομογενοποίησης.

Οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν παραπάνω αναλύονται στις παραγράφους 5.3.1 και 5.3.2.

5.3.1 Απόλυτες (absolute) μέθοδοι αναγνώρισης ανομογενειών

5.3.1.1 Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) for a single break

Το τεστ αυτό αρχικά δημιουργήθηκε για ανάλυση δεδομένων βροχοπτώσεων, αλλά έχει τροποποιηθεί για εφαρμογή και σε δεδομένα θερμοκρασιών.

Η τεχνική του τεστ είναι η εξής. Έστω ότι θέλουμε να ελέγξουμε αν μια συγκεκριμένη χρονοσειρά q_i μήκους n ($i=1, 2, \dots, n$) περιέχει ανομογένειες σε κάποιο σημείο της n . Διαμορφώνουμε μια νέα κανονικοποιημένη χρονοσειρά από τιμές z_i σύμφωνα με τη σχέση

$$z_i = (q_i - \bar{q}) / s_q \quad (5.5)$$

όπου \bar{q} είναι η αριθμητική μέση τιμή των τιμών $\{q_i\}$ και s_q είναι η τυπική απόκλιση του δείγματος της χρονοσειράς.

Η νέα αυτή χρονοσειρά $\{z_i\}$ θεωρείται ότι περιγράφεται από κανονική κατανομή και θεωρητικά θα έπρεπε να έχει μηδενική μέση τιμή και μοναδιαία τυπική απόκλιση εφόσον προέκυψε από κανονικοποίηση.

Στη συνέχεια γίνεται η υπόθεση ότι υπάρχει ένα πιθανό μοναδικό άλμα στη χρονοσειρά σε κάποιο σημείο n της χρονοσειράς και ότι το άλμα αυτό αντιστοιχεί σε μια αλλαγή της μέσης

τιμής της χρονοσειράς από μια αρχική τιμή μ_1 σε μια τελική μ_2 (αντί να είναι παντού μηδενική).

Από τα παραπάνω προκύπτουν λοιπόν η μηδενική υπόθεση H_0 και η εναλλακτική υπόθεση H_1 του SNHT ως εξής:

$$H_0 : Z \in N(0,1), \forall i \quad (5.6)$$

$$H_1 : \begin{cases} \text{For some } 1 \leq \nu < n \text{ and } \mu_1 \neq \mu_2 \text{ we have} \\ Z \in N(\mu_1, 1), \text{ for } i \leq \nu \\ Z \in N(\mu_2, 1), \text{ for } i > \nu \end{cases} \quad (5.7)$$

Στη συνέχεια εκτιμώνται οι μέσες τιμές $\mu_1 = \bar{z}_1$ και $\mu_2 = \bar{z}_2$ για τα δύο τμήματα της χρονοσειράς όπου

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{\nu} \sum_{i=1}^{\nu} z_i \quad (5.8)$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n-\nu} \sum_{i=\nu+1}^n z_i \quad (5.9)$$

Από τις παραπάνω τιμές υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής T_ν που αντιστοιχεί σε πιθανή ύπαρξη ασυνέχειας (ανομογένειας, άλματος) στο σημείο ν για κάθε σημείο ν της χρονοσειράς, όπου

$$T_\nu = \nu \bar{z}_1^2 + (n-\nu) \bar{z}_2^2 \quad (5.10)$$

Και εξετάζεται η τιμή T_0 «ελέγχου»

$$T_0 = \max_{1 \leq \nu < n} \{T_\nu\} = \max_{1 \leq \nu < n} [\nu \bar{z}_1^2 + (n-\nu) \bar{z}_2^2] \quad (5.11)$$

Αν η T_0 προκύψει μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη κρίσιμη τιμή, η χρονοσειρά θεωρείται ως μη ομογενής για συγκεκριμένο επίπεδο σημαντικότητας (από τον Alexandersson προτείνεται το 90%). Οι κρίσιμες τιμές για τον όρο T_0 παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4. Οι τιμές αυτές παρατίθενται από τους Sahin and Cigizoglu (2010), καθώς ο Alexandersson είχε υπολογίσει κρίσιμες τιμές μόνο για τις χρονοσειρές βροχοπτώσεων στην αρχική του εκδοχή του τεστ.

Το σημείο n ορίζει και το χρονικό διάστημα (έτος ή και μήνα) που είναι πιθανό να έχει συμβεί άλμα (break) μεταξύ των αντίστοιχων τιμών \bar{q}_1 και \bar{q}_2 .

n	20	30	40	50	70	100
1%	9.56	10.45	11.01	11.38	11.89	12.32

Πίνακας 5.4. Κρίσιμες τιμές του όρου T_0 του SNHT ως συνάρτηση των όρων n της χρονοσειράς (Sahin and Cigizoglu, 2010)

5.3.1.2 Buishand range test

Σύνοψη του Buishand range test παρουσιάζεται από τους Sahin and Cigizoglu (2010).

Στο Buishand range test εξετάζεται η μεταβλητή S_k^* . Εισάγονται οι όροι:

$$S_0^* = 0 \text{ και } S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}), \quad k = 1, \dots, n \quad (5.12)$$

όπου με Y_i ορίζονται οι όροι της χρονοσειράς που εξετάζεται, με \bar{Y} η μέση τιμή τους και με n ο αριθμός των όρων της χρονοσειράς.

Βασική θεώρηση του τεστ είναι ότι οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή στη μέση τιμή της χρονοσειράς οφείλεται σε ύπαρξη ανομογενειών.

Αν στην εξεταζόμενη χρονοσειρά δεν υπάρχει σημαντική αλλαγή της μέσης τιμής η διαφορά ανάμεσα στους όρους Y_i και \bar{Y} θα διακυμαίνεται γύρω από το μηδέν. Η στατιστική σημαντικότητα των αλλαγών στη μέση τιμή υπολογίζεται με το τροποποιημένο εύρος R όπως παρακάτω:

$$R = (\max_{0 \leq k \leq n} S_k^* - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^*) / s \quad (5.13)$$

Για να αξιολογηθεί η στατιστική σημαντικότητα του όρου R , αυτός διαιρείται με τον όρο \sqrt{n} . Οι κρίσιμες τιμές του όρου R / \sqrt{n} παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5.

Το Buishand range test θεωρείται ευαίσθητο (δεν έχει δηλαδή καλή απόδοση) στα άλματα στη μέση των εξεταζόμενων χρονοσειρών.

n	20	30	40	50	70	100
1%	1.60	1.70	1.74	1.78	1.81	1.86

Πίνακας 5.5. Κρίσιμες τιμές του όρου R / \sqrt{n} του Buishand range test ως συνάρτηση των όρων n της χρονοσειράς (Sahin and Cigizoglu, 2010)

5.3.1.3 Pettit test

Σύνοψη του Pettit test παρουσιάζεται από τους Sahin and Cigizoglu (2010).

Το Pettit test είναι μια μη παραμετρική μέθοδος εντοπισμού ανομογενειών.

Εισάγονται βαθμολογίες r_i (ranking) π.χ. σε κλίμακα 1-10, της απόκλισης της τιμής Y_i από κάποια θεωρητική τιμή με κάποιο κριτήριο.

Οι βαθμολογίες r_1, \dots, r_n των Y_1, \dots, Y_n χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί η μεταβλητή X_k :

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) \quad k = 1, \dots, n \quad (5.14)$$

Αν ένα άλμα λαμβάνει χώρα σε μια χρονιά E , η απόλυτη τιμή του X_k αγγίζει τη μέγιστη τιμή της X_E . Δηλαδή

$$X_E = \max_{1 \leq k \leq n} |X_k| \quad (5.15)$$

Οι κρίσιμες τιμές του όρου X_E όπως δίνονται από τον Pettit (1979) παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6.

n	20	30	40	50	70	100
1%	71	133	208	293	488	841

Πίνακας 5.6. Κρίσιμες τιμές του όρου X_E του Pettit test ως συνάρτηση των όρων n της χρονοσειράς (Sahin and Cigizoglu, 2010)

5.3.1.4 Von Neumann ratio test

Σύνοψη του Von Neumann ratio test παρουσιάζεται από τους Sahin and Cigizoglu (2010).

Η αναλογία (ratio) Von Neumann ορίζεται ως εξής:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (5.16)$$

Αν το δείγμα περιέχει κάποιο άλμα, τότε η τιμή της μεταβλητής N τείνει να είναι χαμηλότερη από την αναμενόμενη τιμή. Αν το δείγμα εμφανίζει γρήγορες μεταβολές στη μέση τιμή, τότε η τιμή του N μπορεί να υπερβεί το 2. Οι κρίσιμες τιμές του N παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.7.

Το Von Neumann ratio test είναι το μόνο από τα εξεταζόμενα στατιστικά τεστ που δεν δίνει πληροφορίες για το έτος του πιθανού άλματος.

n	20	30	40	50	70	100
1%	1.04	1.20	1.29	1.36	1.45	1.54

Πίνακας 5.7. Κρίσιμες τιμές του όρου N του Von Neumann ratio test ως συνάρτηση των όρων n της χρονοσειράς (Sahin and Cigizoglu, 2010)

5.3.2 Σχετικές (relative) μέθοδοι αναγνώρισης ανομογενειών

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι σχετικές μέθοδοι εντοπισμού ανομογενειών σε χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας είναι μεταγενέστερες σαν νοοτροπία από τις απόλυτες μεθόδους. Η βασική ιδέα γύρω από την κατασκευή των σχετικών μεθόδων είναι ότι όλες οι σημαντικές μεταβολές του κλίματος που εμφανίζονται σε ένα σταθμό θα

εμφανιστούν και στους γειτονικούς σταθμούς εφόσον δεν υπάρχει κάποια μεγάλη διαφοροποίηση όσον αφορά το υψόμετρο, το ανάγλυφο κλπ.

5.3.2.1 Easterling and Peterson test

Η μέθοδος Easterling-Peterson (Easterling and Peterson, 1995) είναι μια σχετική (relative) μέθοδος ομογενοποίησης, δηλαδή ο στόχος της είναι να εντοπίσει τυχόν ανομογένειες στα καταγεγραμμένα δεδομένα σε ένα σταθμό (candidate station) συγκρίνοντάς τον με γειτονικούς σταθμούς (reference stations) που θεωρούνται ομογενείς.

Βασική υπόθεση για αυτή τη μέθοδο είναι ότι:

- όλοι οι παραπάνω σταθμοί ανήκουν στην ίδια κλιματολογική ενότητα,
- οποιαδήποτε κλιματική αλλαγή θα πρέπει να εμφανίζεται σε όλους τους σταθμούς,
- όποια διακύμανση καταγράφεται στον εξεταζόμενο σταθμό αλλά όχι στους σταθμούς αναφοράς αποτελεί σφάλμα και πρέπει να διορθωθεί.

Η υπόθεση αυτή στηρίζεται στην υψηλή ετεροσυσχέτιση που επιλέγεται να έχουν οι σταθμοί αναφοράς με τον εξεταζόμενο σταθμό. Η μέθοδος Easterling-Peterson χρησιμοποιεί για τον εντοπισμό των πιθανών ανομογενειών γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης.

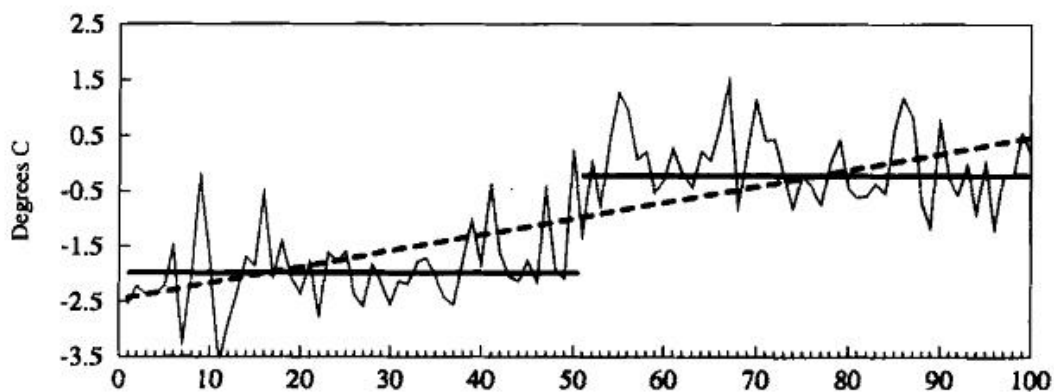
Αναλυτικά, η διαδικασία που ακολουθείται κατά τη μέθοδο αυτή είναι η παρακάτω:

1) Αρχικά, γίνεται η επιλογή των σταθμών αναφοράς (reference stations) από τους γειτονικούς σταθμούς του εξεταζόμενου σταθμού (candidate series). Για κάθε γειτονικό σταθμό εξετάζεται η συσχέτιση των ετήσιων μεταβολών της θερμοκρασίας (dT/dt) με αυτές του εξεταζόμενου σταθμού. Από το σύνολο των πιθανών σταθμών αναφοράς επιλέγονται οι πέντε καλύτερα συσχετισμένοι σταθμοί με τον εξεταζόμενο σταθμό και κατασκευάζεται μια μοναδική συνθετική σειρά αναφοράς (reference series) που θεωρείται ότι εκφράζει τις τυχόν κλιματικές μεταβολές και χρησιμοποιείται στην όλη ανάλυση.

2) Δημιουργείται η χρονοσειρά των διαφορών μεταξύ της συνθετικής σειράς αναφοράς και της υποψήφιας χρονοσειράς. Η χρονοσειρά των διαφορών πλοτάρεται σε διάγραμμα, με τεταγμένη τις διαφορές και τετμημένη το χρόνο.

3) Στη χρονοσειρά των διαφορών προσαρμόζεται ευθεία γραμμή και υπολογίζεται το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων (residual sum of squares- RSS_1) όλης της χρονοσειράς.

4) Στη συνέχεια εστιάζεται η έρευνα στα δεδομένα των διαφορών κάθε χρονιάς για την εύρεση ανωμαλιών. Εξετάζονται διαδοχικά όλα τα έτη της χρονοσειράς. Για κάθε εξεταζόμενο έτος προσαρμόζονται στα δεδομένα της χρονοσειράς δύο ευθείες, μία πριν από το εξεταζόμενο έτος και μία μετά το εξεταζόμενο έτος (Σχήμα 5.2). Για καθεμιά από τις δύο ευθείες υπολογίζεται το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων (RSS). Με πρόσθεση των δύο RSS προκύπτει το RSS_2 . Έτσι, σε κάθε έτος της χρονοσειράς αντιστοιχίζεται μια τιμή RSS_2 .



Σχήμα 5.2. Παράδειγμα ασυνέχειας σε συνθετικά δεδομένα. Εικονίζεται χρονοσειρά διαφορών ανάμεσα σε συνθετικό ζεύγος χρονοσειράς αναφοράς- εξεταζόμενης, με γραμμική παρεμβολή για όλη τη χρονοσειρά και ξεχωριστά για τα τμήματα πριν και μετά την ασυνέχεια. Η ασυνέχεια έχει μέγεθος $2^\circ C$ (Easterling and Peterson, 1995) .

5) Από όλα τα έτη της χρονοσειράς, η θέση με το minimum RSS_2 σημειώνεται ως θέση πιθανής ασυνέχειας.

6) Για να ελεγχθεί η στατιστική σημαντικότητα της προσαρμογής με δύο καμπύλες (two-phase fit), χρησιμοποιείται η ακόλουθη αναλογία πιθανοφάνειας (likelihood ratio statistic) από τον Solow (1987):

$$U = \left[\frac{(RSS_1 - RSS_2) / 3}{RSS_2 / (n - 4)} \right] \quad (5.17)$$

όπου η μεταβλητή U θεωρείται ότι ακολουθεί κατανομή F με 3 και $n-4$ βαθμούς ελευθερίας.

- 7) Η στατιστική σημαντικότητα της διαφοράς των δύο μέσων, πριν και μετά την ασυνέχεια, ελέγχεται και με ένα δεύτερο τρόπο, με χρήση του Student *t*-test.
- 8) Αν με μία τουλάχιστον από τις παραπάνω δύο τεχνικές (βήματα 6 και 7) έχει προκύψει ότι η ασυνέχεια είναι στατιστικά σημαντική, τότε αυτή δεν διορθώνεται αμέσως, αλλά σημειώνεται ως πιθανή ασυνέχεια.
- 9) Αφού έχουν επισημανθεί οι πιθανές ασυνέχειες, η στατιστική σημαντικότητα των ασυνεχειών ελέγχεται με μια επιπλέον τεχνική που ονομάζεται διαδικασία αναδιάταξης πολλαπλούς απόκρισης - multiresponse permutation procedures (MRPP, Mielke *et al.*, 1981).

Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζονται δύο παραδείγματα ομογενοποίησης χρονοσειρών με τη μέθοδο Easterling-Peterson.

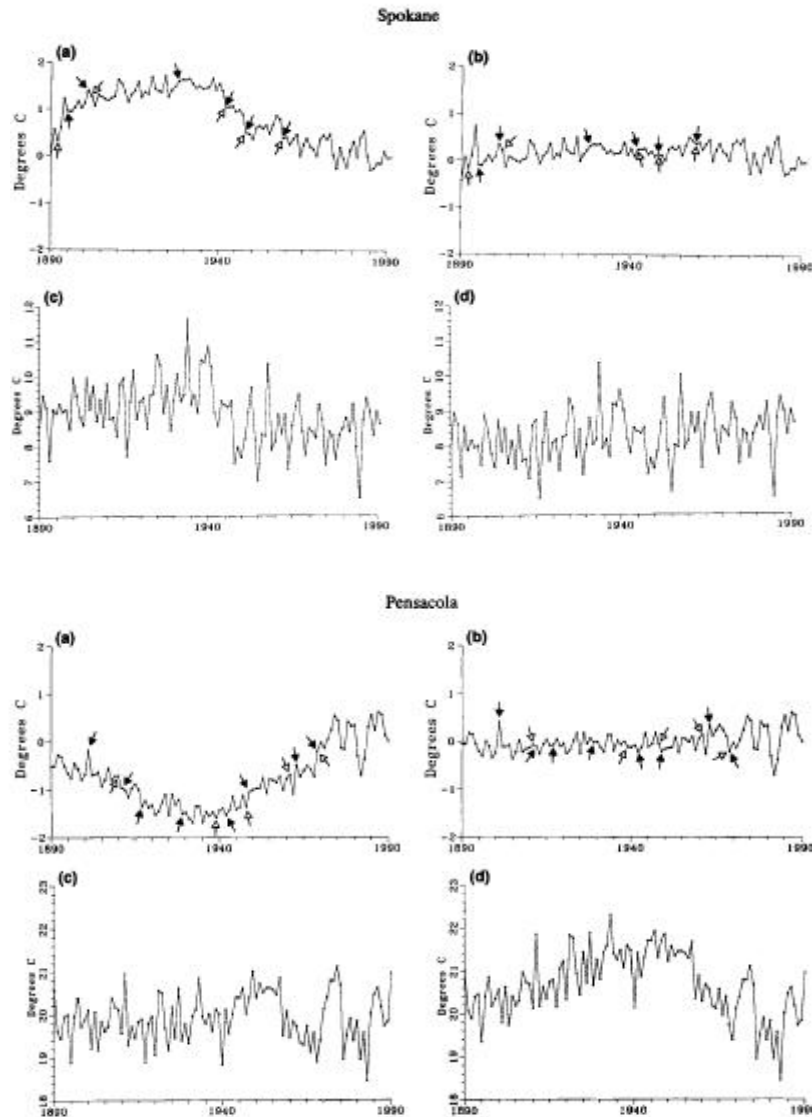
Η μέθοδος MRPP

Η μέθοδος MRPP είναι μη-παραμετρική και χρησιμοποιεί δύο ομάδες δεδομένων. Συγκρίνει τις Ευκλείδειες αποστάσεις ανάμεσα στα μέλη καθεμιάς από τις δύο ομάδες με τις αποστάσεις ανάμεσα σε όλα τα μέλη των δύο ομάδων ώστε να εκτιμήσει εάν οι διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων είναι τυχαίες. Στην περίπτωση του Easterling-Peterson test, οι δύο ομάδες αποτελούνται από τις τιμές της χρονοσειράς διαφορών πριν (D_b) και μετά (D_a) την πιθανή ασυνέχεια και οι αποστάσεις είναι οι διαφορές ανάμεσα σε οποιοσδήποτε δύο τιμές της χρονοσειράς διαφορών. Η μέση απόσταση για καθένα από τα D_b και D_a υπολογίζεται και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ανηγμένου μέσου όρου των δύο ομάδων, με βάρος n για κάθε ομάδα. Αυτός ο ανοιγμένος μέσος συγκρίνεται με τους ανοιγμένους μέσους όρους για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς D_b και D_a και αν ευρεθεί μικρός, συνάγεται ότι υπάρχει μια συσσωμάτωση (clustering).

Η παραπάνω μέθοδος εφαρμόζεται λαμβάνοντας διάστημα 12 ετών και από τις δύο πλευρές μιας πιθανής ασυνέχειας και ελέγχοντας τη στατιστική σημαντικότητά της με επίπεδο εμπιστοσύνης 95% εκτός αν εμφανίζεται άλλη πιθανή ασυνέχεια σε μικρότερο χρονικό διάστημα, οπότε και επιλέγεται μικρότερο διάστημα.

Εφ' όσον εντοπιστούν σημαντικές ασυνέχειες, γίνεται διόρθωση χρησιμοποιώντας πάλι διαστήματα 12 ετών. Για παράδειγμα έστω ότι δύο ασυνέχειες εντοπίζονται στις χρονιές 31 και 61 μιας χρονοσειράς 100 ετών. Η πρώτη διόρθωση θα γίνει για την πιο πρόσφατη

ασυνέχεια. Θα υπολογιστούν οι μέσες τιμές των χρονοσειρών για τα χρόνια 49-60 και 61-72. Η διόρθωση που θα προκύψει από τη διαφορά των δύο μέσων θα εφαρμοστεί στη χρονοσειρά από το χρόνο 1 μέχρι το χρόνο 60. Στη συνέχεια θα γίνει η διόρθωση της δεύτερης ασυνέχειας στη χρονιά 31 με τον ίδιο τρόπο.



Σχήμα 5.3. Παραδείγματα ομογενοποίησης με χρήση της μεθόδου Easterling-Peterson δύο χρονοσειρών των ΗΠΑ: στο Spokane, Washington και την Pensacola, Florida.

- (a) ανεπεξέργαστη χρονοσειρά διαφορών μεταξύ σειράς αναφοράς και εξεταζόμενης,
- (b) επεξεργασμένη χρονοσειρά διαφορών,
- (c) ανεπεξέργαστη εξεταζόμενη χρονοσειρά, και
- (d) επεξεργασμένη εξεταζόμενη χρονοσειρά

Με τα μαύρα βέλη επισημαίνονται οι ασυνέχειες που αναγνωρίστηκαν με τη μέθοδο Easterling-Peterson και με τα άσπρα βέλη οι πιθανές ασυνέχειες που αναγνωρίστηκαν από τα ιστορικά δεδομένα κάθε σταθμού (Easterling and Peterson, 1995).

Η διορθωμένη σειρά που θα προκύψει εξετάζεται εκ νέου για τυχόν εναπομείνουσες ασυνέχειες με την διαδικασία που έχει περιγραφεί. Η διόρθωση των ασυνεχειών γίνεται όπως στο βήμα 10. Η διαδικασία επαλαμβάνεται μέχρις ότου να μην εντοπίζονται άλλες ασυνέχειες, οπότε και η σειρά θεωρείται ομογενοποιημένη. Σημαντικό σημείο όσον αφορά τη μέθοδο Easterling-Peterson είναι ότι για τον έλεγχο της οι Easterling και Peterson χρησιμοποίησαν συνθετικές χρονοσειρές που δημιουργήθηκαν από μοντέλο AR(1) και όχι από κάποιο μοντέλο που παρουσιάζει μακροπρόθεσμη εμμονή π.χ. FGN. Το σημείο αυτό θα συζητηθεί στο Κεφάλαιο Η.

5.3.2.2 Standard Normal Homogeneity Test for single shifts

Κατασκευή της reference value

Η κατασκευή της reference value είναι κοινή για το Standard Normal Homogeneity Test for single shifts και το Standard Normal Homogeneity Test for trends.

Στις παρακάτω σχέσεις, με Y δηλώνεται η εξεταζόμενη (candidate) σειρά, με Y_i μια συγκεκριμένη τιμή της (ετήσια συναθροισμένη βροχόπτωση ή μέση ετήσια θερμοκρασία) τη χρονιά i . Με X_j δηλώνεται μία από τις περιβάλλουσες reference series (η j σε σειρά από σύνολο k) και με X_{ji} μία συγκεκριμένη τιμή από αυτό το σταθμό. Με ρ_j συμβολίζεται ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης ανάμεσα στην εξεταζόμενη χρονοσειρά και σε μια σειρά από έναν από τους περιβάλλοντες σταθμούς.

Για τον εντοπισμό των σχετικών ανομογενειών χρησιμοποιούνται αναλογίες (παραδοσιακά χρησιμοποιούμενες σε μελέτες βροχοπτώσεων) ή διαφορές (θα χρησιμοποιηθούν για τα θερμοκρασιακά δεδομένα).

$$Q_i = Y_i / \left\{ \left[\sum_{j=1}^k \rho_j^2 X_{ji} \bar{Y} / \bar{X}_j \right] / \sum_{j=1}^k \rho_j^2 \right\} \quad (5.18)$$

$$Q_i = Y_i - \left\{ \sum_{j=1}^k \rho_j^2 [X_{ji} - \bar{X}_j + \bar{Y}] / \sum_{j=1}^k \rho_j^2 \right\} \quad (5.19)$$

Οι μέσες τιμές των Y και X_j πρέπει να υπολογιστούν για μια κοινή περίοδο για όλους τους σταθμούς, δηλαδή για όλα τα $j=1, \dots, k$.

Το SNHT στη μορφή που το εξετάζουμε εφαρμόζεται σε κανονικοποιημένες χρονοσειρές όπως παρακάτω. Οι τυπικές αποκλίσεις έχουν $(n-1)$ βαθμούς ελευθερίας.

$$Z_i = (Q_i - \bar{Q}) / s_Q \quad (5.20)$$

Εφαρμογή του Standard Normal Homogeneity Test for single shifts

Ένα μοναδικό άλμα στη μέση τιμή της εξεταζόμενης χρονοσειράς Y μπορεί να εκφραστεί με μια μηδενική υπόθεση (H_0) και μια εναλλακτική υπόθεση (H_1) όπως παρακάτω:

$$H_0 : Z_i \in N(0,1) \quad i \in \{1, \dots, n\} \quad (5.21)$$

$$H_1 : \begin{cases} Z_i \in N(\mu_1, 1) & i \in \{1, \dots, a\} \\ Z_i \in N(\mu_2, 1) & i \in \{a+1, \dots, n\} \end{cases} \quad (5.22)$$

Με a συμβολίζεται το πιο πιθανό σημείο ύπαρξης άλματος και με n το πλήθος των όρων της χρονοσειράς.

Μετά από υπολογισμούς προκύπτει η στατιστική τιμή T_0 «ελέγχου» που χρησιμοποιεί το SNHT:

$$T_{\max}^s = \max_{1 \leq a \leq n-1} \{T_a^s\} = \max_{1 \leq a \leq n-1} [a\bar{z}_1^2 + (n-a)\bar{z}_2^2] \quad (5.23)$$

Με \bar{z}_1 συμβολίζεται η μέση τιμή των όρων της χρονοσειράς πριν την ασυνέχεια και με \bar{z}_2 η μέση τιμή των όρων της χρονοσειράς μετά την ασυνέχεια.

Οι κρίσιμες τιμές του όρου T_{\max} όπως δίνονται από τους Alexandersson and Moberg (1997) παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.8.

Σύμφωνα με τους Alexandersson and Moberg (1997), αν γνωρίζουμε ότι υπάρχει μόνο μια πιθανή θέση ασυνέχειας, μπορεί αντί εφαρμοστεί απευθείας το t-test στη χρονοσειρά Q_i , χωρίς προηγουμένως να γίνει κανονικοποίηση της χρονοσειράς.

Για να γίνει διόρθωση της εξεταζόμενης χρονοσειράς υπολογίζονται οι τιμές

$$\bar{q}_1 = \sigma_Q \bar{z}_1 + \bar{Q} \quad \text{και} \quad \bar{q}_2 = \sigma_Q \bar{z}_2 + \bar{Q} \quad (5.24)$$

Αν επιθυμούμε να διορθώσουμε την περίοδο $\{1, 2, \dots, a\}$ τότε:

- Για δεδομένα βροχοπτώσεων, οι τιμές Q_i της περιόδου $\{1,2,\dots,a\}$ πολλαπλασιάζονται με την τιμή $\delta = \bar{q}_2 / \bar{q}_1$ (5.25)

- Για δεδομένα θερμοκρασιών, στις τιμές Q_i της περιόδου $\{1,2,\dots,a\}$ προστίθεται η τιμή $\delta = \bar{q}_2 - \bar{q}_1$ (5.26)

Αν τα δεδομένα παρέχουν μόνο ένα άλμα στη μέση τιμή, τότε με τη διαδικασία αυτή λαμβάνουμε μια ομογενοποιημένη χρονοσειρά όπου όλα τα δεδομένα αναφέρονται στην πιο πρόσφατη κατάσταση μέτρησης.

5.3.2.3 Standard Normal Homogeneity Test for trends

Κατασκευή της reference value

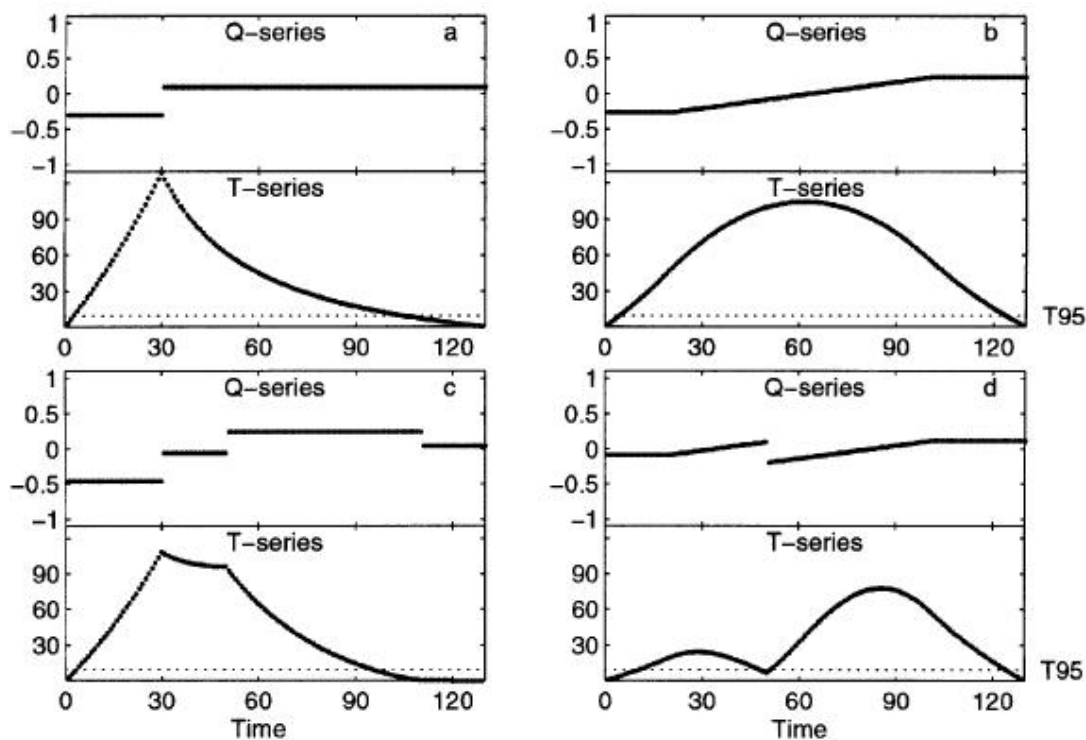
Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η κατασκευή της reference value είναι κοινή για το Standard Normal Homogeneity Test for single shifts και το Standard Normal Homogeneity Test for trends.

Εφαρμογή του Standard Normal Homogeneity Test for trends

Το Normal Homogeneity Test for trends εφαρμόζεται με παρόμοιο τρόπο με το SNHT for single shifts, μόνο που η σχέση που το περιγράφει είναι αρκετά πιο περίπλοκη. Η μεταβλητή T_{\max} σ' αυτή την περίπτωση είναι συνάρτηση του σημείου a , στο οποίο θεωρείται ότι ξεκινάει η μεταβολή της τάσης και του σημείου b , στο οποίο θεωρείται ότι σταματάει. Αναλυτικά, οι σχέσεις παρουσιάζονται από τους Alexandersson and Moberg (1997).

Η μορφή των συναρτήσεων Q και T ανάλογα με τους διάφορους τύπους ανομογενειών παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.4.

Η μέθοδος SNHT θεωρείται ότι δεν δίνει καλά αποτελέσματα στην αρχή και το τέλος των χρονοσειρών, γι' αυτό και εφαρμογή της στα σημεία αυτά πρέπει να αποφεύγεται.



Σχήμα 5.4. Ιδεατές μορφές των συναρτήσεων Q και T ανάλογα με τους διάφορους τύπους ανομογενειών (Alexandersson and Moberg, 1997).

(a) Απλό άλμα, (b) Αλλαγή τάσης, (c) Τρία ξεχωριστά άλματα, και (d) Αλλαγή τάσης που διακόπτεται από άλμα

n	10	20	30	40	50	70	80	90	100	150	250
T_{90}	5.05	6.10	6.65	7.00	7.25	7.40	7.55	7.80	7.85	8.05	8.35
T_{95}	5.70	6.95	7.65	8.10	8.45	8.65	8.80	9.05	9.15	9.35	9.70
$T_{97.5}$	6.25	7.80	8.65	9.25	9.65	9.85	10.2	10.3	10.4	10.8	11.2

Πίνακας 5.7. Κρίσιμες τιμές του όρου T_{max} του SNHT (Alexandersson and Moberg, 1997) ως συνάρτηση των όρων n της χρονοσειράς

5.3.2.4 Bivariate test

Το τεστ εξετάζει αν σε μια χρονοσειρά $\{x_i, y_i\}$, η οποία ακολουθεί την κανονική διμεταβλητή κατανομή με άγνωστες παραμέτρους, μετά από κάποιο έτος μεταβάλεται η μέση τιμή της μεταβλητής y . Θεωρείται η μηδενική υπόθεση ότι:

(H_0): Τα $\{x_i, y_i\}$ ακολουθούν την ίδια διμεταβλητή κανονική κατανομή $N(\mu_x, \mu_y, \sigma_x^2, \sigma_y^2, \rho)$, με όλες τις παραμέτρους άγνωστες.

Η εναλλακτική υπόθεση ορίζεται ως εξής:

(H₁): Για κάποιο έτος $0 < i_0 < n$ και $d \neq 0$, η κατανομή των $\{x_i, y_i\}$ είναι $N(\mu_x, \mu_y, \sigma_x^2, \sigma_y^2, \rho)$ για $i \leq i_0$ και $N(\mu_x + d, \mu_y + d, \sigma_x^2, \sigma_y^2, \rho)$ για $i \geq i_0$.

Οι χρονοσειρές αρχικά κανονικοποιούνται ως εξής:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x'_j \quad \text{και} \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y'_j \quad (5.27)$$

$$S_x = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x'_j - \bar{X})^2 \right]^{1/2} \quad \text{και} \quad S_y = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y'_j - \bar{Y})^2 \right]^{1/2} \quad (5.28)$$

$$x_j = \frac{(x'_j - \bar{X})}{S_x} \quad \text{και} \quad y_j = \frac{(y'_j - \bar{Y})}{S_y} \quad \text{για όλα τα } i < n \quad (5.29)$$

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι παρακάτω μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της μεταβλητής T_i :

$$X_i = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i x_j \quad \text{και} \quad Y_i = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i y_j \quad \text{για όλα τα } i < n \quad (5.30)$$

$$S_{xy} = \sum_{j=1}^i x_j y_j \quad \text{για όλα τα } i < n \quad (5.31)$$

$$F_i = n - \frac{[X_i^2 n i]}{(n-1)} \quad \text{για όλα τα } i < n \quad (5.32)$$

$$D_i = \frac{(S_{xy} X_i - n Y_i) n}{(n-1) F_i} \quad \text{για όλα τα } i < n \quad (5.33)$$

Από τις παραπάνω τιμές υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής T_i που αντιστοιχεί σε πιθανή ύπαρξη ασυνέχειας (ανομογένειας, άλματος) σε κάποιο σημείο i της χρονοσειράς, όπου:

$$T_i = \frac{i(n-1) D_i^2 F_i}{(n^2 - S_{xy}^2)} \quad \text{για όλα τα } i < n \quad (5.34)$$

Η στατιστική τιμή T_0 «ελέγχου» που χρησιμοποιεί το Bivariate test είναι:

$$T_0 = \max_{i < n} [T_i] \quad (5.35)$$

Οι κρίσιμες τιμές του όρου T_0 παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.8 όπως τροποποιήθηκαν από τον Potter (1981).

n	20	30	40	50	70	100
1%	1.04	1.20	1.29	1.36	1.45	1.54

Πίνακας 5.8. Κρίσιμες τιμές του όρου T_0 του Bivariate test ως συνάρτηση των όρων n της χρονοσειράς (Potter, 1981)

5.3.2.5 Menne and Williams test

Η μέθοδος ομογενοποίησης των Menne and Williams (2009) βασίζεται σε μια σειρά προγενέστερες μεθόδους, όπως στη μέθοδο του Vincent (1998) και το SNHT.

- 1) Επιλέγονται οι 100 κοντινότεροι σταθμοί και με βάση το συντελεστή συσχέτισής τους με την εξεταζόμενη χρονοσειρά (πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 0.5) και την πληρότητα των δεδομένων τους καθορίζεται ένα σύνολο τουλάχιστον 7 γειτονικών σταθμών.
- 2) Δημιουργείται η χρονοσειρά των διαφορών D μεταξύ καθεμιάς από τις χρονοσειρές αναφοράς Y και της υπονήφιας χρονοσειράς X , δηλαδή:

$$D = X - Y \quad (5.36)$$






Οι χρονοσειρές X και Y είναι μηνιαίες και έχουν τη μορφή

$$X = \mu^X + \beta t + \delta + \varepsilon, \quad Y = \mu^Y + \beta t + \delta + \varepsilon \quad (5.37)$$

όπου μ : η μέση απόκλιση από τη μέση τιμή για κάθε χρονοσειρά, β : η κλίση της ευθείας που προσαρμόζεται στη χρονοσειρά, t : χρόνος (σε μήνες), δ : το συστηματικό σφάλμα, και ε : τυχαίο σφάλμα.

- 3) Ο εντοπισμός των πιθανών ανομογενειών γίνεται με χρήση μιας μικρής παραλλαγής του SNHT (Alexandersson and Moberg, 1997). Αντί για δύο μοντέλα εντοπισμού πιθανών

αλμάτων και διαφορών κλίσεων, οι Menne and Williams ανέπτυξαν πέντε διαφορετικά μοντέλα τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.9.

Model	Description	Schematic of model	Number of parameters p required to fit model
M1	$D_t = \mu + \varepsilon_t$		1
M2	$D_t = \mu + \beta t + \varepsilon_t$		2
M3	$D_t = \begin{cases} \mu_1 + \varepsilon_t, t \leq c \\ \mu_2 + \varepsilon_t, t > c \end{cases}$		3
M4	$D_t = \begin{cases} \mu_1 + \beta t + \varepsilon_t, t \leq c \\ \mu_2 + \beta t + \varepsilon_t, t > c \end{cases}$		4
M5	$D_t = \begin{cases} \mu_1 + \beta_1 t + \varepsilon_t, t \leq c \\ \mu_2 + \beta_2 t + \varepsilon_t, t > c \end{cases}$		5

Πίνακας 5.9. Παραλλαγή του SNHT από τους Menne and Williams (2009). Οι Menne and Williams ανέπτυξαν πέντε διαφορετικά μοντέλα για τον εντοπισμό διαφορών μέσω τιμών και κλίσεων στα δεδομένα.

- 4) Όλες οι κοινές περίοδοι της εξεταζόμενης χρονοσειράς και των χρονοσειρών αναφοράς εξετάζονται και με τα παραπάνω πέντε μοντέλα και επιλέγεται εκείνο το μοντέλο που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα (π.χ. απλό άλμα- μοντέλο M3).
- 5) Ελέγχεται σε ποια από τις δύο χρονοσειρές X και Y βρίσκεται η ανομογένεια μέσω σύγκρισης των πιθανών ανομογενειών με τις άλλες χρονοσειρές.
- 6) Από τα προηγούμενα βήματα της μεθόδου δεν έχει προσδιοριστεί με ακρίβεια η θέση κάθε πιθανής ασυνέχειας. Από κάθε εφαρμογή του τεστ σε ένα ζεύγος X -Y προκύπτει και μια πιθανή θέση με το αντίστοιχο διάστημα εμπιστοσύνης. Καθώς οι θέσεις αυτές είναι πολύ κοντινές προκύπτει τελικά ένα σύνολο γειτονικών ή και επικαλυπτόμενων διαστημάτων, μέσα στο οποίο βρίσκεται η πιθανότερη θέση της ασυνέχειας. Η θέση αυτή τελικά αποφασίζεται είτε από τα ιστορικά δεδομένα του σταθμού είτε από τη συχνότητα προσδιορισμού κάθε συγκεκριμένης θέσης από την εφαρμογή του τεστ με γειτονικές χρονοσειρές.
- 7) Εκτιμάται το μέγεθος της ασυνέχειας και διορθώνεται η ασυνέχεια αυτή.

5.3.3 Σύγκριση και σχολιασμός απόλυτων και σχετικών μεθόδων αναγνώρισης ανομογενειών

Οι απόλυτες μέθοδοι ομογενοποίησης είναι γενικά προγενέστερες από τις σχετικές μεθόδους, καθώς προέκυψαν σαν ιδέα από τα κλασικά στατιστικά τεστ (Student-t και F-test) όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Οι σχετικές μέθοδοι ομογενοποίησης αναπτύχθηκαν πιο μετά και θεωρούνται γενικά πιο αποτελεσματικές από τις απόλυτες μεθόδους και έχουν πλέον πολύ ευρύτερη εφαρμογή, καθώς χρησιμοποιούνται και από τις κύριες ερευνητικές ομάδες όπως π.χ. η NOAA (Menne and Williams, 2009). Η χρήση των απόλυτων μεθόδων δεν έχει εκλείψει εντελώς, καθώς χρησιμοποιούνται ακόμα σε περιοχές όπου δεν υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων χρονοσειρών με τις χρονοσειρές αναφοράς (Sahin and Cigizoglu, 2010).

Σε πολλές περιπτώσεις οι σχετικές μέθοδοι που αναπτύχθηκαν δεν δημιουργήθηκαν από την αρχή αλλά προέκυψαν ως εξέλιξη παλιότερων τεστ, συχνά απόλυτων. Για παράδειγμα το Alexandersson test, το οποίο ξεκίνησε ως απόλυτη (absolute) μέθοδος, στην πορεία μεταβλήθηκε σε σχετικό τεστ, το οποίο λαμβάνει υπόψη γειτονικούς σταθμούς με κάποιο συντελεστή βαρύτητας. Αντίστοιχα το Easterling-Peterson test βασίζεται στην προγενέστερη μέθοδο του Solow (Solow, 1987) .

Η σημαντικότερη διαφορά ανάμεσα στους δύο διαφορετικούς τύπους τεστ είναι ότι τα απόλυτα τεστ θεωρούν ότι η μέση τιμή μιας χρονοσειράς κλιματικών δεδομένων είναι γενικά σταθερή και άρα οποιαδήποτε σημαντική μεταβολή της μέσης τιμής είναι ένδειξη ανομογένειας, ενώ τα σχετικά τεστ είναι λιγότερο ευαίσθητα σε τέτοιες αλλαγές της μέσης τιμής. Για τα σχετικά τεστ ένδειξη ανομογένειας είναι μια μεταβολή της μέσης τιμής ή της τάσης μιας χρονοσειράς η οποία δεν συναντάται στους γειτονικούς σταθμούς τους, οι οποίοι, όπως περιγράφηκε και παραπάνω, χρησιμοποιούνται ως σταθμοί αναφοράς.

Από τις σχετικές μεθόδους ομογενοποίησης σημαντικότερη μέχρι πρόσφατα ήταν η μέθοδος Easterling-Peterson, καθώς χρησιμοποιήθηκε για την ομογενοποίηση της βάσης δεδομένων GHCN Monthly Version 2 (Peterson and Vose, 1997). Στην GHCN Monthly Version 3 όμως, εγκαταλήφθηκε η μέθοδος αυτή και χρησιμοποιήθηκε για την ομογενοποίηση των χρονοσειρών μια παραλλαγή του SNHT (Menne and Williams, 2009), το οποίο ήταν και μέχρι τότε το δεύτερο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο στατιστικό τεστ.

6. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ- ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

6.1 Επιλογή τύπου δεδομένων

Οι διαθέσιμες παγκόσμιες βάσεις δεδομένων με land surface temperature data περιέχουν μηνιαία ή μικρότερης κλίμακας (π.χ. ημερήσια) δεδομένα. Η ανάλυση στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποφασίστηκε να βασιστεί σε ετήσιες μέσες τιμές θερμοκρασίας, καθώς με την επιλογή αυτή αποφεύγονται εποχιακές μεταβολές που χαρακτηρίζουν τα μηνιαία και τα μικρότερης κλίμακας δεδομένα. Για λόγους σύγκρισης των δεδομένων και των αποτελεσμάτων με αυτά της IPCC αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί μια μηνιαία βάση δεδομένων και στη συνέχεια από τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες να υπολογιστούν μέσες ετήσιες τιμές.

6.2 Επιλογή βάσης δεδομένων

Η βάση δεδομένων που επιλέχθηκε έπρεπε να τηρεί τα παρακάτω κριτήρια:

- να επιτρέπει ελεύθερη πρόσβαση στα δεδομένα,
- να είναι παγκόσμια, ώστε να επιτυγχάνεται μια όσο το δυνατόν ευρύτερη οπτική του ζητήματος της επεξεργασίας των θερμοκρασιακών δεδομένων,
- να διαθέτει αρχείο αρχικών και επεξεργασμένων χρονοσειρών, καθώς η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στις διαφορές αρχικών και επεξεργασμένων δεδομένων
- να έχει χρησιμοποιηθεί στη διακήρυξη της IPCC ώστε να δίνεται η δυνατότητα άμεσης σύγκρισης των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από την αξιολόγηση των δεδομένων με την επικρατούσα άποψη
- να υπάρχουν διαθέσιμα metadata για τους σταθμούς ώστε να είναι δυνατή πιθανή περαιτέρω συνέχιση της εργασίας και διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σταθμών και της επεξεργασίας που αυτοί υφίστανται.

Από τις δύο κύριες βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως και σχετίζονται και με τις διακηρύξεις της IPCC, GHCN-Monthly Version 2 και CRUTEM3, μόνο η GHCN-Monthly Version 2 πληρούσε το κριτήριο περί διαθέσιμων αρχικών δεδομένων. Έτσι επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από τη βάση GHCN-Monthly Version 2.

Κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής, η GHCN-Monthly Version 2 αναβαθμίστηκε σε Version 3. Δυστυχώς δεν ήταν πλέον δυνατό να συμπεριληφθούν οι νέες πληροφορίες στην επεξεργασία των δεδομένων που είχε ήδη γίνει στην παρούσα διπλωματική. Μοναδική πηγή δηλαδή δεδομένων θερμοκρασιών παρέμεινε η GHCN-Monthly Version 2.

Η πρόσβαση στη βάση GHCN έγινε μέσω του KNMI Climate Explorer, ο οποίος διαθέτει μια εύχρηστη μηχανή αναζήτησης σταθμών. Ο KNMI Climate Explorer (climexp.knmi.nl) είναι μια εφαρμογή σχετική με στατιστική ανάλυση κλιματικών δεδομένων. Ξεκίνησε το 1999 και περιέχει σήμερα πάνω από 1 TB κλιματικών δεδομένων και δεκάδες εργαλεία ανάλυσης. Είναι σήμερα κομμάτι του WMO Regional Climate Centre του KNMI (*Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*). Ο WMO (Meteorological Organization) είναι ένας οργανισμός που έχει σα στόχο την προώθηση συγκεκριμένων κανόνων στις μετεωρολογικές μετρήσεις.

Ο KNMI Climate Explorer περιέχει στοιχεία από τις βάσεις δεδομένων GHCN, CRUTEM/HadSST2 (η βάση δεδομένων HadSST2, έχει αναπτυχθεί από την ίδια ομάδα με την CRUTEM, αλλά αντί για θερμοκρασιακά δεδομένα από την επιφάνεια του εδάφους, περιέχει θερμοκρασιακά δεδομένα από το ανώτερο στρώμα της θάλασσας) και από πολλές ακόμα μικρότερες βάσεις.

6.3 Δειγματοληψία- Κριτήρια

Κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας τίθεται το θέμα:

- της χρονικής πληρότητας των δεδομένων, ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά των τυχόν μεταβολών της θερμοκρασίας σε ένα σταθμό, και
- της χωρικής κατανομής τους ώστε να είναι κατά το δυνατόν αντιπροσωπευτικά φαινομένων παγκόσμιας κλίμακας.

Χρονική πληρότητα:

Θεωρήθηκε κατ' αρχήν άρτιο **μήκος** χρονοσειράς ≥ 100 χρόνια, ώστε να καλύπτει αρκετούς κλιματικούς κύκλους (π.χ. El Nino, La Nina) και να παρέχει αντιπροσωπευτική εκτίμηση τυχόν γραμμικής τάσης στα θερμοκρασιακά δεδομένα. Κριτήριο αυστηρότερο από αυτό των 100 ετών κρίθηκε ως υπερβολικό, αφού μίκραινει πολύ το δείγμα των σταθμών που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν χωρίς ταυτόχρονη ουσιαστική βελτίωση των χαρακτηριστικών που θέλαμε να εξετάσουμε.

Επι πλέον, επειδή χρονοσειρές με ιστορικά δεδομένα παρουσιάζουν συνήθως κενά, θεωρήθηκε **πλήρης** μια χρονοσειρά:

- εφόσον το ποσοστό των κενών ετών δεν υπερβαίνει το 10% του μήκους της χρονοσειράς,
- εφόσον δεν περιέχει πάνω από τρία συνεχόμενα κενά έτη,

Τα κριτήρια αυτά ήταν εμπειρικά.

Επιλέχθηκε ως **ελάχιστο έτος ολοκλήρωσης** των χρονοσειρών το 1990, ώστε να περιλαμβάνει τα έτη 1970-1990 που βρίσκονται στο επίκεντρο των συζητήσεων γύρω από την «κλιματική αλλαγή». Επιλογή μεταγενέστερης χρονολογίας τερματισμού των δεδομένων δεν ήταν δυνατή, καθώς πολλές από τις χρονοσειρές της βάσης GHCN-Monthly Version 2 που πληρούσαν το κριτήριο των 100 ετών δεν περιείχαν δεδομένα μετά από αυτή τη χρονιά. Αυστηρότερο κριτήριο και σε αυτή την περίπτωση θα μείωνε κατά πολύ το δείγμα των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν, κάτι που δεν ήταν επιθυμητό.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα των διάσπαρτων **κενών μηνών** μέσα στις αρχικές αλλά και τις επεξεργασμένες χρονοσειρές, θεσπίστηκαν κάποια κριτήρια για τους κενούς μήνες που μπορούσε να περιλαμβάνει μια αποδεκτή χρονιά:

- Αποφασίστηκε να θεωρούνται ως μη συμπληρωμένες, χρονιές στις οποίες έλειπε το 1/3 της πληροφορίας, δηλαδή χρονιές με τουλάχιστον 4 κενούς μήνες.
- Κενές επίσης θεωρούνταν χρονιές στις οποίες ήταν κενοί 3 τουλάχιστον διαδοχικοί μήνες. Η λογική πίσω από αυτή την απόφαση είναι απλή: Αν για παράδειγμα οι 3 μήνες αυτοί ήταν καλοκαιρινοί θα εμφανιζόταν μια χρονιά εξαιρετικά ψυχρή, ενώ αν ήταν οι 3

μήνες του χειμώνα η χρονιά θα εμφανιζόταν ως πολύ θερμή. Το αποτέλεσμα δηλαδή μπορεί να επηρεαζόταν έντονα προς μία κατεύθυνση.

Για να εντοπιστούν και να αποκλειστούν οι χρονοσειρές που δεν τηρούσαν τα παραπάνω κριτήρια, χρησιμοποιήθηκε ένας **αλγόριθμος**.

Ο αλγόριθμος αυτός κάνει δύο ελέγχους:

1. Στον πρώτο έλεγχο χρησιμοποιείται ένας μετρητής ο οποίος υπολογίζει για κάθε σταθμό το πλήθος των κενών μηνών, δηλαδή των μηνών στους οποίους έχει αντιστοιχηθεί η τιμή -999.9, στα δεδομένα κάθε έτους. Αν ο μετρητής αυτός προκύψει μεγαλύτερος από την τιμή 4, τότε η χρονιά θεωρείται κενή και της αντιστοιχείται μέση ετήσια θερμοκρασία - 888.8.

2. Στον δεύτερο έλεγχο εξετάζονται οι διαδοχικοί μήνες μιας χρονιάς ως εξής:

- Σαρώνονται οι μήνες μιας χρονιάς E_k (π.χ. $E_1=1880$, $E_2=1881$).
- Εισάγεται δείκτης Δ_1 ως εξής: Σε κάθε κενό μήνα αντιστοιχείται η τιμή 1 και σε κάθε καταγεγραμμένη μηνιαία τιμή αντιστοιχείται η τιμή 0.
- Υπολογίζονται κυλιόμενα αθροίσματα δεικτών που αντιστοιχούν σε τρεις διαδοχικούς μήνες. Τα αθροίσματα αυτά είναι συνολικά 10 και παίρνουν τιμές 0, 1, 2 ή 3.
- Καταγράφεται το μεγαλύτερο από τα παραπάνω αθροίσματα του συγκεκριμένου έτους Δ_{\max} .
- Αν $\Delta_{\max} > 3$, τότε η χρονιά θεωρείται κενή και της αντιστοιχείται μέση ετήσια θερμοκρασία -888.8.
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα E_k .

Αν με τη διαδικασία αυτή προκύψει χρονοσειρά με πάνω από τρεις κενές διαδοχικές χρονιές, τότε η χρονοσειρά αυτή αφαιρείται από τις εξεταζόμενες χρονοσειρές, καθώς δεν πληρεί το κριτήριο περί κενών διαδοχικών ετών που αναφέρθηκε παραπάνω. Το ίδιο συμβαίνει και αν προκύψει χρονοσειρά με ποσοστό κενών ετών μεγαλύτερο από το 10% του μήκους της.

Ο αλγόριθμος που περιγράφηκε παραπάνω τροποποιήθηκε και χρησιμοποιήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων για την εύρεση των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών. Για το λόγο

αυτό ολοκληρωμένη παρουσίασή του θα γίνει στο Κεφάλαιο 7. Παράθεση των αναλυτικών τύπων θα γίνει στο Παράρτημα Α.

Χωρική δειγματοληψία:

Η δειγματοληψία έπρεπε να είναι τυχαία, αντικειμενική και αντιπροσωπευτική. Το βασικό πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί κατά την επιλογή των σταθμών ήταν η μεγάλη διαφορά πυκνότητας σταθμών στις διάφορες ηπείρους (Πίνακας 6.1). Σε περιοχές όπως η Αφρική και η Νότια Αμερική οι υπάρχοντες σταθμοί που πληρούσαν τα χρονικά κριτήρια που προτάθηκαν πιο πάνω ήταν λίγοι (λιγότεροι από πέντε). Αντίθετα, στην Αμερική, η αντίστοιχη πυκνότητα είναι εξαιρετικά μεγάλη, υπήρχε δηλαδή ένα πλήθος πολλών εκατοντάδων επιλέξιμων σταθμών. Για το λόγο αυτό, και για να υπάρχει ομοιομορφία των δεδομένων, η δειγματοληψία έγινε με την εξής λογική:

- Στις περιοχές μικρής πυκνότητας σταθμών, εξετάστηκαν όλοι οι διαθέσιμοι σταθμοί που πληρούσαν τα χρονικά κριτήρια που τέθηκαν πιο πάνω. Αυτό αφορούσε κυρίως την Αφρική, τη Νότια Αμερική, μεγάλες περιοχές της Ασίας, της Ευρώπης και της Ωκεανίας
- Σε ηπείρους με λίγα δεδομένα υπήρχαν διάσπαρτες μικρές περιοχές με αρκετούς αξιοποιήσιμους σταθμούς (Ιαπωνία, Σρι Λάνκα): Σε αυτές τις περιοχές επελέγησαν όλοι οι διαθέσιμοι σταθμοί.
- Για τις περιοχές με σημαντική έκταση και μεγαλύτερη πυκνότητα σταθμών, για να μην προκαλείται ανομοιομορφία, ήταν αναγκαίο να γίνει δειγματοληψία μεταξύ των σταθμών που πληρούσαν τα άνω κριτήρια, ώστε να προκύπτει τελικά ομοιομορφία των σταθμών που έχουν εξεταστεί σε παγκόσμια κλίμακα. Τέτοια περίπτωση ήταν μόνο οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.

Στο Πίνακα 6.1 παρουσιάζεται η έκταση και η ποσότητα των σταθμών που επιλέχθηκαν σε όλες τις περιοχές εκτός από τη Βόρεια Αμερική, που όπως αναφέρθηκε αποτέλεσε ξεχωριστή περίπτωση.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ ($\times 10^6 \text{ km}^2$)	ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΟΥ ΕΠΙΛΕΧΤΗΚΑΝ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΤΑΘΜΩΝ (ανά 10^6 km^2)
Αφρική	30	3	0.1
Ευρώπη	10	56	5.6
Ασία	44	45	1.0
Ωκεανία	8	18	2.3
Νότια Αμερική	18	5	0.3

Πίνακας 6.1. Έκταση και σταθμοί που επιλέχθηκαν σε όλες τις περιοχές του κόσμου όπου υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα εκτός από τη Βόρεια Αμερική. Η έκταση κάθε ηπείρου είναι στρογγυλοποιημένη σε 10^6 km^2 . Οι πυκνότητες έχουν στρογγυλοποιηθεί στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο.

Δειγματοληψία από τις ΗΠΑ:

Οι επιλέξιμοι σταθμοί των ΗΠΑ σύμφωνα με τα χρονικά κριτήρια που παρατέθηκαν παραπάνω ήταν πολλές εκατοντάδες. Εξαιρέση αποτελούσαν μόνο η Αλάσκα και τα νησιά του Ειρηνικού και Ατλαντικού ωκεανού, όπου υπήρχαν μόνο τρεις διαθέσιμοι σταθμοί, και οι οποίοι επελέγησαν. Έτσι, αφαιρώντας αυτές τις περιοχές, αποφασίστηκε να χωριστούν οι ΗΠΑ σε υποπεριοχές και να επιλεγεί ένα πλήθος σταθμών από κάθε περιοχή με χωρική ομοιογένεια (δηλαδή οι σταθμοί να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα κατανεμημένοι στην έκταση της υποπεριοχής).

Στην επιλογή του πλήθους των σταθμών από τις ΗΠΑ έπαιξαν ρόλο οι παρακάτω παράγοντες:

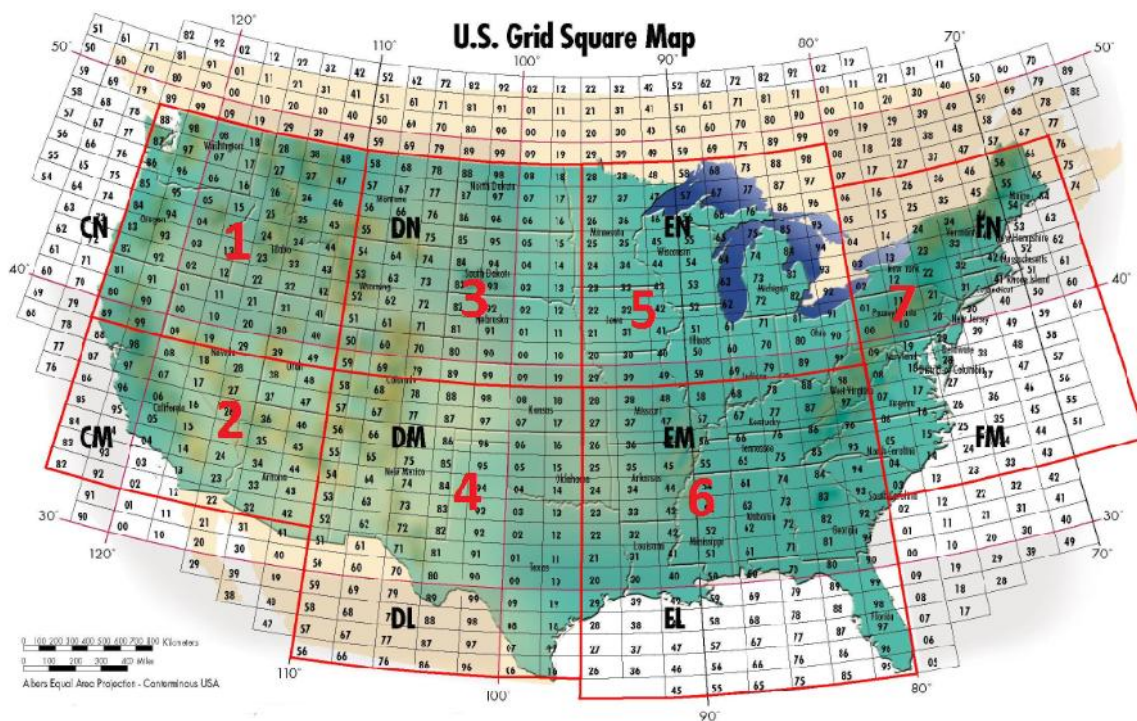
1. Η πυκνότητα των σταθμών που τηρούσαν τα χρονικά κριτήρια στον γειτονικό Καναδά ήταν πολύ μικρή (βρέθηκαν μόλις πέντε σταθμοί). Ως εκ τούτου δεν θα είχε νόημα μια εξαιρετικά μεγάλη πυκνότητα σταθμών στις ΗΠΑ).
2. Παρ' όλο το μεγάλο τους μέγεθος, οι ΗΠΑ ήταν μία χώρα και μάλιστα με αρκετά ομογενή δεδομένα, καταγεγραμμένα με τον ίδιο τρόπο σύμφωνα με οδηγίες μιας κεντρικής αρχής (United States Historical Climatological Network-USHCN).

3. Η περιοχή με την μεγαλύτερη πυκνότητα σταθμών μετά τις ΗΠΑ ήταν η Ευρώπη.
4. Η Ευρώπη έχει παρόμοια έκταση με τις ΗΠΑ (10^7km^2 περίπου).
5. Σε αντίθεση με τις ΗΠΑ, η Ευρώπη παρουσιάζει πολύ μεγάλη ανομοιομορφία στους σταθμούς της λόγω των πολλών χωρών που την απαρτίζουν.

Έτσι, με βάση τα παραπάνω, επιλέχθηκε πυκνότητα σταθμών στις ΗΠΑ λίγο μικρότερη (περίπου 20%) από την αντίστοιχη της Ευρώπης. Συνολικά επιλέχθηκε ένα πλήθος 46 σταθμών. Η χωρική ομοιογένεια κατά την επιλογή επιτεύχθηκε ως εξής:

Η ηπειρωτική έκταση των Ηνωμένων Πολιτειών χωρίστηκε σε 7 υποπεριοχές που εικονίζονται στο Σχήμα 6.1. Από κάθε υποπεριοχή επιλέχθηκε αριθμός σταθμών ανάλογα με την έκταση της υποπεριοχής (Πίνακας 6.2). Στη συνέχεια, για κάθε υποπεριοχή, επιλέχθηκαν οι σταθμοί που εξετάστηκαν με εμπειρικό κριτήριο, την σχεδόν ομοιόμορφη οπτικά κατανομή τους στο χώρο κάθε υποπεριοχής.

Τα στοιχεία των υποπεριοχών και των σταθμών που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2. Τα όρια των υποπεριοχών εικονίζονται στο Σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1. Κανναβοποιημένος χάρτης των Ηνωμένων Πολιτειών. Σημειώνονται οι 7 ενότητες δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκαν.

ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΟΡΙΑ	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΘΜΩΝ
1	-124 ⁰ ÷ -110 ⁰ E 39 ⁰ ÷ 49 ⁰ N	70	8
2	-124 ⁰ ÷ -110 ⁰ E 31 ⁰ ÷ 39 ⁰ N	37	4
3	-110 ⁰ ÷ -96 ⁰ E 39 ⁰ ÷ 49 ⁰ N	70	8
4	-110 ⁰ ÷ -96 ⁰ E 26 ⁰ ÷ 39 ⁰ N	70	8
5	-80 ⁰ ÷ -96 ⁰ E 39 ⁰ ÷ 49 ⁰ N	50	6
6	-80 ⁰ ÷ -96 ⁰ E 25 ⁰ ÷ 39 ⁰ N	75	8
7	-66 ⁰ ÷ -80 ⁰ E 33 ⁰ ÷ 47 ⁰ N	37	4

Πίνακας 6.2. Οι υποπεριοχές στις οποίες χωρίστηκαν οι ΗΠΑ. Δεν περιλαμβάνονται η Αλάσκα και τα νησιά του Ειρηνικού και Ατλαντικού ωκεανού. Η ανηγμένη έκταση μετρείται σε τετράγωνα καννάβου. Ο κάνναβος εικονίζεται στο Σχήμα 6.1.

6.4 Πορεία συλλογής δεδομένων

Η επιλογή των σταθμών που θα χρησιμοποιούνταν για εξαγωγή συμπερασμάτων έγινε για πρακτικούς λόγους σε δύο στάδια:

Σε **πρώτο στάδιο** έγινε αναζήτηση σταθμών με βάση πολλαπλά κριτήρια που παρέχει ο KNMI Climate Explorer. Αρχικά ορίστηκε ένα σημείο αναζήτησης και ζητήθηκε ο εντοπισμός των 30 εγγύτερων σταθμών που καλύπτουν περίοδο 100 ετών και περιέχουν δεδομένα τουλάχιστον μέχρι και το 1990. Η αναζήτηση αυτή έγινε για αρχικά και επεξεργασμένα δεδομένα και επιλέχθηκαν οι σταθμοί που εμφάνιζαν και τους δύο τύπους δεδομένων. Η αναζήτηση κάλυψε όλο τον κόσμο, με εξαίρεση τις ΗΠΑ, που αναλύθηκαν παραπάνω. Στη συνέχεια έγιναν απαληθεύσεις με κοντινά σημεία, αλλά και με ένα δεύτερο

εναλλακτικό τρόπο αναζήτησης σταθμών: επιλέχτηκε να εμφανιστούν όλοι οι σταθμοί που πληρούσαν το κριτήριο των 100 ετών και βρίσκονταν σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Η δεύτερη αυτή αναζήτηση εμφάνισε κάποιους σταθμούς που δεν είχαν εντοπιστεί στην πρώτη προσπάθεια και συμπληρώθηκαν στη λίστα των σταθμών. Κενά στην αρχή ή στο τέλος της χρονοσειράς δεν λήφθηκαν υπόψη. Αντίθετα πιθανά κενά μέσα στη χρονοσειρά υπολογίστηκαν στο συνολικό μήκος των χρονοσειρών. Η χωρική επιλογή έγινε σύμφωνα με όσα περιγράφηκαν παραπάνω.

Στο **δεύτερο στάδιο** από τις χρονοσειρές που προέκυψαν από το προηγούμενο στάδιο επιλέχθηκαν οι χρονοσειρές εκείνες που ικανοποιούσαν το κριτήριο των κενών ενδιάμεσων ετών. Η επιλογή αυτή έγινε μετά από την εφαρμογή αλγορίθμου μετατροπής των μηνιαίων δεδομένων σε ετήσια, ο οποίος περιγράφεται στο Κεφάλαιο 7.

Με αυτό τον τρόπο ολοκληρώθηκε η τελική λίστα των προς εξέταση σταθμών. Συνολικά επιλέχτηκαν 181 σταθμοί από όλο τον κόσμο. Η κατανομή τους στις διάφορες περιοχές παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.3.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΣΤΑΘΜΟΙ
Αφρική	3
Ευρώπη	56
Ασία	45
Ωκεανία	18
Νότια Αμερική	5
Βόρεια Αμερική	54

Πίνακας 6.3. Κατανομή στις ηπείρους των σταθμών που επιλέχτηκαν κατά τη δειγματοληψία

Αναλυτική λίστα των σταθμών που επιλέχτηκαν και κάποιων χαρακτηριστικών τους (απόσταση από τη θάλασσα, έδραση σε αστική ή αγροτική περιοχή, είδος εδάφους κ.ά.) παρουσιάζεται στο Παράρτημα Β.

6.5 Προβλήματα κατά τη συλλογή δεδομένων

Κατά τη συλλογή των δεδομένων προέκυψαν διάφορα προβλήματα που αφορούσαν τα δεδομένα των χρονοσειρών .

Το πρώτο πρόβλημα ήταν η αδυναμία του KNMI Climate Explorer σε ορισμένες περιπτώσεις να εντοπίσει όλους τους σταθμούς. Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε όπως αναλύεται στην Παράγραφο 6.4. Με τη μέθοδο αυτή εξασφαλίστηκε ότι ένας πολύ μικρός αριθμός σταθμών πιθανά να διέφυγε. Πάντως, ακόμα και αν μερικοί σταθμοί δεν έχουν συμπεριληφθεί, αυτό δεν αλλάζει ουσιαστικά τα αποτελέσματα της επεξεργασίας (η διαφορά των αποτελεσμάτων από προσθήκη ενός ή δύο παραπάνω σταθμών στους 180 περίπου που επιλέχτηκαν θα ήταν αμελητέα).

Ένα δεύτερο πρόβλημα ήταν ότι σε ορισμένες χρονοσειρές δεν αναγραφόταν στα δεδομένα που συνόδευαν τη χρονοσειρά η σωστή ημερομηνία αρχής και τέλους των δεδομένων. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με συστηματικό οπτικό έλεγχο όλων των χρονοσειρών. Μικρά λάθη εντοπίστηκαν και στο μήκος των χρονοσειρών που εμφάνιζε ο KNMI Climate Explorer. Το μήκος αυτό υπολογίστηκε τελικά από τις διορθωμένες τιμές αρχής και τέλους όλων των χρονοσειρών, διορθωμένων και μη.

7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

7.1 Μαθηματική προσέγγιση της αύξησης της μέσης ετήσιας παγκόσμιας θερμοκρασίας

Το διάγραμμα της μεταβολής της μέσης ετήσιας παγκόσμιας θερμοκρασίας εδάφους που δημοσιεύτηκε από τη IPCC (Σχήμα 2.1) όπως αυτό έχει προκύψει από την επεξεργασία των παγκόσμιων θερμοκρασιών από τέσσερις διαφορετικές ερευνητικές ομάδες (CRUTEM3, NCDC, GISS, Luginin *et al.*, 2005), εμφανίζει μια μη γραμμική αύξηση της θερμοκρασίας. Πράγματι, όπως περιγράφηκε και στο Κεφάλαιο 2 για την αύξηση της θερμοκρασίας, η περίοδος από το 1850 μέχρι το 1915 δεν παρουσίασε σημαντικές αυξομειώσεις. Από το 1910 μέχρι το 1940 καταγράφηκε μια τάση αύξησης της θερμοκρασίας, ακολουθούμενη από μια μικρή μείωση μέχρι το 1970 και μετά από μια πιο έντονη αύξηση μέχρι το 2006, οπότε και σταματούσαν τα διαθέσιμα στοιχεία.

Το συμπέρασμα αυτό προφανώς θα οδηγούσε σε προσομοίωση των δεδομένων, χρονοσειρών κάθε σταθμού αλλά και της μεταβολής της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας T , από εξίσωση (μοντέλο) με μη γραμμικούς όρους.

Οι πολυπαραμετρικές αυτές προσεγγίσεις έχουν βασικά μειονεκτήματα. Το κυριότερο, την αλληλεξάρτηση (συμμεταβλητότητα) των προσδιοριζόμενων παραμέτρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα παρότι η προσαρμογή της καμπύλης μπορεί να είναι ικανοποιητική, η εκτίμηση των κρίσιμων παραμέτρων να είναι προβληματική. Ο λόγος είναι ότι μια μικρή μεταβολή της μιας παραμέτρου που βασικά αγνοούμε προκαλεί μεγάλη μεταβολή στην εκτίμηση κάθε άλλης.

Για το λόγο αυτό και για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων με αυτά της IPCC, υιοθετήθηκε γραμμικό μοντέλο προσέγγισης της θερμοκρασιακής μεταβολής. Το μοντέλο αυτό έχει το πλεονέκτημα, όταν προκύπτει από στοιχεία που καλύπτουν χρονοσειρές ίσου μήκους (στην προσέγγισή μας η μεγάλη πλειοψηφία των χρονοσειρών διαθέτουν 100-120 έτη δεδομένων), να μπορεί να περιγράψει με μία μόνη παράμετρο την κλίση και/ή τη συνολική μεταβολή της θερμοκρασίας στο εξεταζόμενο χρονικό διάστημα. Συνεπώς εκτιμάται μια παράμετρος που

α) επιτρέπει μια μονοπαραμετρική απεικόνιση της μέσης τάσης μεταβολής της θερμοκρασίας σε διάστημα ενός αιώνα, και

β) επιτρέπει συνολική και εποπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε χάρτες.

Για τους λόγους αυτούς και για τις απαιτήσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η γραμμική προσαρμογή κρίθηκε βέλτιστη, και δεν εξετάστηκαν εναλλακτικά μοντέλα, τα οποία προφανώς δεν παρουσιάζουν και καμία υπολογιστική δυσκολία.

7.2 Αλγόριθμος υπολογισμού μέσων ετήσιων θερμοκρασιών σε χρονοσειρές με κενά

Τα δεδομένα που συλλέχτηκαν από τη βάση GHCN-Monthly Version 2 ήταν σε μηνιαία μορφή, ενώ όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο ΣΤ, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποφασίστηκε να γίνει επεξεργασία ετήσιων δεδομένων. Έτσι γράφτηκε ένας αλγόριθμος υπολογισμού μέσων ετήσιων τιμών από τα διαθέσιμα μηνιαία δεδομένα. Ο αλγόριθμος αυτός γράφτηκε ως επέκταση του αλγορίθμου που περιγράφεται στο Κεφάλαιο ΣΤ και ο οποίος εντοπίζει τις χρονιές των δεδομένων οι οποίες έχουν πολλά διάσπαρτα ή διαδοχικά κενά και τις επισημαίνει ως κενές αντιστοιχίζοντάς τους ένα κωδικό -888.8. Τα βασικά βήματα του αλγορίθμου είναι τα παρακάτω:

Έλεγχος πληρότητας κάθε έτους E_k (π.χ. $E_1=1880$, $E_2=1881$)

Αν >3 διαδοχικοί κενοί μήνες,

Αν >4 αθροιστικά κενά σε μήνες,

→ απορρίπτεται το έτος και θεωρείται κενό

Έλεγχος πληρότητας αποδεκτής χρονοσειράς

Αν αριθμός κενών $>10\%$ του μήκους της χρονοσειράς,

Αν >3 διαδοχικά χρόνια κενά,

→ απορρίπτεται η χρονοσειρά

Υπολογισμός μέσης ετήσιας τιμής θερμοκρασίας έτους j:

$$\bar{\theta}_j = \sum \theta_{ij} \cdot k_{ij} \cdot \rho_{ij} / \sum k_{ij} \cdot \rho_{ij}$$

όπου $i=1,2,\dots,12$ οι μήνες του χρόνου,

$j=1,2,\dots$ ο αύξων αριθμός των ετών της χρονοσειράς,

$k_{ij}=28, 29, 30, 31$ ο αριθμός των ημερών κάθε μήνα

Ο συντελεστής k_{ij} για τους 11 μήνες ήταν τυποποιημένος, ενώ για το Φεβρουάριο έπαιρνε τις τιμές 29 αντί για 28 αν υπήρχε δίσεκτο έτος. Δηλαδή αν $E/4 - \text{INT}(E/4) = 0$, με εξαίρεση το έτος 1900 που δεν είναι δίσεκτο.

ρ_{ij} : παράμετρος για κάθε μήνα κάθε έτους

$$\rho_{ij} = \begin{cases} 0 & \theta_{ij} = -999.9 \\ 1 & \theta_{ij} \neq -999.9 \end{cases}$$

Οι αναλυτικές σχέσεις του παραπάνω Αλγορίθμου παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.

7.3 Εκτίμηση της γραμμικής τάσης επεξεργασμένων και αρχικών δεδομένων και της διαφοράς τους

Έχοντας δείξει ότι η γραμμική προσαρμογή αποτελεί αξιόπιστη και βέλτιστη λύση, το επόμενο στάδιο ήταν οι σχετικοί υπολογισμοί. Με τον αλγόριθμο που περιγράφηκε παραπάνω έγινε δυνατό να αντιμετωπιστούν τα διάσπαρτα κενά δεδομένα μέσα στις χρονοσειρές. Έτσι, υπολογίστηκαν για όλους τους σταθμούς που επιλέχτηκαν δύο γραμμικές τάσεις μεταβολής των ετήσιων θερμοκρασιών: για τις αδιόρθωτες και τις διορθωμένες χρονοσειρές. Από τις δύο αυτές τιμές, υπολογίστηκε στη συνέχεια η διαφορά διορθωμένης – αδιόρθωτης τάσης μεταβολής της θερμοκρασίας για όλους τους σταθμούς που είχαν επιλεγεί.

7.4 Υπολογισμός του αριθμού των σταθμών με θετική και αρνητική διαφορά κλίσεων

Από τους 181 σταθμούς για τους οποίους έγιναν υπολογισμοί, 117 παρουσίασαν θετική διαφορά (επεξεργασμένων- μη επεξεργασμένων), 61 παρουσίασαν αρνητική διαφορά, ενώ σε 3 σταθμούς η διαφορά των τάσεων βρέθηκε μηδενική.

Η αντιστοιχία των παραπάνω αριθμών σε ποσοστά είναι:

Θετική διαφορά (επεξεργασμένων- μη επεξεργασμένων): 64.64%

Αρνητική διαφορά (επεξεργασμένων- μη επεξεργασμένων): 33.70%

Μηδενική διαφορά (επεξεργασμένων- μη επεξεργασμένων): 1.66%

Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται και στον Πίνακα 7.1.

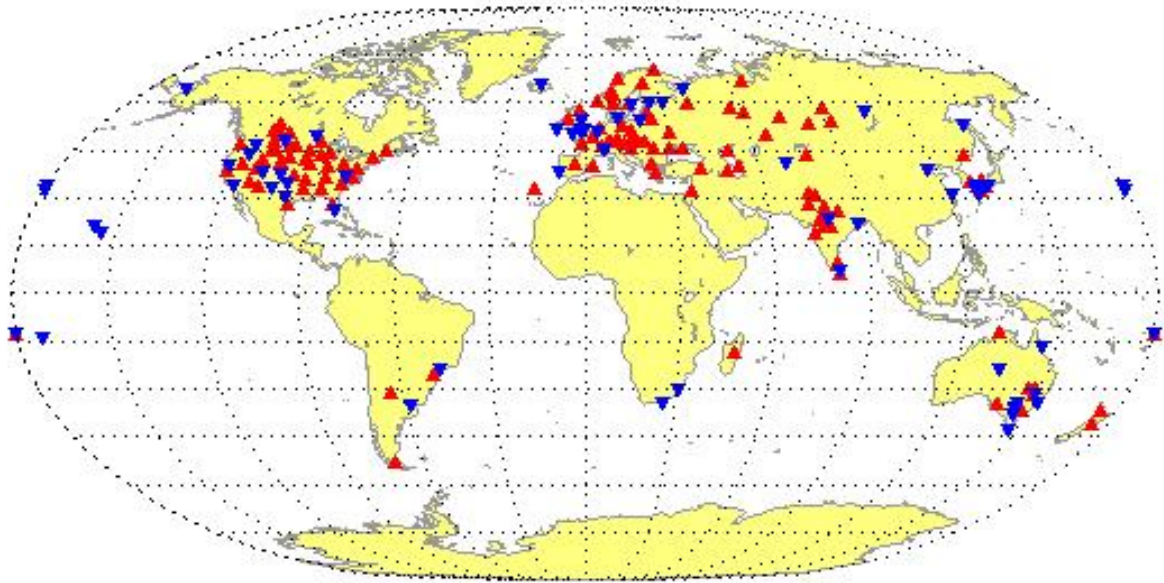
Διαφορά επεξεργασμένων-μη επεξεργασμένων χρονοσειρών	Αριθμός σταθμών	Ποσοστό (%)
Θετική	117	64.64
Αρνητική	61	33.70
Μηδενική	3	1.66

Πίνακας 7.1. Πλήθος και ποσοστό σταθμών από το σύνολο των 181 σταθμών που εξετάστηκαν, ανάλογα με τη διαφορά κλίσεων που παρουσιάζουν

7.5 Αλγόριθμος αποτύπωσης σε χάρτη

Για να είναι εποπτική και αξιολογήσιμη η διαφορά στην εκτίμηση της αύξησης της θερμοκρασίας που προκύπτει από διορθωμένες και μη διορθωμένες τιμές, θεωρήθηκε σκόπιμο να προβληθούν όλοι οι σταθμοί που επιλέχτηκαν σε παγκόσμιο χάρτη.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε κώδικας του MATLAB. Ως στοιχείο εισόδου θεωρήθηκαν οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σταθμών και η εκτιμηθείσα διαφορά τάσεων μεταξύ διορθωμένων και μη διορθωμένων σταθμών. Η κατανομή των σταθμών παγκοσμίως παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.1.

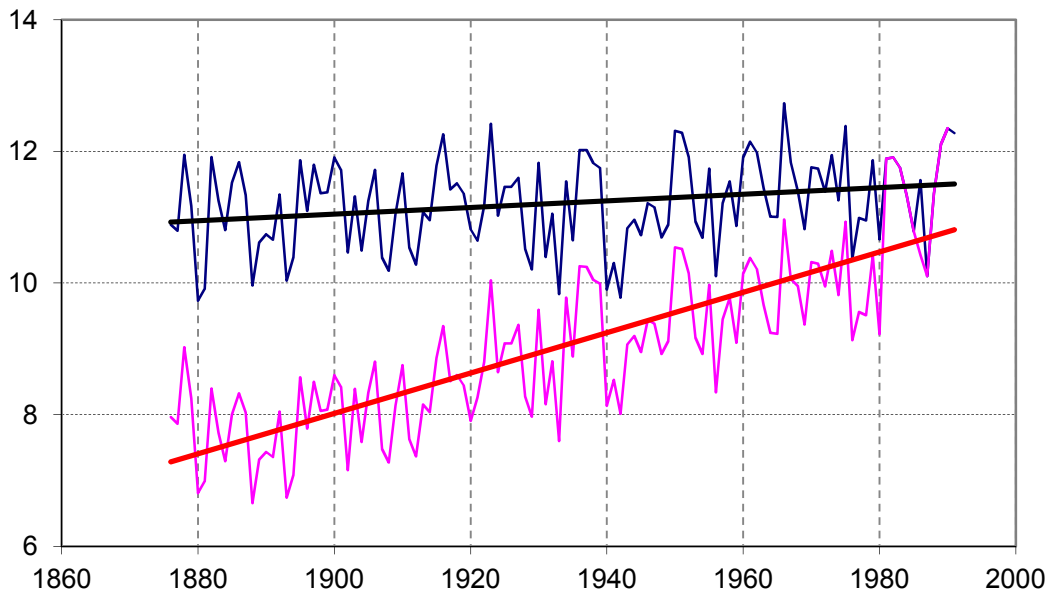


Σχήμα 7.1. Γεωγραφική κατανομή των σταθμών μέτρησης θερμοκρασίας στους οποίους εξετάστηκε η επεξεργασία που έχει γίνει στα θερμοκρασιακά δεδομένα παγκοσμίως. Με κόκκινα και μπλε τρίγωνα σημειώνονται οι σταθμοί στους οποίους η επεξεργασία των θερμοκρασιών αύξησε ή μείωσε, αντίστοιχα, τη διαφορά τάσεων μεταξύ διορθωμένων και μη διορθωμένων δεδομένων.

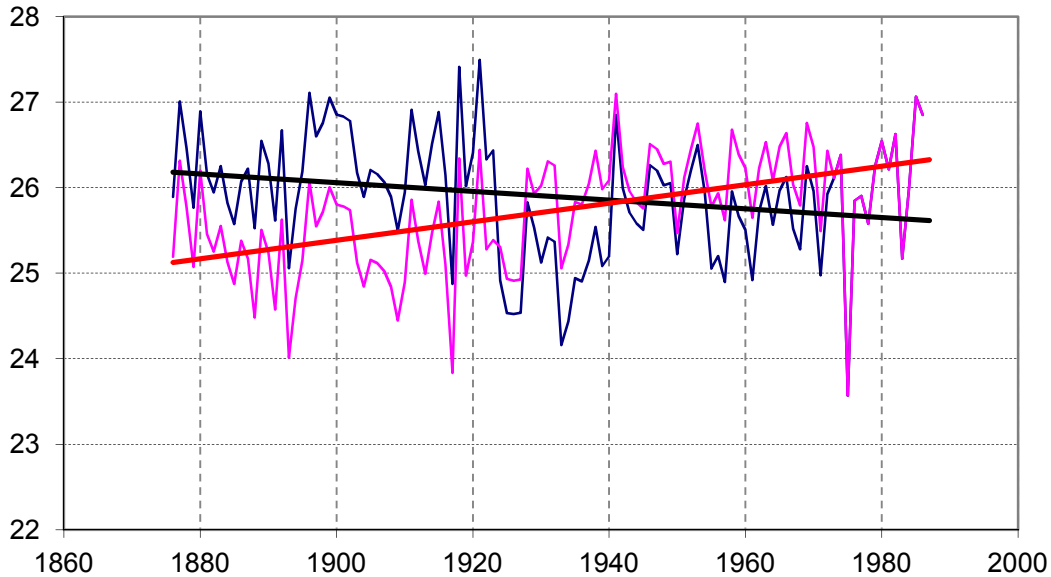
7.6 Υπολογισμός του συντελεστή Hurst σε αρχικά και επεξεργασμένα δεδομένα χαρακτηριστικών πραγματικών χρονοσειρών

Ένα από τα ζητήματα που αξίζουν διερεύνησης σχετικά με την ομογενοποίηση των χρονοσειρών είναι οι επιπτώσεις της ομογενοποίησης στη μακροπρόθεσμη εμμονή που εμφανίζουν οι χρονοσειρές υδροκλιματικών δεδομένων.

Στην παρούσα διπλωματική, από τους 181 σταθμούς που εξετάστηκαν και παρουσιάζονται στο Παράρτημα Δ, επιλέχτηκαν 2 από τους σταθμούς στους οποίους η ομογενοποίηση προκάλεσε τις μεγαλύτερες μεταβολές (διορθώσεις): ο σταθμός Sulina στη Ρουμανία (Σχήμα 7.2) και ο σταθμός Agra στην Ινδία (σχήμα 7.3). Για τους σταθμούς αυτούς υπολογίστηκε ο συντελεστής Hurst για τα αρχικά και τα επεξεργασμένα δεδομένα. Οι συντελεστές Hurst των αρχικών και επεξεργασμένων δεδομένων και οι τελικές και αρχικές γραμμικές τάσεις μεταβολής της θερμοκρασίας για το σταθμό Sulina παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.2 και για το σταθμό Agra στον Πίνακα 7.3.



Σχήμα 7.2. Ετήσια δεδομένα θερμοκρασίας από το σταθμό Sulina στη Ρουμανία. Με μπλε χρώμα εμφανίζεται η αρχική (ανεπεξεργαστη) χρονοσειρά και με ροζ χρώμα η επεξεργασμένη χρονοσειρά. Με μαύρο χρώμα παρουσιάζεται η γραμμική τάση που εμφανίζουν τα αρχικά δεδομένα, ενώ με κόκκινο χρώμα η γραμμική τάση που εμφανίζουν τα επεξεργασμένα δεδομένα.



Σχήμα 7.3. Ετήσια δεδομένα θερμοκρασίας από το σταθμό Agra στην Ινδία. Με μπλε χρώμα εμφανίζεται η αρχική (ανεπεξεργαστη) χρονοσειρά και με ροζ χρώμα η επεξεργασμένη χρονοσειρά. Με μαύρο χρώμα παρουσιάζεται η γραμμική τάση που εμφανίζουν τα αρχικά δεδομένα, ενώ με κόκκινο χρώμα η γραμμική τάση που εμφανίζουν τα επεξεργασμένα δεδομένα.

	Γραμμική τάση	Συντελεστής Hurst
Αρχικά δεδομένα	0.0051	0.60
Επεξεργασμένα δεδομένα	0.0307	0.94

***Πίνακας 7.2.** Στατιστικά χαρακτηριστικά των αρχικών και επεξεργασμένων ετήσιων δεδομένων θερμοκρασίας του σταθμού Sulina στη Ρουμανία.*

	Γραμμική τάση	Συντελεστής Hurst
Αρχικά δεδομένα	-0.0051	0.82
Επεξεργασμένα δεδομένα	0.0108	0.88

***Πίνακας 7.3.** Στατιστικά χαρακτηριστικά των αρχικών και επεξεργασμένων ετήσιων δεδομένων θερμοκρασίας του σταθμού Agra στην Ινδία.*

7.7 Αξιολόγηση- Σχολιασμός των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας

Ένα σημαντικό στοιχείο που εντοπίστηκε κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου που περιγράφεται στην Παράγραφο 7.2 ήταν η κακή ποιότητα κάποιων χρονοσειρών (ύπαρξη πολλών κενών που έκαναν τις χρονοσειρές μη αξιοποιήσιμες στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αφού δεν πληρούσαν τα κριτήρια σχετικά με τη χρονική πληρότητα) σε περιοχές που δεν υπήρχαν πολλά διαθέσιμα δεδομένα (Αφρική, Νότια Αμερική). Αντίθετα, σε περιοχές με πληθώρα σταθμών όπως η Ευρώπη, οι ΗΠΑ και η Ιαπωνία, οι σταθμοί περιείχαν πολύ λιγότερα κενά.

Ένα δεύτερο στοιχείο που προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων είναι η μεταβολή του συντελεστή Hurst λόγω της ομογενοποίησης. Η αύξηση του συντελεστή Hurst που παρατηρείται και στους δύο σταθμούς οι οποίοι εξετάστηκαν, μάλλον οφείλεται στην αύξηση της κλίσης της γραμμικής τάσης των δύο χρονοσειρών (Δ. Κουτσογιάννης, προσωπική επικοινωνία). Εξάλλου στην περίπτωση του σταθμού Sulina που έχουμε μια μεγάλη διαφορά αρχικής και τελικής τάσης παρατηρείται και μια πολύ μεγάλη αύξηση του συντελεστή Hurst.

8. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ SNHT ΣΕ ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Από όλες τις διαθέσιμες στατιστικές μεθόδους επιλέχθηκε να γίνει ενδεικτικά ένας έλεγχος του Alexandersson and Moberg test (1997) σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις συνθετικών δεδομένων:

- δεδομένα που ακολουθούν κανονική κατανομή και στα οποία έχει εισαχθεί ένα τεχνητό άλμα σε κάποιο σημείο της χρονοσειράς,
- ομογενή δεδομένα που παρουσιάζουν μακροπρόθεσμη εμμονή, και
- δεδομένα που παρουσιάζουν μακροπρόθεσμη εμμονή και στα οποία έχει εισαχθεί ένα τεχνητό άλμα σε κάποιο σημείο της χρονοσειράς.

Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέχθηκε λόγω της ευρείας χρήσης της παγκοσμίως και της υιοθέτησής της από τους Menne and Williams (2009) για την ομογενοποίηση των δεδομένων της βάσης δεδομένων GHCN.

Και στις τρεις περιπτώσεις για την εφαρμογή της μεθόδου παράχθηκαν δύο συνθετικές χρονοσειρές X και Y ασυσχέτιστες μεταξύ τους. Ο τρόπος παραγωγής των χρονοσειρών αυτών αναφέρεται στις επόμενες παραγράφους, ξεχωριστά για την κάθε μέθοδο. Το μήκος των χρονοσειρών επιλέχθηκε να είναι 100 όροι, ώστε να είναι αντίστοιχο με το μήκος των χρονοσειρών που εξετάστηκαν.

Από τις χρονοσειρές X και Y παράχθηκε στη συνέχεια μια χρονοσειρά W σύμφωνα με την εξίσωση 7.1.

$$W = \frac{X + \kappa Y}{\lambda} \quad (8.1)$$

Η χρονοσειρά W αποφασίστηκε να είναι η εξεταζόμενη χρονοσειρά (candidate series) και η χρονοσειρά Y η χρονοσειρά αναφοράς (reference series). Οι συντελεστές κ και λ επιλέχθηκαν ώστε ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης ρ των χρονοσειρών W και Y να είναι $\rho=0.9$. Ο συντελεστής αυτός επιλέχθηκε έτσι ώστε να υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των δυο σταθμών. Οι συντελεστές $\rho=0.5-0.8$ που γίνονται δεκτοί από τους Menne and Williams (2009), κρίθηκαν ως αρκετά μικροί.

Ο συντελεστής κ προέκυψε σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\text{Cov}[W, Y] = \frac{\kappa}{\lambda} \text{Var}[Y] = \frac{\kappa}{\lambda} \sigma_Y^2 \quad (8.2)$$

$$\rho = \frac{\text{Cov}[W, Y]}{\sigma_W \cdot \sigma_Y} \rightarrow \rho = \frac{\kappa \cdot \sigma_Y}{\lambda \cdot \sigma_W} \quad (8.3)$$

$$\sigma_W^2 = \frac{1}{\lambda^2} \sigma_X^2 + \frac{\kappa^2}{\lambda^2} \sigma_Y^2 \quad (8.4)$$

$$\kappa^2 = \frac{\rho^2 \cdot \sigma_X^2}{\sigma_Y^2 - \rho^2 \cdot \sigma_Y^2} \quad (8.5)$$

Ο συντελεστής λ προέκυψε με τη δέσμευση $\sigma_W^2 = 1$:

$$\lambda^2 = \sigma_X^2 + \kappa^2 \cdot \sigma_Y^2 = \frac{1}{1 - \rho^2} \sigma_X^2 \quad (8.6)$$

Στη συνέχεια στο ζεύγος των χρονοσειρών W και Y εφαρμόστηκε το SNHT for single shifts (Alexandersson and Moberg, 1997). Η συγκεκριμένη μορφή του τεστ επιλέχτηκε, καθώς είναι αυτή που έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτερα π.χ. Founda *et al.* (2009). Συνοπτικά, μιας και η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται αναλυτικά στις Παραγράφους 5.3.2.2 και 5.3.2.3, έγιναν οι παρακάτω υπολογισμοί:

$$Q_i = W_i - Y_i + \bar{Y} - \bar{W} \quad (8.7)$$

$$Z_i = (Q_i - \bar{Q}) / s_Q \quad (8.8)$$

$$T_{\max}^s = \max_{1 \leq a \leq n-1} \{T_a^s\} = \max_{1 \leq a \leq n-1} [a\bar{z}_1^2 + (n-a)\bar{z}_2^2] \quad (8.9)$$

Με \bar{z}_1 συμβολίζεται η μέση τιμή των όρων της χρονοσειράς πριν την ασυνέχεια και με \bar{z}_2 η μέση τιμή των όρων της χρονοσειράς μετά την ασυνέχεια. Με a συμβολίζεται το πιο πιθανό σημείο ύπαρξης άλματος και με n το πλήθος των όρων της χρονοσειράς.

Επιλέχτηκε επίπεδο σημαντικότητας για τον εντοπισμό ανομογενειών 95% οπότε για χρονοσειρές με μήκος 100 όρων θεωρήθηκε ως ανομογένεια η τιμή T_{\max} εφόσον ξεπερνούσε την τιμή $T_{95}=9.15$.

Μετά τον εντοπισμό της ανομογένειας υπολογίστηκαν οι ποσότητες $\bar{q}_1 = \sigma_Q \bar{z}_1 + \bar{Q}$ και $\bar{q}_2 = \sigma_Q \bar{z}_2 + \bar{Q}$ και η διόρθωση $\delta = \bar{q}_2 - \bar{q}_1$, η οποία προστέθηκε στους όρους $\{1,2,\dots,\alpha\}$ της χρονοσειράς Q_i .

Στη συνέχεια επανυπολογίστηκε η χρονοσειρά W σύμφωνα με την παρακάτω σχέση, η οποία προέκυψε από τη σχέση 7.7:

$$W_i = Q_i + Y_i - \bar{Y} + \bar{W} \quad (8.10)$$

Αν μετά τη διόρθωση εντοπίζονταν νέες ανομογένειες, η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβανόταν μέχρι να μην υπάρχει στη χρονοσειρά W στατιστικά σημαντική ανομογένεια.

Η εφαρμογή της μεθόδου έγινε στο Excel, ώστε να υπάρχει εποπτεία σε όλα τα βήματα της επεξεργασίας. Επαλήθευση της μεθόδου έγινε με άλλο διαθέσιμο λογισμικό (Štěpánek, 2008).

8.1 Εφαρμογή του SNHT σε συνθετικά δεδομένα με κανονική κατανομή και τεχνητό άλμα

Οι δύο χρονοσειρές X και Y παράχθηκαν με επιθυμητά χαρακτηριστικά, μηδενική μέση τιμή και μοναδιαία τυπική απόκλιση. Όμως οι χρονοσειρές που προέκυψαν, λόγω του μικρού μήκους τους, είχαν ελαφρώς διαφορετικά χαρακτηριστικά από τα επιθυμητά. Μετά από παραγωγή αρκετών χρονοσειρών, επιλέχθηκαν δύο χρονοσειρές που η μέση τιμή και η τυπική τους απόκλιση να αποκλίνουν όσο το δυνατόν λιγότερο από τις συνθήκες εισόδου. Τα χαρακτηριστικά των χρονοσειρών που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.1.

Στη συνέχεια παράχθηκε η χρονοσειρά W με βάση τις σχέσεις 7.1-7.6. Από τις σχέσεις αυτές προέκυψαν $\kappa = 2.09$ και $\lambda = 2.30$.

	Χρονοσειρά X	Χρονοσειρά Y
Μέση τιμή	-0.02	0.03
Τυπική Απόκλιση	1.00	0.99

Πίνακας 8.1. Στατιστικά χαρακτηριστικά των συνθετικών χρονοσειρών X και Y

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης χρονοσειράς W μαζί με τα στατιστικά χαρακτηριστικά της χρονοσειράς αναφοράς Y παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.2.

	Εξεταζόμενη χρονοσειρά W	Χρονοσειρά αναφοράς Y
Μέση τιμή	0.01	0.03
Τυπική Απόκλιση	0.97	0.99

Πίνακας 8.2. Στατιστικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης χρονοσειράς W και της χρονοσειράς αναφοράς Y

Για λόγους ελέγχου του SNHT for single shifts προστέθηκε στον 40^ο όρο της χρονοσειράς W και στους επόμενους όρους ένα τεχνητό άλμα μεγέθους 2°C. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος όπως περιγράφεται παραπάνω. Στο πρώτο στάδιο εντοπίστηκε μετά τον 39^ο όρο της χρονοσειράς ασυνέχεια μεγέθους $\delta=2.03$, δηλαδή τιμή ουσιαστικά ίση με 2 που είναι και το πραγματικό μέγεθος της ασυνέχειας. Η ασυνέχεια διορθώθηκε. Δεύτερη εφαρμογή της μεθόδου δεν εντόπισε κάποια άλλη σημαντική ανομογένεια, η χρονοσειρά δηλαδή θεωρήθηκε ομογενής. Τα διαγράμματα Q και τιμές ελέγχου T_a για τα δύο στάδια παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.1.

Παρατηρείται ότι η τελική χρονοσειρά μετατοπίστηκε προς τα πάνω σε σχέση με την αρχική, καθώς, όπως υποδεικνύεται και από τους Alexandersson and Moberg (1997), θεωρήθηκαν οι πιο πρόσφατες μετρητικές συνθήκες ως συνθήκες αναφοράς. Βέβαια αυτό δεν είναι απόλυτο και θα μπορούσαν σε κάποιες περιπτώσεις να θεωρηθούν οι παλιές συνθήκες ως συνθήκες αναφοράς. Πάντως η επιλογή των παλιότερων ή των πιο πρόσφατων συνθηκών ως σωστών δεν επηρεάζει την κλίση της χρονοσειράς που είναι και το σημαντικότερο στοιχείο.

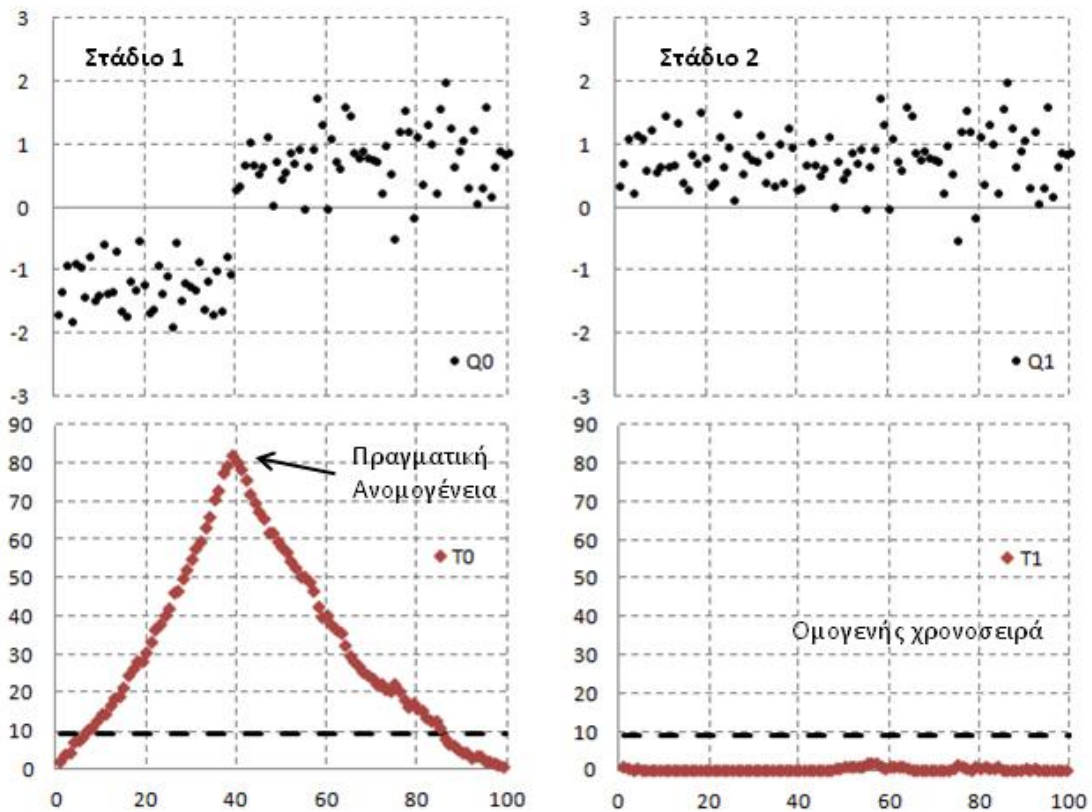
Στο Σχήμα 8.2 παρουσιάζονται οι τρεις χρονοσειρές, πριν την προσθήκη του τεχνητού άλματος, μετά την προσθήκη του τεχνητού άλματος και μετά τη διόρθωση του άλματος αυτού. Οι κλίσεις των τριών χρονοσειρών είναι:

W- αρχική: 0.0038

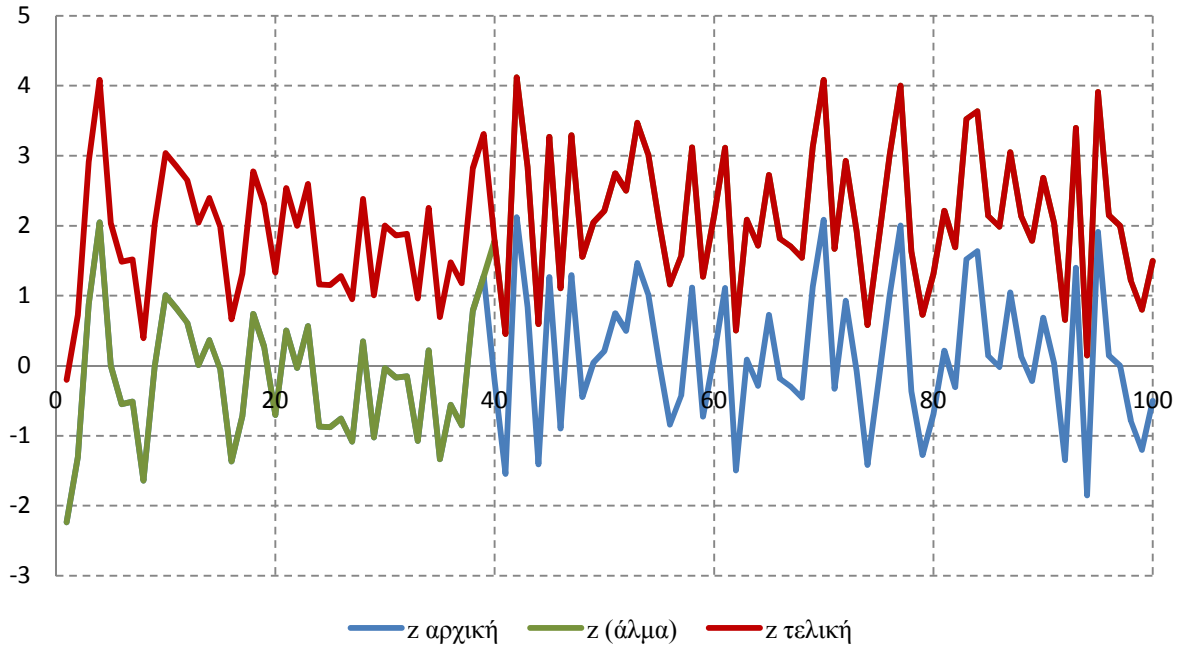
W- άλμα: 0.323

W- τελική: 0.0033

Παρατηρούμε δηλαδή ότι η μέθοδος SNHT for single shifts πέτυχε να διορθώσει τη χρονοσειρά επαναφέροντας με αρκετή ακρίβεια την αρχική της τάση. Δηλαδή η μέθοδος αυτή φαίνεται να είναι ικανοποιητική για την ομογενοποίηση δεδομένων που ακολουθούν κανονική κατανομή και δεν παρουσιάζουν μακροπρόθεσμη εμμονή.



Σχήμα 8.1. Εφαρμογή της μεθόδου SNHT for single shifts σε ανεξάρτητα δεδομένα που ακολουθούν κανονική κατανομή και στα οποία έχει εισαχθεί τεχνητό άλμα μεγέθους 2°C στον όρο 40. Παρουσιάζονται οι χρονοσειρές Q_0, T_0 πριν τη διόρθωση και Q_1, T_1 μετά τη διόρθωση της εξεταζόμενης χρονοσειράς. Η τεχνητή ανομογένεια, η οποία είναι ορατή και με γυμνό μάτι στη χρονοσειρά Q_0 εντοπίζεται με ακρίβεια. Ως ανομογένεια θεωρείται η μέγιστη τιμή του όρου T_a εφόσον αυτή υπερβαίνει τη στατιστική τιμή σημαντικότητας (Alexandersson and Moberg, 1997). Εδώ έχει επιλεγεί επίπεδο σημαντικότητας 95% οπότε για χρονοσειρές με μήκος 100 όρων είναι $T_{95}=9.15$.



Σχήμα 8.2. Χρονοσειρά Z: (α) πριν την προσθήκη του τεχνητού άλματος (γαλαζιο χρώμα), (β) μετά την προσθήκη του τεχνητού άλματος (πράσινο χρώμα), και (γ) μετά τη διόρθωση του άλματος αυτού (μπορντώ χρώμα). Η πράσινη χρονοσειρά ταυτίζεται με τη γαλάζια μέχρι τον 40^ο όρο της και με την μπορντώ χρονοσειρά στους επόμενους όρους.

8.2 Εφαρμογή του SNHT σε ομογενή συνθετικά δεδομένα με μακροπρόθεσμη εμμονή

Για την εφαρμογή της μεθόδου παράχθηκαν δύο συνθετικές χρονοσειρές X και Y με τη μέθοδο του μοντέλου συμμετρικού κυλιόμενου μέσου - SMA (Koutsoyiannis, 2000) και επιθυμητά χαρακτηριστικά: μηδενική μέση τιμή, μοναδιαία τυπική απόκλιση και συντελεστή Hurst $H=0.85$.

Τα χαρακτηριστικά των χρονοσειρών που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.3.

	Χρονοσειρά X	Χρονοσειρά Y
Μέση τιμή	0.03	-0.02
Τυπική Απόκλιση	1.30	1.00
Συντελεστής Hurst	0.84	0.85

Πίνακας 8.3. Στατιστικά χαρακτηριστικά των συνθετικών χρονοσειρών X και Y

Για την παραγωγή της χρονοσειράς W χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις 7.1-7.6. Από τις σχέσεις αυτές προέκυψαν $\kappa=2.12$ και $\lambda=2.3629$.

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης χρονοσειράς W μαζί με τα στατιστικά χαρακτηριστικά της χρονοσειράς αναφοράς Y παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.4.

	Εξεταζόμενη χρονοσειρά W	Χρονοσειρά αναφοράς Y
Μέση τιμή	-0.01	-0.02
Τυπική Απόκλιση	0.86	1.00
Συντελεστής Hurst	0.76	0.85

Πίνακας 8.4. Στατιστικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης χρονοσειράς W και της χρονοσειράς αναφοράς Y

Δύο παρατηρήσεις που μπορούν να γίνουν σχετικά με τις χρονοσειρές X , Y , W είναι ότι:

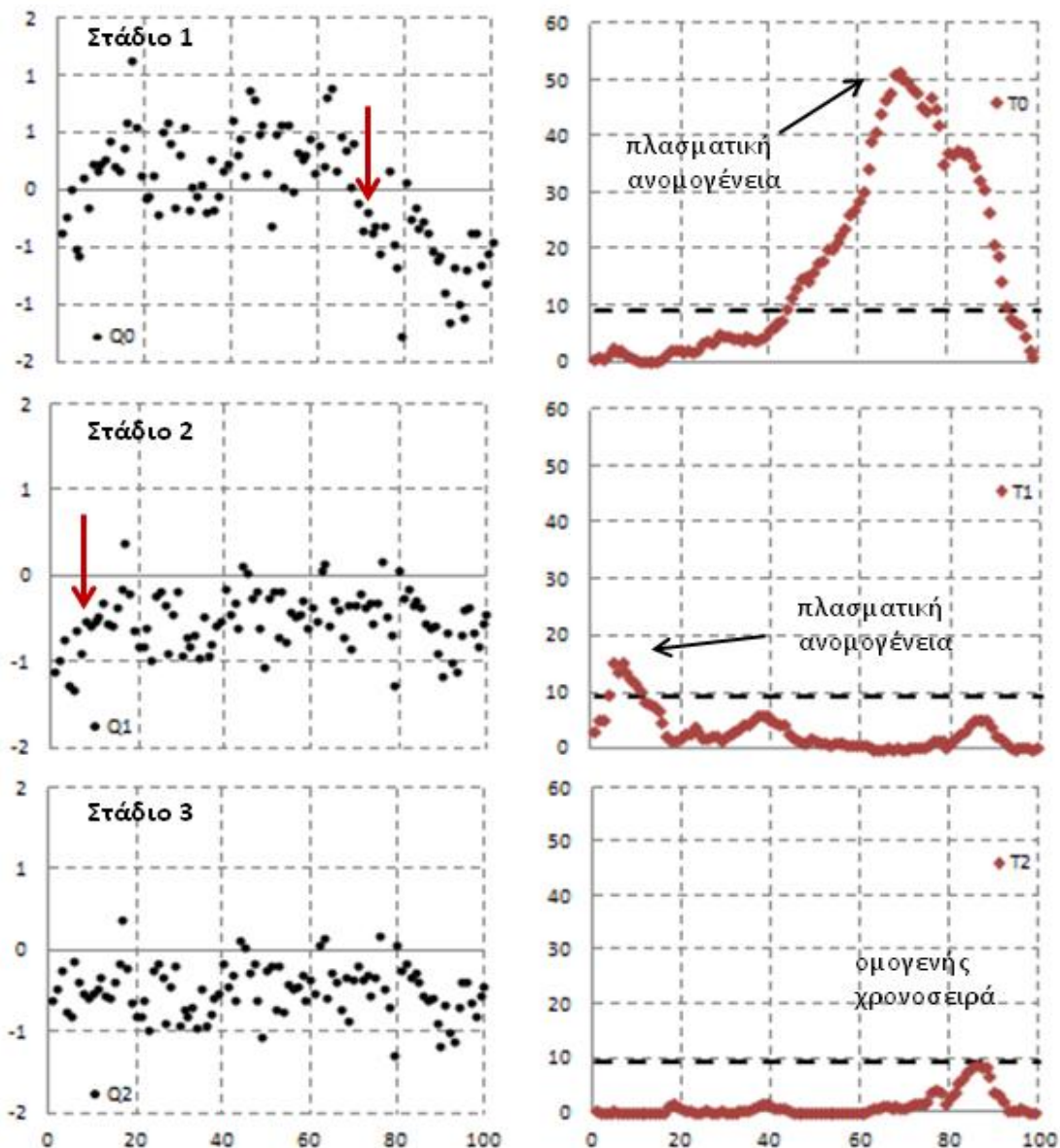
1. τα στατιστικά χαρακτηριστικά των σειρών X και Y διαφέρουν από τα επιθυμητά. Αυτό, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, οφείλεται στο μικρό μήκος των χρονοσειρών που παράξαμε.
2. η τυπική απόκλιση της χρονοσειράς W είναι $\sigma=0.86$, δηλαδή αρκετά μικρότερη από 1, αν και ο συντελεστής λ επιλέχτηκε έτσι ώστε η χρονοσειρά W να έχει μοναδιαία τυπική απόκλιση. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν παράγουμε μια χρονοσειρά με συντελεστή Hurst το σφάλμα που εισάγεται στην εκτίμηση της τυπικής απόκλισης σ της χρονοσειράς, συναρτήσει του συντελεστή Hurst είναι:

$$s = \sqrt{1 - \frac{1}{n'}} / \sqrt{1 - \frac{1}{n}} - 1 \quad (8.11)$$

όπου $n' = n^{2-2H}$ (Koutsoyiannis, 2011).

Οπότε για $H=0.85$ και μήκος χρονοσειράς $n=100$ προκύπτει $s=-0.13$ και άρα αντί για επιθυμητή τυπική απόκλιση $\sigma_{\text{επ}}=1$, προκύπτει $\sigma \approx 0.87$, δηλαδή τιμή πολύ κοντά στην τυπική απόκλιση της χρονοσειράς W .

Στη χρονοσειρά W δεν έχει εισαχθεί κάποια τεχνητή ανομογένεια. Παράχθηκε από τις χρονοσειρές X και Y ώστε ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης με τη χρονοσειρά αναφοράς Y να είναι $\rho=0.9$. Ο τρόπος παραγωγής της από χρονοσειρές με μακροπρόθεσμη εμμονή που παράχθηκαν από μοντέλο SMA την καθιστά ομογενή. Συνεπώς το SNHT for single shifts δεν θα πρέπει να εντοπίζει σημαντικές ανομογένειες. Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψαν τα διαγράμματα Q και T_a του Σχήματος 8.3.

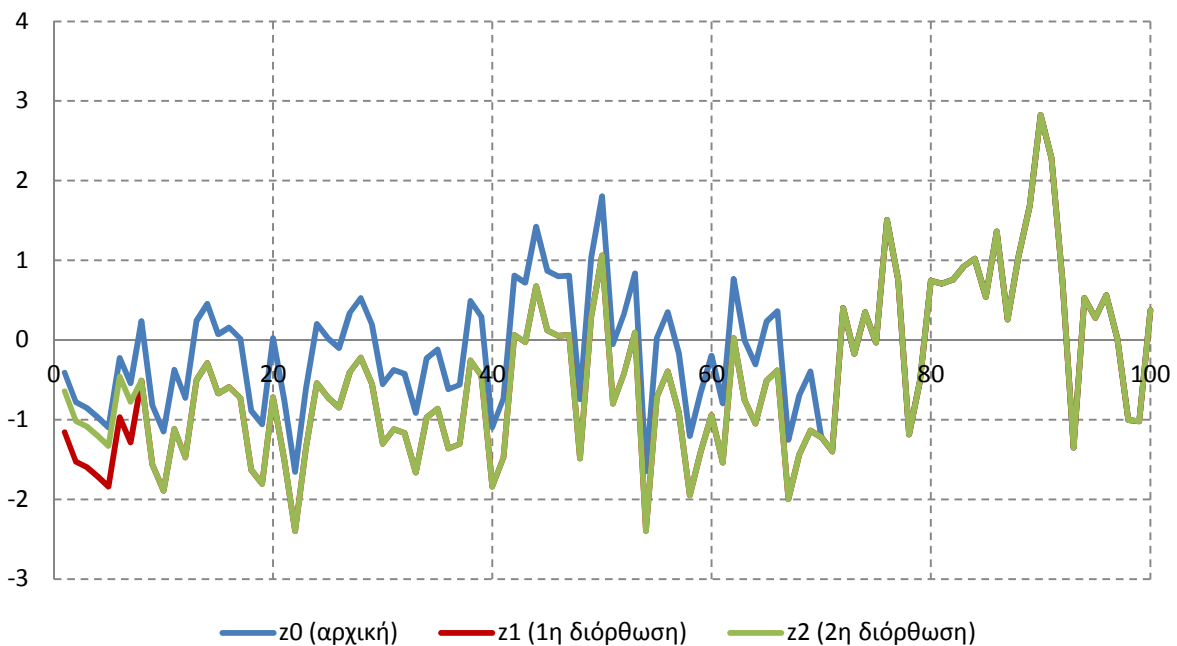


Σχήμα 8.3. Εφαρμογή της μεθόδου SNHT for single shifts σε ομογενή δεδομένα με μακροπρόθεσμη εμμονή. Παρουσιάζονται οι αρχικές χρονοσειρές Q_0, T_0 , οι χρονοσειρές Q_1, T_1 μετά την πρώτη διόρθωση, και οι χρονοσειρές Q_2, T_2 μετά τη δεύτερη διόρθωση της εξεταζόμενης χρονοσειράς. Αν και η αρχική χρονοσειρά είναι ομογενής η μέθοδος SNHT for single shifts εντοπίζει και διορθώνει δύο διαφορετικές ανομογένειες, στον 69° και τον 7° όρο της χρονοσειράς. Ως ανομογένεια θεωρείται η μέγιστη τιμή του όρου T_a εφόσον αυτή υπερβαίνει τη στατιστική τιμή σημαντικότητας (Alexandersson and Moberg, 1997). Εδώ έχει επιλεγεί επίπεδο σημαντικότητας 95%

Στο πρώτο στάδιο εντοπίστηκε μετά τον 69^ο όρο της χρονοσειράς ασυνέχεια μεγέθους $\delta=-0.74$. Η ασυνέχεια διορθώθηκε προσθέτοντας την ποσότητα αυτή στους όρους 0 έως 69 της χρονοσειράς Q. Δεύτερη εφαρμογή της μεθόδου εντόπισε μετά τον 7^ο όρο της χρονοσειράς ασυνέχεια μεγέθους $\delta=0.51$. Η ασυνέχεια διορθώθηκε προσθέτοντας την ποσότητα αυτή στους όρους 0 έως 7 της χρονοσειράς Q. Στη συνέχεια δεν εντοπίστηκε κάποια άλλη σημαντική ανομογένεια στα δεδομένα, η χρονοσειρά δηλαδή θεωρήθηκε ομογενής. Τα διαγράμματα Q και τιμές ελέγχου T_a για τα τρία στάδια παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.3.

Οι τρεις χρονοσειρές, πριν γίνει οποιαδήποτε διόρθωση, μετά την πρώτη διόρθωση, και μετά τη δεύτερη διόρθωση παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.4.

Οι γραμμικές τάσεις και οι συντελεστές Hurst των τριών χρονοσειρών του Σχήματος 8.4 παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.5.



Σχήμα 8.4. Χρονοσειρά Z: (α) πριν γίνει οποιαδήποτε διόρθωση (γαλαζιο χρώμα), (β) μετά την πρώτη διόρθωση (μπορντώ χρώμα), και (γ) μετά τη δεύτερη διόρθωση (πράσινο χρώμα). Η γαλάζια χρονοσειρά ταυτίζεται με την πράσινη μετά τον 69^ο όρο, αφού η πρώτη διόρθωση έγινε στους όρους 0 έως 69. Η μπορντώ χρονοσειρά ταυτίζεται με την πράσινη μετά τον 7^ο όρο, αφού η δεύτερη διόρθωση έγινε στους όρους 0 έως 7.

Χρονοσειρές	Γραμμικές τάσεις	Συντελεστές Hurst
W_0 - αρχική	0.0103	0.76
W_1 - 1 ^η διόρθωση	0.0198	0.88
W_2 - 2 ^η διόρθωση	0.0179	0.86

Πίνακας 8.5. Γραμμικές τάσεις και συντελεστές Hurst της χρονοσειράς W αρχικά, μετά την πρώτη διόρθωση, και μετά τη δεύτερη διόρθωση

Παρατηρούμε δηλαδή ότι το SNHT for single shifts εντοπίζει ανομογένειες στην χρονοσειρά W που ήταν εκ κατασκευής ομογενής. Επιπλέον οι διορθώσεις αυτές μετέβαλλαν σημαντικά την τάση της χρονοσειράς και συγκεκριμένα στο παρόν παράδειγμα την αύξησαν. Ο συντελεστής Hurst αυξάνεται πολύ κατά την πρώτη διόρθωση, το φαινόμενο αυτό όμως μάλλον οφείλεται στη μεγάλη αύξηση της γραμμικής τάσης της χρονοσειράς και όχι στην ομογενοποίησή της.

Γενικά ο συντελεστής Hurst αυξάνεται με την αύξηση της κλίσης της γραμμικής τάσης της χρονοσειράς (Δ. Κουτσογιάννης, προσωπική επικοινωνία).

Φαίνεται δηλαδή ότι το SNHT for single shifts δεν έχει ικανοποιητική εφαρμογή σε δεδομένα που παρουσιάζουν μακροπρόθεσμη εμμονή και επιπλέον μπορεί να αλλοιώνει τις τάσεις που αυτά παρουσιάζουν και συνεπώς να δημιουργεί πλασματικά μεγάλους συντελεστές Hurst.

Δηλαδή εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου σε υδροκλιματικά δεδομένα που χαρακτηρίζονται από μακροπρόθεσμη εμμονή φαίνεται να είναι προβληματική.

8.3 Εφαρμογή του SNHT σε συνθετικά δεδομένα με μακροπρόθεσμη εμμονή και τεχνητό άλμα

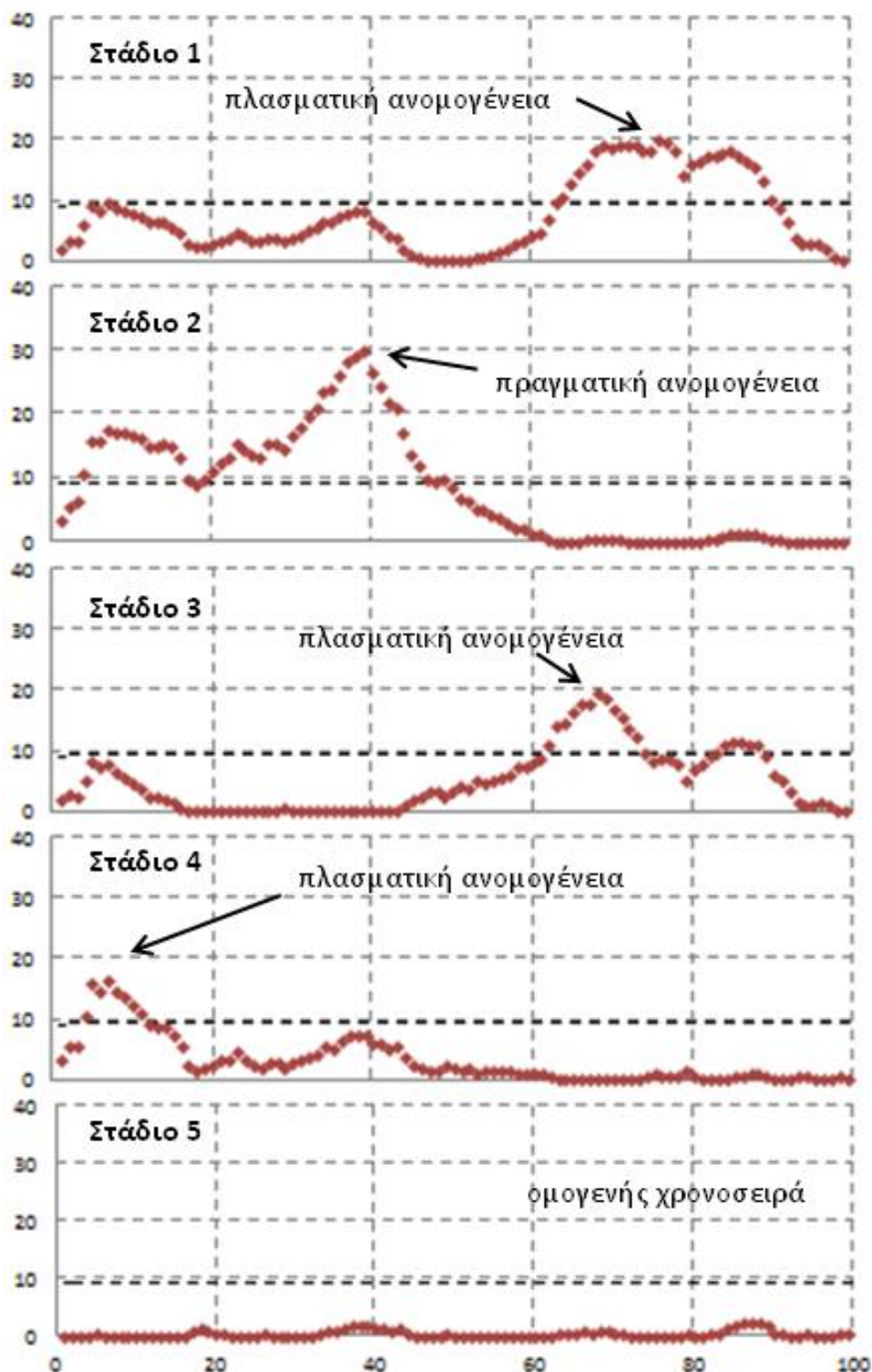
Τα δύο παραδείγματα που αναλύθηκαν στις προηγούμενες δύο παραγράφους φαίνεται να δείχνουν ότι η μέθοδος SNHT for single shifts είναι ικανοποιητική όταν πρόκειται για μια χρονοσειρά τα δεδομένα της οποίας είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους, αλλά όχι σε μια χρονοσειρά που παρουσιάζει μακροπρόθεσμη εμμονή.

Για λόγους πληρότητας, στην παρούσα παράγραφο, εξετάζεται αν η μέθοδος, παρόλες τις προβληματικές της, είναι σε θέση να εντοπίσει μια πραγματική ασυνέχεια σε δεδομένα με μακροπρόθεσμη εμμονή.

Το παράδειγμα της παραγράφου 8.2 επαναλήφθηκε με πρόσθεση στη χρονοσειρά W μιας τεχνητής ασυνέχειας. Αυτό έγινε ως εξής: Προστέθηκε στον όρο 40 και σε όλους τους επόμενους όρους της W μια ποσότητα 0.5°C . Τα διαγράμματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου SNHT for single shifts παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.5.

Στην πρώτη της εφαρμογή η μέθοδος απέτυχε να βρει την πραγματική ανομογένεια. Αντίθετα, εντοπίζει μια πλασματική ανομογένεια στον όρο 77. Η διόρθωση που υπολογίζεται και εφαρμόζεται στους όρους 0 έως 77 είναι $\delta=-0.51$. Σε δεύτερο στάδιο εντοπίζεται η πραγματική ανομογένεια που εισήχθη μετά τον 39° όρο της χρονοσειράς Z . Η δεύτερη διόρθωση που υπολογίζεται υπολογίζεται και εφαρμόζεται στους όρους 0 έως 39 είναι $\delta=0.49$, δηλαδή πολύ κοντά στο πραγματικό μέγεθος της πραγματικής ανομογένειας. Σε ένα τρίτο στάδιο εντοπίζεται μια πλασματική ανομογένεια στον όρο 68. Η τρίτη διόρθωση που υπολογίζεται υπολογίζεται και εφαρμόζεται στους όρους 0 έως 68 είναι $\delta=-0.35$. Τέταρτη εφαρμογή της μεθόδου εντοπίζει μια ακόμα πλασματική ανομογένεια στον όρο 7. Η τέταρτη διόρθωση που υπολογίζεται υπολογίζεται και εφαρμόζεται στους όρους 0 έως 7 είναι $\delta=0.52$.

Συνεπώς μετά από τέσσερις διαδοχικές διορθώσεις της χρονοσειράς, στη δεύτερη από τις οποίες διορθώθηκε η πραγματική ανομογένεια, καταλήξαμε σε μια χρονοσειρά που θεωρείται από τους Alexandersson and Moberg (1997) ομογενής. Η χρονοσειρά αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.6 μαζί με την αρχική χρονοσειρά W και τη διορθωμένη χρονοσειρά που προέκυψε στην προηγούμενη παράγραφο για λόγους σύγκρισης. Οι γραμμικές τάσεις και οι συντελεστές Hurst των τριών χρονοσειρών παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.6.

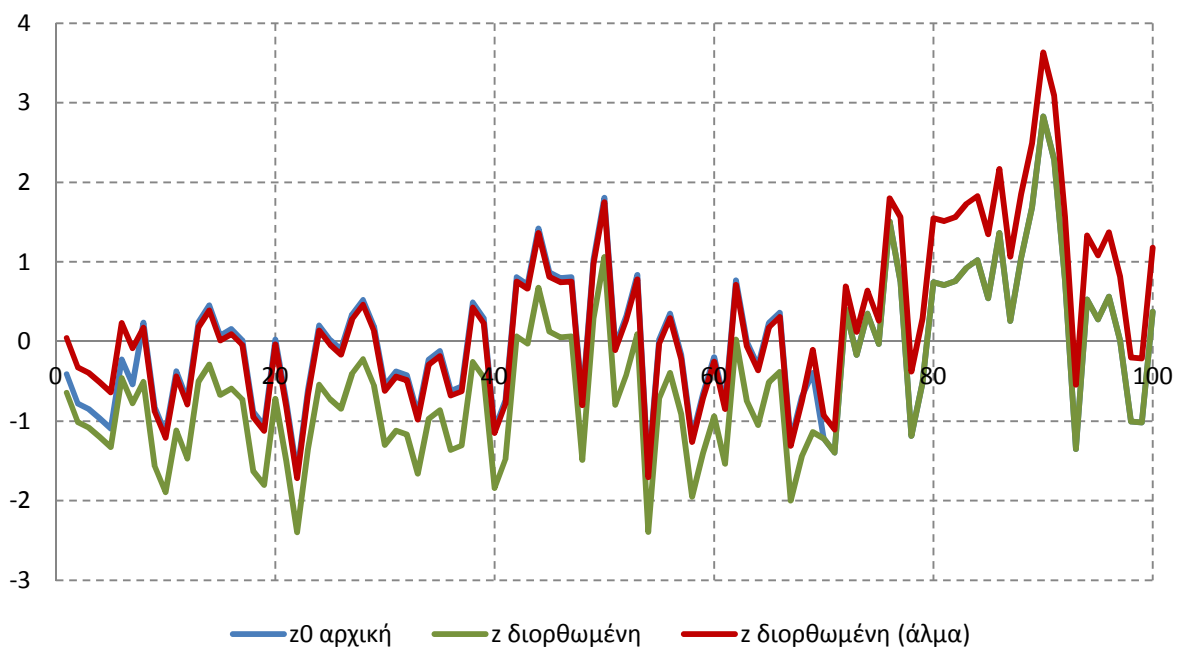


Σχήμα 8.5. Εφαρμογή της μεθόδου SNHT for single shifts σε ομογενή δεδομένα που παρουσιάζουν μακροπρόθεσμη εμμονή. Παρουσιάζονται: η αρχική χρονοσειρά T_0 , και οι χρονοσειρές T_1, T_2, T_3 και T_4 μετά τις διορθώσεις 1, 1, 3, και 4 αντίστοιχα. Η μέθοδος εντοπίζει και διορθώνει τρεις πλασματικές ανομογένειες, ενώ η πραγματική ανομογένεια εντοπίζεται και διορθώνεται στο δεύτερο στάδιο. Ως ανομογένεια θεωρείται η μέγιστη τιμή του όρου T_a εφόσον αυτή υπερβαίνει τη στατιστική τιμή σημαντικότητας (Alexandersson and Moberg, 1997). Εδώ έχει επιλεγεί επίπεδο σημαντικότητας 95%

Χρονοσειρές	Γραμμικές τάσεις	Συντελεστές Hurst
W ₀ - αρχική	0.0103	0.76
W- διορθωμένη	0.0179	0.86
W- διορθωμένη (άλμα)	0.0185	0.86

Πίνακας 8.6. Γραμμικές τάσεις και συντελεστές Hurst της αρχικής χρονοσειράς W , της διορθωμένης χρονοσειράς W με το SNHT for single shifts, της διορθωμένης χρονοσειράς W με το SNHT for single shifts, όταν στη W έχει εισαχθεί τεχνητή ανομογένεια μεγέθους 0.5°C

Το αναμενόμενο θα ήταν μετά την ομογενοποίηση, οι δύο διορθωμένες χρονοσειρές να έχουν τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά, με την χρονοσειρά που περιείχε το τεχνητό άλμα να είναι μετατοπισμένη κατά 0.5°C προς τα πάνω σε σχέση με την άλλη. Πράγματι, οι δύο χρονοσειρές έχουν τον ίδιο συντελεστή Hurst παρόμοιες γραμμικές τάσεις, όμως η διαφορά τους μεταβάλλεται μεταξύ 0.29 και 1.04. Δεν προκύπτει δηλαδή το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Συνεπώς τίθεται ένα ακόμα ερωτηματικό γύρω από την αξιοπιστία της μεθόδου.



Σχήμα 8.6. Συνθετικές χρονοσειρές που παράχθηκαν στις Παραγράφους 8.2 και 8.3. Με γαλάζιο χρώμα παρουσιάζεται η αρχική χρονοσειρά που υποβλήθηκε σε ομογενοποίηση με τη μέθοδο SNHT for single shifts (Alexandersson and Moberg, 1997), με πράσινο χρώμα η χρονοσειρά που προέκυψε μετά την εφαρμογή της μεθόδου, και με μπορντώ χρώμα η χρονοσειρά που προέκυψε μετά από εισαγωγή τεχνητού άλματος μεγέθους 0.5°C στον όρο 40 της χρονοσειράς. Η γαλάζια χρονοσειρά ταυτίζεται σχεδόν με τη μπορντώ στο διάστημα 8-68, ενώ ταυτίζεται με την πράσινη στο διάστημα 70-100

9. ΚΡΙΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Οι μέθοδοι επεξεργασίας των κλιματικών δεδομένων δεν έχουν μείνει στάσιμες με το πέρασμα του χρόνου. Αντίθετα, έχουν εξελιχθεί αρκετά σε σχέση με τις πρωταρχικές μεθόδους στατιστικής επεξεργασίας των κλιματικών δεδομένων. Ειδικότερα όσον αφορά τις χρονοσειρές θερμοκρασίας, υπάρχει πλήθος δημοσιεύσεων σε διεθνή περιοδικά που αφορά την ανάλυση νέων μεθόδων επεξεργασίας των δεδομένων θερμοκρασίας (Easterling and Peterson, 1995, Alexandersson, 1986), βελτίωση υπαρχουσών μεθόδων (Alexandersson and Moberg, 1997), την αξιολόγηση προηγούμενων μεθόδων (Wijngaard *et al.*, 2003) και την εφαρμογή τους σε χρονοσειρές κλιματικών δεδομένων σε όλο τον κόσμο (Sahin and Cigizoglu, 2010, Founda *et al.*, 2009).

Οι μέθοδοι αυτές παρά την ευρεία αποδοχή τους από μεγάλο τμήμα της επιστημονικής κοινότητας, έχουν δεχτεί και σημαντική κριτική (π.χ. <http://climateaudit.org/2010/11/11/y2k-re-visited/>, <http://wattsupwiththat.com/2011/01/13/tale-of-the-global-warming-tiger/>). Η κριτική αυτή εντοπίζεται σε αρκετά προβληματικά ή ασαφή σημεία των μεθόδων, στον τρόπο (πειραματική διαδικασία και θεωρητικό τμήμα) με τον οποίο δημιουργήθηκαν αυτές οι μέθοδοι, στην πρακτική τους εφαρμογή και στην ποιότητα του δικτύου των σταθμών μέτρησης θερμοκρασιών (Fall *et al.*, 2011). Πάντως αξίζει να επισημανθεί ότι η πρόδος και η βελτίωση των μεθόδων επεξεργασίας των κλιματικών δεδομένων ήταν αρκετά αργή και σε μικρό βαθμό απαντάει στην κριτική που τους έχει γίνει.

Μια ταξινόμηση και συνθετική παρουσίαση εννέα σημείων κριτικής που είτε προκύπτουν από τη βιβλιογραφία είτε προέκυψαν από την προσπάθεια συστηματικής και πολυδιάστατης προσέγγισης των τρόπων επεξεργασίας των μέσων μηνιαίων και ετήσιων θερμοκρασιακών δεδομένων που έγινε στην παρούσα διπλωματική συνοψίζονται στη συνέχεια.

9.1 Διόρθωση χρονοσειρών με βάση στατιστικές μεθόδους και όχι καταγεγραμμένα μεταδεδομένα (metadata) στο αρχείο του σταθμού

Μία από τις κυριότερες επεμβάσεις που γίνονται στα δεδομένα είναι η διόρθωσή τους με βάση στατιστικά κριτήρια και όχι καταγεγραμμένες αλλαγές της διαδικασίας μέτρησης στο

αρχείο του σταθμού (metadata). Η λογική αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι πολλοί σταθμοί έχουν ατελές αρχείο, πολλές αλλαγές δηλαδή που έχουν γίνει δεν έχουν καταγραφεί, ώστε να γίνουν στη συνέχεια οι αντίστοιχες διορθώσεις. Έτσι, στους σταθμούς εφαρμόζεται κάποια στατιστική μέθοδος εντοπισμού ανομογενειών (Κεφάλαιο 5) και τα τμήματα των χρονοσειρών που υπερβαίνουν κάποια όρια στατιστικής σημαντικότητας διορθώνονται.

Όμως η στατιστική δείχνει ότι κάτι είναι πιθανό να έχει συμβεί με κάποιο ποσοστό αβεβαιότητας (confidence interval), όχι ότι συνέβη. Δεν είναι εξάλλου σπάνιο φαινόμενο να δίνει η φύση ακραίες αλλά πραγματικές τιμές έξω από οποιαδήποτε ανθρώπινη στατιστική και πρόβλεψη. Μπορεί δηλαδή πολλές τιμές που τα στατιστικά τεστ επισημαίνουν ως σφάλματα της χρονοσειράς και απορρίπτονται, στην πραγματικότητα να μην παρουσιάζουν κανένα πρόβλημα. Η στατιστική ομογενοποίηση επομένως είναι πολύ πιθανό να εισάγει σφάλματα σε ομογενείς χρονοσειρές, πιθανόν και μεγαλύτερα από αυτά που γίνεται προσπάθεια να διορθωθούν με τη χρήση των μεθόδων αυτών.

9.2 Στατιστική σημαντικότητα και διόρθωση σφαλμάτων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι διορθώσεις στις χρονοσειρές γίνονται συνήθως με βάση κάποια επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας. Υπάρχουν όμως κάποιες ομάδες ερευνητών, οι οποίες εφαρμόζουν διορθώσεις στα δεδομένα ακόμα και όταν αυτές δεν προκύπτουν στατιστικά σημαντικές τιμές. Χαρακτηριστικά, οι Auer *et al* (2007) αναφέρουν ότι η πρακτική τους εμπειρία στην επεξεργασία κλιματικών δεδομένων τους οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η απόρριψη ασυνεχειών λόγω της μη σημαντικότητάς τους μπορεί να είναι παραπλανητική. Αυτό προφανώς αντίκειται στους βασικούς κανόνες της στατιστικής και της ενιαίας αντιμετώπισης των δεδομένων.

Επιπλέον, όταν οι ανομογένειες που εντοπίζονται δεν είναι στατιστικά σημαντικές, ούτε οι διορθώσεις τους δεν οδηγούν σε αποτελέσματα στατιστικά σημαντικά και δεν έχει έννοια να γίνουν. Μία τέτοια περίπτωση είναι οι μέσες διορθώσεις των μέγιστων ημερήσιων δεδομένων που έγιναν από τους Kuglitsch *et al.* (2009) στη Μεσόγειο (Πίνακας 9.1).

Μία δεύτερη προβληματική αφορά το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας που επιλέγεται. Η στατιστική διόρθωση γίνεται σε δύο επίπεδα, αρχικά απόρριψη ακραίων ή λανθασμένων τιμών και στη συνέχεια ομογενοποίηση.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΔΙΟΡΘΩΣΗ
Δυτική Μεσόγειος	+0.03 ±0.38 °C
Κεντρική Μεσόγειος	+0.16±0.52 °C
Ανατολική Μεσόγειος	+0.19±0.30 °C

Πίνακας 9.1. Μέσες διορθώσεις των μέγιστων ημερήσιων δεδομένων που έγιναν στη Μεσόγειο από τους Kuglitsch et al. (2009) . Οι διορθώσεις είναι μη στατιστικά σημαντικές

Η απόρριψη ακραίων ή λανθασμένων τιμών βασίζεται συνήθως σε συντηρητικό κριτήριο π.χ. 5σ (Menne et al., 2009), δηλαδή επίπεδο σημαντικότητας >99.9%, ενώ για την ομογενοποίηση επιλέγεται επίπεδο σημαντικότητας 90-95% που ισχύει σχεδόν για όλα τα κριτήρια. Αυτό όμως είναι μια μη συνεπής λογική, αφού τα στατιστικά κριτήρια δεν εφαρμόζονται με έναν κοινό τρόπο σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας.

Επιπλέον κάποια από τα διαστήματα εμπιστοσύνης που επιλέγονται είναι πολύ χαμηλά. Για παράδειγμα, επίπεδο εμπιστοσύνης 90% για τον εντοπισμό ανομογενειών (π.χ. Alexandersson, 1986) είναι εξαιρετικά χαμηλό και είναι πολύ πιθανό να αναγνωρίζει ως προβληματικά σωστά τμήματα των χρονοσειρών που εξετάζονται.

Τα παραπάνω είναι ιδιαίτερα σημαντικά τη στιγμή που πολλές φορές λαμβάνονται υπόψη για τη σχετική ομογενοποίηση γειτονικές χρονοσειρές, οι οποίες εμφανίζουν πολύ χαμηλή συσχέτιση 50-80% (Menne and Williams, 2009).

9.3 Το ζήτημα της τυχαιοποίησης των σφάλματων

Οι ιστορικές ιδίως μετρήσεις σίγουρα περιέχουν σφάλματα, τα οποία δεν είναι τυχαία, αλλά πολλές φορές έχουν ένα συστηματικό χαρακτήρα (π.χ. άλματα, offsets που διαχωρίζουν δύο τμήματα μιας χρονοσειράς, Alexandersson and Moberg, 1997). Τα σφάλματα αυτά αναφέρονται σε εκατοντάδες ή χιλιάδες χρονοσειρές, έχουν διαφορετική προέλευση, εύρος, χαρακτηριστικά και κατανομή στο χρόνο και στο χώρο και για το λόγο αυτό μπορεί να θεωρηθεί ότι ακόμα και αν το καθένα από αυτά έχει συστηματικό χαρακτήρα, ως σύνολο τυχαιοποιούνται. Αυτό σημαίνει ότι η μέση θερμοκρασιακή μεταβολή που προκύπτει από τις χρονοσειρές αυτές θα είναι τελικά απαλλαγμένη από συστηματικά σφάλματα.

Αυτό δεν ισχύει βέβαια για συγκεκριμένες αλλαγές που γίνονται με κάποιο συστηματικό τρόπο σε ένα συγκεκριμένο σύνολο σταθμών και σε ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, μια σχεδόν ταυτόχρονη αλλαγή οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας σε μια μεγάλη περιοχή, όπως η αλλαγή στις ΗΠΑ από κλασικά υδραργυρικά θερμομέτρα σε αντίστοιχα ηλεκτρονικά και σε διαφορετικού τύπου κλωβούς μέσα σε μια δεκαετία περίπου (Quayle *et al.*, 1991) προφανώς δεν οδηγεί σε τυχαιοποίηση των συγκεκριμένων σφαλμάτων.

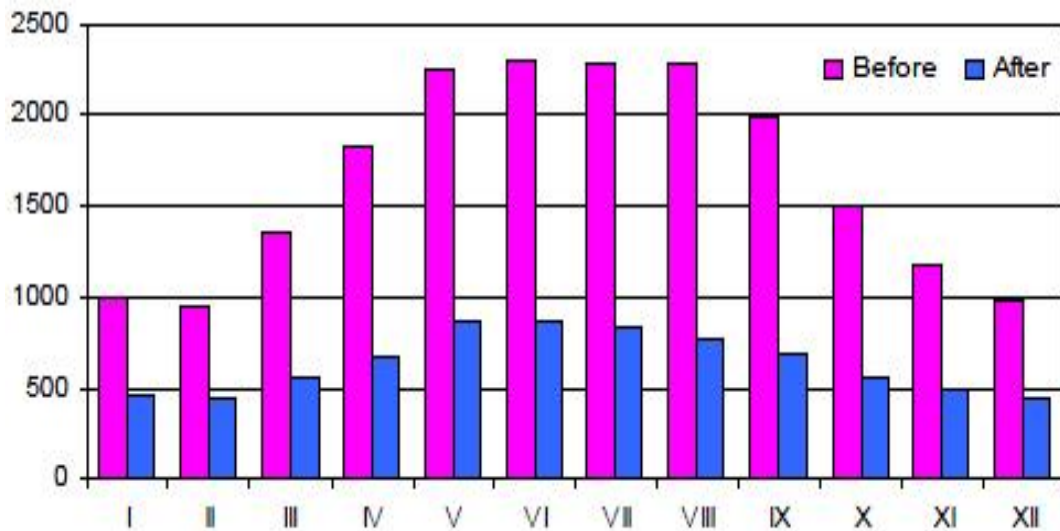
Όμως αυτό είναι μια ειδική περίπτωση, και ιστορικά, οι αλλαγές που έχουν γίνει με εισαγωγή νέων τεχνολογιών έγιναν βαθμιαία, και με σημαντική χρονική υστέρηση στην περιφέρεια σε σχέση με τα μεγάλα πολιτιστικά κλπ κέντρα. Μάλιστα, θα άξιζε να διερευνηθεί η ύπαρξη μιας τέτοιας πιθανής χωροχρονικής συστηματικής μεταβολής σε διάφορες περιοχές και να αναλυθεί σε σχέση με τις στατιστικές μεθόδους. Αυτό θα μπορούσε να γίνει με βάση κάποιο διάγραμμα που θα εμφάνιζε την κατανομή των ανομογενειών στους διάφορους σταθμούς ως συνάρτηση του χρόνου και θα έδειχνε τι είδους κατανομή έχουν.

Ένα δεύτερο ζήτημα που τίθεται είναι η μηνιαία κατανομή των ανομογενειών. Το λογικό θα ήταν εφόσον οι ανομογένειες που εισάγονται στα δεδομένα έχουν ένα τυχαίο χαρακτήρα, να εκφράζονται με μια σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή ως προς τους μήνες. Στην περίπτωση της Τσεχίας για παράδειγμα, όπου αναμένεται η ποιότητα των δεδομένων να είναι αρκετά καλή (περιοχή με σταθερότητα και υψηλό πολιτιστικό και επιστημονικό επίπεδο), παρατηρείται μια περίεργη κατανομή των ανομογενειών (Σχήμα 9.1 και 9.2): Οι ημερήσιες θερμοκρασίες για την περίοδο 1868-2000 εμφανίζουν μέγιστη συχνότητα το καλοκαίρι και ελάχιστη το χειμώνα, ενώ οι ημερήσιες βροχοπτώσεις για την περίοδο 1941-2000 ακριβώς το αντίθετο. Η ερμηνεία που δίνεται από τους Štěpánek and Zahradníček (2009) είναι ότι συντελέστηκαν αλλαγές οργάνων μέτρησης θερμοκρασίας το καλοκαίρι και των βροχοπτώσεων το χειμώνα. Η ερμηνεία αυτή όμως δεν είναι επαρκής και δεν στηρίζεται σε στοιχεία.

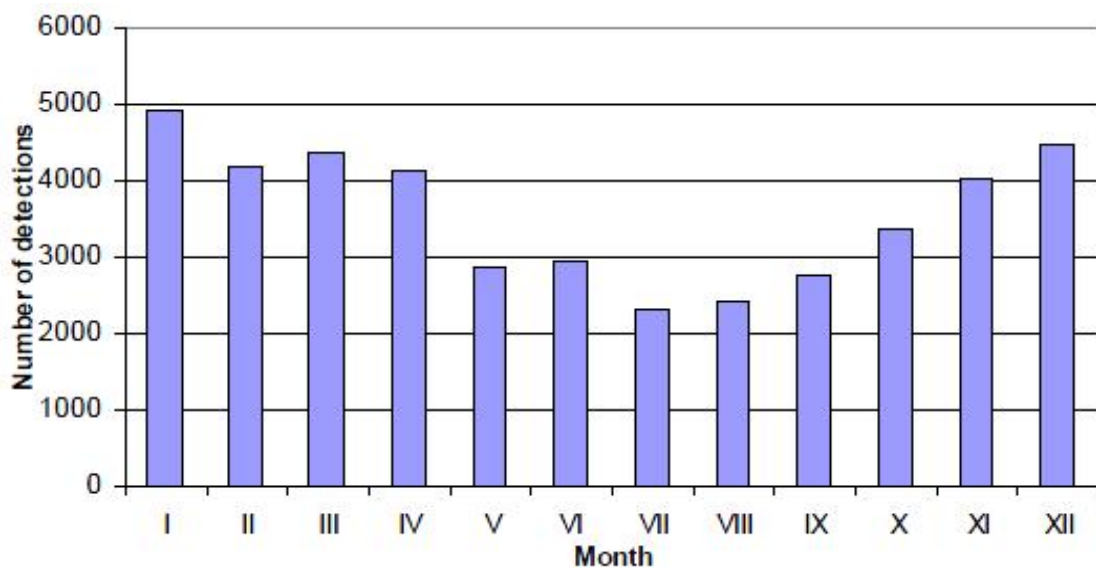
9.4 Το ζήτημα της ανεξαρτησίας των δεδομένων

Οι συνηθέστερες πλέον μέθοδοι ομογενοποίησης είναι οι σχετικές μέθοδοι (relative methods). Όπως περιγράφηκε και στο Κεφάλαιο 5, στις μεθόδους αυτές επιλέγονται κάποιοι συγκεκριμένοι σταθμοί ως χρονοσειρές αναφοράς (reference series) και βάσει αυτών διορθώνονται οι γειτονικοί τους (candidate) σταθμοί. Κατά πάσα πιθανότητα, οι διορθωμένοι σταθμοί χρησιμοποιούνται και αυτοί στη συνέχεια ως χρονοσειρές αναφοράς,

καθώς θεωρείται ότι έχουν απαλλαγεί από ανομογένειες (έχουν ομογενοποιηθεί). Έτσι μπορεί μετά το πέρας της επεξεργασίας να έχουμε ένα σύνολο εξαρτημένων μεταξύ τους σταθμών. Τα διορθωμένα δεδομένα των σταθμών αυτών δεν είναι ανεξάρτητα και είναι συσχετισμένα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι συνθετικές χρονοσειρές που εξάγονται είτε από μια ευρύτερη περιοχή είτε σε παγκόσμια κλίμακα, να μην εκφράζουν στην πραγματικότητα εκατοντάδες ανεξάρτητους σταθμούς, αλλά κυρίως τους αρχικούς σταθμούς αναφοράς.



Σχήμα 9.1. Μηνιαία κατανομή ανομογενειών που εντοπίστηκαν στις ημερήσιες θερμοκρασίες στην Τσεχία για την περίοδο 1868-2000 από δείγμα 200 σταθμών (Štěpánek and Zahradníček, 2009). Με μωβ και γαλάζιο χρώμα σημειώνονται αντίστοιχα οι ανομογένειες πριν και μετά την ομογενοποίηση.



Σχήμα 9.2. Μηνιαία κατανομή ανομογενειών που εντοπίστηκαν στις ημερήσιες βροχοπτώσεις στην Τσεχία για την περίοδο 1941-2000 από δείγμα 800 σταθμών (Štěpánek and Zahradníček, 2009)

9.5 Τυχαιότητα και μακροπρόθεσμη εμμονή

Οι περισσότερες μέθοδοι ομογενοποίησης που εξετάστηκαν θεωρούν ότι τα δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης είναι ανεξάρτητα και ακολουθούν κανονική κατανομή (π.χ. Alexandersson test). Η μόνη διαφορετική θεώρηση που εντοπίστηκε είναι από τους Easterling and Peterson (1995), οι οποίοι κάνουν έλεγχο του τεστ που πρότειναν σε συνθετικά δεδομένα που προέκυψαν από μοντέλο AR(1).

Συνεπώς καμία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ομογενοποίηση χρονοσειρών δεν λαμβάνει υπόψη ένα στατιστικό χαρακτηριστικό που εμφανίζουν τα υδροκλιματικά δεδομένα αλλά συχνά αγνοείται στους επιστημονικούς κύκλους που ασχολούνται με το κλίμα: τη μακροπρόθεσμη εμμονή. Τα δεδομένα θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων συχνά διατηρούν «μνήμη» των αλλαγών που έχουν συντελεστεί, ενώ τείνουν επίσης να δημιουργούν συσσωματώματα ακραίων θετικών και αρνητικών τιμών (Koutsoyiannis, 2002).

Ως εκ τούτου θα έπρεπε πριν από οποιαδήποτε εφαρμογή στατιστικών μεθόδων στα δεδομένα να γίνεται έλεγχος κατά πόσο πληρούνται στην πραγματικότητα οι προϋποθέσεις των μεθόδων αυτών, δηλαδή αν αφορούν:

- ανεξάρτητα δεδομένα, και
- δεδομένα που ακολουθούν κανονική κατανομή.

Στο προηγούμενο Κεφάλαιο αναλύθηκαν τρία παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου ομογενοποίησης SNHT for single shifts (Alexandersson and Moberg, 1997), μετά από εφαρμογή της σε τρεις τύπους συνθετικών δεδομένων:

- ανεξάρτητα δεδομένα που ακολουθούν κανονική κατανομή και στα οποία έχει εισαχθεί ένα τεχνητό άλμα σε κάποιο σημείο της χρονοσειράς,
- δεδομένα που παρουσιάζουν μακροπρόθεσμη εμμονή και προέρχονται από ένα στάσιμο μοντέλο, και
- δεδομένα που παρουσιάζουν μακροπρόθεσμη εμμονή και στα οποία έχει εισαχθεί ένα τεχνητό άλμα σε κάποιο σημείο της χρονοσειράς.

Η μέθοδος SNHT for single shifts ανταποκρίθηκε ικανοποιητικά στην περίπτωση των ασυσχέτιστων δεδομένων που ακολουθούν κανονική κατανομή, υπολογίζοντας με ακρίβεια το μέγεθος της ανομογένειας. Η διορθωμένη χρονοσειρά διατηρούσε τα χαρακτηριστικά της

αρχικής και ήταν μετατοπισμένη προς τα πάνω όσο και το μέγεθος της ανομογένειας, κάτι αναμενόμενο αφού θεωρήθηκαν τα πιο πρόσφατα δεδομένα ως μετρήσεις αναφοράς (Παραγραφος 8.1).

Στην περίπτωση των δεδομένων με μακροπρόθεσμη εμμονή η μέθοδος ομογενοποίησης εντόπισε πλασματικές ανομογένειες και διόρθωσε τη χρονοσειρά, αν και αυτή ήταν εκ κατασκευής ήδη ομογενής. Η τελική χρονοσειρά παρουσίαζε διαφορετική γραμμική τάση και συντελεστή Hurst (Παράγραφος 8.2). Ο συντελεστής Hurst στη διορθωμένη χρονοσειρά ήταν πλασματικά μεγαλύτερος λόγω της αύξησης της κλίσης της γραμμικής τάσης της χρονοσειράς (Δ. Κουτσογιάννης, προσωπική επικοινωνία).

Στην περίπτωση των δεδομένων με μακροπρόθεσμη εμμονή και τεχνητό άλμα, η μέθοδος ομογενοποίησης κατάφερε να εντοπίσει την πραγματική ανομογένεια με ακρίβεια, αφού όμως πρώτα είχε εφαρμόσει μια διόρθωση σε μια πλασματική ανομογένεια που εντοπίστηκε. Αφού διορθώθηκε η πραγματική ανομογένεια, η μέθοδος εντόπισε και διόρθωσε άλλη μια πλασματική ανομογένεια. Η χρονοσειρά που προέκυψε είχε παρόμοια γραμμική τάση και συντελεστή Hurst με την διορθωμένη χρονοσειρά του προηγούμενου παραδείγματος, κάτι που είναι θετικό ως προς την αξιολόγηση της μεθόδου, αφού το αναμενόμενο θα ήταν να βγάζει το ίδιο αποτέλεσμα. Η χρονοσειρά όμως που προέκυψε θα έπρεπε να είναι μετατοπισμένη κατά 0.5°C σε σχέση με την διορθωμένη του προηγούμενου παραδείγματος, λόγω της αναγωγής στις πρόσφατες μετρητικές συνθήκες. Η διαφορά όμως αυτή αντί για 0.5°C μεταβαλόταν μεταξύ 0.29 και 1.04°C . Δηλαδή και σε αυτό το σημείο η μέθοδος δεν παρουσίασε ικανοποιητική συμπεριφορά.

Σε γενικές γραμμές, αν και το πλήθος των εφαρμογών που έγιναν δεν είναι αρκετά μεγάλο ώστε να στηρίξει ένα ασφαλές συμπέρασμα, η μέθοδος SNHT for single shifts (Alexandersson and Moberg, 1997) φαίνεται να έχει ικανοποιητική εφαρμογή σε ασυσχέτιστα δεδομένα που ακολουθούν κανονική κατανομή, αλλά όχι σε δεδομένα με μακροπρόθεσμη εμμονή, όπως είναι τα υδροκλιματικά δεδομένα. Αν και στη δεύτερη περίπτωση καταφέρνει μάλλον να εντοπίσει και τις πραγματικές ανομογένειες, υπάρχει κίνδυνος να θεωρήσει ως ανομογένειες πραγματικές μεταβολές ομογενών χρονοσειρών και να τις διορθώσει. Συνεπώς υπάρχει κίνδυνος εφαρμογή της μεθόδου SNHT for single shifts (Alexandersson and Moberg, 1997), που είναι με παραλλαγές η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη σήμερα, να τροποποιήσει ήδη ομογενείς χρονοσειρές υδροκλιματικών δεδομένων αλλοιώνοντας τις τάσεις που αυτές παρουσιάζουν.

Ένα δεύτερο σημείο κριτικής σχετικά με τις μεθόδους ομογενοποίησης και τη μακροπρόθεσμη εμμονή αφορά τη λογική των απόλυτων μεθόδων ομογενοποίησης. Οι μέθοδοι αυτές θεωρούν ότι η μέση τιμή των υδροκλιματικών δεδομένων παραμένει σταθερή και διορθώνουν σημαντικές μεταβολές σε αυτή τη μέση τιμή. Όμως οι περισσότερες χρονοσειρές στη φύση, ειδικότερα οι χρονοσειρές θερμοκρασιών, έχουν υψηλό συντελεστή Hurst και τείνουν, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, να δημιουργούν συσσωματώματα ακραίων θετικών και αρνητικών τιμών. Δηλαδή η μέση τιμή στα διάφορα τμήματα των χρονοσειρών δεν είναι κάτι το στατικό, αντίθετα μεταβάλεται συνεχώς. Συνεπώς οι μέθοδοι αυτές έχουν λανθασμένη λογική και θα έπρεπε να αποφεύγονται.

9.6 Μικροκλιματικές διαφορές και χρονοσειρές αναφοράς

Στις σχετικές μεθόδους ομογενοποίησης επιλέγονται οι σταθμοί αναφοράς με βάση την απόσταση και την ετεροσυσχέτισή τους από τους εξεταζόμενους σταθμούς. Οι μέθοδοι αυτές, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 5 για τη μέθοδο Easterling-Peterson, θεωρούν ότι:

- όλοι οι παραπάνω σταθμοί ανήκουν στην ίδια κλιματολογική ενότητα,
- οποιαδήποτε κλιματική αλλαγή θα πρέπει να εμφανίζεται σε όλους τους σταθμούς, και
- όποια διακύμανση καταγράφεται στον εξεταζόμενο σταθμό αλλά όχι στους σταθμούς αναφοράς αποτελεί σφάλμα και πρέπει να διορθωθεί.

Συνεπώς όλες οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στις χρονοσειρές αναφοράς και την εξεταζόμενη χρονοσειρά θεωρούνται σφάλματα και διορθώνονται.

Βασικό μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη τις τυχόν μικροκλιματικές διαφορές που μπορεί να υπάρχουν ανάμεσα ακόμη και σε πολύ κοντινούς μεταξύ τους σταθμούς.

Τέτοιες μικροκλιματικές διαφορές μπορεί να οφείλονται σε αλληλεπίδραση πολύπλοκων μετεωρολογικών συστημάτων, στην περιοδική ή παροδική ισχύ διαφόρων μετεωρολογικών φαινομένων που επιδρούν σε μία περιοχή (π.χ. El Niño), σε φυσιογραφικές μεταβολές κ.ά.

Έτσι, μπορεί να υπάρχουν:

- γειτονικές περιοχές, ακόμα και με παρόμοιο υψόμετρο, που δεν επηρεάζονται με τον ίδιο τρόπο από κάποια φαινόμενα,
- κλιματικά φαινόμενα που εμφανίζονται με κάποια υστέρηση σε σχετικά κοντινές περιοχές κ.ά.

Τα παραπάνω φαινόμενα θεωρούνται ανομογένειες και διορθώνονται από τις μεθόδους ομογενοποίησης.

Για να δούμε και ένα πρακτικό παράδειγμα, η ύπαρξη π.χ. μιας μεγάλης ρεματιάς κοντά σε ένα σταθμό μέτρησης της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάζει τις θερμοκρασίες στην περιοχή κάποιες μέρες το χρόνο, π.χ. όταν φυσάει άνεμος συγκεκριμένης διεύθυνσης. Ως αποτέλεσμα, στον συγκεκριμένο σταθμό θα έχουμε ελαφρώς ή και σημαντικά διαφορετικές καταγραφές από τους γύρω σταθμούς. Όμως το στοιχείο αυτό της μικροκλιματικής διαφοροποίησης θα μπορούσε να αγνοηθεί κατά τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων των σταθμών της περιοχής και να διορθωθεί ως ανομογένεια.

9.7 Μετρολογικές παρατηρήσεις

Η κριτική που αφορά το μετρολογικό κομμάτι της καταγραφής και επεξεργασίας των θερμοκρασιών μπορεί να εντοπιστεί στην απουσία της ανάλυσης παράλληλων καταγραφών από διαφορετικούς τύπους οργάνων. Πιο συγκεκριμένα, σε όλες τις περιπτώσεις που διερευνήθηκαν στη βιβλιογραφία και καλύπτουν μερικές χιλιάδες σταθμούς, αναφέρονται μετρήσεις από ένα μόνο τύπο θερμομέτρου σε κάθε σταθμό. Η μοναδική περίπτωση σταθμού που εντοπίστηκε, στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, παράλληλη καταγραφή από τρία διαφορετικά όργανα ήταν ο σταθμός της Αθήνας (Founda *et al.*, 2009). Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο Δ, ο σταθμός του Αστεροσκοπείου των Αθηνών ήταν εξοπλισμένος με:

- υδραργυρικά θερμομέτρα,
- διμεταλλικό θερμογράφο Richard συνεχούς καταγραφής σε πλάκα Stevenson, που αντικαταστάθηκε από ηλεκτρονικό θερμομέτρο, και
- μηχανικά θερμομέτρα μεγίστου/ελαχίστου Negretti and Rutherford.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει έλεγχος αν κάποιο από τα όργανα παρουσιάζει κάποιο σφάλμα και να εντοπιστούν τυχόν ανομογένειες μέσω σύγκρισης των διαφορετικών καταγραφών.

Η περίπτωση της Αθήνας δεν μπορεί να είναι μοναδική. Το πιθανότερο είναι και άλλοι π.χ. κεντρικοί σταθμοί στην Ευρώπη να ήταν εξοπλισμένοι με πάνω από έναν τύπο οργάνου, αν και δεν αναφέρεται στη βιβλιογραφία. Τα στοιχεία αυτά αν υπάρχουν θα έπρεπε να εντοπιστούν και να ληφθούν υπόψη καθώς η χρήση συνεντοπισμένων οργάνων προσθέτει πληροφορία και αξιοπιστία στις μετρήσεις και θα καθιστούσε τις μεθόδους ομογενοποίησης σε μεγάλο βαθμό περιττές.

9.8 Πειραματική διαδικασία

Από τη μελέτη της βιβλιογραφίας δεν εντοπίστηκαν παρά ελάχιστα πειράματα που έχουν γίνει για τον εντοπισμό και τον υπολογισμό διορθώσεων των ανομογενειών που εισάγονται στα δεδομένα από διαφοροποιήσεις στις συνθήκες μετρήσεων (π.χ. Böhm *et al.*, 2010). Συστηματική πειραματική τεκμηρίωση δεν εντοπίστηκε ούτε όσον αφορά τα σφάλματα που εισάγονται από τους διαφορετικούς τρόπους εκτίμησης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (Πίνακας 4.1).

Οι διορθώσεις που γίνονται στις περισσότερες περιπτώσεις βασίζονται σε στατιστικές μεθόδους που εφαρμόζονται εκ των υστέρων, δηλαδή αφού έχει συντελεστεί η όποια αλλαγή στις συνθήκες μέτρησης. Το έλλειμμα αυτό πειραματικής διαδικασίας σε συνδυασμό με την υπέρμετρη εμπιστοσύνη στη στατιστική είναι αρκετά προβληματικό, αφού τα πειράματα είναι μια μέθοδος που εισάγει πολύ μικρότερη αβεβαιότητα στα αποτελέσματα.

Ακόμα και αυτά τα πειράματα όμως που έχουν γίνει παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα. Οι δύο περιπτώσεις που εντοπίστηκαν και οι οποίες θα εξεταστούν είναι (α) η αλλαγή κλωβών και οργάνων στις ΗΠΑ τη δεκαετία του 1980, και (β) το πείραμα στον παλιό κλωβό του Kremsmünster.

α) Η αλλαγή κλωβών και οργάνων στις ΗΠΑ τη δεκαετία του 1980

Όπως αναφέρθηκε και στην Παράγραφο 4.1.2, το 1980 αποφασίστηκε να αντικατασταθεί στις ΗΠΑ το παλιό δίκτυο υδραργυρικών οργάνων σε ξύλινους κλωβούς (CRS) με καταγραφικά όργανα μεγίστου-ελαχίστου (MMTS). Για τον υπολογισμό διορθώσεων από

την αλλαγή αυτή, το αναμενόμενο θα ήταν να τοποθετηθούν οι καινούριοι κλωβοί δίπλα στους αρχικούς σε ένα δείγμα σταθμών και να ακολουθήσει μια περίοδος κάποιων χρόνων παράλληλων μετρήσεων από την οποία θα προέκυπταν οι τυχόν διορθώσεις λόγω της αλλαγής που συντελέστηκε.

Αντίθετα, η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν να γίνει η αλλαγή σε κάποιους σταθμούς και στη συνέχεια να υπολογιστούν με στατιστικό τρόπο διορθώσεις από τις διαφορές των σταθμών αυτών με τους καλύτερα συσχετισμένους γειτονικούς σταθμούς, όπου είχαν διατηρηθεί τα παλιά όργανα και κλωβοί (Quayle *et al.*, 1991). Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά προβληματική και πολύ λιγότερο αξιόπιστη από την απλή πειραματική διαδικασία που περιγράφηκε πιο πάνω:

- Η παράλληλη μέτρηση στην ίδια τοποθεσία επιτρέπει να μετρηθεί με ακρίβεια η διαφορά των δύο ενδείξεων, ενώ στις μετρήσεις σχετικά απομακρυσμένων περιοχών που απέχουν έως και εκατοντάδες χιλιόμετρα, υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες, όπως μικροκλιματικές διαφορές.
- Ο συντελεστής συσχέτισης που κρίθηκε ως επαρκής ήταν $r > 0.60$, δηλαδή πολύ μικρός όταν πρόκειται για κλιματικά φαινόμενα.
- Οι σταθμοί που είχαν την καλύτερη συσχέτιση και από τους οποίους υπολογίστηκαν οι διορθώσεις συχνά απείχαν εκατοντάδες χιλιόμετρα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 8.3. Η συσχέτιση σε αυτή την περίπτωση δείχνει μάλλον μια τυχαιότητα παρά κοινές κλιματικές ενότητες.

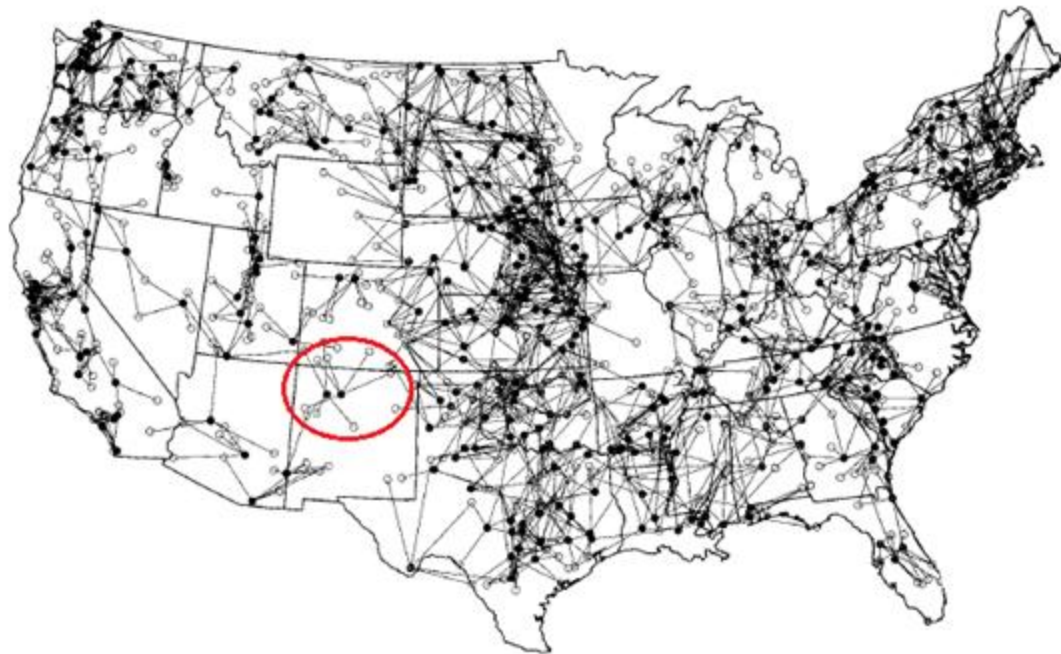
Ως λύση του προβλήματος προτείνεται να γίνει εκ νέου μια πειραματική διαδικασία με εγκατάσταση ενός αντιπροσωπευτικού αριθμού κλωβών όμοιων με τους παλιούς που αντικαταστάθηκαν δίπλα στους καινούριους κλωβούς.

β) Το πείραμα στον παλιό κλωβό του Kremsmünster

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο Δ, τις δεκαετίες 1850-1870 αντικαταστάθηκαν στην Κεντρική Ευρώπη οι κλωβοί που προστάτευαν τα όργανα μέτρησης θερμοκρασίας (Böhm *et al.*, 2010). Μόνο ένας από τους παλιούς κλωβούς διατηρήθηκε στο Μοναστήρι Kremsmünster της Αυστρίας. Για να υπολογιστεί το μέγεθος της ασυνέχειας που προκλήθηκε από την αλλαγή των κλωβών, διενεργήθηκε από το 1995 μέχρι το 2002 πείραμα

με ταυτόχρονη μέτρηση με σύγχρονα όργανα και στον παλιό και στον καινούριο κλωβό στο Krefsmünster. Στη συνέχεια η διόρθωση που υπολογίστηκε εφαρμόστηκε σε όλους τους σταθμούς της HISTALP.

Αν και είναι σημαντικό που η διόρθωση αυτή προέκυψε από παράλληλες μετρήσεις στην ίδια τοποθεσία, η αβεβαιότητα του αποτελέσματος είναι μεγάλη, αφού προέκυψε από μόνο ένα ζεύγος κλωβών. Για να είναι αξιόπιστο το αποτέλεσμα θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν σαφώς περισσότερα ζεύγη παλιών- καινούριων κλωβών. Όμως, καθώς όλοι οι υπόλοιποι κλωβοί είχαν αντικατασταθεί, αυτή η δυνατότητα δεν υπήρχε. Ίσως όμως σε κάποιες περιπτώσεις να γινόταν να ξαναστηθούν παλιοί κλωβοί εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα αρχεία που τους περιγράφουν.



Σχήμα 9.3. Εικονίζονται οι 424 σταθμοί MMTS (μαύρα κυκλάκια) που επιλέχτηκαν από τους Quayle et al. (1991) για τον υπολογισμό διορθώσεων λόγω αλλαγής οργάνων και κλωβών. Οι σταθμοί MMTS είναι ενωμένοι με ευθείες γραμμές με τους 5 καλύτερα συσχετισμένους σταθμούς CRS (λευκά κυκλάκια). Σημειώνεται η χαρακτηριστική περίπτωση δύο γειτονικών σταθμών MMTS που συσχετίζονται με διαφορετικούς σταθμούς CRS, και μάλιστα σε μεγάλες αποστάσεις.

9.9 Πρακτική συνέπεια της ομογενοποίησης

Όπως προέκυψε από την αναλυτική προσέγγιση που έγινε από την επεξεργασία των χρονοσειρών που μελετήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας (Κεφάλαια ΣΤ και Ζ), προέκυψαν δύο βασικά αποτελέσματα:

- Από τις χρονοσειρές που μελετήθηκαν στην αρχική και επεξεργασμένη τους μορφή, στο 65% περίπου η επεξεργασία αύξησε τις τάσεις μεταβολής της θερμοκρασίας προς θετική κατεύθυνση. Αυξήθηκαν δηλαδή οι θετικές τάσεις και μειώθηκαν οι αρνητικές τάσεις.
- Τα δεδομένα που εξετάστηκαν δείχνουν πριν την ομογενοποίηση μια αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία 100 χρόνια κατά περίπου 0.4°C, ενώ μετά την ομογενοποίηση κατά περίπου 0.7°C, τιμή που είναι κοντά σε αυτή που εκτιμήθηκε από την IPCC (2007). Συνεπώς το μισό περίπου της θεωρούμενης αύξησης της θερμοκρασίας σε περίοδο 100 ετών οφείλεται στην επεξεργασία των χρονοσειρών.

Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι η πλειονότητα των διορθώσεων που έγινε στις χρονοσειρές θερμοκρασίας που εξετάστηκαν ήταν προς την κατεύθυνση της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Οι χρονοσειρές όμως που εξετάστηκαν αποτελούν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των υπάρχουσών χρονοσειρών λόγω της συστηματικής δειγματοληψίας που ακολουθήθηκε και περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 6. Οπότε μπορούν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν σε αυτή την εργασία να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά της επεξεργασίας που έχει γίνει διεθνώς στα δεδομένα.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

10.1 Συμπεράσματα

Ένα σημαντικό πρόβλημα που έχει απασχολήσει την επιστήμη και την κοινωνία τις τελευταίες δεκαετίες, είναι το μέγεθος της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας και τα αίτια της.

Οι διάφορες εκτιμήσεις, οι περισσότερες από τις οποίες κυμαίνονται περί το 0.6-0.7°C για τα τελευταία 100 χρόνια (IPCC, 2007), έχουν αποτελέσει αντικείμενο κριτικής από διάφορους. Η κριτική όμως αυτή, παρότι έντονη (π.χ. <http://wattsupwiththat.com/2011/01/13/tale-of-the-global-warming-tiger/>), σε ελάχιστες περιπτώσεις έχει αποτυπωθεί σε δημοσιεύσεις σε κλιματολογικά περιοδικά και εστιάζεται σε επιμέρους μόνο ζητήματα (π.χ. ποιότητα μετρήσεων κάποιων σταθμών, Fall *et al.*, 2011). Ειδικότερα, η κριτική όσον αφορά τις μεθόδους ομογενοποίησης των χρονοσειρών και των επιπτώσεων αυτής της ομογενοποίησης απουσιάζει ουσιαστικά από τη διεθνή βιβλιογραφία και γίνεται μόνο σε επιμέρους (και όχι τα σημαντικότερα) τμήματα υπαρχουσών μεθόδων και κυρίως από ερευνητές που αναπτύσσουν δικές τους μεθόδους ομογενοποίησης (π.χ. Easterling and Peterson, 1995).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια συμβολής στο πρόβλημα διερεύνησης της ποσότητας της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας τον τελευταίο αιώνα, εξετάζοντας με κριτική ματιά τα σημεία της επεξεργασίας των δεδομένων θερμοκρασίας που παρουσιάζουν ασάφειες ή προβλήματα.

Στα πλαίσια αυτά, σχεδιάστηκε και ακολουθήθηκε μια πολύπλευρη διαδικασία με σκοπό να διερευνηθούν οι μέθοδοι αυτές επεξεργασίας ως προς τις αιτίες ανάπτυξής τους, τους στόχους τους, την διαδικασία με την οποία δημιουργήθηκαν, το θεωρητικό τους τμήμα και την εφαρμογή τους στην πράξη. Τα σημεία που κρίθηκαν ως πιο σημαντικά αναλύθηκαν και πιο εκτενώς στο προηγούμενο Κεφάλαιο.

Τα κυριότερα σημεία που προέκυψαν από αυτή την εργασία συνοψίζονται παρακάτω:

1. Οι χρονοσειρές των ιστορικών δεδομένων περιέχουν πολλά και διαφορετικά σφάλματα, τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν με κάποιο τρόπο. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη μεθόδων ομογενοποίησης, δηλαδή απαλλαγής των χρονοσειρών από ακραίες τιμές, άλματα, λανθασμένες τάσεις κλπ.
2. Από συστηματική διερεύνηση βιβλιογραφίας και ταξινόμηση των μεθόδων ομογενοποίησης των δεδομένων θερμοκρασίας διαπιστώθηκε ότι οι μέθοδοι αυτές είναι βασικά στατιστικές και θα έπρεπε οι τυχόν διορθώσεις να χαρακτηρίζονται από στατιστική σημαντικότητα, πράγμα που σε πολλές περιπτώσεις δεν ισχύει (Πίνακας 8.1).
3. Οι μέθοδοι ομογενοποίησης αγνοούν τη μακροπρόθεσμη εμμονή που παρουσιάζουν τα υδροκλιματικά δεδομένα και πιθανόν θεωρούν σωστά τμήματα των χρονοσειρών ως ανομογένειες. Διόρθωση των σωστών αυτών τμημάτων μπορεί να εισάγει λανθασμένες τάσεις και να αλλοιώνει το χαρακτήρα των χρονοσειρών.
4. Προέκυψε ότι δεν υπάρχει πειραματική τεκμηρίωση των διορθώσεων στα δεδομένα. Σε ελάχιστες περιπτώσεις υπάρχει μια υποτυπώδης στήριξη με πειράματα, που δεν επιτρέπει αξιόπιστα αποτελέσματα.
5. Εκτιμάται ότι στους κεντρικούς τουλάχιστον σταθμούς υπήρχαν παράπανω από ένα όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας, δηλ. συνυπήρχαν θερμομέτρα ανάγνωσης, μεγίστου-ελαχίστου, όπως στην Αθήνα, που θα επέτρεπαν αναγνώριση και διόρθωση σφαλμάτων ενός οργάνου. Φαίνεται όμως να έχουν αγνοηθεί συστηματικά τυχόν παράλληλες καταγραφές από διαφορετικά όργανα στον ίδιο σταθμό για τη διόρθωση ανομογενειών.
6. Η αναλυτική προσέγγιση που έγινε έδειξε ότι η ομογενοποίηση των χρονοσειρών αύξησε κατά 50% περίπου την τάση αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Το δείγμα των 181 σταθμών που χρησιμοποιήθηκε καλύπτει σε όλο τον κόσμο εκτός από τις ΗΠΑ όλους τους διαθέσιμους σταθμούς που πληρούν ορισμένα βασικά κριτήρια πληρότητας δεδομένων μιας εκατονταετίας. Στις ΗΠΑ, λόγω του μεγάλου πλήθους των σταθμών που πληρούσαν τα συγκεκριμένα κριτήρια, έγινε μια επιλογή σταθμών ώστε η όλη δειγματοληψία σε παγκόσμια κλίμακα να είναι αντιπροσωπευτική και ομοιόμορφη. Συνεπώς το συμπέρασμα αυτό είναι στατιστικά σημαντικό.

Με βάση τα παραπάνω, η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία 100 χρόνια είναι πιθανότατα κάπου ανάμεσα στις δύο τιμές που προκύπτουν από τα αδιόρθωτα και τα διορθωμένα στοιχεία, δηλαδή μεταξύ 0.4°C και 0.7°C. Δεδομένου μάλιστα ότι στην

επεξεργασία που έγινε στα πλαίσια αυτής της εργασίας λήφθηκαν υπόψη σταθμοί από αστικές περιοχές, η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας θα μπορούσε να είναι ακόμα μικρότερη από 0.4°C, λόγω του φαινομένου της αστικοποίησης.

10.2 Προτάσεις

Με βάση τα συμπεράσματα που καταγράφηκαν παραπάνω μπορούν να προκύψουν ορισμένες προτάσεις ώστε οι διορθώσεις στις χρονοσειρές θερμοκρασίας να είναι πιο αξιόπιστες:

1. Διερεύνηση ύπαρξης πολλαπλών καταγραφών θερμοκρασίας στον ίδιο σταθμό παγκοσμίως.
2. Εγκατάσταση πολλαπλών θερμομέτρων σε επιλεγμένες θέσεις και ανάλυση 24ωρων καταγραφών ώστε να διερευνηθεί σε τι σφάλματα οδηγούν οι διαφορετικές εκτιμήσεις της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας του Πίνακα 4.1.
3. Ανάπτυξη μεθόδου ομογενοποίησης η οποία να λαμβάνει υπόψη τη μακροπρόθεσμη εμμονή των υδροκλιματικών δεδομένων και την πιθανή χρονική υστέρηση κάποιων κλιματικών φαινομένων.
4. Επιλογή των σταθμών αναφοράς λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο την απόσταση και τη συσχέτιση, αλλά και κλιματολογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους.
5. Προσεκτική εφαρμογή των μεθόδων ομογενοποίησης στα δεδομένα σε συνδυασμό με μεταδεδομένα (metadata).
6. Περαιτέρω πειραματική διερεύνηση των ανομογενειών. Διεξαγωγή πειραμάτων με διαφορετικούς κλωβούς και όργανα, και ιδιαίτερα εγκατάσταση παλιών κλωβών παλαιού τύπου όπου αυτό είναι δυνατό.
7. Διερεύνηση των αλμάτων στις χρονοσειρές σε συνδυασμό με άλματα που προκύπτουν από άλλους τύπους οργάνων.
8. Στόχος επίσης πρέπει να είναι η μείωση της χρήσης στατιστικών μεθόδων και η διόρθωση των δεδομένων μέσω μεθόδων που έχουν προκύψει από μεταδεδομένα, πειράματα και παράλληλες καταγραφές οργάνων.

- Alexandersson, H. (1986) ‘A homogeneity test applied to precipitation data’, *J. Climatol.*, 6, 661475.
- Alexandersson H, Moberg A. (1997) ‘Homogenization of Swedish temperature data Part I: homogeneity test for linear trends’, *Int J Climatol* 17:25–34.
- Auer I, Böhm R, Jurkovic A, Lipa W, Orlik A, Potzmann R, SchönerW, Ungersböck M, Matulla C, Briffa K, Jones PD, Efthymiadis D, Brunetti M, Nanni T, Maugeri M, Mercalli L, Mestre O, Moisselin J-M, Begert M, Müller-Westermeier G, Kveton V, Bochnicek O, Stastny P, Lapin M, Szalai S, Szentimrey T, Cegnar T, Dolinar M, Gajic-Capka M, Zaninovic K, Majstorovic Z, Nieplova E. (2007) ‘HISTALP—Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760–2003’, *Int J Climatol* 27:17–46.
- Böhm, R., Jones, P.D., Hiebl, J., Frank, D., Brunetti, M., Maugeri, M. (2010) ‘The early instrumental warm-bias: A solution for long central European temperature series 1760-2007’, *Climatic Change*, 101 (1), pp. 41-67.
- Brohan, P., *et al.* (2006) ‘Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850’, *J. Geophys. Res.*, 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548.
- Brooks, C. E. P. and Carruthers, N. (1953) *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*, Met. Office, London, p. 412.
- Buishand TA. (1982) ‘Some methods for testing the homogeneity of rainfall records’, *Journal of Hydrology* 58: 11–27.
- Burnette, D.J., Stahle, D.W., Mock, C.J. (2010) ‘Daily-mean temperature reconstructed for Kansas from early instrumental and modern observations’, *Journal of Climate*, 23 (6), pp. 1308-1333.
- Conrad, V. and Pollak, C. (1962) ‘Methods in Climatology’, *Harvard University Press*, Cambridge, MA, 459 pp.

- IPCC (2007) Summary for Policymakers, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University.
- Easterling, D.R., and T.C. Peterson (1995) 'A new method for detecting undocumented discontinuities in climatological time series', *International Journal of Climatology*, **15** (4), 369-377.
- Fall, S., A. Watts, J. Nielsen-Gammon, E. Jones, D. Niyogi, J. Christy, and R.A. Pielke Sr. (2011) 'Analysis of the impacts of station exposure on the U.S. Historical Climatology Network temperatures and temperature trends', *J. Geophys. Res.*, *in press*. Copyright (2011) American Geophysical Union.
- Founda, D., Kambezidis, H.D., Petrakis, M., Zanis, P., Zerefos, C. (2009) 'A correction of the recent air-temperature record at the historical meteorological station of the National Observatory of Athens (NOA) due to instrument change', *Theoretical and Applied Climatology*, **97** (3-4), pp. 385-389.
- Hansen, J., *et al.* (2001) 'A closer look at United States and global surface temperature change', *J. Geophys. Res.*, **106**, 23947–23963.
- Hubbard, K. G., and X. Lin (2006), 'Reexamination of instrument change effects in the U.S. Historical Climatology Network', *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L15710, doi:10.1029/2006GL027069.
- Karl, T.R., H.F. Diaz, and G. Kukla (1988) 'Urbanization: its detection and effect in the United States climate record', *J. Climate*, **1**, 1099-1123
- Karl, T.R., and C.N. Williams Jr. (1987) 'An approach to adjusting climatological time series for discontinuous inhomogeneities', *J. Climate Appl. Meteor.*, **26**, 1744-1763.
- Karl, T.R., C.N. Williams, Jr., P.J. Young, and W.M. Wendland (1986) 'A model to estimate the time of observation bias associated with monthly mean maximum, minimum, and mean temperature for the United States', *J. Climate Appl. Meteor.*, **25**, 145-160.
- Keeling, C.D. (1961) 'The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in rural and marine air', *Geochim. Cosmochim. Acta*, **24**, 277–298.
- Keeling, C.D. (1998) 'Rewards and penalties of monitoring the Earth', *Annu. Rev. Energy Environ.*, **23**, 25–82.

- Kington, J., 1988: *The Weather of the 1780s over Europe*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 164 pp.
- Kuglitsch, F.G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P.M., Luterbacher, J., Wanner, H. (2009) 'Homogenization of daily maximum temperature series in the Mediterranean', *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 114 (15), art. no. D15108
- Koutsoyiannis, D. (2011) 'Hurst-Kolmogorov dynamics and uncertainty', *Journal of the American Water Resources Association*, 47 (3), 481–495.
- Koutsoyiannis, D. (2002) 'The Hurst phenomenon and fractional Gaussian noise made easy', *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, Vol. 47, Apr, p.573-595.
- Koutsoyiannis, D. (2000) 'A generalized mathematical framework for stochastic simulation and forecast of hydrologic time series', *Water Resources Research*, 36 (6), 1519–1533.
- Lugina, K.M., *et al.* (2005) 'Monthly surface air temperature time series area-averaged over the 30-degree latitudinal belts of the globe, 1881-2004', In: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, TN, <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp/lugina/lugina.html>.
- Maronna R, Yohai VJ. (1978) 'A bivariate test for the detection of a systematic change in mean', *Journal of American Statistics Association* 73: 640–645.
- Menne, M.J., and C.N. Williams Jr. (2009) 'Homogenization of temperature series via pairwise comparisons', *Journal of Climate*, 22(7), 1700-1717.
- Menne, M.J., C.N. Williams, and R.S. Vose (2009) 'The United States Historical Climatology Network Monthly Temperature Data - Version 2', *Bulletin of the American Meteorological Society*, **90**, 993-1107.
- Mielke, P. W., Berry, K. J. and Brier, G. W. (1981) 'Application of multi-response permutation procedure for examining seasonal changes in monthly mean sea-level pressure patterns', *Mon. Wea. Rev.*, 109, 12&126.
- Moberg, A., Bergström, H. (1997) 'Homogenization of wedish temperature data. Part III: The long temperature records from Uppsala and Stockholm', *International Journal of Climatology*, 17 (7), pp. 667-699.

- Peterson, T.C., and R.S. Vose (1997) 'An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database', *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78** (12), 2837-2849.
- Peterson, T.C., R. Vose, R. Schmoyer, and V. Razuvaev (1998) 'Global Historical Climatology Network (GHCN) quality control of monthly temperature data', *International Journal of Climatology*, **18** (11), 1169-1179.
- Pettitt AN. (1979), 'A non-parametric approach to the change-point detection', *Applied Statistics* 28: 126–135.
- Potter KW. (1981) 'Illustration of a new test for detecting a shift in mean precipitation series', *Monthly Weather Review* 109: 2040–2045.
- Quayle, R. G., D. R. Easterling, T. R. Karl, and P. Y. Hughes (1991) 'Effects of recent thermometer changes in the Cooperative Station Network' *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **72**, 1718–1723.
- Quetelet, A. (1854) 'Rapport de la Conférence, tenue à Bruxelles, sur l'invitation du gouvernement des Etats-Unis d'Amérique, à l'effet de s'entendre sur un système uniforme d'observations météorologiques à la mer', *Annuaire de l'Observatoire Royal de Belgique*, **21**, 155–167.
- Sahin, S., Cigizoglu, H.K. (2010) 'Homogeneity analysis of Turkish meteorological data set', *Hydrological Processes*, **24** (8), pp. 981-992.
- Smith, T.M., and R.W. Reynolds (2005) 'A global merged land and sea surface temperature reconstruction based on historical observations (1880–1997)', *J. Clim.*, **18**, 2021–2036.
- Smith, T.M., *et al.* (2005) 'New surface temperature analyses for climate monitoring', *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L14712, doi:10.1029/2005GL023402.
- Solow, A. (1987) 'Testing for climatic change: an application of the two-phase regression model', *J. Clim. Appl. Meteorol.*, **26**, 1401-1405.
- Štěpánek, P. and P. Zahradníček (2009): 1st Joint DMCSEE-JRS Workshop on Drought Monitoring, Ljubljana, Slovenia, 21.-25. Sept. 2009.
- Vincent LA. (1998) 'A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series', *Journal of Climate* **11**: 1094–1104.

Von Neumann J. (1941) 'Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance', *Annals of Mathematical Statistics* 13: 367–395.

Wijngaard JB, Klein Tank AMG, Können GP. (2003) 'Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series', *International Journal of Climatology* 23: 679–692.

Ιστοσελίδες:

<http://www.aip.org/history/climate/co2.htm>

<http://wattsupwiththat.com>

<http://climateaudit.org>

<http://pielkeclimatesci.wordpress.com>

<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/ushcn/ushcn.html>

<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/ushcn/#quality>

<http://hadleyserver.metoffice.com/crtem3/>

<http://www.ncdc.noaa.gov/ghcnm/v2.php>

<http://pielkeclimatesci.wordpress.com/2011/05/11/a-summary-of-our-new-paper-analysis-of-the-impacts-of-station-exposure-on-the-u-s-historical-climatology-network-temperatures-and-temperature-trends-by-fall-et-al-2011/>

climexp.knmi.nl

<http://wattsupwiththat.com/2011/01/13/tale-of-the-global-warming-tiger/>

<http://climateaudit.org/2010/11/11/y2k-re-visited/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στο Παράρτημα Α παρατίθενται οι αναλυτικοί τύποι υπολογισμού στο πρόγραμμα Excel μέσω των ετήσιων τιμών θερμοκρασιών που αναφέρονται στο διάγραμμα ροής της Παραγράφου 7.2.

Τα μηνιαία δεδομένα θερμοκρασίας που εισάγονται στους παρακάτω τύπους βρίσκονται στα κελιά Β6 έως Μ6.

=IF(B6=-999.9,1,0) (εντολή που επαναλαμβάνεται για 12 μήνες)

=SUM(N6:P6) (λαμβάνονται 10 κυλιόμενα αθροίσματα 3 μηνών)

=MAX(Z6:AI6)

=A6/4-INT(A6/4)

=IF(AK6=0,IF(B6>-999.9,31*B6,0)+IF(C6>-999.9,29*C6,0)+IF(D6>-999.9,31*D6,0)+IF(E6>-999.9,30*E6,0)+IF(F6>-999.9,31*F6,0)+IF(G6>-999.9,30*G6,0)+IF(H6>-999.9,31*H6,0)+IF(I6>-999.9,31*I6,0)+IF(J6>-999.9,30*J6,0)+IF(K6>-999.9,31*K6,0)+IF(L6>-999.9,30*L6,0)+IF(M6>-999.9,31*M6,0),IF(B6>-999.9,31*B6,0)+IF(C6>-999.9,28*C6,0)+IF(D6>-999.9,31*D6,0)+IF(E6>-999.9,30*E6,0)+IF(F6>-999.9,31*F6,0)+IF(G6>-999.9,30*G6,0)+IF(H6>-999.9,31*H6,0)+IF(I6>-999.9,31*I6,0)+IF(J6>-999.9,30*J6,0)+IF(K6>-999.9,31*K6,0)+IF(L6>-999.9,30*L6,0)+IF(M6>-999.9,31*M6,0))

=IF(AK6=0,IF(B6>-999.9,31,0)+IF(C6>-999.9,29,0)+IF(D6>-999.9,31,0)+IF(E6>-999.9,30,0)+IF(F6>-999.9,31,0)+IF(G6>-999.9,30,0)+IF(H6>-999.9,31,0)+IF(I6>-999.9,31,0)+IF(J6>-999.9,30,0)+IF(K6>-999.9,31,0)+IF(L6>-999.9,30,0)+IF(M6>-999.9,31,0),IF(B6>-999.9,31,0)+IF(C6>-999.9,28,0)+IF(D6>-999.9,31,0)+IF(E6>-999.9,30,0)+IF(F6>-999.9,31,0)+IF(G6>-999.9,30,0)+IF(H6>-999.9,31,0)+IF(I6>-999.9,31,0)+IF(J6>-999.9,30,0)+IF(K6>-999.9,31,0)+IF(L6>-999.9,30,0)+IF(M6>-999.9,31,0))

=COUNTIF(B6:AM6,"="&-999.9)

=IF(AJ6>2,-888.8,AL6/AM6)

=IF(AN6<4,AO6,-888.8)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Το Παράρτημα Β περιέχει αναλυτικές πληροφορίες για τους 181 σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική εργασία και προέκυψαν από τη βάση δεδομένων GHCN- Monthly Version 2 με χρήση του KNMI Climate Explorer.

	Area	Country	Station Name	Station code	Latitude (N)	Longitude (E)	Height (m)	Height (prob)	U/R/S	Terrain	Distance from coast/lake
1	EUROPE	IE	VALENTIA OBSE	3953	51.93	-10.25	14	47	R	hilly WATER	1km from coast
2		IE	DUBLIN AIRPOR	3969	53.43	-6.25	85	52	U (680)	flat WARM CROPS	10km from coast
3		UK	DURHAM UK	3242.1	54.8	-1.6	102	107	U (89)	hilly WARM CROPS	15km from coast
4		UK	BELFAST/ALDER	3917	54.65	-6.22	81	68	U (552)	flat WARM CROPS	20km from coast
5		UK	ABERDEEN/DYCE	3091	57.2	-2.22	65	98	U (210)	hilly WARM CROPS	5km from coast
6		UK	PLYMOUTH WC	3827	50.35	-4.12	50	76	U (259)	hilly WATER	1km from coast
7		UK	OXFORD UK	3657.1	51.7	-1.2	63	70	U (117)	hilly WARM CROPS	
8		UK	KEW UK	3672.1	51.5	-0.3	5	44	U (12332)	flat WARM CROPS	
9		UK	SOUTHAMPTON/	3865	50.9	-1.4	9	20	U (214)	flat WARM CROPS	3km from coast
10		FR	PARIS/LE BOURGET FRANCE	7150	48.8	2.5	53	52	U (8720)	hilly WARM FIELD WOODS	
11		FR	NANTES	7222	47.17	-1.6	27	51	U (253)	flat WARM CROPS	
12		IS	AKUREYRI	4063	65.68	-18.08	27	101	S (11)	mountain valley TUNDRA	1km from coast
13		DK	KOBENHAVN/	6186	55.68	12.55	9	5	U (1328)	flat WATER	1km from coast
14		HU	BUDAPEST/	12840	47.52	19.03	129	201	U (2060)	hilly WARM CROPS	
15		HU	DEBRECEN	12882	47.48	21.63	112	141	U (192)	flat WARM CROPS	
16		PL	WROCLAW II	12424	51.1	16.88	121	120	U (523)	flat COOL FOR./FIELD	
17		LT	VILNIUS	26730	54.63	25.1	156	173	U (481)	flat COOL FOR./FIELD	
18		LV	RIGA	26422	56.97	24.05	7	5	U (835)	flat COOL MIXED	7km from coast
19		NO	VARDO	1098	70.37	31.1	15	0	R	flat WATER	1km from coast
20		NO	OSLO/BLINDERN	1489.1	59.9	10.7	96	61	U (645)	hilly WARM CROPS	1km from coast
21		NO	BERGEN/FREDRIKS BERG	1317	60.4	5.3	44	79	U (213)	hilly COOL GRASS/SHRUB	2km from coast
22		NO	TRONDHEIM/TYHOLT NORWAY	1258.1	63.4	10.5	115	131	U (135)	mountain valley TUNDRA	5km from coast
23		NO	BODO VI	1152	67.27	14.37	13	5	S (31)	hilly WATER	1km from coast
24		NO	ROROS	1288	62.57	11.38	630	873	R	mountain valley MAIN TAIGA	
25		FI	HELSINKI/SEUTULA	2974	60.3	25	58	33	U (794)	flat COOL CROPS	1km from coast
26		PT	LISBOA/GEOF	8535	38.72	-9.15	95	12	U (1100)	hilly COASTAL EDGES	3km from coast
27		PT	FUNCHAL (MADEIRA ISLANDS)	8522	32.63	-16.9	56	150	S (38)	mountain valley WATER	1km from coast
28		RO	SIBIU	15260	45.8	24.15	444	473	U (157)	mountain valley WARM DECIDUOUS	
29		RO	SULINA	15360	45.15	29.67	9	0	R	flat marsh WATER	1km from coast
30		HR	ZAGREB/GRIC	14236	45.82	15.98	162	156	U (562)	hilly WARM CROPS	

	Area	Country	Station Name	Station code	Latitude (N)	Longitude (E)	Height (m)	Height (prob)	U/R/S	Terrain	Distance from coast/lake
31		RU	ST.PETERBURG	26063	59.97	30.3	6	15	U (4588)	flat WARM FOR./FIELD	3km from coast
32		RU	ARHANGEL'SK	22550	64.5	40.73	8	27	U (385)	flat MAIN TAIGA	20km from coast
33		RU	KALININGRAD	26702	54.72	20.55	21	14	U (355)	flat COOL CROPS	5km from coast
34		RU	VOLOGDA	27037	59.32	39.92	130	120	U (237)	flat COOL GRASS/SHRUB	
35		RU	MINUSINSK	29866	53.7	91.7	254	369	U (56)	hilly COOL CROPS	
36		RU	KIRENSK	30230	57.77	108.07	259	340	R	hilly TUNDRA	
37		ES	PALMA DE MALL	8306	39.55	2.73	8	64	U (191)	hilly WARM CROPS	3km from coast
38		ES	MADRID/RETIRO	8220.1	40.4	-3.7	657	631	U (3500)	hilly WARM CROPS	
39		ES	VALENCIA	8285	39.48	39.48	11	55	U (700)	flat WARM IRRIGATED	3km from coast
40		UA	KYIV	33345	50.4	30.57	167	121	U (2144)	flat COOL CROPS	
41		UA	YALTA	33990	45.48	34.17	72	515	U (80)	mountain valley WATER	1km from coast
42		BE	UCCLE	6447	50.8	4.35	104	95	U (1055)	flat WARM CROPS	
43		GR	ATHINAI/OBSER	16714	37.97	23.72	107	100	U (2567)	hilly WARM CROPS	6km from coast
44		GR	THESSALONIKI	16622	40.52	22.97	4	107	U (482)	hilly MED. GRAZING	1km from coast
45		NL	DE BILT	6260	52.1	5.18	15	3	S (33)	flat WARM CROPS	
46		SE	STOCKHOLM	2464	59.33	18.05	52	13	U (1357)	flat WATER	10km from coast
47		SE	UPPSALA	2458	59.88	17.6	41	29	U (157)	hilly COOL MIXED	
48		SE	HAPARANDA	2196	65.83	24.15	6	5	R	flat COASTAL EDGES	3km from coast
49		AT	KLAGENFURT-FL	11231	46.65	14.33	476	551	U (113)	mountain valley WARM FOR./FIELD	
50		AT	WIEN/HOHE WAR	11035	48.25	16.37	209	191	U (1859)	hilly COOL CROPS	
51		DE	MUNCHEN/RIEM W.GERMANY	10866.1	48.1	11.7	529	536	U (1315)	flat COOL FOR./FIELD	
52		DE	BERLIN-TEMPEL	10384	52.47	13.4	49	41	U (3021)	flat WARM CONIFER	
53		CH	ZURICH (TOWN)	6660	47.38	8.57	569	502	U (718)	hilly WARM MIXED	next to large lake
54		CH	SAENTIS	6680	47.25	9.35	2500	1210	R	mountain top WARM CROPS	
55		CH	GENEVE-COINTR	6700	46.25	6.13	416	459	U (320)	hilly WARM FOR./FIELD	next to large lake
56		CH	ST. BERNARD SWITZERLA	6719.1	45.7	6.9	2460	2358	R	mountain top WARM CROPS	
57	AFRICA	ZA	PORT ELIZABET	68842	-33.98	25.6	61	63	U (414)	hilly WATER	4km from coast
58		ZA	DURBAN (LOUIS)	68588	-29.97	30.95	14	23	U (975)	hilly WATER	2km from coast
59		MG	ANTANANARIVO	67083	-18.8	47.48	1276	1352	U (452)	mountain valley TROP. SAVANNA	
60	SOUTH AMERICA	AR	CORDOBA ARGENTINA	87344.1	-31.4	-64.2	425	427	U (982)	hilly SUCCULENT THORNS	

	Area	Country	Station Name	Station code	Latitude (N)	Longitude (E)	Height (m)	Height (prob)	U/R/S	Terrain	Distance from coast/lake
61		AR	BUENOS AIRES	87585	-34.58	-58.48	25	21	U (9927)	flat WARM CROPS	4km from coast
62		CL	PUNTA ARENAS	85934	-53	-70.85	37	0	R	hilly WATER	1km from coast
63		BR	CURITIBA	83842	-25.43	-49.27	924	961	U (844)	hilly WARM CROPS	
64		BR	SAO PAULO	83781	-23.5	-46.62	792	883	U (7034)	hilly TROPICAL DRY FOR	
65	ASIA	CN	SHANGHAI CHINA	58362	31.2	121.4	7	23	U (10980)	flat PADDYLANDS	25km from coast
66		CN	TIANJIN	54527	39.1	117.17	5	0	U (7210)	flat WARM CROPS	
67		IN	NAGPUR SONEGA	42867	21.1	79.05	310	302	U (930)	hilly WARM CROPS	
68		IN	CALCUTTA/ALIP	42807	22.53	88.33	6	0	U (7031)	flat PADDYLANDS	
69		IN	ALLAHABAD/BAM	42475	25.45	81.73	98	90	U (513)	flat WARM CROPS	
70		IN	SAGAR	42671	23.85	78.75	551	489	U (155)	hilly WARM FOR./FIELD	
71		IN	AKOLA	42933	20.7	77.07	309	301	U (168)	flat TROP. SAVANNA	
72		IN	POONA	43063	18.53	73.85	559	576	U (1135)	hilly WARM FOR./FIELD	
73		IN	INDORE	42754	22.72	75.8	567	550	U (561)	hilly TROPICAL DRY FOR	
74		IN	BIKANER	42165	28	73.3	224	248	U (189)	flat SAND DESERT	
75		IN	AGRA	42261	27.17	78.03	169	158	U (635)	flat WARM CROPS	
76		IN	LUDHIANA	42099.1	30.9	75.9	247	137	U (401)	flat WARM IRRIGATED	
77		KR	PUSAN	47159	35.1	129.03	71	60	U (2453)	hilly COASTAL EDGES	3km from coast
78		JP	HIROSHIMA	47765	34.4	132.47	53	121	U (853)	hilly WARM MIXED	1km from coast
79		JP	WAKAYAMA	47777.1	34.23	135.17	14	42	U (390)	flat COASTAL EDGES	3km from coast
80		JP	KAGOSHIMA	47827	31.55	130.55	31	61	U (457)	hilly PADDYLANDS	1km from coast
81		JP	IZUHARA	47800	34.2	129.3	19	243	R	hilly WATER	1km from coast
82		JP	MIYAZAKI	47830	31.92	131.42	7	49	U (234)	hilly WARM FIELD WOODS	1km from coast
83		JP	SHIMONOSEKI	47762.1	33.95	130.93	3	38	U (266)	hilly WARM FIELD WOODS	3km from coast
84		JP	KOCHI	47893	33.55	133.53	18	212	U (291)	hilly COOL FOR./FIELD	6km from coast
85		JP	SAKAI	47742	35.55	133.23	3	22	S (36)	flat WATER	1km from coast
86		JP	OITA	47815	33.23	131.62	13	92	U (320)	hilly WARM GRASS/SHRUB	1km from coast
87		JP	FUKUOKA	47807	33.58	130.38	14	41	U (1002)	flat COASTAL EDGES	1km from coast
88		JP	SAGA	47813.1	33.25	130.3	4	35	U (152)	flat PADDYLANDS	7km from coast
89		JP	MATSUYAMA	47887	33.83	132.78	34	93	U (367)	hilly COOL FOR./FIELD	4km from coast
90		PK	LAHORE CITY	41640	31.55	74.33	215	210	U (3500)	flat WARM IRRIGATED	
91		LK	MANNAR	43413	8.98	79.92	3	0	S (11)	flat WATER	1km from coast

	Area	Country	Station Name	Station code	Latitude (N)	Longitude (E)	Height (m)	Height (prob)	U/R/S	Terrain	Distance from coast/lake
92		LK	JAFFNA,SRI	43404.1	9.7	80	4	13	U (120)	flat TROPICAL DRY FOR	1km from coast
93		LK	KANDY,LK	43444.1	7.3	80.6	477	498	U (110)	mountain valley WARM FOR./FIELD	
94		LK	GALLE,LK	43495.1	6	80.2	13	40	U (90)	flat WATER	1km from coast
95		RU	BARNAUL	29838	53.43	83.52	184	199	U (533)	flat COOL GRASS/SHRUB	
96		RU	SVERDLOVSK USSR	28440	56.8	60.6	237	275	U (1211)	flat COOL MIXED	
97		RU	ENISEJSK	29263	58.45	92.15	79	188	S (20)	flat SOUTH. TAIGA	
98		RU	SALEHARD	23330	66.53	66.67	16	30	S (22)	flat BOGS, BOG WOODS	
99		RU	PERM	28225	57.95	56.2	170	150	U (999)	hilly COOL MIXED	
100		RU	OMSK	28698	55.02	73.38	122	95	U (1014)	flat COOL CROPS	
101		RU	NIKOLAEVSK-NA	31369	53.15	140.7	68	220	S (30)	hilly COOL CONIFER	1km from coast
102		RU	VLADIVOSTOK	31960	43.12	131.93	184	13	U (550)	hilly COASTAL EDGES	2km from coast
103		AZ	LANKARAN	37985	38.73	48.83	-12	12	S (36)	mountain valley WARM CROPS	next to large lake
104		IL	JERUSALEM	40184	31.78	35.22	757	713	U (376)	hilly WARM IRRIGATED	
105		UZ	TASHKENT	38457	41.27	69.27	488	464	U (1780)	flat WARM IRRIGATED	
106		TM	KRASNOVODSK	38507	40.03	52.98	89	0	U (53)	hilly WATER	2km from coast
107		KZ	FORT SEVCENKO	38001	44.55	50.25	-25	1	S (12)	flat WATER	1km from coast
108		KZ	ALMATY	36870	43.23	76.93	851	895	U (910)	mountain valley COOL GRASS/SHRUB	
109		KZ	KZYL-ORDA	38082	49.82	65.5	128	120	U (156)	flat WARM IRRIGATED	
110	NORTH AMERICA	CA	WINNIPEG INT.	71852	49.9	-97.23	239	231	U (584)	flat COOL FIELD/WOODS	
111		CA	EDMONTON MUNI	71879	53.57	-113.52	671	670	U (657)	flat COOL GRASS/SHRUB	
112		CA	CALGARY INT'L	71877	51.12	-114.02	1084	1086	U (593)	hilly COOL CONIFER	
113		CA	MEDICINE HAT,	71872	50.02	-110.72	717	712	S (40)	hilly COOL GRASS/SHRUB	
114		CA	SWIFT CURRENT	71870	50.28	-107.68	818	786	S (15)	hilly COOL GRASS/SHRUB	
115		US-1	CENTRALIA	72792.1	46.72	-122.95	56	88	S (10)	hilly COOL CONIFER	
116		US-1	YELLOWSTONE PARK MAMMOTH	72670.1	44.97	-110.7	1898	2108	R	mountain valley COOL CONIFER	
117		US-1	GREAT FALLS,	72776	47.47	-111.38	1131	1065	U (55)	flat COOL CONIFER	
118		US-1	LOGAN USU	72572.13	41.75	-111.8	1459	1674	S (33)	mountain valley COOL IRRIGATED	

	Area	Country	Station Name	Station code	Latitude (N)	Longitude (E)	Height (m)	Height (prob)	U/R/S	Terrain	Distance from coast/lake
119		US-1	VALE	72681.5	43.98	-117.25	682	749	R	hilly COOL DESERT	
120		US-1	COLFAX 1NW	72783.6	46.88	-117.38	598	679	R	hilly COOL CROPS	
121		US-1	WINNEMUCCA/MU	72583	40.9	-117.8	1322	1338	R	mountain valley desert COOL DESERT	
122		US-1	REDDING WSO	72592.1	40.5	-122.3	153	155	U (66)	flat WARM CONIFER	
123		US-2	PRESCOTT	72376.2	34.57	-112.43	1586	1681	S (27)	hilly WARM CONIFER	
124		US-2	DAVIS EXP FARM 2WSW	72483.1	38.53	-121.77	18	16	S (46)	flat WARM IRRIGATED	
125		US-2	REDLANDS	72286.3	34.05	-117.18	401	507	U (14531)	mountain valley WARM IRRIGATED	
126		US-2	FILLMORE	72471.8	38.95	-112.32	1560	1722	R	mountain valley desert COOL GRASS/SHRUB	
127		US-3	WAKEFIELD	72557.1	42.27	-96.87	423	439	R	flat COOL GRASS/SHRUB	
128		US-3	HAY SPRINGS 12S	74437.1	42.5	-102.7	1159	1160	R	flat COOL IRRIGATED	
129		US-3	CHEYENNE, WY.	72564	41.15	-104.82	1872	1870	U (50)	flat COOL IRRIGATED	
130		US-3	POWELL FIELD STATION	72670.8	44.78	-108.75	1331	1348	R	hilly COOL GRASS/SHRUB	
131		US-3	WATERTOWN FAA AP	72654.4	44.92	-97.15	532	529	S (18)	flat COOL CROPS	next to large lake
132		US-3	MOTT	72764.2	46.38	-102.33	766	753	R		
133		US-3	EKALAKA	72661.3	45.88	-104.53	1043	1099	R	hilly COOL GRASS/SHRUB	
134		US-3	MALTA 7E	72768.3	48.4	-107.73	684	705	R	hilly COOL CROPS	
135		US-4	CORPUS CHRIST	72251	27.77	-97.5	13	10	U (257)	flat COASTAL EDGES	10km from coast
136		US-4	LLANO	72254.4	30.75	-98.68	316	343	R	hilly HIGHLAND SHRUB	
137		US-4	MANGUM RESEARCH STATION	72352.5	34.83	-99.43	463	458	R	flat WARM GRASS/SHRUB	
138		US-4	MEDICINE LODGE	72452.3	37.28	-98.58	457	466	R	flat WARM CROPS	
139		US-4	ROSWELL/INDUS	72268	33.3	-104.53	1118	1110	S (44)	flat WARM GRASS/SHRUB	
140		US-4	LAS ANIMAS	74530.3	38.07	-103.22	1185	1207	R	flat COOL GRASS/SHRUB	
141		US-4	LUNA RS	72271.3	33.83	-108.93	2148	2279	R	mountain valley WARM GRASS/SHRUB	
142		US-4	MOAB	72476.3	38.58	-109.55	1225	1402	R	hilly desert COOL GRASS/SHRUB	
143		US-5	DELAWARE	72428.4	40.28	-83.07	264	276	S (20)	flat WARM CROPS	
144		US-5	URBANA	72531.3	40.1	-88.23	226	220	U (100)	flat WARM CROPS	

	Area	Country	Station Name	Station code	Latitude (N)	Longitude (E)	Height (m)	Height (prob)	U/R/S	Terrain	Distance from coast/lake
145		US-5	HANCOCK EXPERIMENT FARM	72641.3	44.12	-89.53	327	331	R	flat COOL FOR./FIELD	
146		US-5	CONCEPTION	72449.4	40.25	-94.68	337	310	R	flat WARM CROPS	
147		US-5	GRAND MEADOW	72644.2	43.7	-92.57	411	410	R	flat COOL CROPS	
148		US-5	LEECH LAKE DAM	72755.3	47.25	-94.22	396	397	R	flat COOL FIELD/WOODS	next to large lake
149		US-6	FORT MYERS FAA AP	74796.1	26.6	-81.87	4	3	U (309)	flat WARM FIELD WOODS	15km from coast
150		US-6	TARPON SPRINGS SEWAGE PLANT	72211.1	28.15	-82.75	2	5	S (18)	flat WARM CROPS	3km from coast
151		US-6	BURKES GARDEN	72412.1	37.08	-81.33	1005	932	R	mountain top WARM FOR./FIELD	
152		US-6	LITTLE MOUNTAIN	72310.3	34.2	-81.42	216	138	R	hilly WARM FOR./FIELD	
153		US-6	GAINESVILLE LOCK	72234.5	32.83	-88.13	38	30	R	flat marsh WARM FOR./FIELD	
154		US-6	PLAIN DEALING	72248.2	32.9	-93.68	88	81	R	flat WARM FOR./FIELD	
155		US-6	DOVER 1W	74671.1	36.48	-87.85	144	152	R	hilly WARM FOR./FIELD	next to large lake
156		US-6	SUBIACO	72349.1	35.3	-93.65	152	185	R	hilly WARM FOR./FIELD	
157		US-7	LOUISBURG	72306.5	36.1	-78.32	79	84	R	flat WARM DECIDUOUS	
158		US-7	MARTINSBURG FAA AIRPORT	72403.4	39.4	-77.98	163	158	S (14)	hilly WARM FOR./FIELD	
159		US-7	ALBANY/ALBANY	72518	42.75	-73.8	89	82	U (851)	hilly COOL FOR./FIELD	
160		US-7	FARMINGTON	72618.1	44.68	-70.15	128	175	R	mountain valley COOL MIXED	
161		US -AL	NOME	70200	64.5	-165.43	7	48	R	hilly WATER	1km from coast
162		US-PO	HILO/GEN. LYM	91285	19.72	-155.07	11	46	S (38)	hilly WARM FOR./FIELD	2km from coast
163		US-PO	HONOLULU, OAH	91182	21.35	-157.93	5	240	U (836)	hilly WARM FIELD WOODS	1km from coast
164	OCEANIA	AU	ADELAIDE AIRP	94672	-34.93	138.52	4	23	U (883)	hilly WARM CROPS	2km from coast
165		AU	MELBOURNE	94868	-37.82	144.97	113	29	U (2579)	flat WARM FOR./FIELD	5km from coast
166		AU	SYDNEY	94768	-33.85	151.2	40	42	U (2877)	hilly WARM MIXED	2km from coast
167		AU	ALICE SPRINGS	94326	-23.8	133.88	547	559	S (18)	hilly HIGHLAND SHRUB	
168		AU	DARWIN AIRPOR	94120	-12.4	130.87	30	17	U (56)	flat WATER	3km from coast
169		AU	DENILQUIN	94869	-35.55	144.93	93	92	R	flat WARM FIELD WOODS	
170		AU	BOURKE (POST)	94703	-30.08	145.93	106	101	R	flat SEMIARID WOODS	
171		AU	DUBBO	94719	-32.2	148.57	275	282	S (23)	hilly WARM CROPS	
172		AU	WALGETT POST	95715.1	-30.02	148.12	132	130	R	flat SEMIARID WOODS	

	Area	Country	Station Name	Station code	Latitude (N)	Longitude (E)	Height (m)	Height (prob)	U/R/S	Terrain	Distance from coast/lake
--	------	---------	--------------	--------------	--------------	---------------	------------	---------------	-------	---------	--------------------------

			OFFICE								
173		AU	COONABARABRAN	94728	-31.27	149.27	510	640	R	hilly WARM CROPS	
174		AU	OMEIO	94911	-37.08	147.6	679	910	R	mountain valley WARM MIXED	
175		AU	HAY MILLER ST	94698	-34.52	144.85	94	87	R	flat WARM FIELD WOODS	
176		AU	ECHUCA	94861	-36.15	144.75	97	98	R	flat WARM IRRIGATED	
177		AU	HOBART REGIONAL OFFICE	94970.1	-42.88	147.33	55	339	U (129)	mountain valley WARM CROPS	1km from coast
178		AU	CAIRNS AIRPOR	94287	-16.88	145.75	7	397	S (49)	hilly WATER	1km from coast
179		NZ	AUCKLAND AIRP	93119	-37.02	174.8	6	17	U (145)	flat COASTAL EDGES	1km from coast
180		NZ	WELLINGTON	93436.1	-41.3	174.8	128	0	U (136)	hilly WARM CROPS	1km from coast
181		WS	APIA	91762	-13.8	-171.78	2	0	S (33)	hilly WATER	1km from coast

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Το Παράρτημα Γ περιέχει:

α) τους 181 σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική εργασία και προέκυψαν από τη βάση δεδομένων GHCN- Monthly Version 2 με χρήση του KNMI Climate Explorer,

β) πληροφορίες για την περίοδο κάλυψης των σταθμών αυτών και τα κενά που εμφανίζουν, και

γ) τη γραμμική τάση αρχικών και επεξεργασμένων δεδομένων και τη διαφορά τους.

	Area	Country	Station Name	Station code	Years of data	From	To	Missing years	Non-missing years	Initial Slope	Adjusted Slope	Difference (Ad-In)
1	EUROPE	IE	VALENTIA OBSE	3953	123	1869	1991	0	123	9E-04	-0	-0.0016
2		IE	DUBLIN AIRPOR	3969	141	1851	1991	2	139	0.004	0.003	-0.001
3		UK	DURHAM UK	3242.1	131	1851	1981	0	131	0.005	0.004	-0.0005
4		UK	BELFAST/ALDER	3917	127	1865	1991	1	126	-0.001	0.004	0.0056
5		UK	ABERDEEN/DYCE	3091	121	1871	1991	1	120	0.003	0.011	0.0076
6		UK	PLYMOUTH WC	3827	127	1865	1991	1	126	0.001	-0	-0.0035
7		UK	OXFORD UK	3657.1	130	1851	1980	0	130	0.004	0.003	-0.0015
8		UK	KEW UK	3672.1	110	1871	1980	0	110	0.009	7E-04	-0.0078
9		UK	SOUTHAMPTON/	3865	124	1855	1978	2	122	0.006	0.001	-0.0049
10		FR	PARIS/LE BOURGET FRANCE	7150	141	1851	1991	1	140	0.007	0.011	0.0038
11		FR	NANTES	7222	141	1851	1991	2	139	0.004	0.007	0.0025
12		IS	AKUREYRI	4063	110	1882	1991	0	110	0.012	0.01	-0.0021
13		DK	KOBENHAVN/	6186	161	1851	2011	2	159	0.013	0.002	-0.0113
14		HU	BUDAPEST/	12840	141	1851	1991	0	141	0.005	0.008	0.0028
15		HU	DEBRECEN	12882	139	1853	1991	0	139	3E-04	0.008	0.0075
16		PL	WROCLAW II	12424	141	1851	1991	3	138	3E-04	0.008	0.008
17		LT	VILNIUS	26730	140	1851	1990	6	134	-0.005	0.012	0.0167
18		LV	RIGA	26422	140	1851	1990	2	138	0.002	0.01	0.0084
19		NO	VARDO	1098	141	1851	1991	0	141	0.008	0.012	0.0045
20		NO	OSLO/BLINDERN	1489.1	136	1851	1986	0	136	0.003	0.009	0.0061
21		NO	BERGEN/FREDRIKSBERG	1317	135	1851	1985	1	134	0.006	0.011	0.0056
22		NO	TRONDHEIM/TYHOLT NORWAY	1258.1	131	1851	1981	1	130	0.001	0.004	0.0029
23		NO	BODO VI	1152	124	1868	1991	0	124	0.006	0.006	0
24		NO	ROROS	1288	119	1871	1989	0	119	0.009	0.015	0.0059
25		FI	HELSINKI/SEUTULA	2974	141	1851	1991	0	141	0.007	-0	-0.0089
26		PT	LISBOA/GEOF	8535	128	1854	1981	2	126	0.01	3E-04	-0.0099
27		PT	FUNCHAL (MADEIRA ISLANDS)	8522	118	1864	1981	3	115	9E-04	9E-04	0
28		RO	SIBIU	15260	141	1851	1991	1	140	0.004	0.01	0.0064
29		RO	SULINA	15360	116	1876	1991	1	115	0.005	0.031	0.0256
30		HR	ZAGREB/GRIC	14236	130	1862	1991	1	129	0.004	0.005	0.0005
31		RU	ST.PETERBURG	26063	141	1851	1991	2	139	0.01	-0	-0.0139
32		RU	ARHANGEL'SK	22550	141	1851	1991	1	140	0.009	-0	-0.0101
33		RU	KALININGRAD	26702	140	1851	1990	1	139	0.003	-0.01	-0.0094
34		RU	VOLOGDA	27037	101	1891	1991	1	100	0.006	0.023	0.0167

	Area	Country	Station Name	Station code	Years of data	From	To	Missing years	Non-missing years	Initial Slope	Adjusted Slope	Difference (Ad-In)
35		RU	MINUSINSK	29866	106	1886	1991	9	97	0.002	0.009	0.0073
36		RU	KIRENSK	30230	100	1892	1991	5	95	-0.011	-0.02	-0.0044
37		ES	PALMA DE MALL	8306	120	1866	1985	5	115	-0.005	-0	0.0007
38		ES	MADRID/RETIRO	8220.1	139	1853	1991	6	133	-1E-04	0.003	0.0034
39		ES	VALENCIA	8285	112	1900	2011	8	104	0.018	0.03	0.0111
40		UA	KYIV	33345	138	1854	1991	1	137	0.009	0.018	0.0086
41		UA	YALTA	33990	110	1881	1990	4	106	-0.004	0.008	0.0122
42		BE	UCCLE	6447	141	1851	1991	0	141	0.004	0.003	-0.0005
43		GR	ATHINAI/OBSER	16714	134	1858	1991	2	132	0.002	0.015	0.0134
44		GR	THESSALONIKI	16622	100	1892	1991	2	98	-0.009	0.003	0.0115
45		NL	DE BILT	6260	141	1851	1991	0	141	-0.006	0.012	0.0178
46		SE	STOCKHOLM	2464	141	1851	1991	0	141	0.01	0.009	-0.001
47		SE	UPPSALA	2458	116	1855	1970	0	116	0.011	0.02	0.0093
48		SE	HAPARANDA	2196	132	1860	1991	0	132	0.01	0.017	0.0072
49		AT	KLAGENFURT-FL	11231	141	1851	1991	3	138	0.006	0.006	0.0005
50		AT	WIEN/HOHE WAR	11035	141	1851	1991	1	140	0.007	0.008	0.0007
51		DE	MUNCHEN/RIEM W.GERMANY	10866.1	141	1851	1991	0	141	0.006	0.013	0.0073
52		DE	BERLIN-TEMPEL	10384	141	1851	1991	0	141	0.003	0.01	0.0075
53		CH	ZURICH (TOWN)	6660	128	1864	1991	0	128	0.002	0.015	0.0123
54		CH	SAENTIS	6680	109	1883	1991	0	109	0.008	0.012	0.0043
55		CH	GENEVE-COINTR	6700	141	1851	1991	0	141	0.003	0.01	0.0071
56		CH	ST. BERNARD SWITZERLA	6719.1	135	1851	1985	1	134	0.009	0.002	-0.0067
57	AFRICA	ZA	PORT ELIZABET	68842	107	1885	1991	0	107	-7E-04	-0.01	-0.0085
58		ZA	DURBAN (LOUIS)	68588	107	1885	1991	1	106	-0.011	-0.01	-0.0018
59		MG	ANTANANARIVO	67083	102	1889	1990	6	96	-0.009	0.007	0.0162
60	SOUTH AMERICA	AR	CORDOBA ARGENTINA	87344.1	119	1873	1991	5	114	0.012	0.025	0.0124
61		AR	BUENOS AIRES	87585	136	1856	1991	2	134	0.013	0.005	-0.0082
62		CL	PUNTA ARENAS	85934	104	1888	1991	0	104	-0.005	-0	0.0051
63		BR	CURITIBA	83842	107	1885	1991	2	105	0.006	0.007	0.001
64		BR	SAO PAULO	83781	105	1887	1991	1	104	0.02	0.006	-0.0133
65	ASIA	CN	SHANGHAI CHINA	58362	141	1851	1991	5	136	0.007	-0.01	-0.013
66		CN	TIANJIN	54527	100	1891	1990	1	99	0.003	0.001	-0.0018
67		IN	NAGPUR SONEGA	42867	117	1875	1991	0	117	4E-04	0.012	0.0114
68		IN	CALCUTTA/ALIP	42807	114	1878	1991	0	114	0.013	0.004	-0.0091

	Area	Country	Station Name	Station code	Years of data	From	To	Missing years	Non-missing years	Initial Slope	Adjusted Slope	Difference (Ad-In)
69		IN	ALLAHABAD/BAM	42475	116	1876	1991	3	113	0.004	0.005	0.0003
70		IN	SAGAR	42671	117	1875	1991	4	113	0.002	0.002	-0.0002
71		IN	AKOLA	42933	117	1875	1991	1	116	0.007	0.008	0.0004
72		IN	POONA	43063	116	1876	1991	1	115	-0.003	0.021	0.0241
73		IN	INDORE	42754	114	1878	1991	1	113	0.005	0.006	0.0009
74		IN	BIKANER	42165	114	1878	1991	10	104	-0.011	0.009	0.0202
75		IN	AGRA	42261	112	1876	1987	1	111	-0.005	0.011	0.0159
76		IN	LUDHIANA	42099.1	110	1875	1984	7	103	-0.002	0.003	0.0048
77		KR	PUSAN	47159	108	1904	2011	1	107	0.014	0.018	0.0041
78		JP	HIROSHIMA	47765	113	1879	1991	0	113	0.006	0.013	0.007
79		JP	WAKAYAMA	47777.1	112	1879	1990	1	111	0.012	0.012	-0.0006
80		JP	KAGOSHIMA	47827	109	1883	1991	0	109	0.012	0.008	-0.0036
81		JP	IZUHARA	47800	106	1886	1991	1	105	0.006	3E-04	-0.006
82		JP	MIYAZAKI	47830	106	1886	1991	0	106	0.005	0.013	0.0078
83		JP	SHIMONOSEKI	47762.1	108	1883	1990	0	108	0.01	0.007	-0.0029
84		JP	KOCHI	47893	106	1886	1991	0	106	0.011	0.015	0.0043
85		JP	SAKAI	47742	105	1886	1990	0	105	0.008	0.012	0.0041
86		JP	OITA	47815	105	1887	1991	0	105	0.008	0.01	0.0014
87		JP	FUKUOKA	47807	102	1890	1991	0	102	0.019	0.011	-0.0076
88		JP	SAGA	47813.1	101	1890	1990	1	100	0.009	0.013	0.0042
89		JP	MATSUYAMA	47887	101	1890	1990	0	101	0.012	0.009	-0.0031
90		PK	LAHORE CITY	41640	116	1876	1991	3	113	-1E-04	0.004	0.0044
91		LK	MANNAR	43413	121	1870	1990	5	116	5E-04	0.006	0.0057
92		LK	JAFFNA,SRI	43404.1	112	1869	1980	1	111	0.003	0.004	0.0012
93		LK	KANDY,SRI LANKA	43444.1	111	1870	1980	1	110	-0.001	-0	-0.0011
94		LK	GALLE,SRI LANKA	43495.1	112	1869	1980	4	108	-8E-04	-0	0.0001
95		RU	BARNAUL	29838	141	1851	1991	0	141	0.014	0.02	0.0063
96		RU	SVERDLOVSK USSR	28440	141	1851	1991	2	139	0.015	0.019	0.0044
97		RU	ENISEJSK	29263	121	1871	1991	5	116	0.001	0.013	0.012
98		RU	SALEHARD	23330	110	1882	1991	2	108	0.009	0.01	0.0012
99		RU	PERM	28225	110	1882	1991	3	107	0.006	0.007	0.0011
100		RU	OMSK	28698	105	1887	1991	3	102	0.02	0.022	0.0022
101		RU	NIKOLAEVSK-NA	31369	138	1854	1991	15	123	0.003	-0	-0.0065
102		RU	VLADIVOSTOK	31960	120	1872	1991	3	117	-0.006	-0	0.0046

	Area	Country	Station Name	Station code	Years of data	From	To	Missing years	Non-missing years	Initial Slope	Adjusted Slope	Difference (Ad-In)
103		AZ	LANKARAN	37985	109	1882	1990	5	104	-7E-04	0.024	0.0244
104		IL	JERUSALEM	40184	131	1861	1991	4	127	-0.002	0.003	0.005
105		UZ	TASHKENT	38457	111	1881	1991	0	111	0.01	0.01	-0.0002
106		TM	KRASNOVODSK	38507	109	1883	1991	6	103	-0.012	0.007	0.0198
107		KZ	FORT SEVCENKO	38001	141	1851	1991	11	130	0.009	0.016	0.0068
108		KZ	ALMATY	36870	111	1881	1991	5	106	0.027	0.038	0.0109
109		KZ	KZYL-ORDA	38082	100	1891	1990	5	95	0.008	0.018	0.0102
110	NORTH AMERICA	CA	WINNIPEG INT.	71852	120	1872	1991	1	119	0.016	9E-04	-0.0152
111		CA	EDMONTON MUNI	71879	112	1880	1991	2	110	0.016	0.018	0.002
112		CA	CALGARY INT'L	71877	106	1885	1990	1	105	0.006	0.014	0.0078
113		CA	MEDICINE HAT,	71872	108	1883	1990	3	105	-6E-04	0.02	0.0207
114		CA	SWIFT CURRENT	71870	106	1885	1990	2	104	-5E-04	0.021	0.0215
115		US-1	CENTRALIA	72792.1	105	1902	2006	1	104	0.014	0.017	0.0029
116		US-1	YELLOWSTONE PARK MAMMOTH	72670.1	121	1886	2006	6	115	0.01	0.01	0
117		US-1	GREAT FALLS,	72776	116	1891	2006	2	114	-0.006	0.002	0.0085
118		US-1	LOGAN USU	72572.1	117	1890	2006	4	113	0.004	0.009	0.005
119		US-1	VALE	72681.5	116	1891	2006	2	114	0.013	0.01	-0.0031
120		US-1	COLFAX 1NW	72783.6	103	1892	1994	3	100	0.004	-0	-0.0075
121		US-1	WINNEMUCCA/MU	72583	130	1877	2006	4	126	0.004	0.005	0.0018
122		US-1	REDDING WSO	72592.1	132	1875	2006	1	131	8E-04	-0	-0.0054
123		US-2	PRESCOTT	72376.2	142	1865	2006	8	134	0.003	0.005	0.0022
124		US-2	DAVIS EXP FARM 2WSW	72483.1	136	1871	2006	5	131	-0.01	0.015	0.0253
125		US-2	REDLANDS	72286.3	115	1892	2006	2	113	0.015	0.013	-0.0012
126		US-2	FILLMORE	72471.8	115	1892	2006	3	112	-0.003	-0.00006	0.00294
127		US-3	WAKEFIELD	72557.1	110	1897	2006	3	107	0.006	0.015	0.0088
128		US-3	HAY SPRINGS 12S	74437.1	121	1886	2006	5	116	0.012	0.018	0.006
129		US-3	CHEYENNE, WY.	72564	136	1871	2006	1	135	0.008	0.01	0.0022
130		US-3	POWELL FIELD STATION	72670.8	100	1907	2006	1	99	0.008	0.017	0.0089
131		US-3	WATERTOWN FAA AP	72654.4	112	1895	2006	5	107	0.008	0.009	0.0014
132		US-3	MOTT	72764.2	100	1907	2006	3	97	0.009	0.024	0.0147
133		US-3	EKALAKA	72661.3	110	1897	2006	1	109	0.004	0.014	0.0104
134		US-3	MALTA 7E	72768.3	102	1905	2006	2	100	0.008	0.006	-0.0019
135		US-4	CORPUS CHRIST	72251	120	1887	2006	1	119	0.009	0.01	0.0011
136		US-4	LLANO	72254.4	116	1891	2006	10	106	-0.008	-0.01	-0.0002

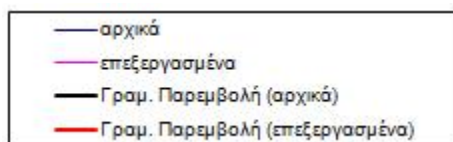
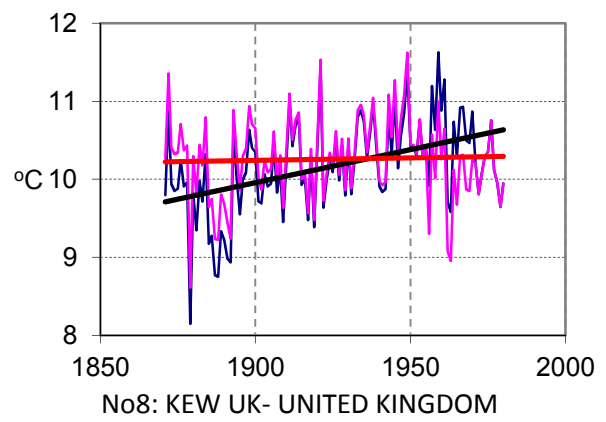
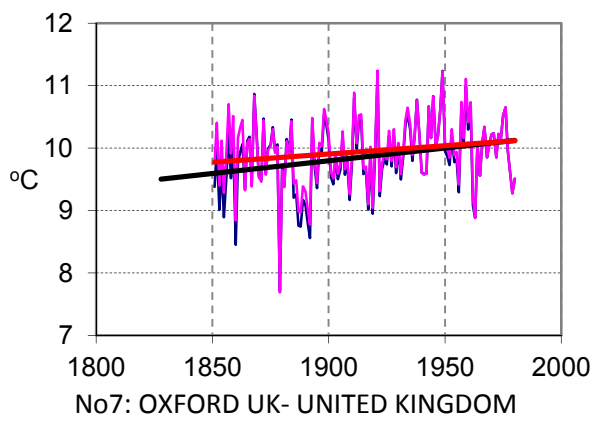
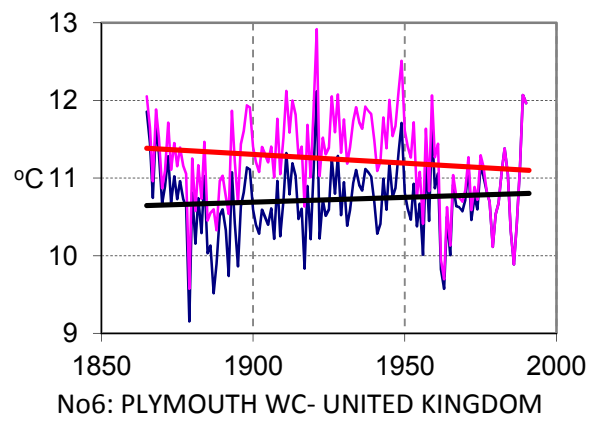
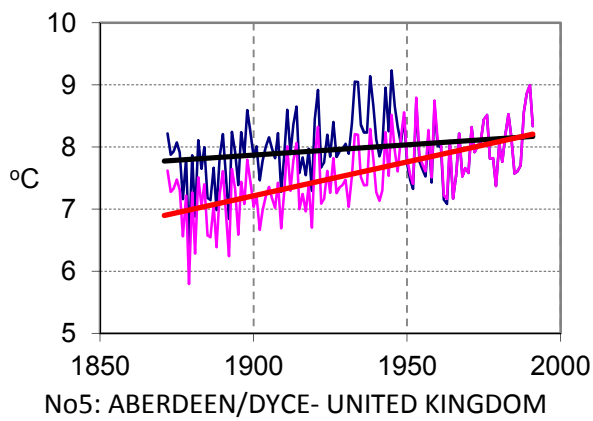
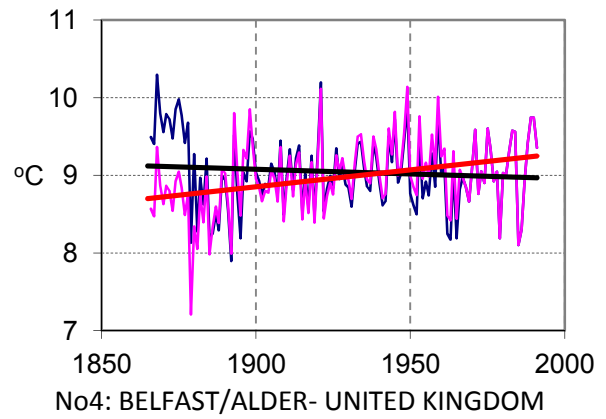
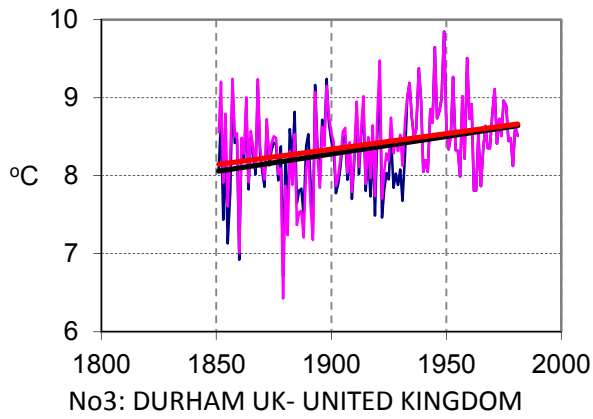
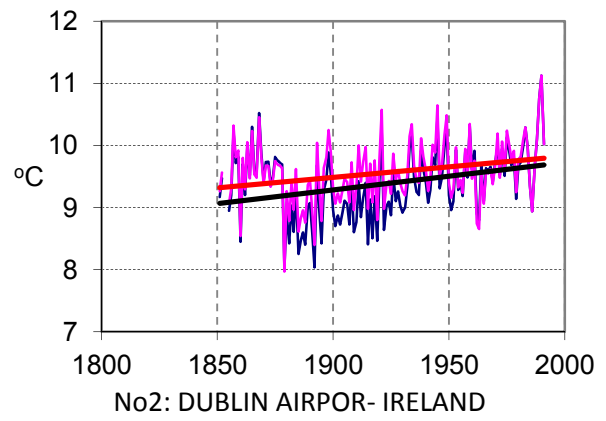
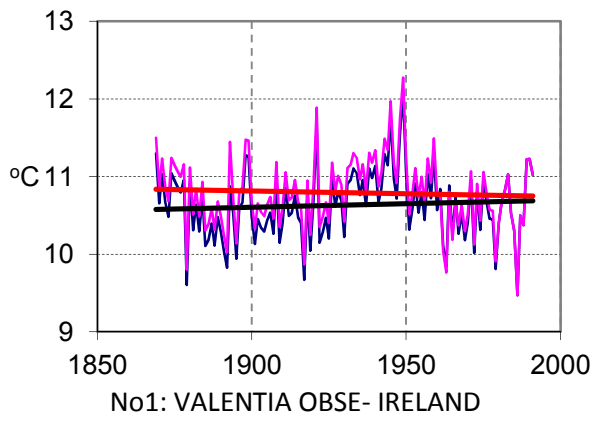
	Area	Country	Station Name	Station code	Years of data	From	To	Missing years	Non-missing years	Initial Slope	Adjusted Slope	Difference (Ad-In)
137		US-4	MANGUM RESEARCH STATION	72352.5	115	1892	2006	8	107	-0.005	-0.01	-0.0028
138		US-4	MEDICINE LODGE	72452.3	104	1895	1998	7	97	-0.005	0.005	0.0101
139		US-4	ROSWELL/INDUS	72268	114	1893	2006	2	112	0.015	0.009	-0.0061
140		US-4	LAS ANIMAS	74530.3	140	1867	2006	7	133	0.014	0.009	-0.0043
141		US-4	LUNA RS	72271.3	107	1900	2006	5	102	0.008	0.013	0.0053
142		US-4	MOAB	72476.3	118	1889	2006	3	115	0.025	0.017	-0.0085
143		US-5	DELAWARE	72428.4	105	1896	2000	2	103	-0.004	0.007	0.0107
144		US-5	URBANA	72531.3	119	1888	2006	5	114	0.006	0.008	0.0022
145		US-5	HANCOCK EXPERIMENT FARM	72641.3	105	1902	2006	4	101	0.008	0.014	0.0068
146		US-5	CONCEPTION	72449.4	119	1888	2006	2	117	-0.004	0.001	0.0051
147		US-5	GRAND MEADOW	72644.2	120	1887	2006	5	115	0.001	0.003	0.0019
148		US-5	LEECH LAKE DAM	72755.3	120	1887	2006	4	116	0.017	0.02	0.003
149		US-6	FORT MYERS FAA AP	74796.1	116	1891	2006	5	111	0.012	0.006	-0.0058
150		US-6	TARPON SPRINGS SEWAGE PLANT	72211.1	123	1884	2006	6	117	0.008	0.01	0.0021
151		US-6	BURKES GARDEN	72412.1	111	1896	2006	3	108	-0.001	-0	-0.001
152		US-6	LITTLE MOUNTAIN	72310.3	114	1893	2006	2	112	-0.005	0.003	0.0079
153		US-6	GAINESVILLE LOCK	72234.5	114	1893	2006	5	109	-0.006	0.004	0.0097
154		US-6	PLAIN DEALING	72248.2	108	1892	1999	4	104	-0.013	0.004	0.0171
155		US-6	DOVER 1W	74671.1	109	1898	2006	6	103	-0.012	-0	0.0098
156		US-6	SUBIACO	72349.1	110	1897	2006	3	107	-0.006	-0	0.0026
157		US-7	LOUISBURG	72306.5	116	1891	2006	6	110	-0.01	0.008	0.018
158		US-7	MARTINSBURG FAA AIRPORT	72403.4	116	1891	2006	3	113	0.006	0.012	0.0059
159		US-7	ALBANY/ALBANY	72518	172	1835	2006	7	165	-0.001	0.002	0.0029
160		US-7	FARMINGTON	72618.1	118	1889	2006	3	115	-0.012	0.011	0.0221
161		US-AL	NOME	70200	106	1906	2011	3	103	0.011	0.011	-0.0004
162		US-PO	HILO/GEN. LYM	91285	107	1905	2011	1	106	0.011	0.002	-0.0091
163		US-PO	HONOLULU, OAH	91182	129	1883	2011	1	128	0.019	-0	-0.021
164	OCEANIA	AU	ADELAIDE AIRP	94672	155	1857	2011	2	153	-0.007	-0	0.0045
165		AU	MELBOURNE	94868	138	1855	1992	1	137	0.007	-0	-0.0084
166		AU	SYDNEY	94768	134	1859	1992	0	134	0.009	0.002	-0.0076
167		AU	ALICE SPRINGS	94326	133	1879	2011	1	132	0.002	4E-04	-0.002
168		AU	DARWIN AIRPOR	94120	130	1882	2011	3	127	-0.007	0.017	0.0243
169		AU	DENILQUIN	94869	126	1867	1992	8	118	-0.005	-0.01	-0.0037
170		AU	BOURKE (POST)	94703	116	1877	1992	0	116	-0.009	0.004	0.0122

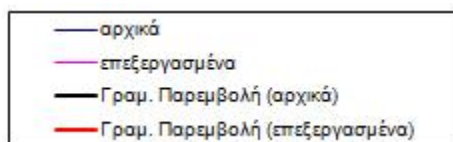
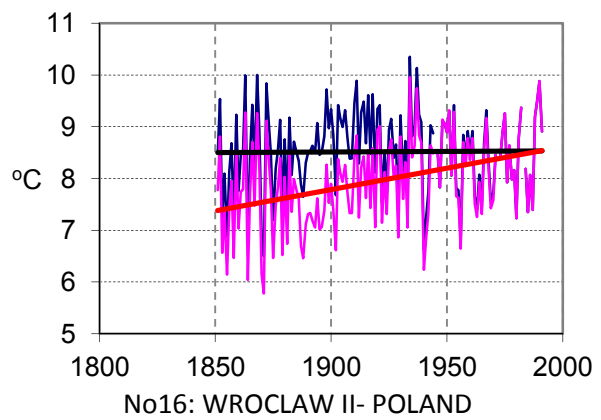
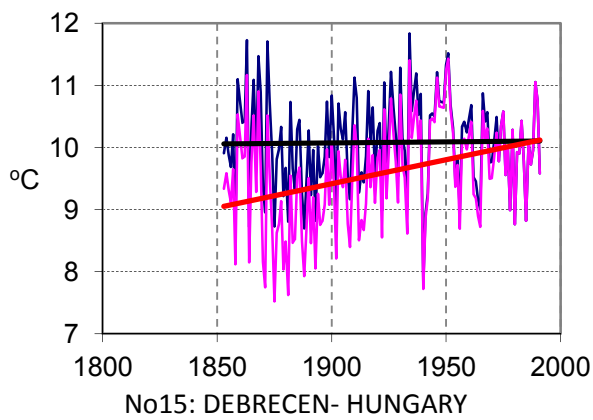
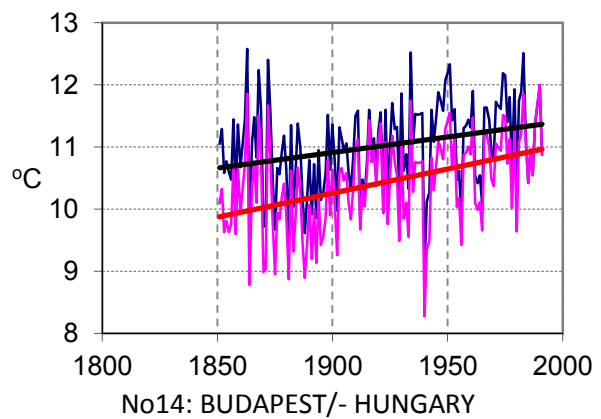
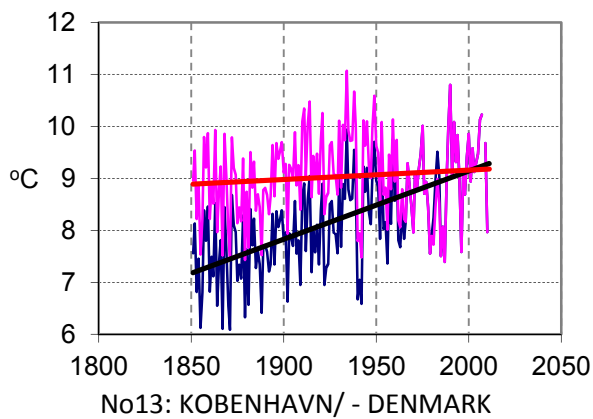
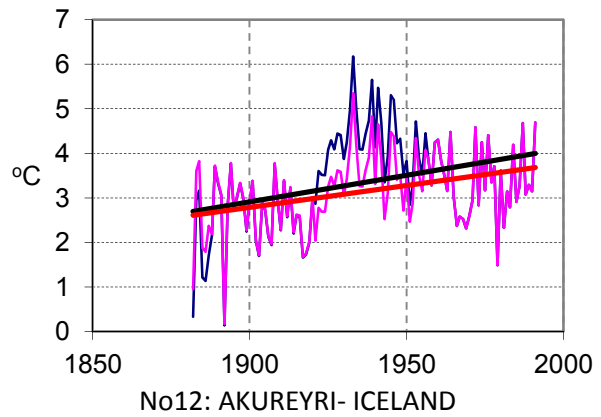
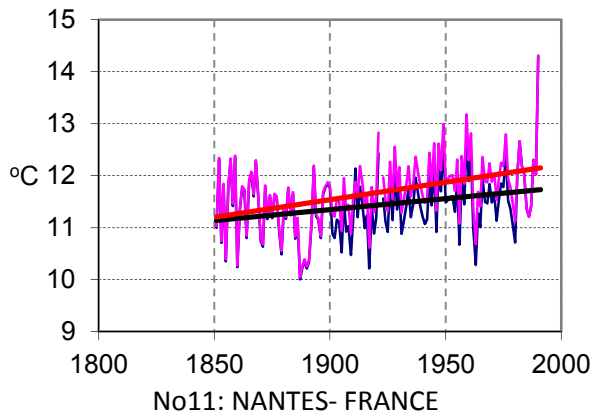
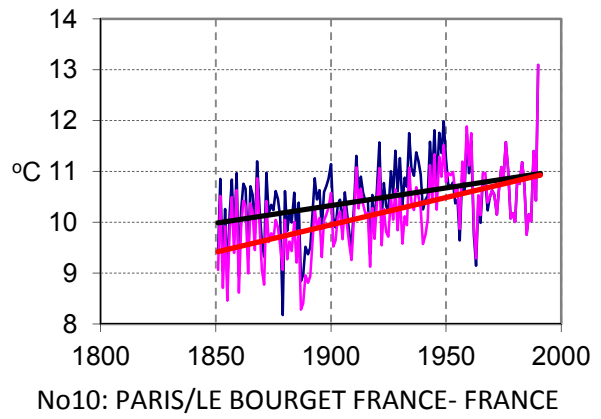
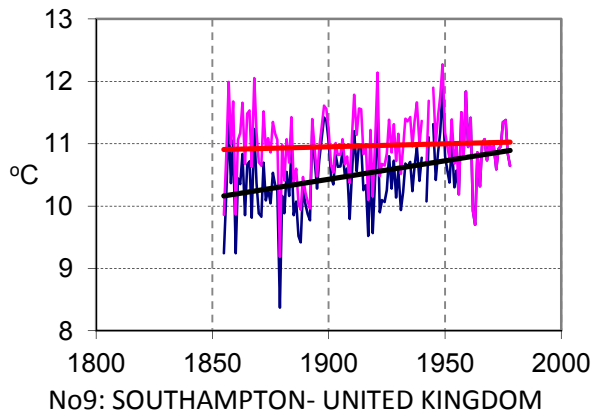
	Area	Country	Station Name	Station code	Years of data	From	To	Missing years	Non-missing years	Initial Slope	Adjusted Slope	Difference (Ad-In)
--	------	---------	--------------	--------------	---------------	------	----	---------------	-------------------	---------------	----------------	--------------------

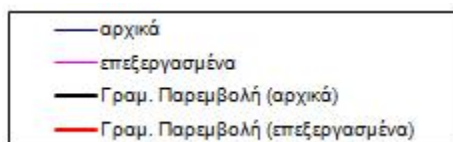
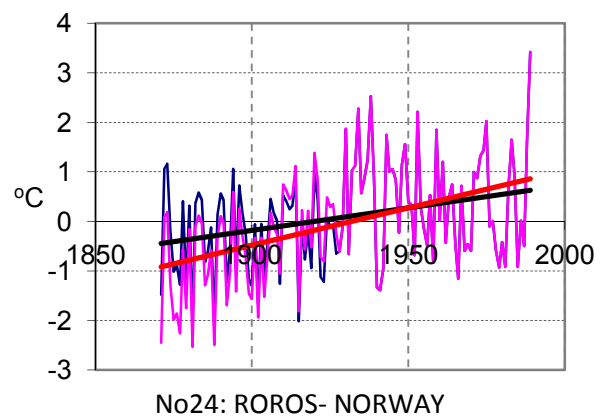
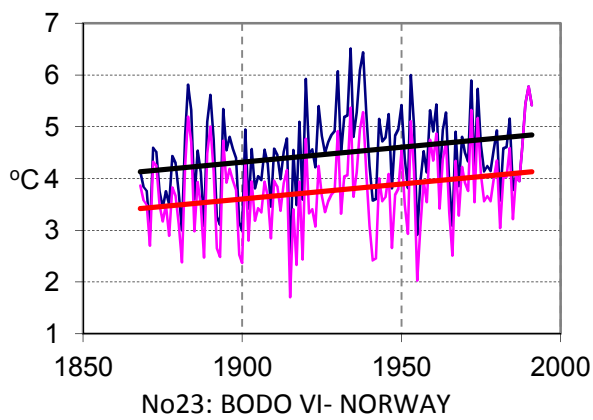
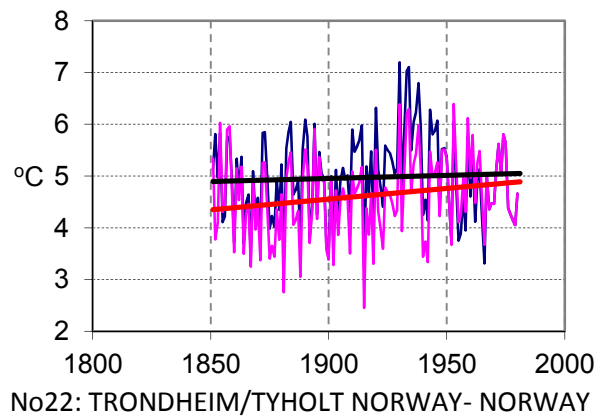
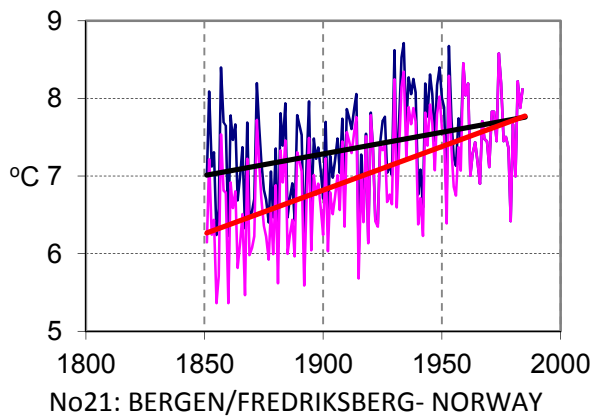
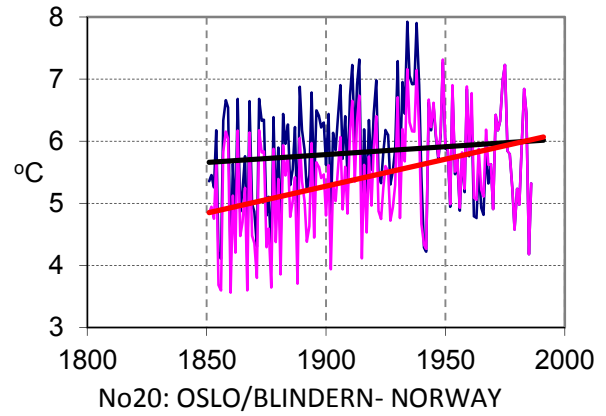
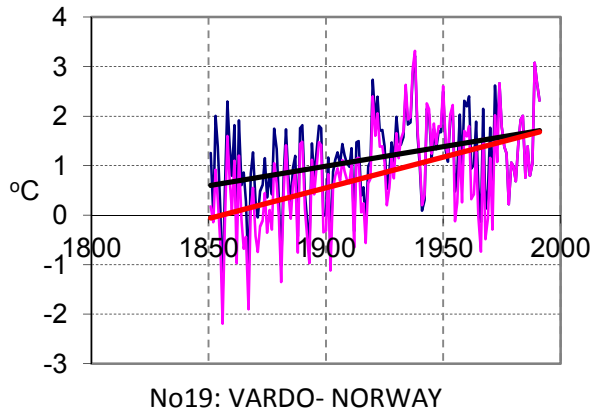
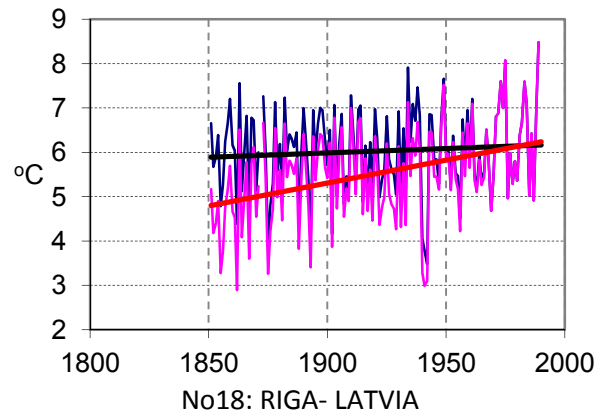
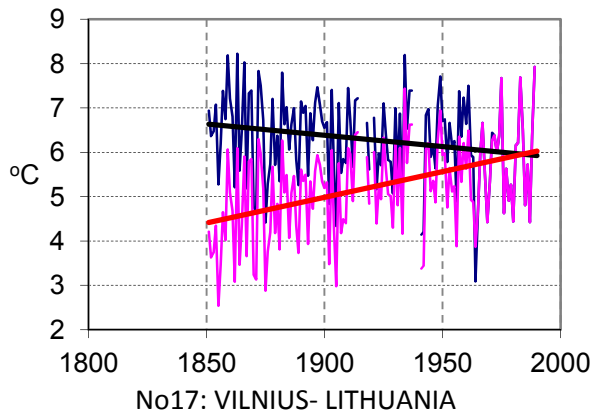
171		AU	DUBBO	94719	121	1872	1992	0	121	-0.004	-0	0.0026
172		AU	WALGETT POST OFFICE	95715.1	115	1878	1992	2	113	-2E-04	0.004	0.0039
173		AU	COONABARABRAN	94728	114	1879	1992	2	112	0.004	-0.02	-0.0238
174		AU	OMEQ	94911	114	1879	1992	7	107	-0.008	0.003	0.011
175		AU	HAY MILLER ST	94698	112	1881	1992	0	112	-0.002	-0.01	-0.0072
176		AU	ECHUCA	94861	112	1881	1992	1	111	-0.006	-0.01	-0.0016
177		AU	HOBART REGIONAL OFFICE	94970.1	111	1882	1992	2	109	0.005	0.001	-0.0032
178		AU	CAIRNS AIRPOR	94287	105	1907	2011	2	103	0.002	0.001	-0.0013
179		NZ	AUCKLAND AIRP	93119	128	1864	1991	2	126	0.002	0.015	0.0131
180		NZ	WELLINGTON	93436.1	126	1864	1989	1	125	-0.005	0.003	0.0086
181		WS	APIA	91762	102	1890	1991	8	94	0.008	0.008	-0.0004

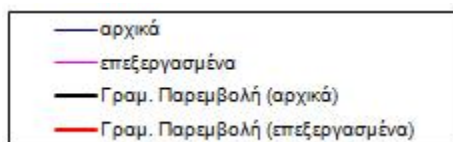
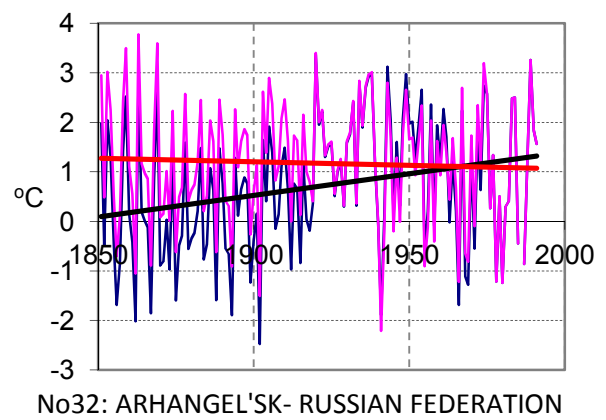
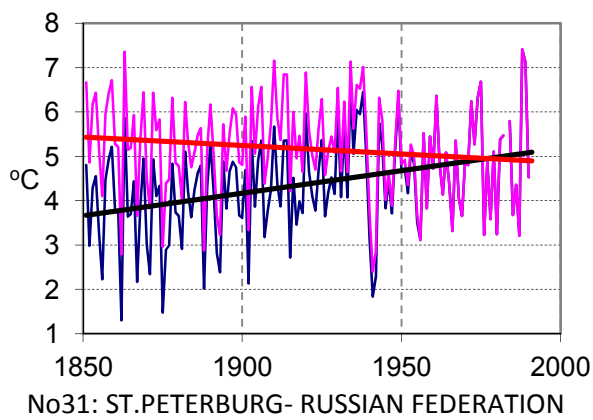
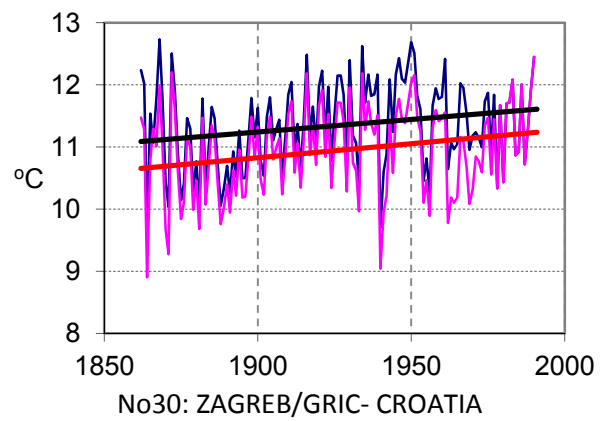
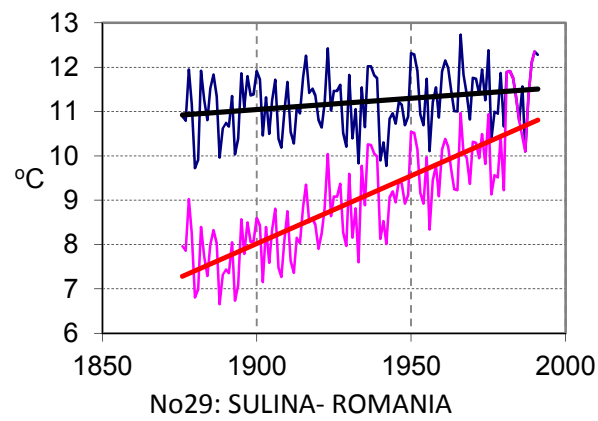
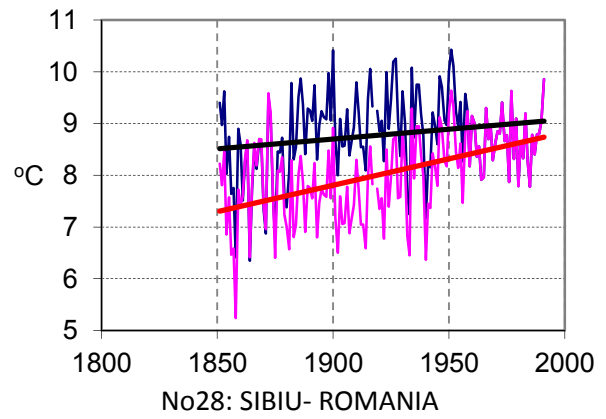
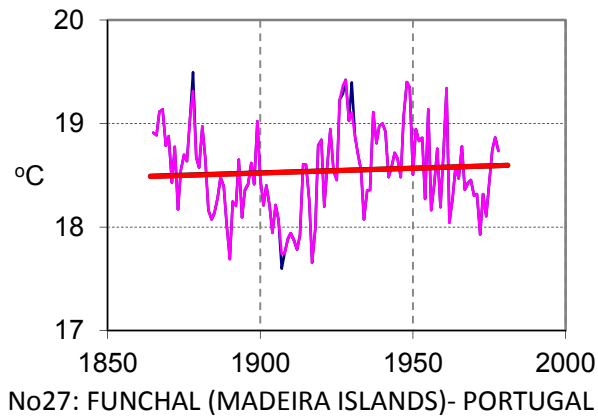
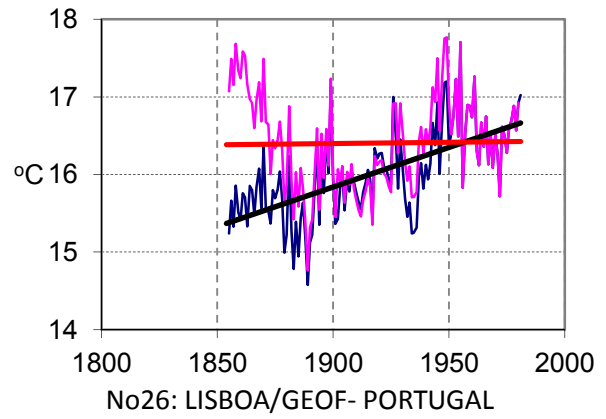
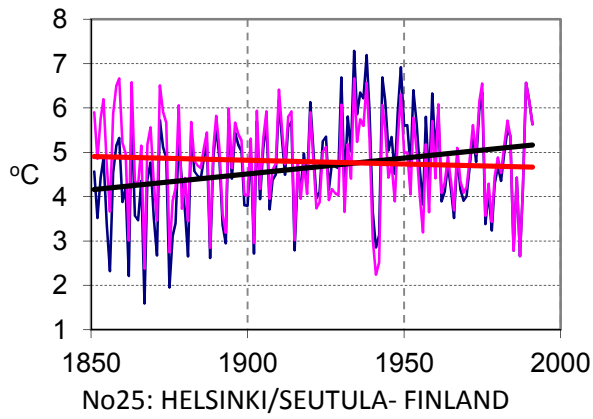
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

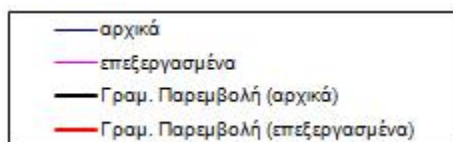
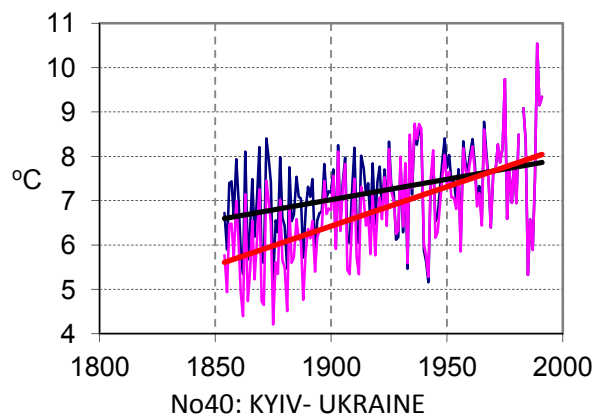
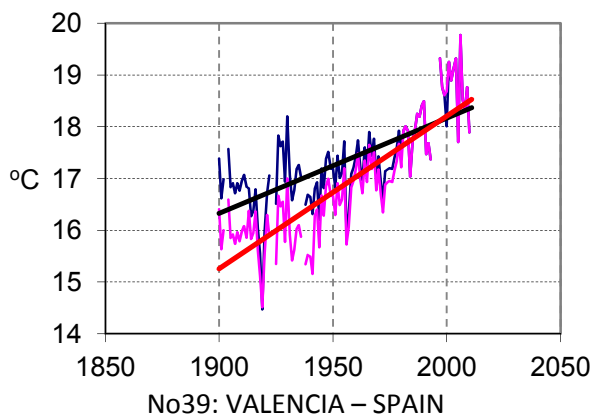
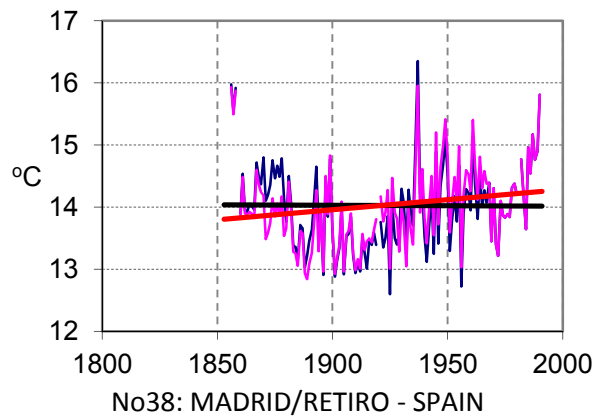
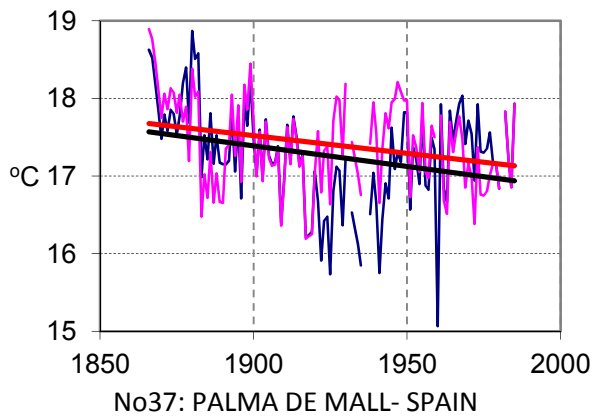
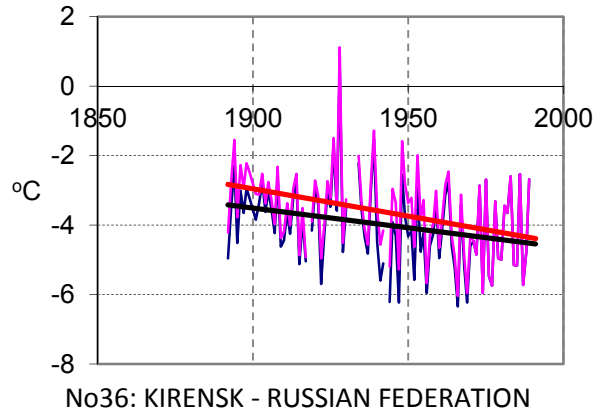
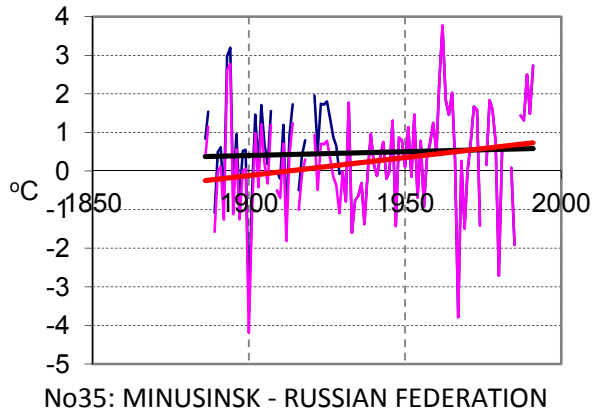
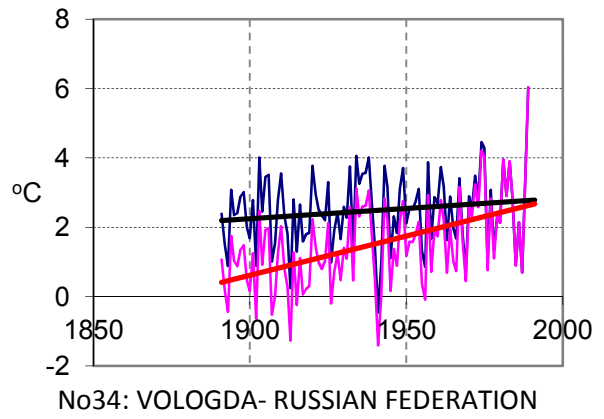
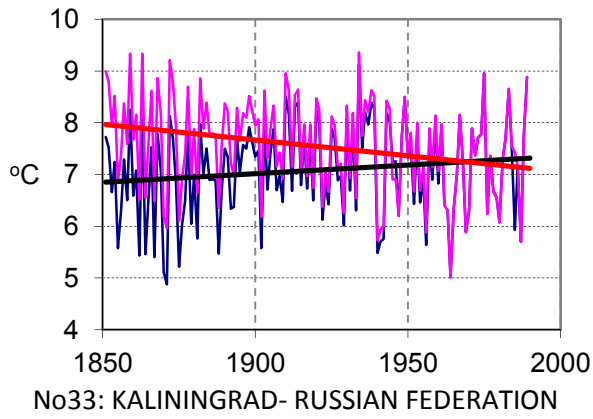
Το Παράρτημα Δ περιέχει διαγράμματα αρχικών και επεξεργασμένων δεδομένων και των γραμμικών τάσεων των δεδομένων αυτών για τους 181 σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική εργασία και προέκυψαν από τη βάση δεδομένων GHCN-Monthly Version 2 με χρήση του KNMI Climate Explorer,

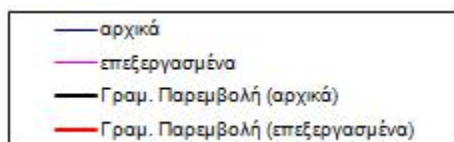
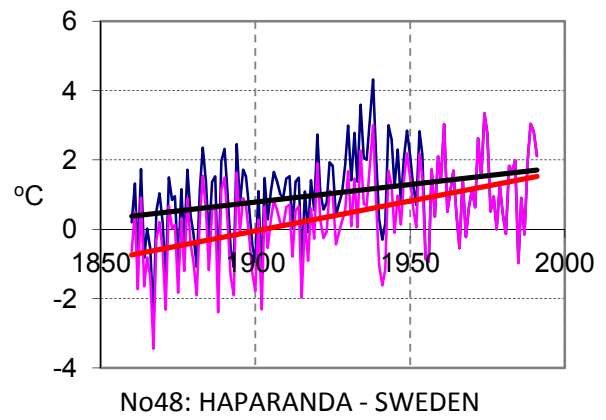
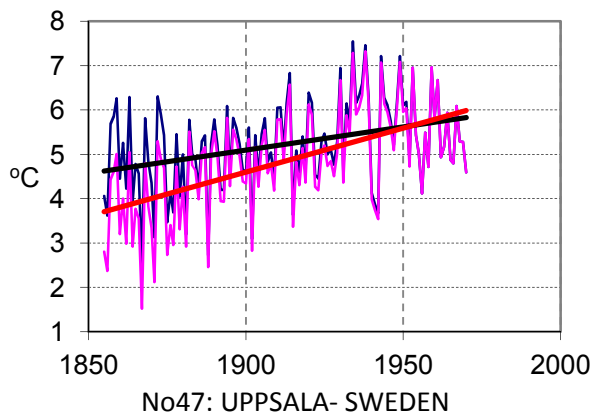
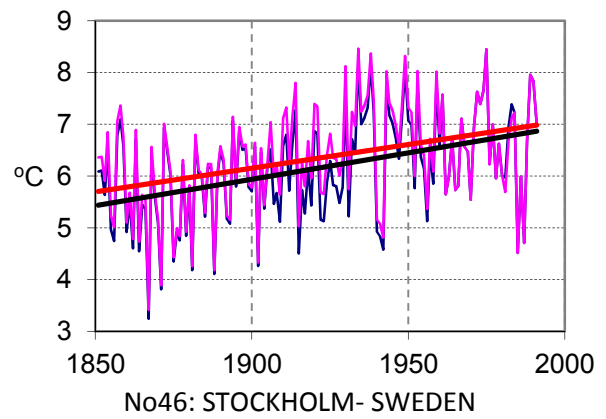
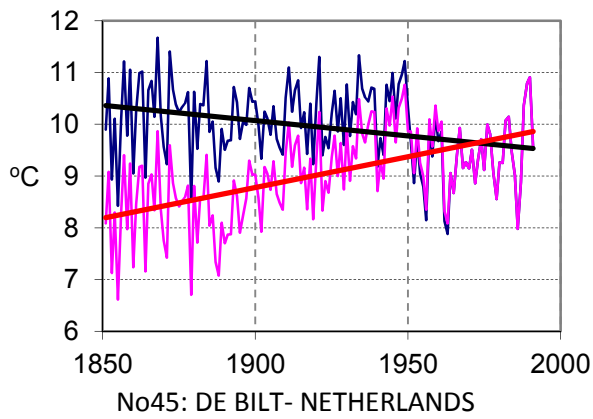
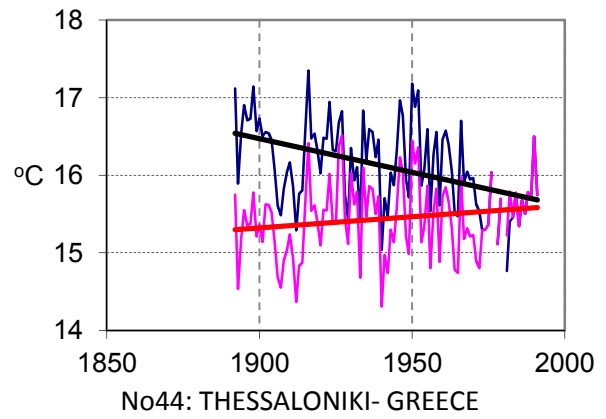
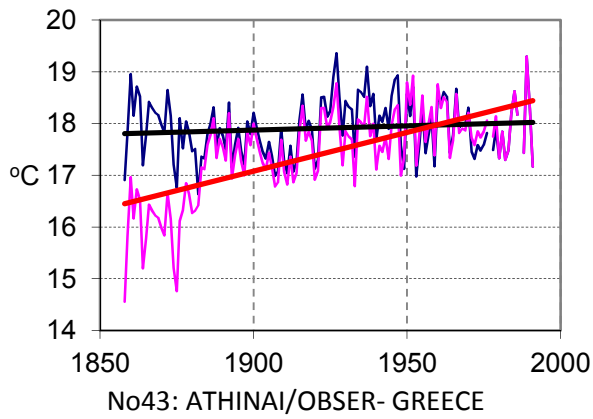
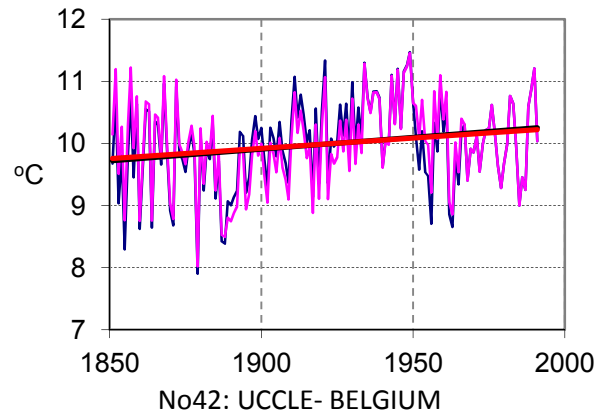
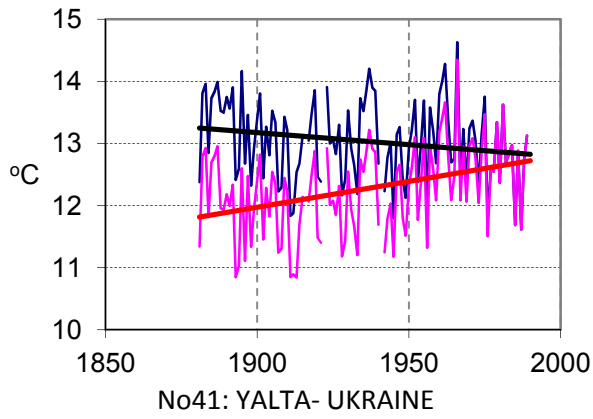


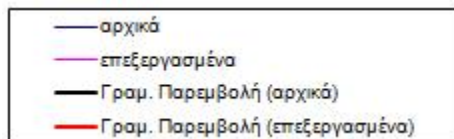
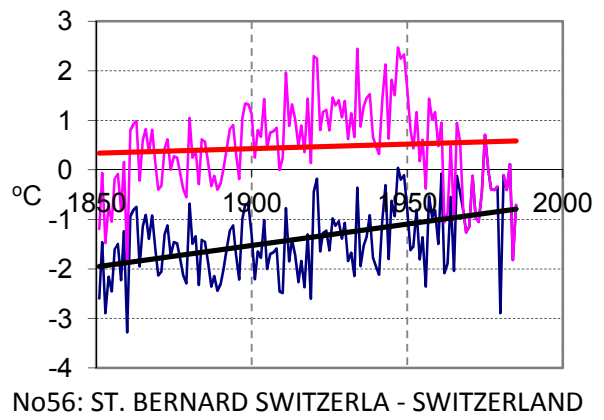
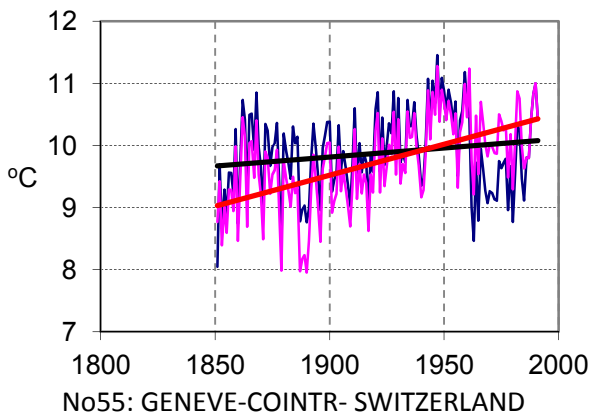
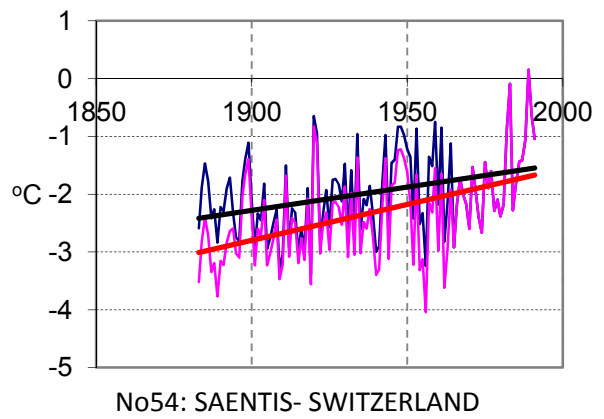
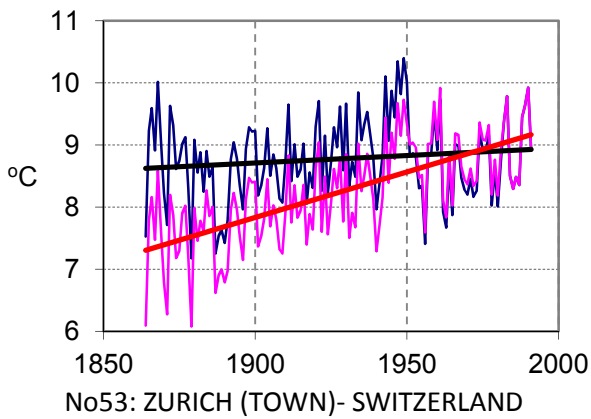
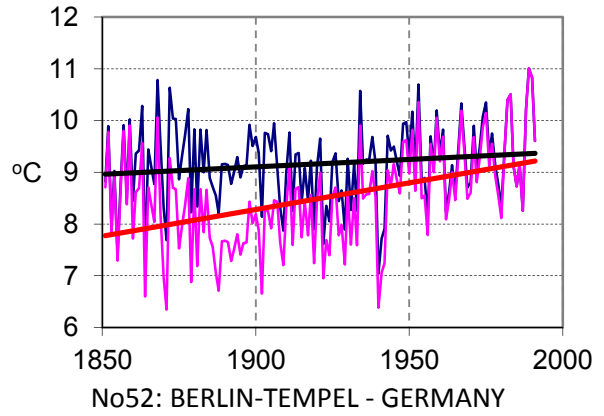
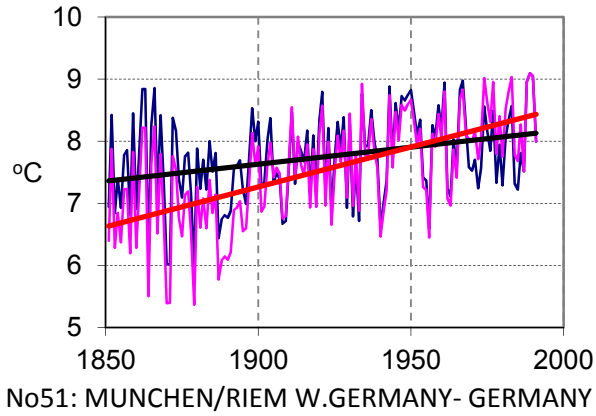
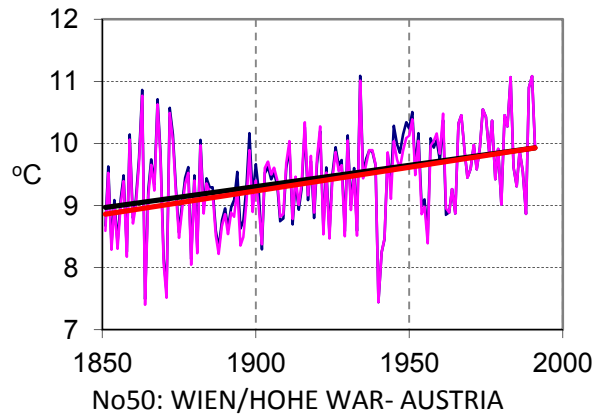
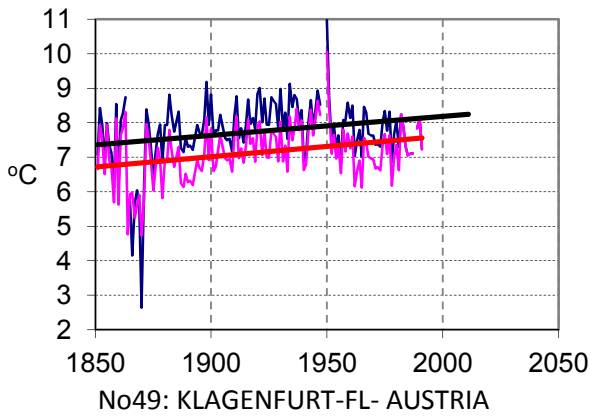


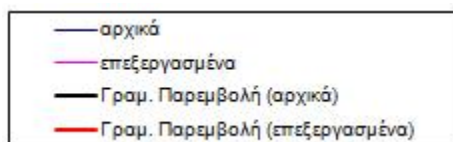
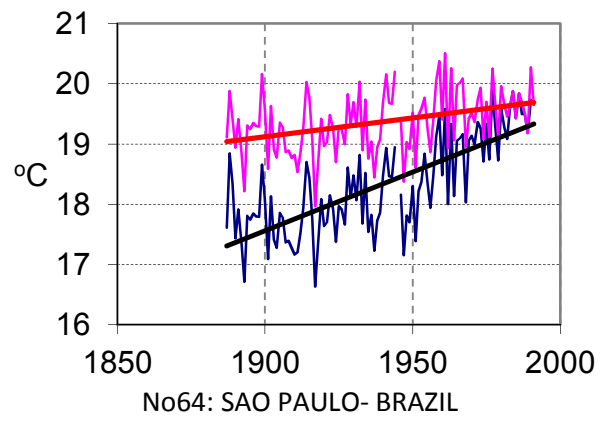
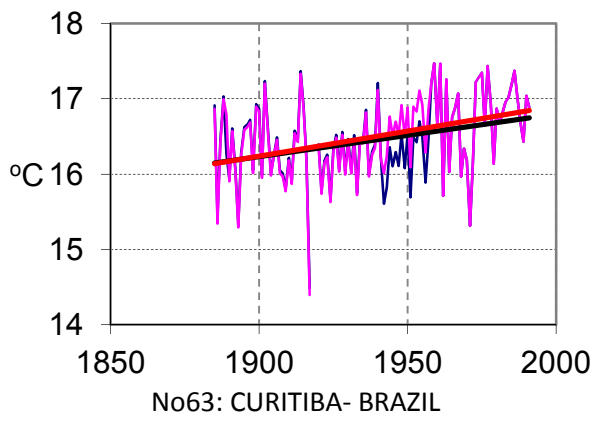
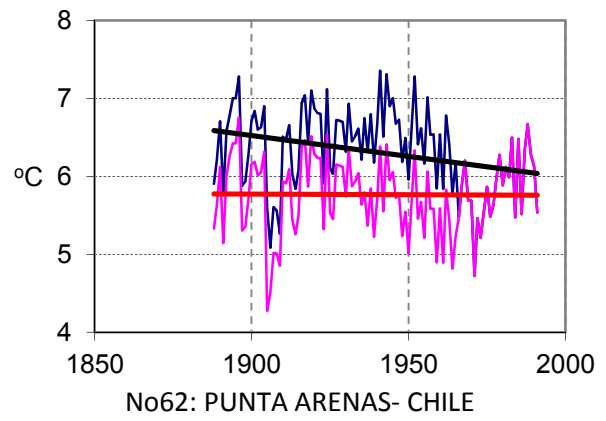
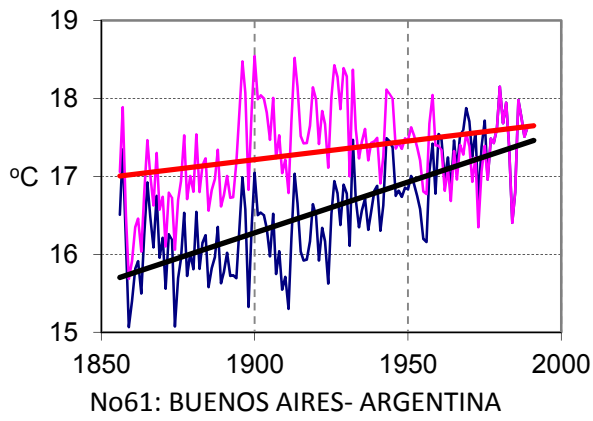
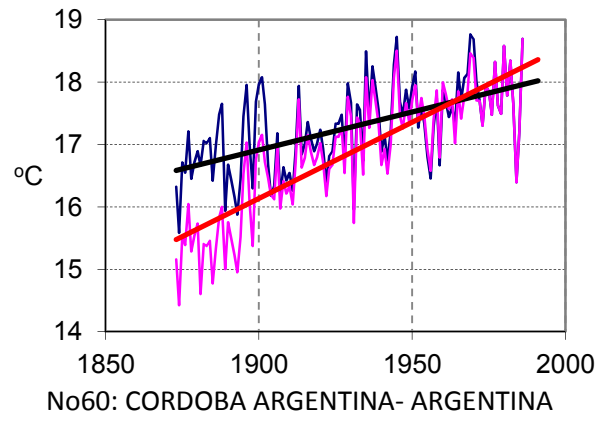
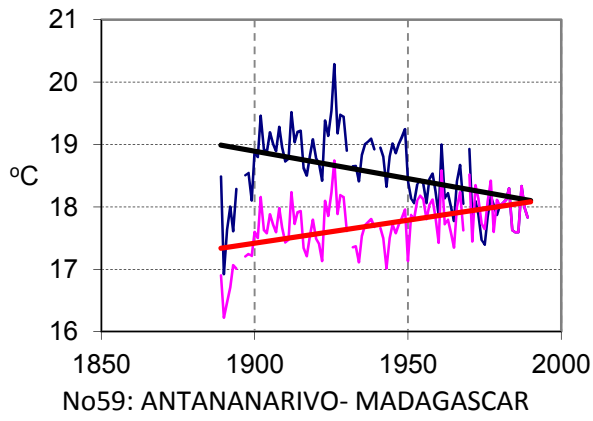
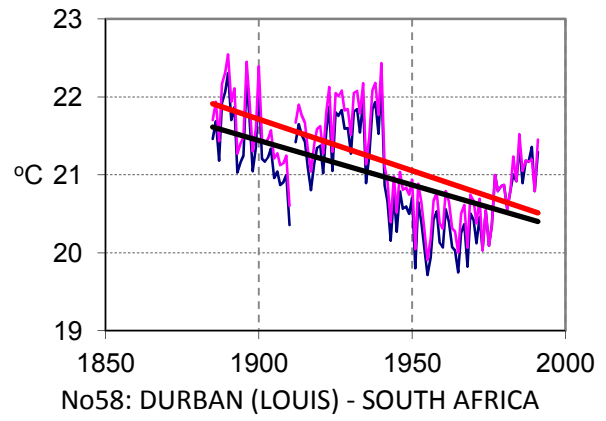
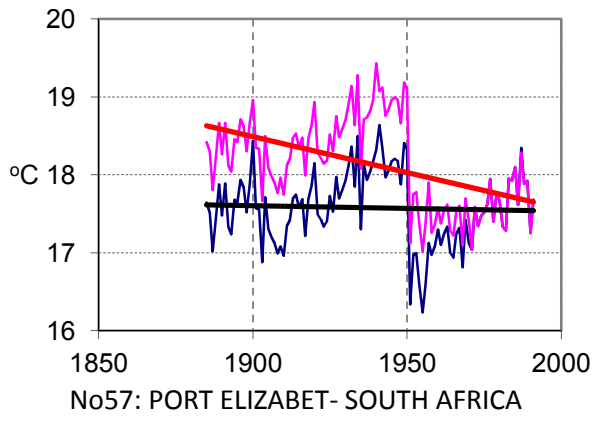


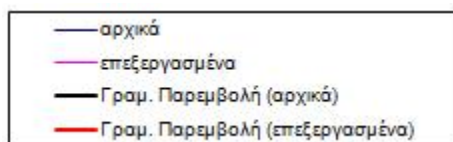
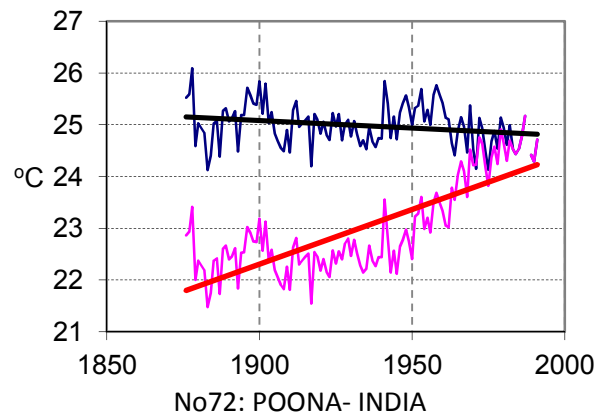
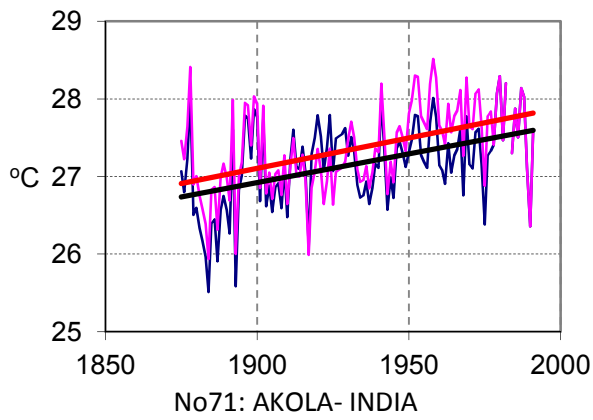
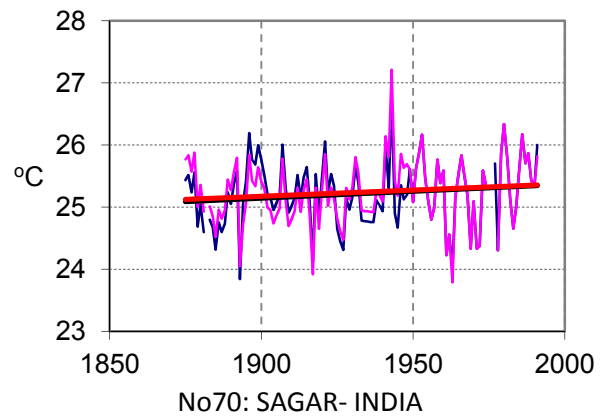
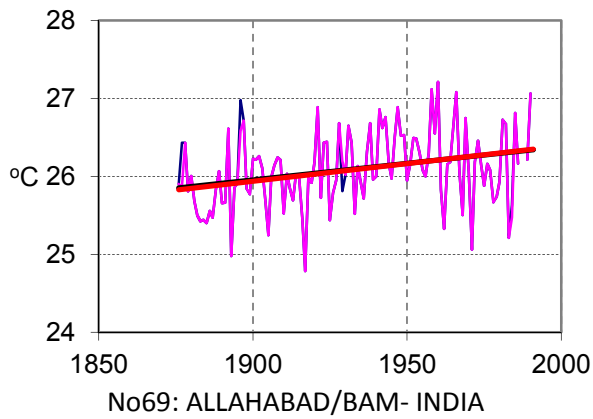
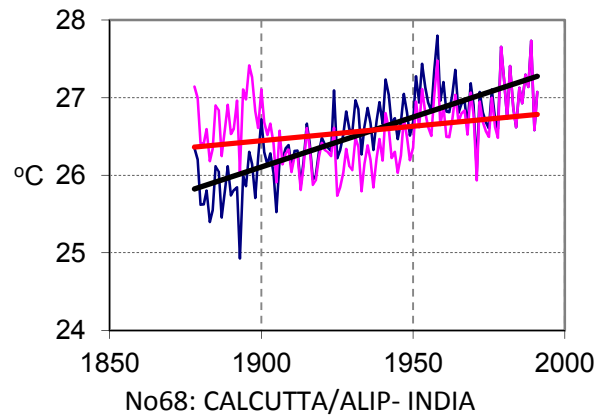
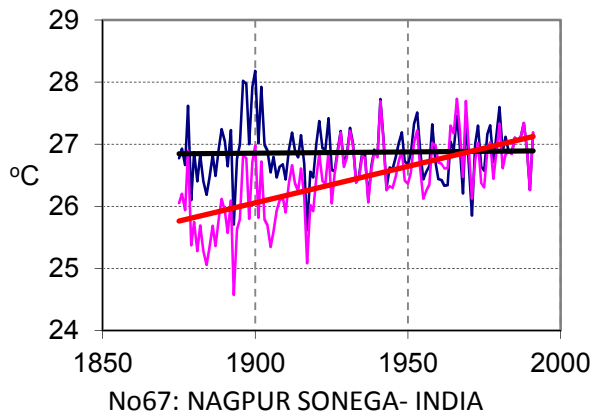
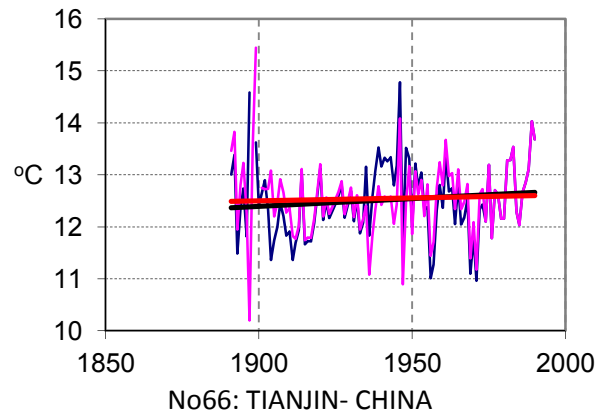
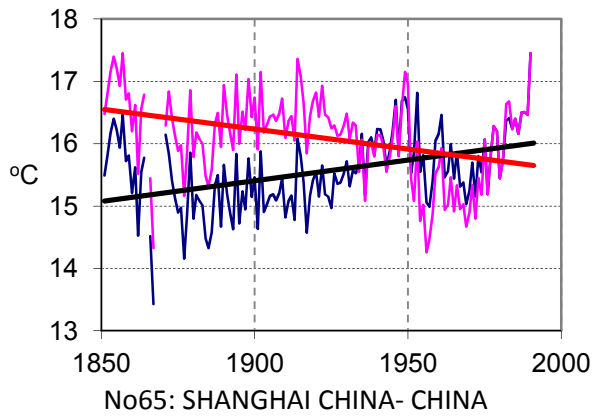


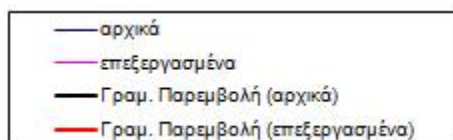
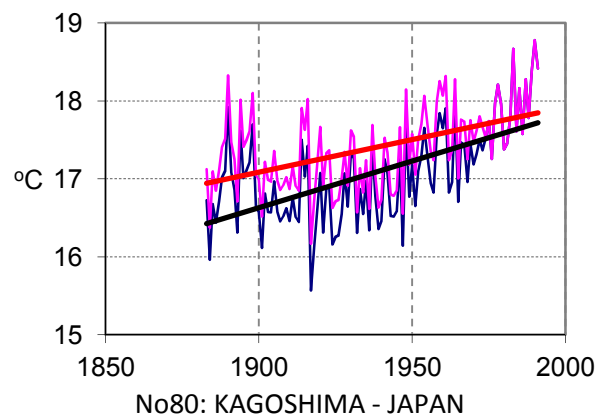
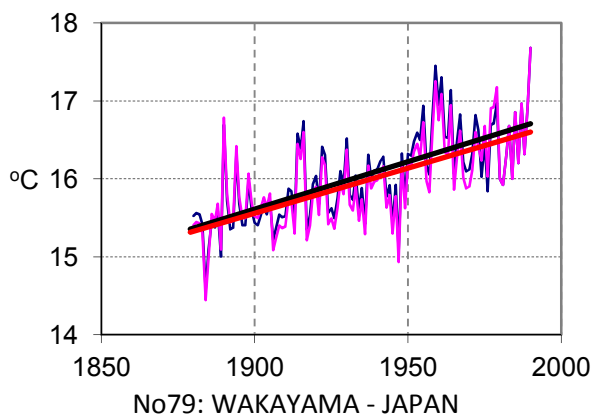
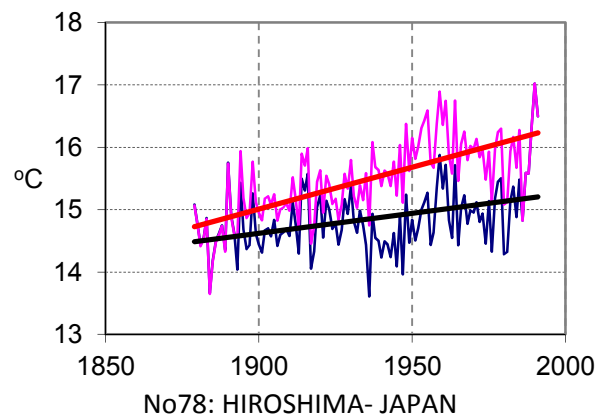
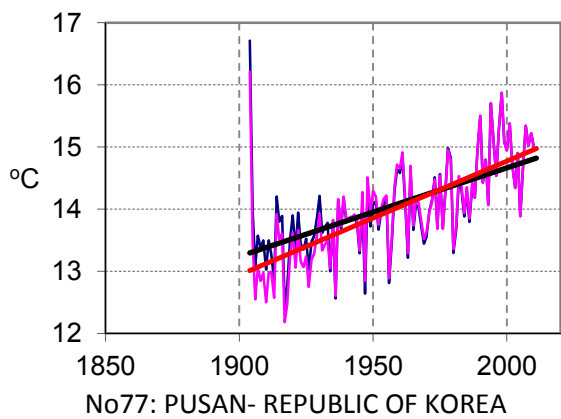
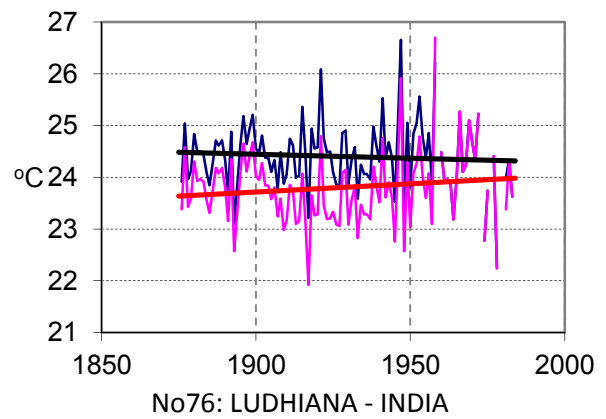
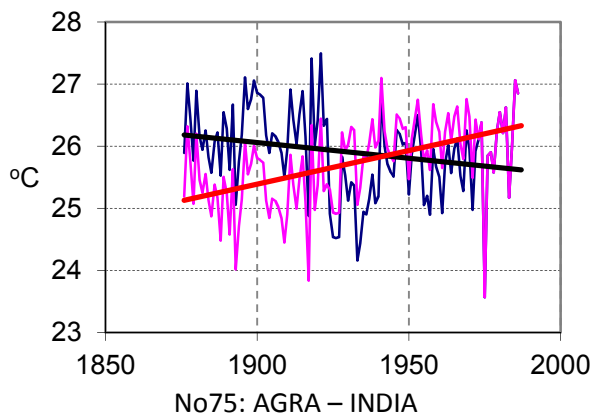
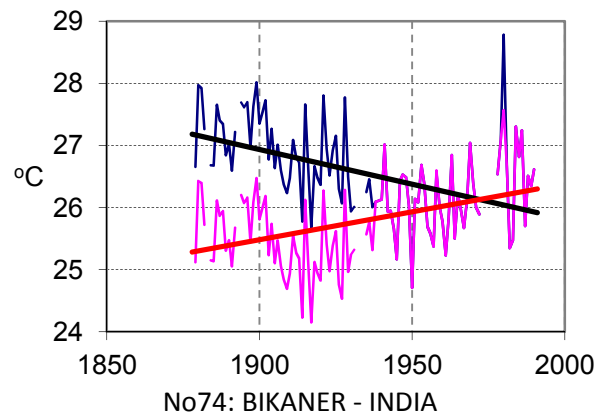
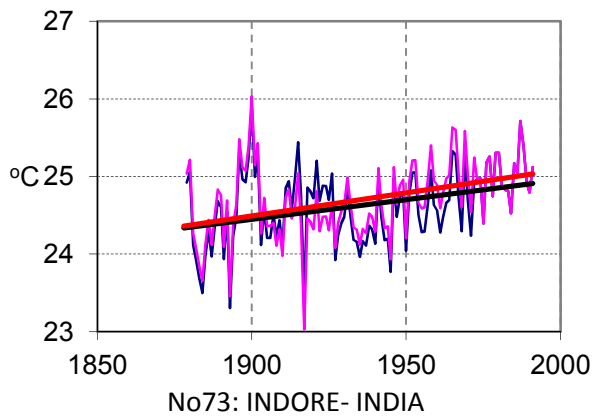


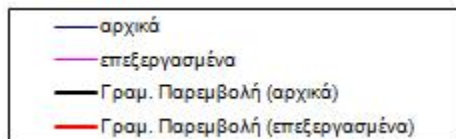
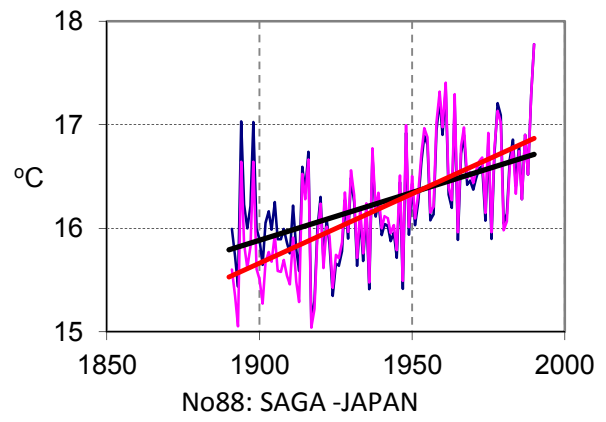
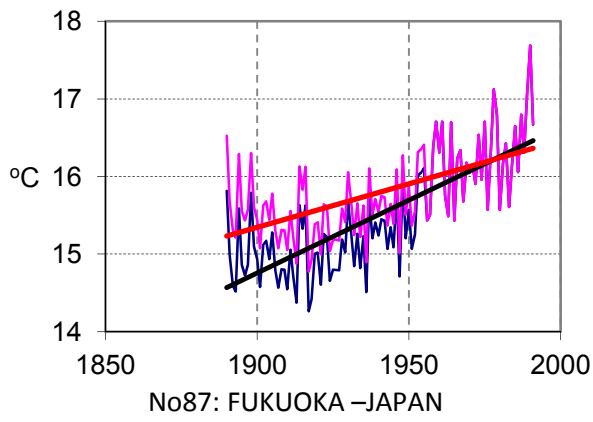
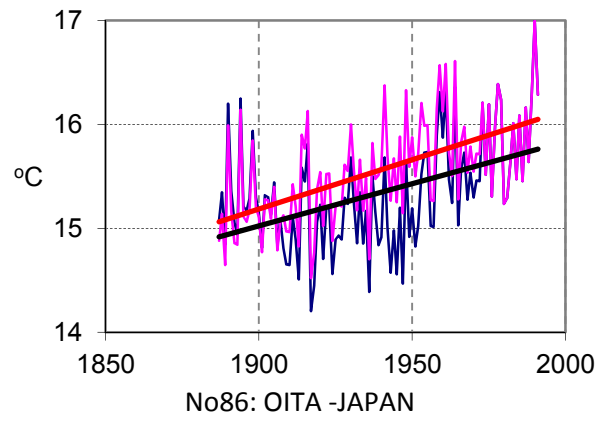
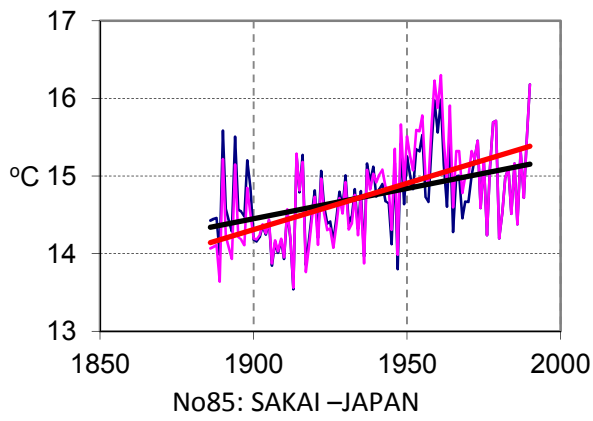
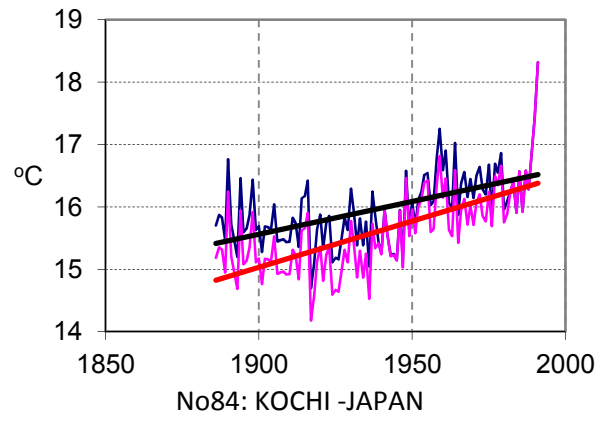
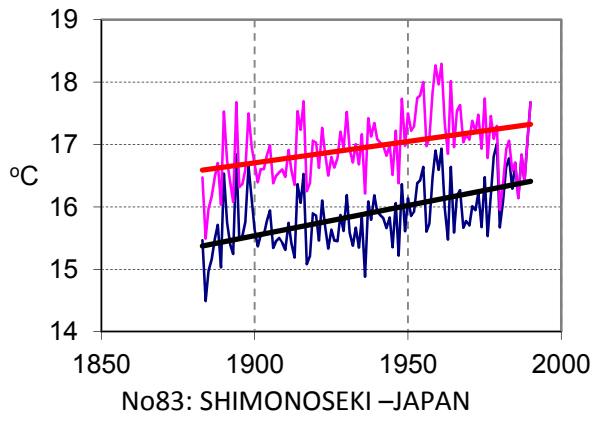
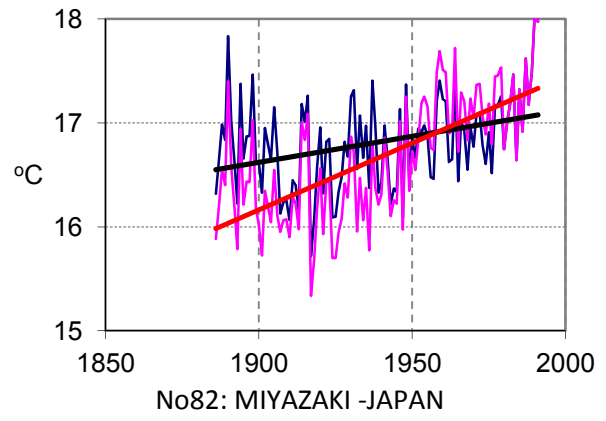
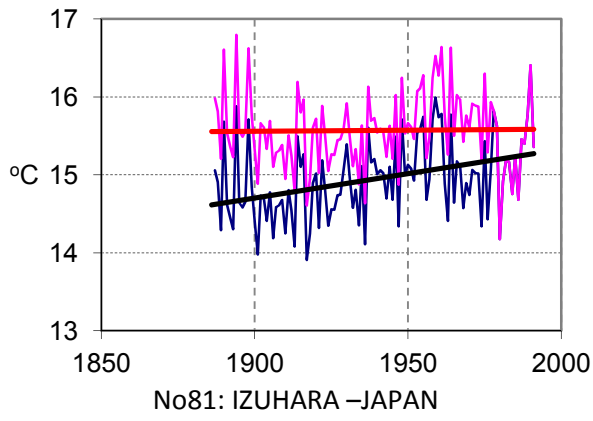


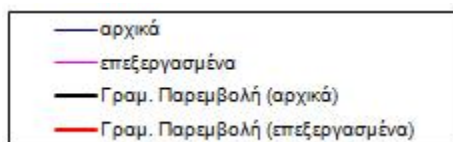
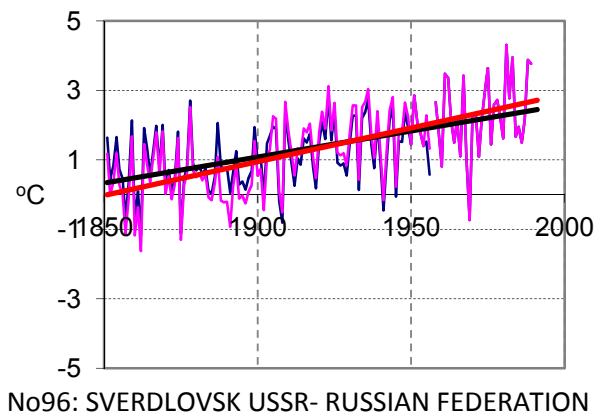
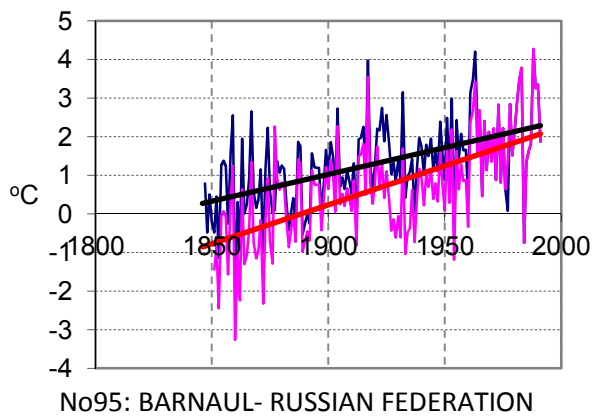
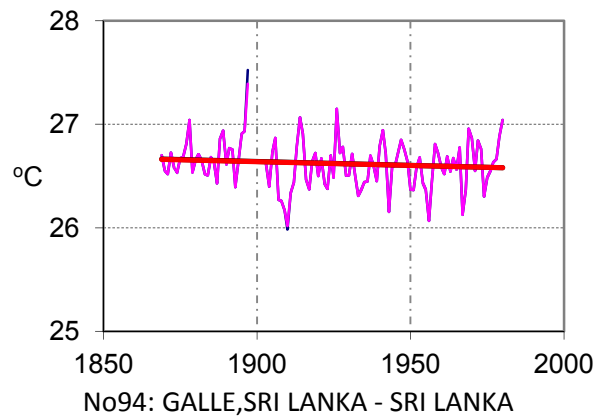
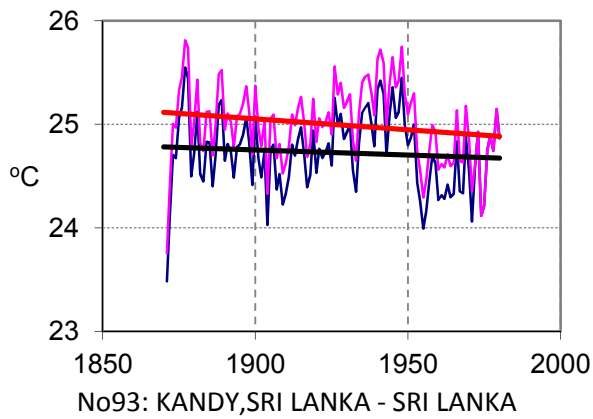
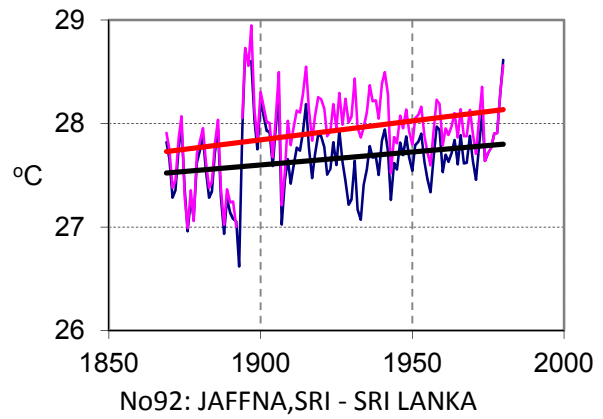
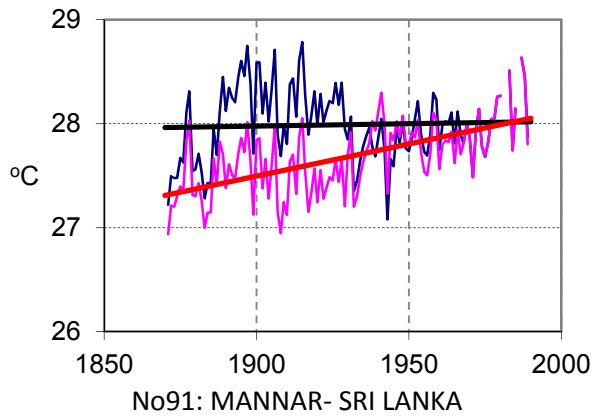
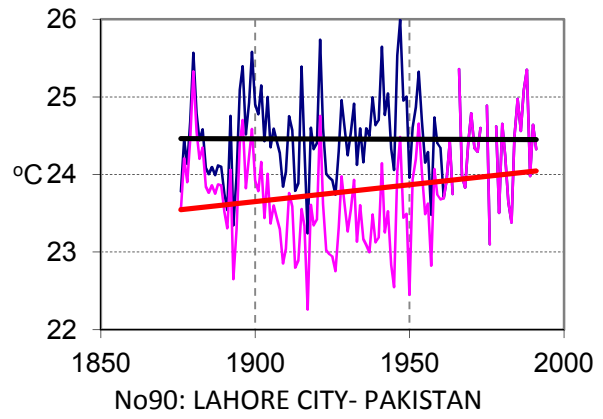
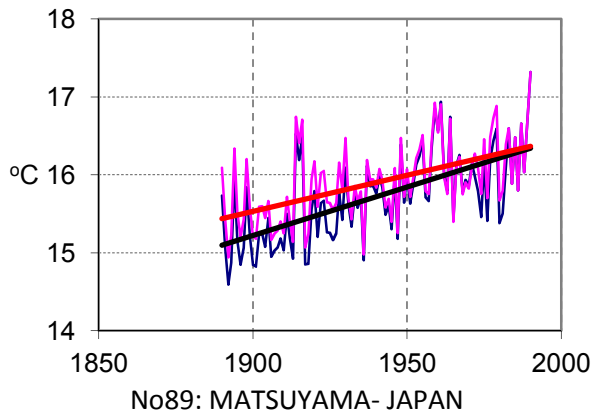


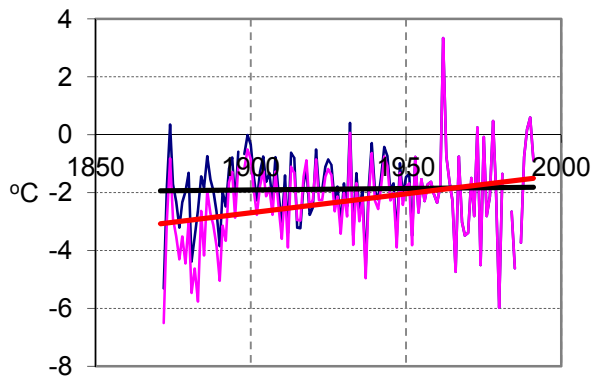




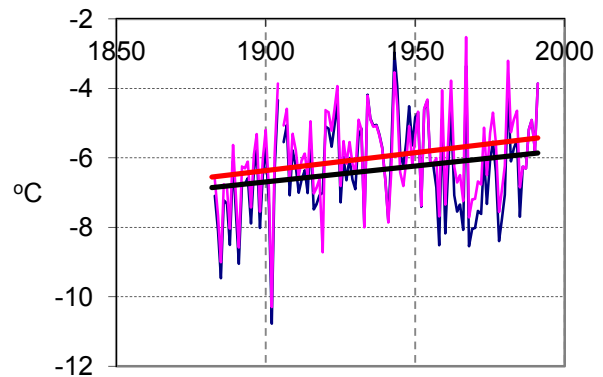




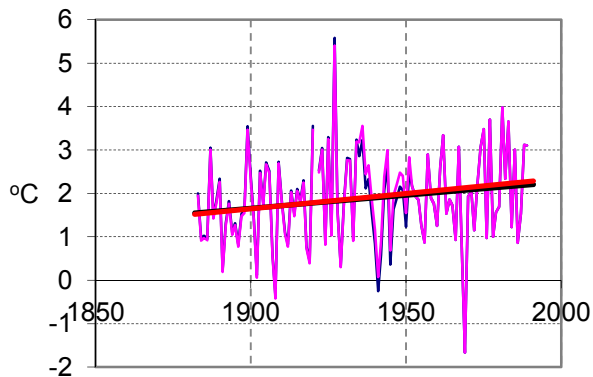




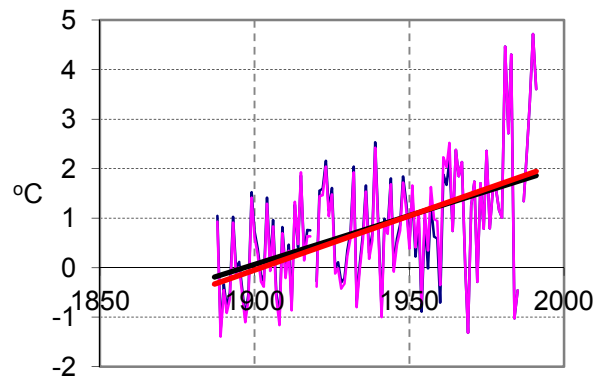
No97: ENISEJSK- RUSSIAN FEDERATION



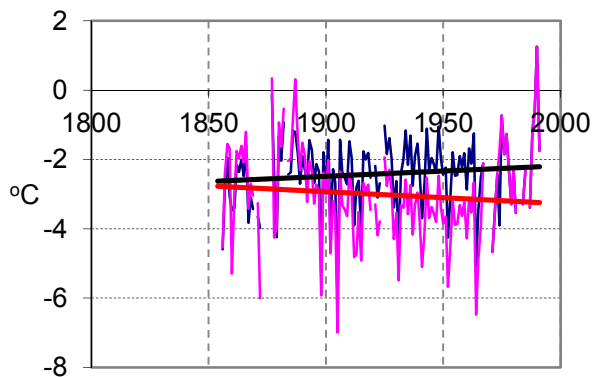
No98: SALEHARD - RUSSIAN FEDERATION



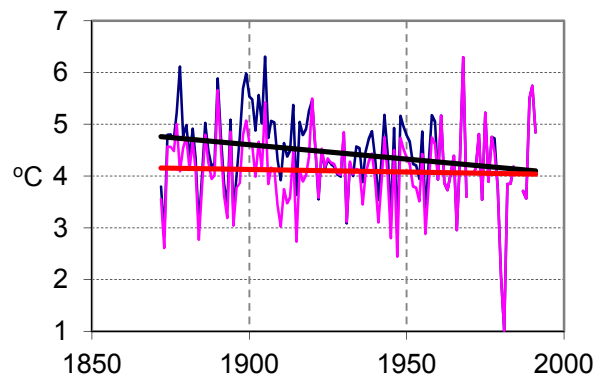
No99: PERM - RUSSIAN FEDERATION



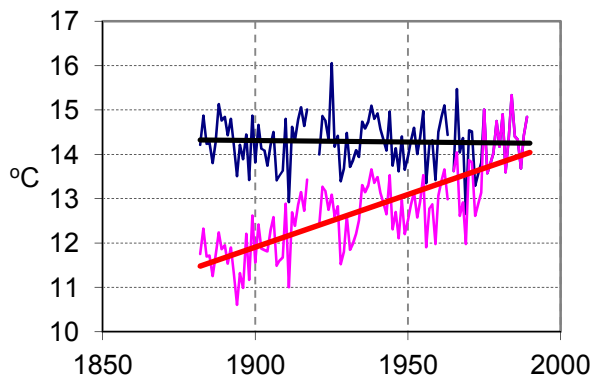
No100: OMSK - RUSSIAN FEDERATION



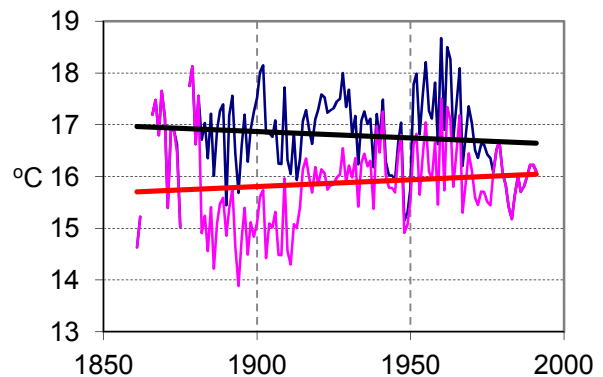
No101: NIKOLAEVSK-NA - RUSSIAN FEDERATION



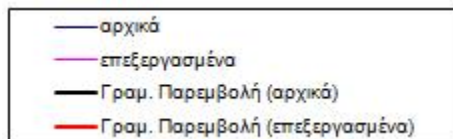
No102: VLADIVOSTOK - RUSSIAN FEDERATION

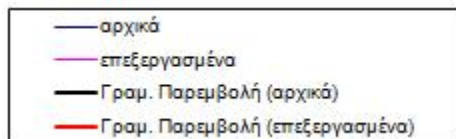
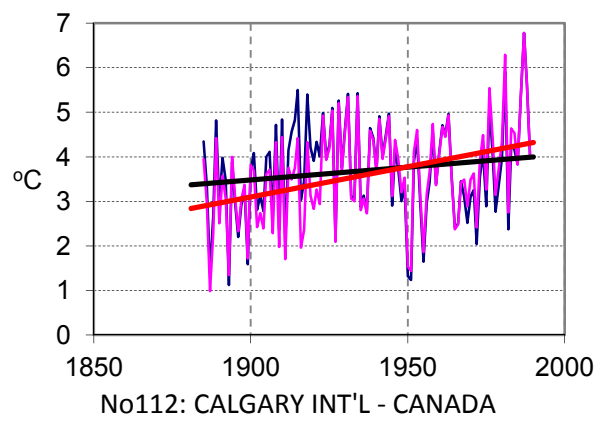
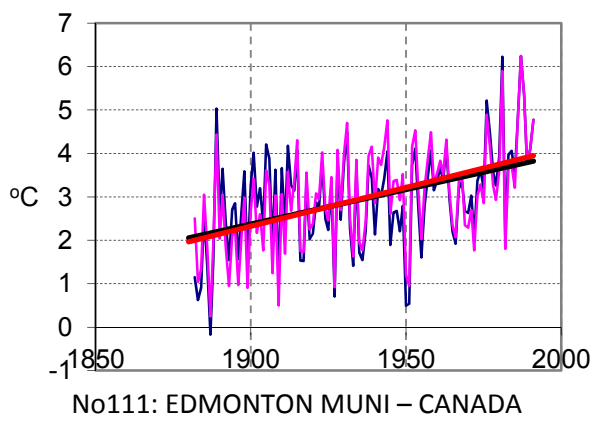
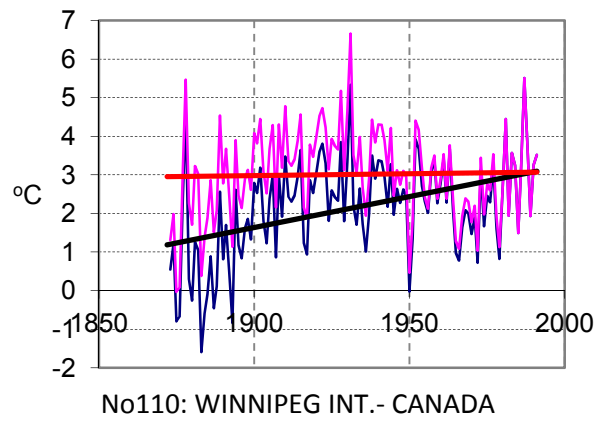
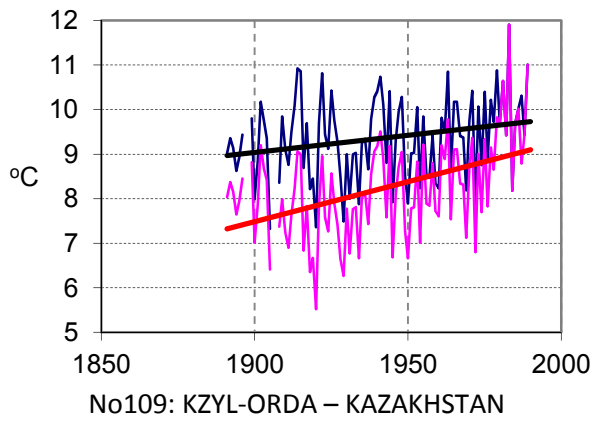
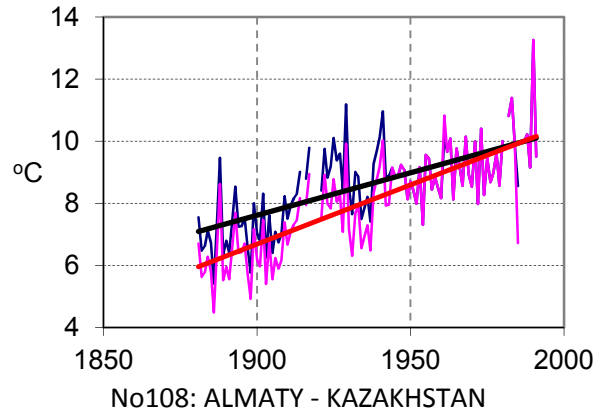
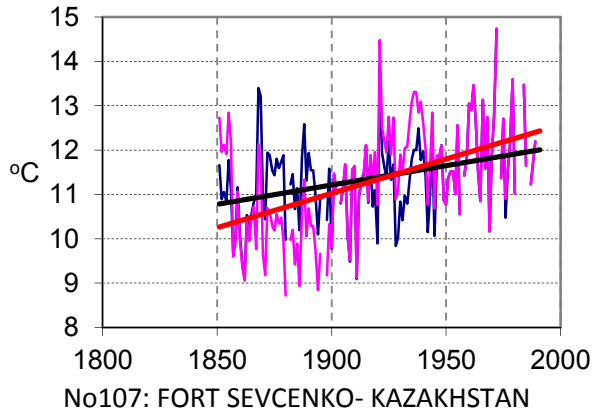
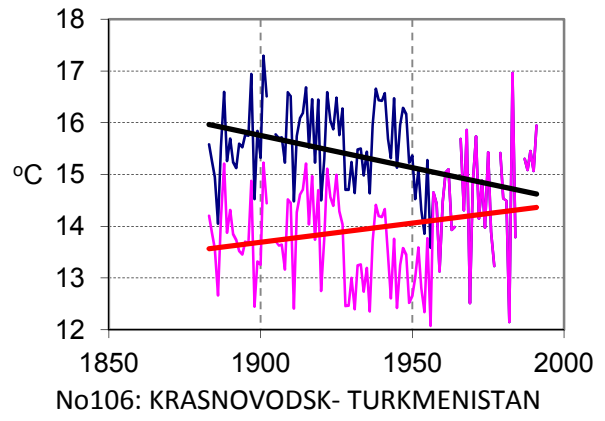
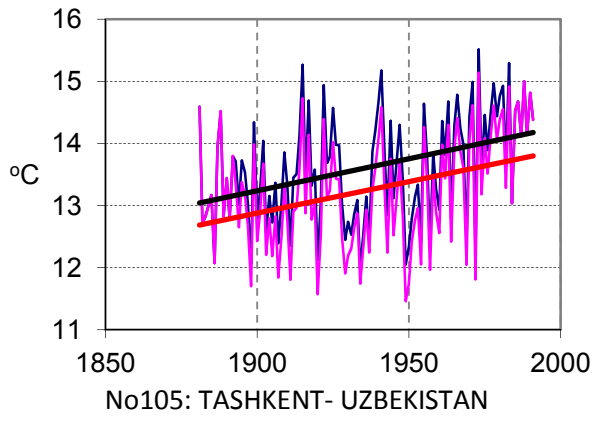


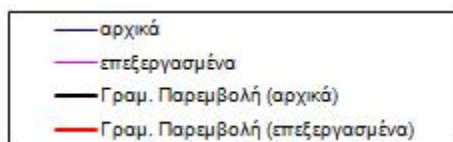
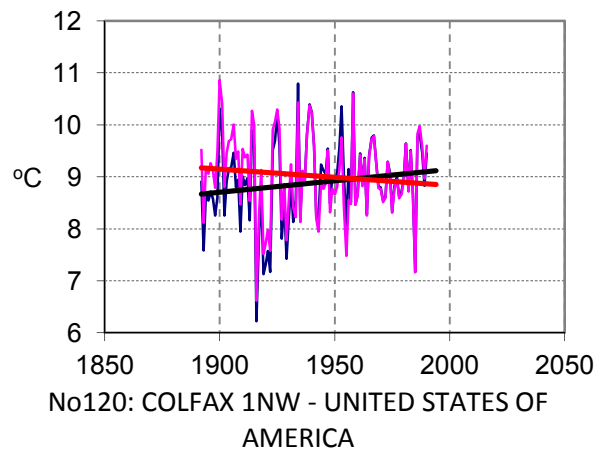
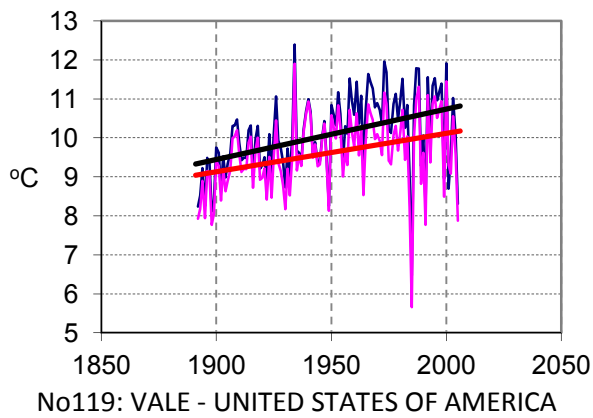
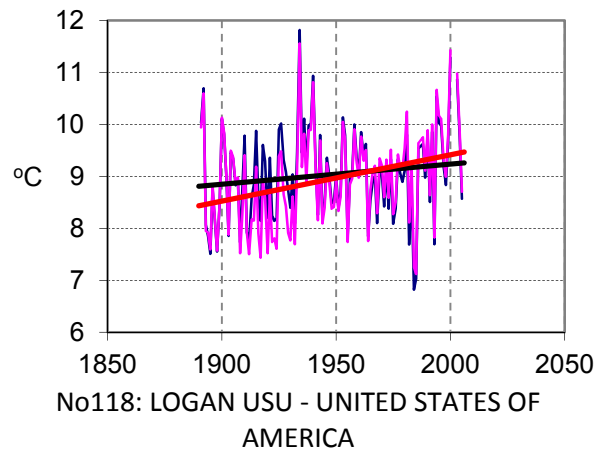
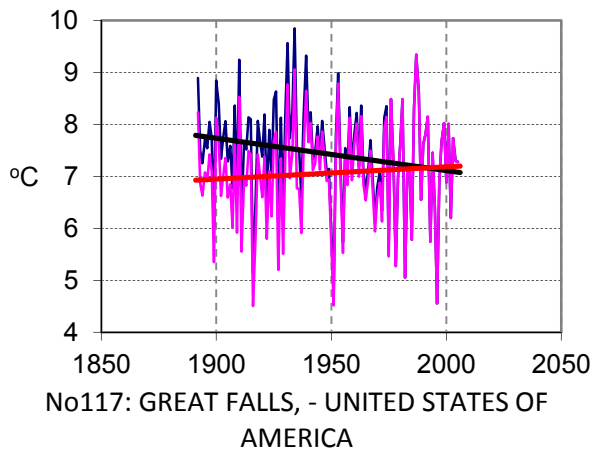
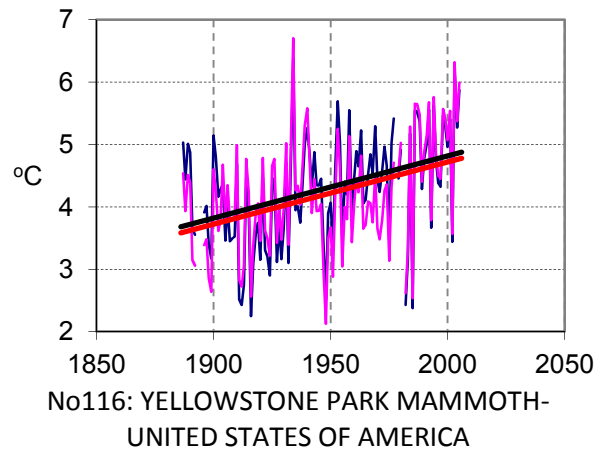
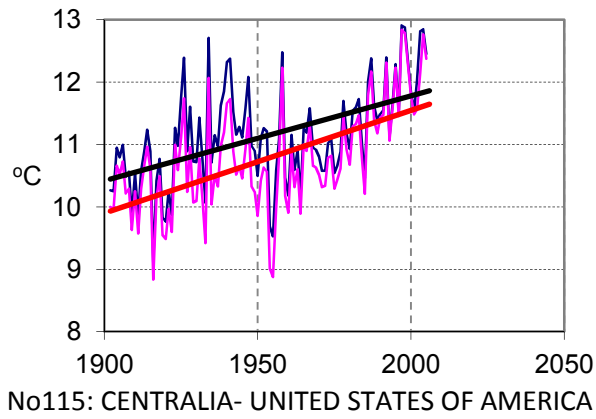
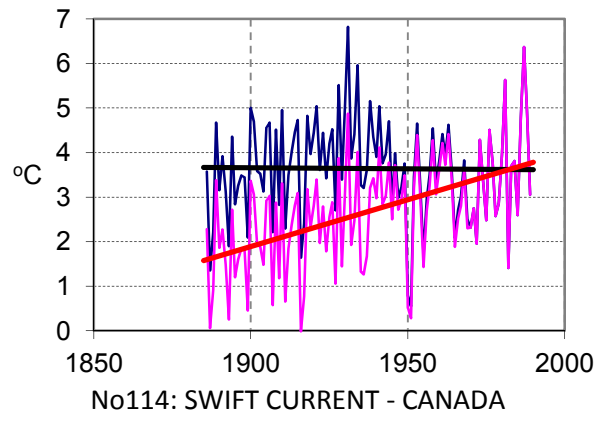
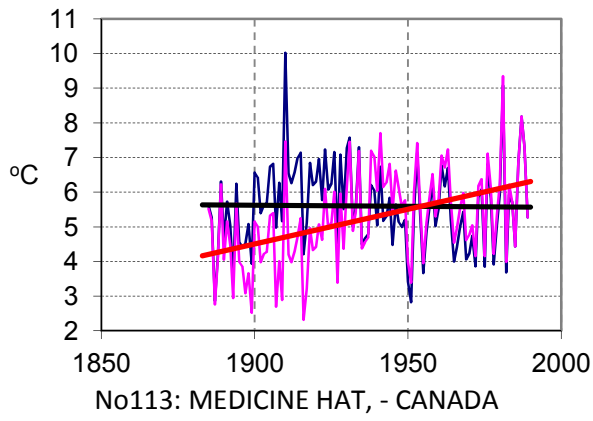
No103: LANKARAN- AZERBAIJAN

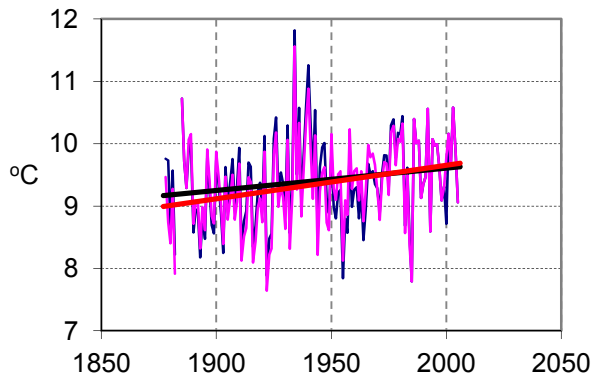


No104: JERUSALEM- ISRAEL

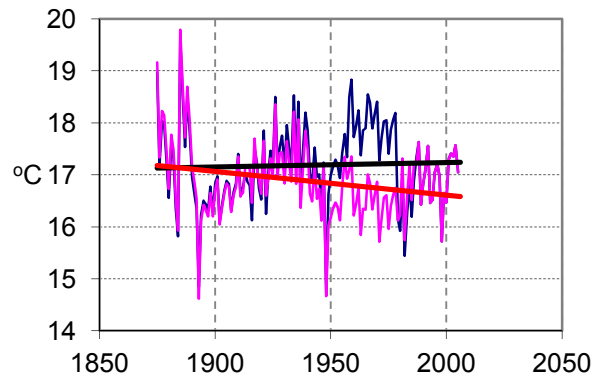




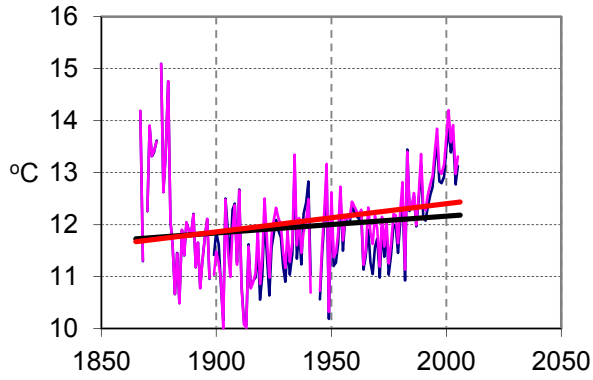




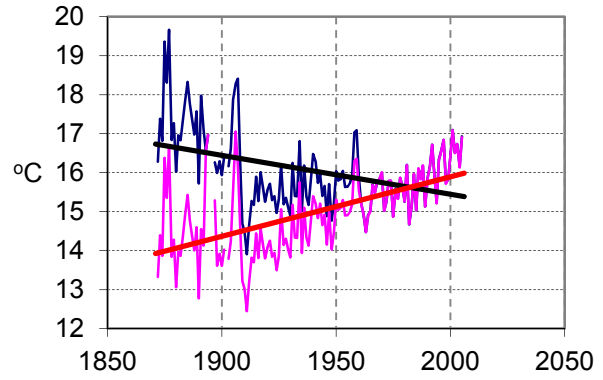
No121: WINNEMUCCA/MU - UNITED STATES OF AMERICA



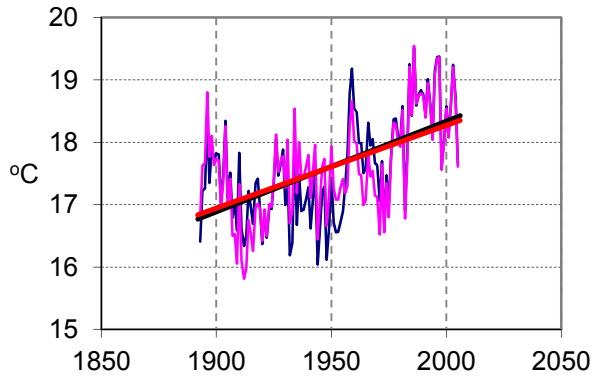
No122: REDDING WSO - UNITED STATES OF AMERICA



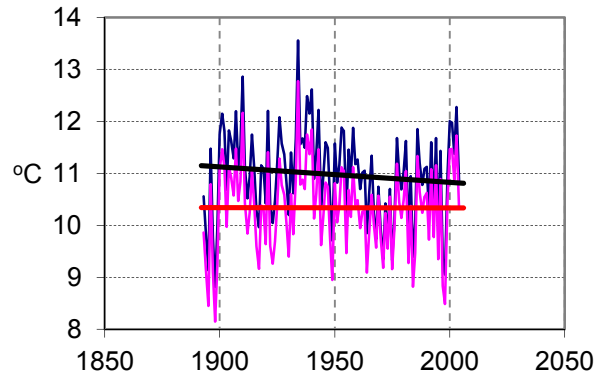
No123: PRESCOTT - UNITED STATES OF AMERICA



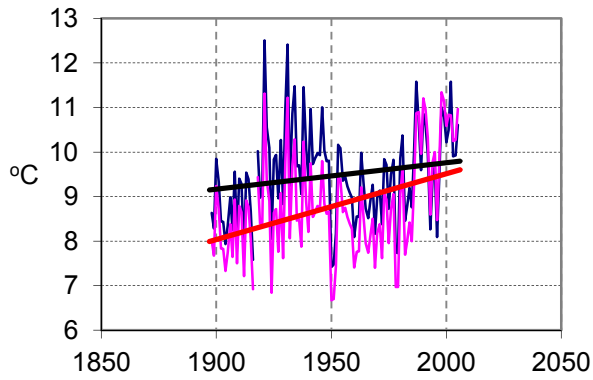
No124: DAVIS EXP FARM 2WSW- UNITED STATES OF AMERICA



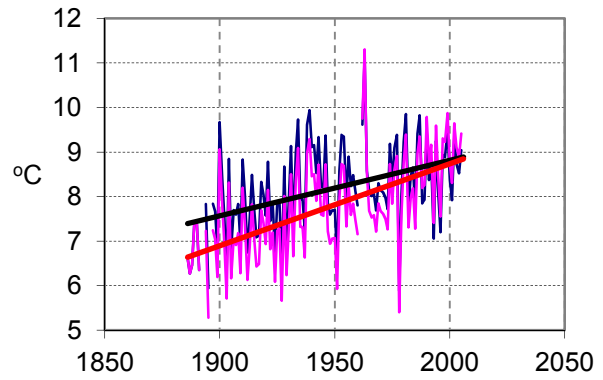
No125: REDLANDS - UNITED STATES OF AMERICA



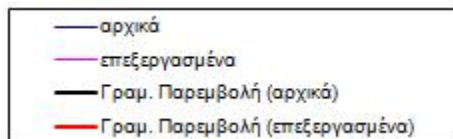
No126: FILLMORE - UNITED STATES OF AMERICA

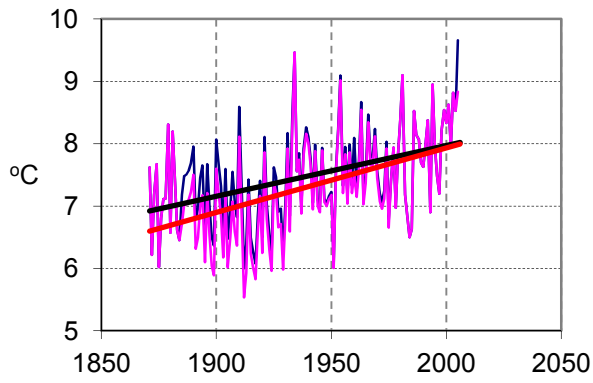


No127: WAKEFIELD - UNITED STATES OF AMERICA

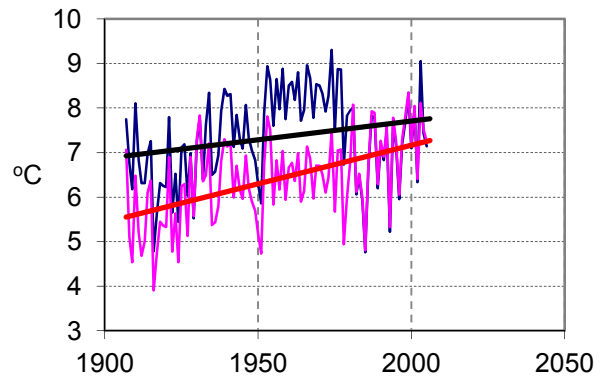


No128: HAY SPRINGS 12S - UNITED STATES OF AMERICA

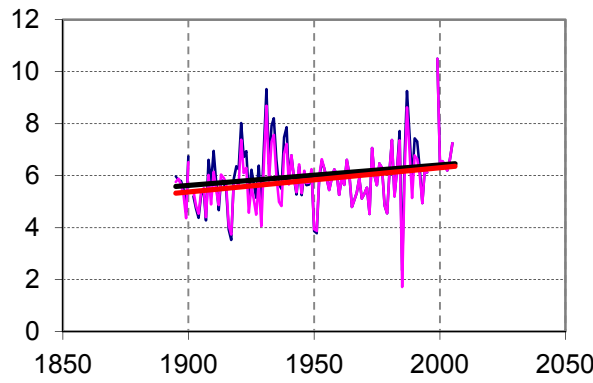




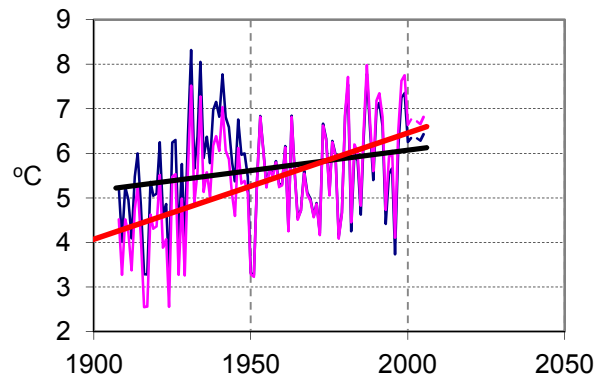
No129: CHEYENNE, WY. - UNITED STATES OF AMERICA



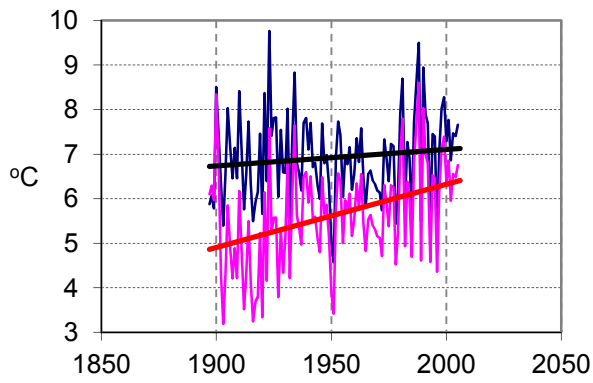
No130: POWELL FIELD STATION - UNITED STATES OF AMERICA



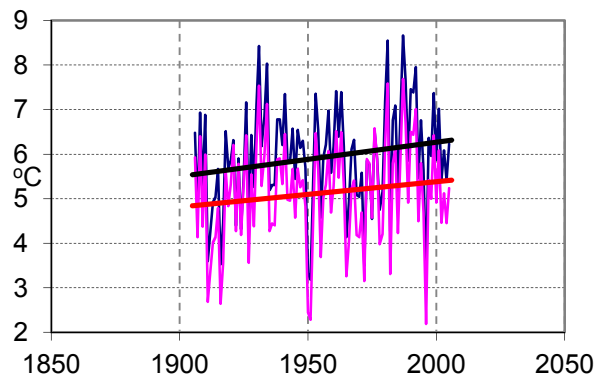
No131: WATERTOWN FAA AP - UNITED STATES OF AMERICA



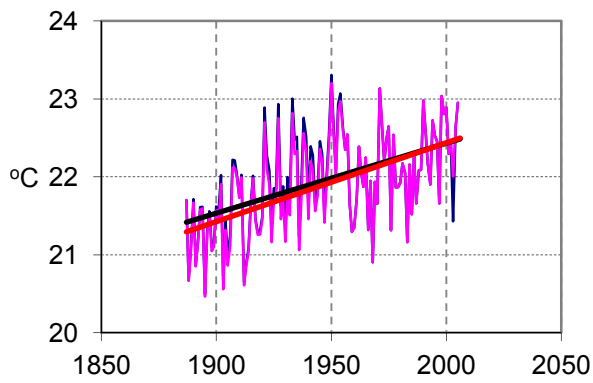
No132: MOTT - UNITED STATES OF AMERICA



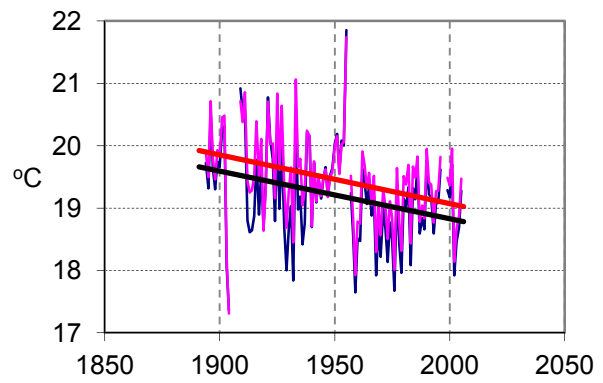
No133: EKALAKA - UNITED STATES OF AMERICA



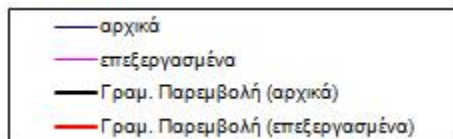
No134: MALTA 7E - UNITED STATES OF AMERICA

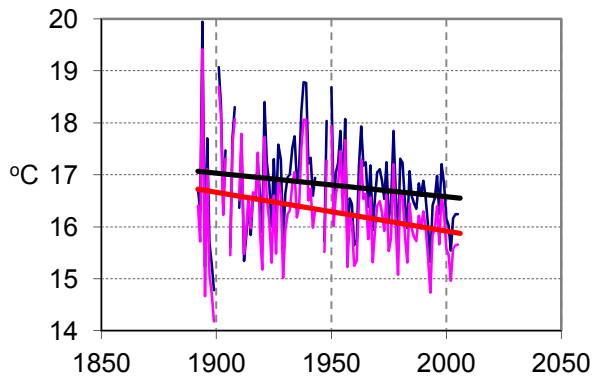


No135: CORPUS CHRIST - UNITED STATES OF AMERICA

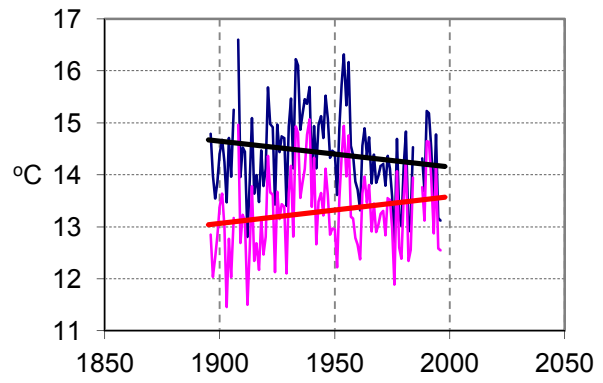


No136: LLANO - UNITED STATES OF AMERICA

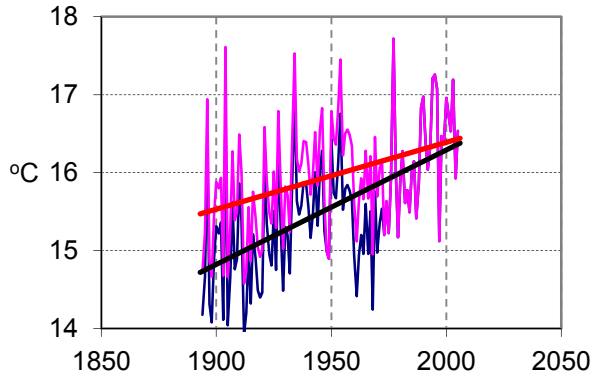




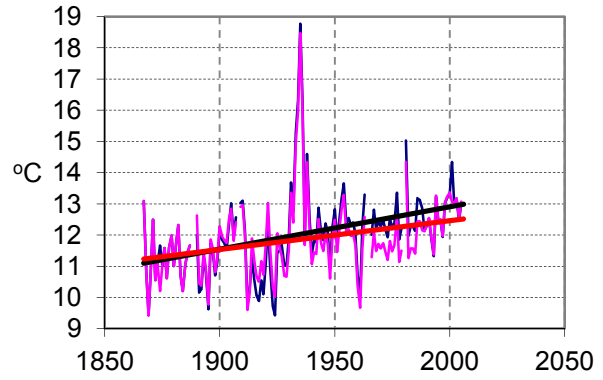
No137: MANGUM RESEARCH STATION - UNITED STATES OF AMERICA



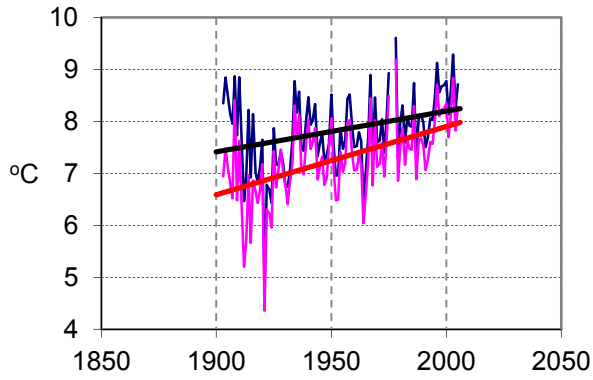
No138: MEDICINE LODGE - UNITED STATES OF AMERICA



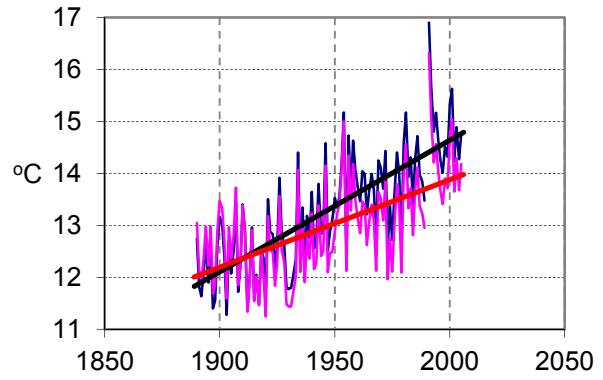
No139: ROSWELL/INDUS - UNITED STATES OF AMERICA



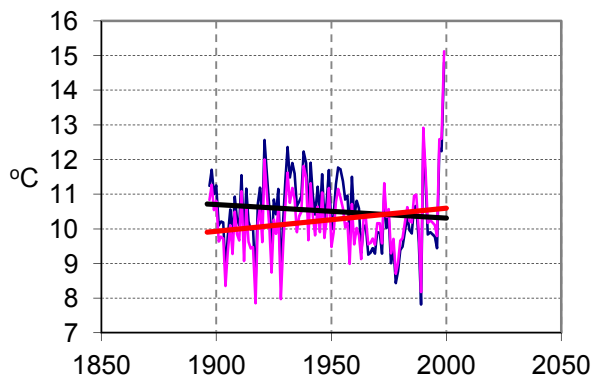
No140: LAS ANIMAS - UNITED STATES OF AMERICA



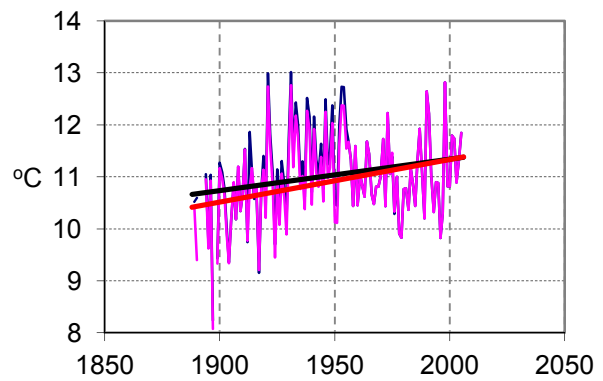
No141: LUNA RS - UNITED STATES OF AMERICA



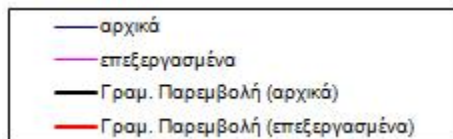
No142: MOAB - UNITED STATES OF AMERICA

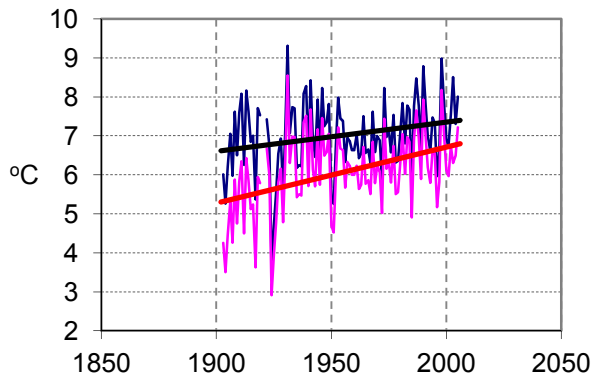


No143: DELAWARE - UNITED STATES OF AMERICA

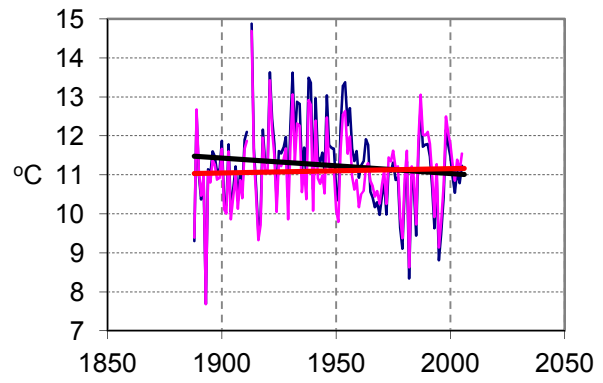


No144: URBANA - UNITED STATES OF AMERICA

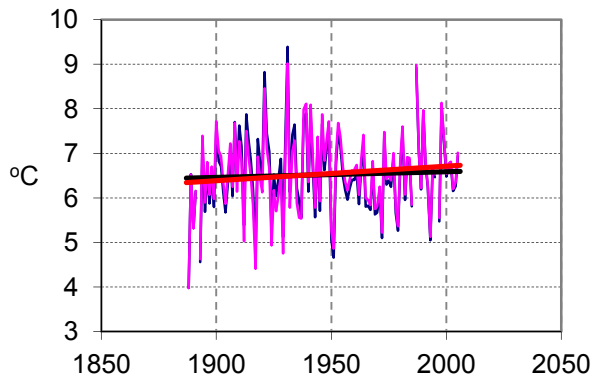




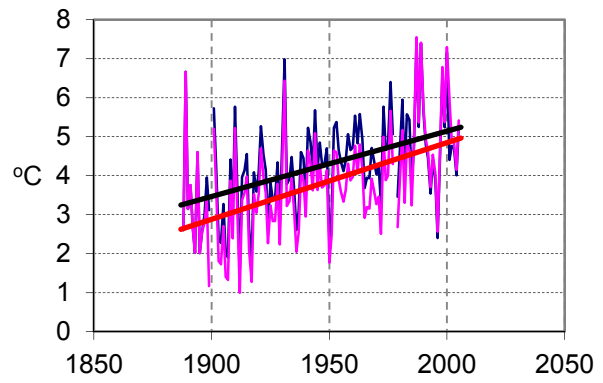
No145: HANCOCK EXPERIMENT FARM - UNITED STATES OF AMERICA



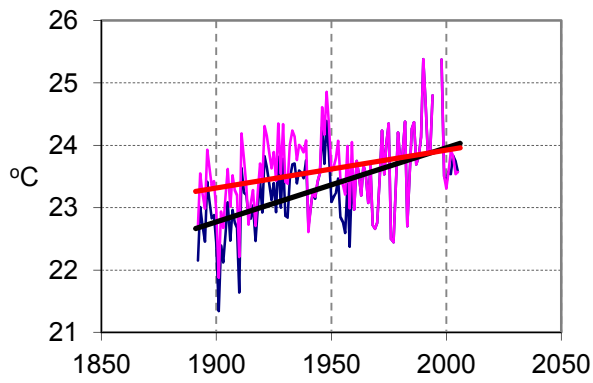
No146: CONCEPTION - UNITED STATES OF AMERICA



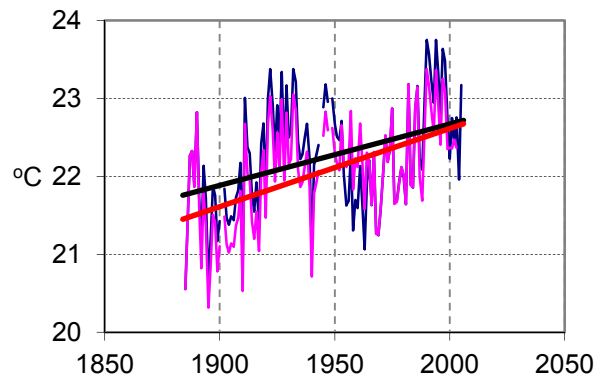
No147: GRAND MEADOW - UNITED STATES OF AMERICA



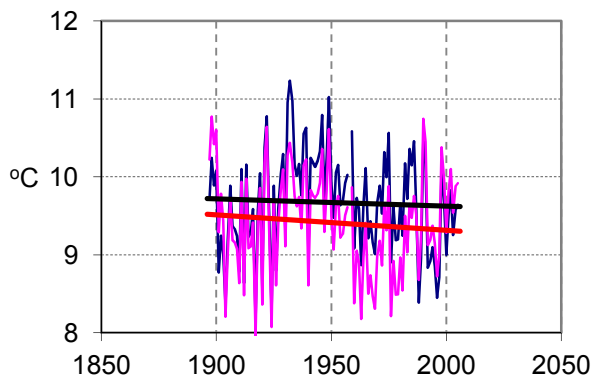
No148: LEECH LAKE DAM - UNITED STATES OF AMERICA



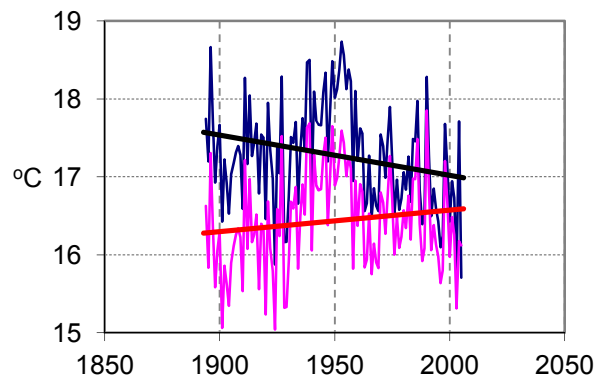
No149: FORT MYERS FAA AP - UNITED STATES OF AMERICA



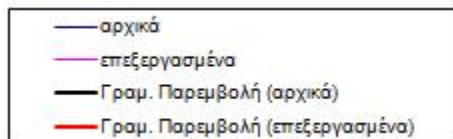
No150: TARPON SPRINGS SEWAGE PLANT - UNITED STATES OF AMERICA

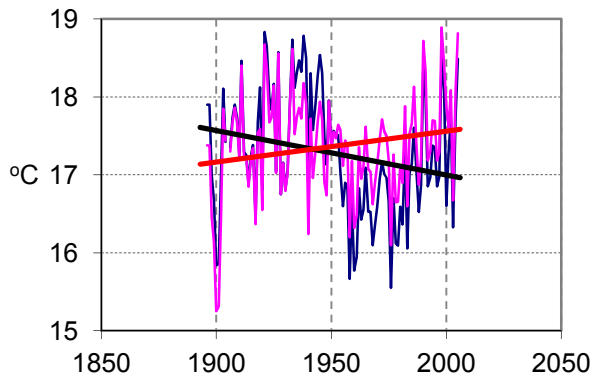


No151: BURKES GARDEN - UNITED STATES OF AMERICA

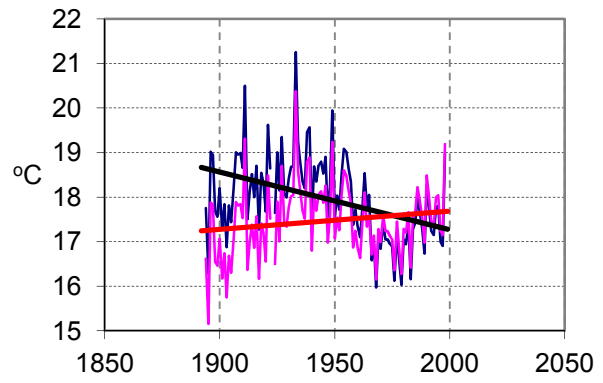


No152: LITTLE MOUNTAIN - UNITED STATES OF AMERICA

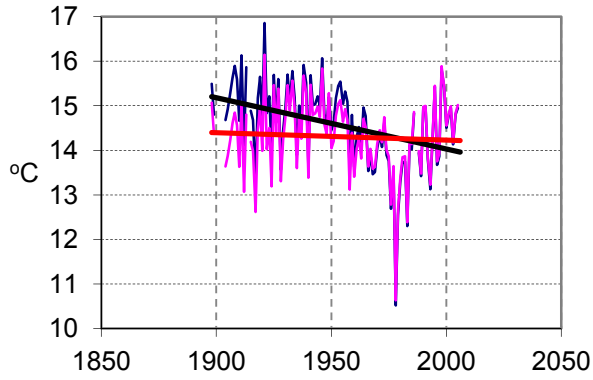




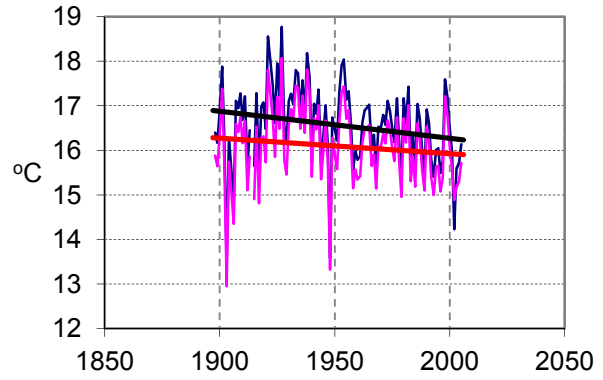
No153: GAINESVILLE LOCK - UNITED STATES OF AMERICA



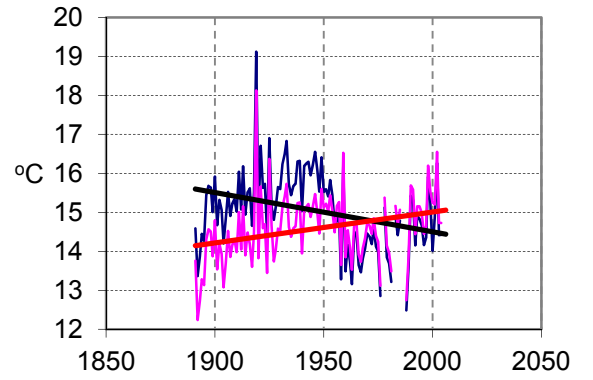
No154: PLAIN DEALING - UNITED STATES OF AMERICA



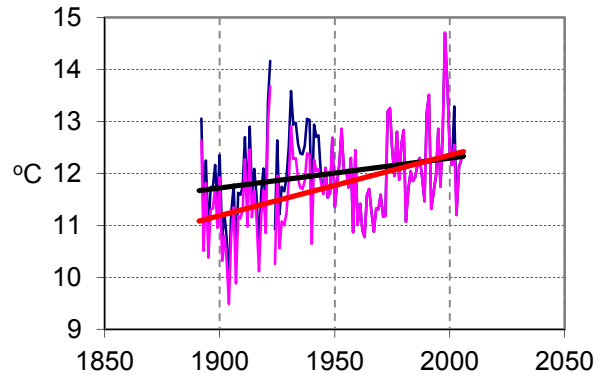
No155: DOVER 1W - UNITED STATES OF AMERICA



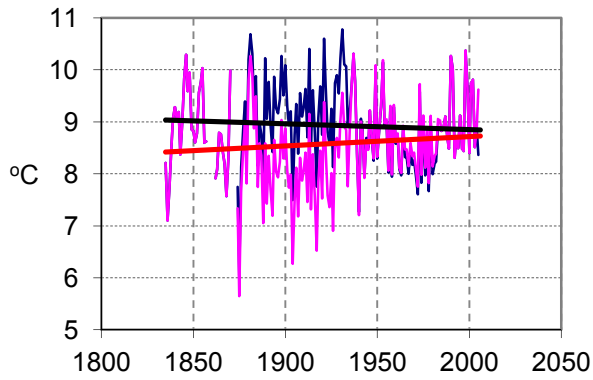
No156: SUBIACO - UNITED STATES OF AMERICA



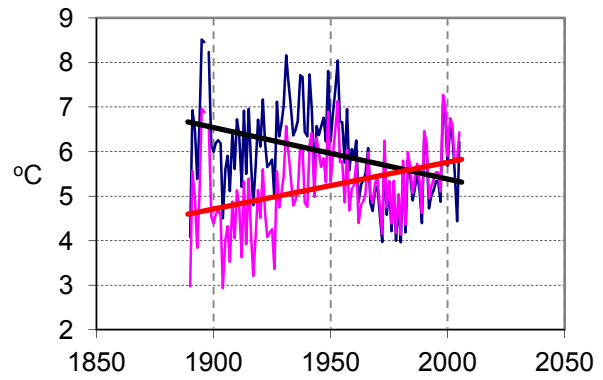
No157: LOUISBURG - UNITED STATES OF AMERICA



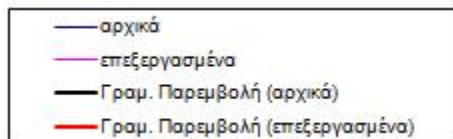
No158: MARTINSBURG FAA AIRPORT - UNITED STATES OF AMERICA

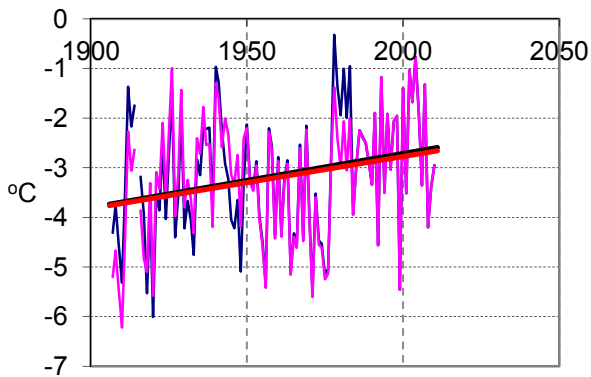


No159: ALBANY/ALBANY - UNITED STATES OF AMERICA

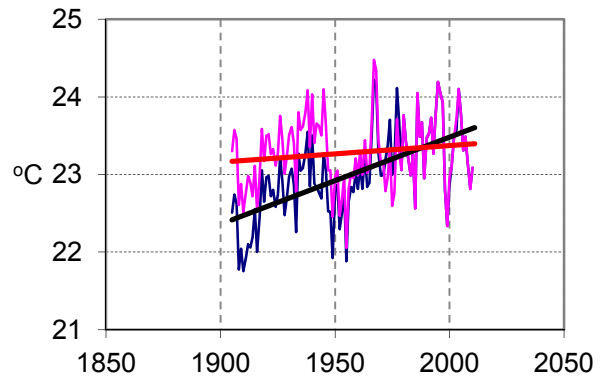


No160: FARMINGTON - UNITED STATES OF AMERICA

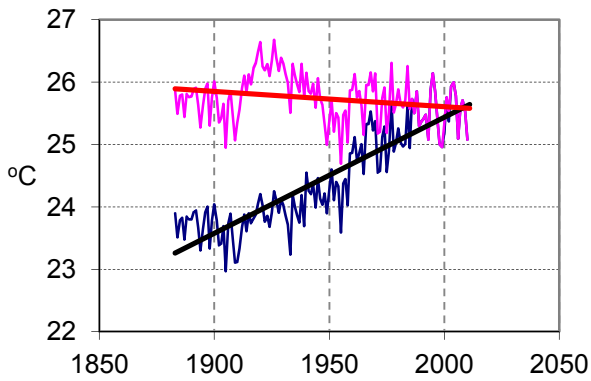




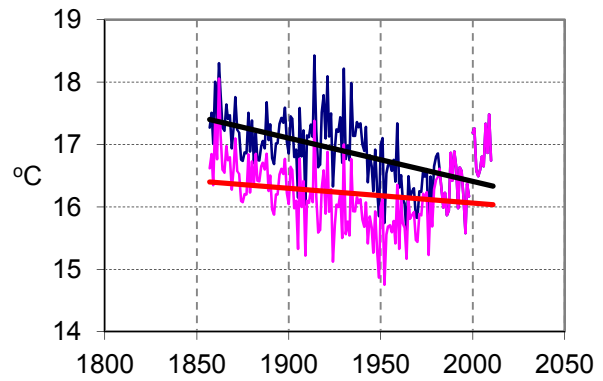
No161: NOME - UNITED STATES OF AMERICA



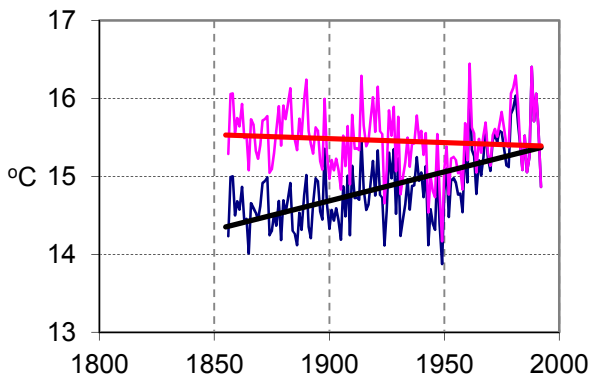
No162: HILO/GEN. LYM - UNITED STATES OF AMERICA



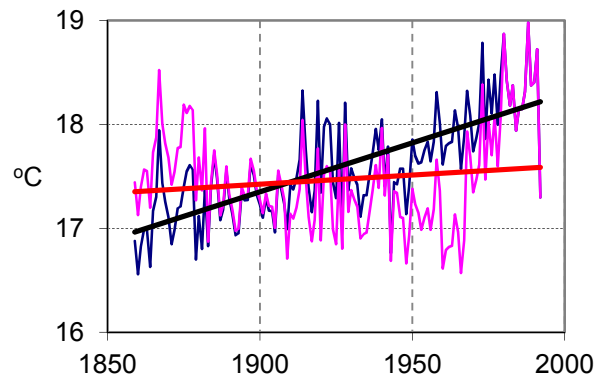
No163: HONOLULU, OAH - UNITED STATES OF AMERICA



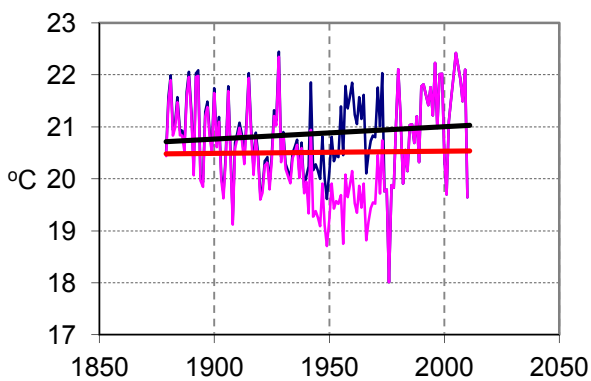
No164: ADELAIDE AIRP - AUSTRALIA



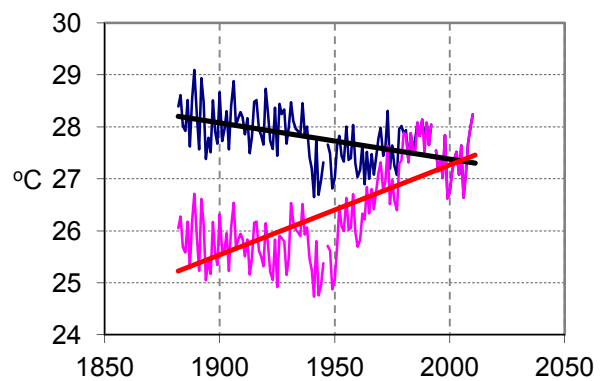
No165: MELBOURNE - AUSTRALIA



No166: SYDNEY - AUSTRALIA



No167: ALICE SPRINGS - AUSTRALIA



No168: DARWIN AIRPOR - AUSTRALIA

