

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ
ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

Υφαντής Δ. Βασίλης, γεωλόγος

**ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ
ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ ΜΕ ΤΟ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ
R.E.Mo.S.
(REMOTE ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM)**

Διατριβή Ειδίκευσης

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας
Ειδίκευση: *Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία***

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2003

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

1. Φυτίκας Μιχάλης, Καθηγητής Α.Π.Θ.
2. Λαόπουλος Θεόδωρος, Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ.
3. Αλμπανάκης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής Α.Π.Θ.

Περιεχόμενα

	<i>Σελίδα</i>
Περίληψη	1
Abstract	3
Πρόλογος	5
Κεφάλαιο 1 ο. Εισαγωγή	7
1.1 Γεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά του Νοτίου Αιγαίου.....	7
1.2 Τριτογενής και Τεταρτογενής Ηφαιστειότητα του Ελληνικού Χώρου.....	9
Κεφάλαιο 2 ο. Γεωλογική τοποθέτηση και ηφαιστειακή δραστηριότητα της Σαντορίνης	10
2.1 Γεωλογικό υπόβαθρο της Σαντορίνης.....	10
2.1.1 Γεωγραφική τοποθέτηση.....	10
2.1.2 Γεωλογικό υπόβαθρο.....	11
2.1.3 Τεκτονικά χαρακτηριστικά.....	13
2.2 Ηφαιστειακή δραστηριότητα της Σαντορίνης.....	15
2.2.1 Προ-Μινωική ηφαιστειακή δραστηριότητα.....	15
2.2.2 Μετα-Μινωική ηφαιστειακή δραστηριότητα.....	18
2.2.3 Εξωκαλδερική ηφαιστειακή δραστηριότητα.....	20
2.3 Ηφαιστειακός κίνδυνος.....	21
2.3.1 Ηφαιστειακός κίνδυνος.....	21
2.3.2 Τάσεις επαναληψιμότητας.....	24
2.3.3 Αναμενόμενη συμπεριφορά του ηφαιστείου.....	25
2.4 Ηφαιστειακή επικινδυνότητα.....	27
Κεφάλαιο 3 ο. Μέθοδοι παρακολούθησης της κατακόρυφης εδαφικής παραμόρφωσης των ηφαιστείων	31
3.1 Εισαγωγή στις μεθόδους παρακολούθησης των ηφαιστείων.....	31
3.2 Μέθοδοι παρακολούθησης της κατακόρυφης εδαφικής παραμόρφωσης.....	33
3.2.1 Γεωμετρική χωροστάθμηση (Geometrical Leveling).....	33
3.2.2 Χωροστάθμηση πρώτης διάταξης, τάξης II (first-order class II leveling).....	33
3.2.3 Χωροστάθμηση απλής διευθέτησης (Single Setup Leveling).....	35
3.2.4 Τριγωνομετρική χωροστάθμηση.....	37
3.2.5 Κλισίμετρα τύπου σωλήνα ύδατος (water-tube tiltmeters).....	38

3.2.6 Ηλεκτρονικά κλισίμετρα.....	38
3.2.7 Μετρήσεις GPS.....	40
3.2.8 Παρακολούθηση των επιπέδων των υδάτινων όγκων.....	42
3.3 Επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.....	44
3.3.1 Χωρικές μεταβολές.....	44
3.3.2 Χρονικές μεταβολές.....	46
3.4 Σύνοψη.....	47
Κεφάλαιο 4 ο. Το τηλεχειριζόμενο σύστημα περιβαλλοντικών μετρήσεων R.E.Mo.S.....	49
4.1 Χαρακτηριστικά του συστήματος R.E.Mo.S.....	49
4.1.1 Γενική περιγραφή.....	49
4.1.2 Δυνατότητες του συστήματος.....	50
4.2 Περιγραφή του Προγράμματος.....	51
4.2.1 Γενική περιγραφή.....	51
4.2.2 Επιλογές των καταλόγων (menus).....	51
4.2.3 Κατάλογος αρχείο.....	52
4.2.4 Κατάλογος μετρήσεις.....	54
4.2.5 Κατάλογος προβολή.....	56
4.2.6 Κατάλογος βοήθεια.....	57
Κεφάλαιο 5 ο. Περιγραφή του τηλεμετρικού δικτύου σταθμών της Σαντορίνης.....	59
5.1 Το Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης (ΙΜΠΗΣ).....	59
5.2 Το τηλεμετρικό δίκτυο σταθμών τύπου R.E.Mo.S.....	60
5.2.1 Ιστορικό του δικτύου.....	60
5.2.2 Εξέλιξη του δικτύου.....	61
5.2.2 Δυνατότητες του δικτύου.....	64
5.2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης.....	65
Κεφάλαιο 6 ο. Συλλογή και στατιστική επεξεργασία των δεδομένων.....	66
6.1 Συλλογή των δεδομένων.....	66
6.1.1 Εισαγωγή των δεδομένων στο λογιστικό φύλλο Excel.....	66
6.2 Στατιστική επεξεργασία των δεδομένων.....	69
6.2.1 Γενική περιγραφή των στατιστικών περιγραφικών μέτρων.....	69
6.2.1 Στατιστικοί πίνακες και διαγράμματα.....	70
6.3 Παρατηρήσεις.....	102
Κεφάλαιο 7 ο. Ανάλυση των δεδομένων.....	103
7.1 Συσχέτιση της θαλάσσιας στάθμης των σταθμών.....	103

7.1.1 Αναγωγή των σταθμών στο ίδιο επίπεδο.....	103
7.1.2 Έλεγχος της ποιότητας των δεδομένων.....	104
7.1.3 Παρουσίαση των παλιρροϊκών διακυμάνσεων στη Σαντορίνη.....	106
7.1.4 Περιγραφή της μεθόδου συσχέτισης.....	107
7.2 Εφαρμογή της μεθόδου συσχέτισης.....	109
7.2.1 Σταθμοί «Γιαλός» / «Ερινιά».....	109
7.2.2 Σταθμοί «Γιαλός» / «Ταξιάρχης».....	111
7.2.3 Σταθμοί «Γιαλός» / «Άγιος Νικόλαος».....	112
7.2.4 Σταθμοί «Ερινιά» / «Ταξιάρχης».....	114
7.2.5 Σταθμοί «Ερινιά» / «Άγιος Νικόλαος».....	115
7.2.6 Σταθμοί «Ταξιάρχης» / «Άγιος Νικόλαος».....	116
7.2.7 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων.....	117
7.3 Ανάλυση των φυσικοχημικών παραμέτρων.....	121
7.3.1 Η έννοια του pH.....	121
7.3.2 Το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Redox) στη γεωλογία.....	122
7.3.3 Συσχέτιση των παραμέτρων pH και Redox στη θέση «Ζεστά Νερά».....	125
7.3.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Conductivity).....	127
7.3.5 Συσχέτιση της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας του νερού στη θέση «Ζεστά Νερά».....	128
7.4 Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	129
Βιβλιογραφία.....	131

Περίληψη

Η σεισμική δραστηριότητα και η εδαφική παραμόρφωση θεωρούνται οι πιο αξιόπιστοι πρόδρομοι δείκτες των ηφαιστειακών εκρήξεων, ενώ πρόσφατα, αποδείχθηκε ότι οι εδαφικές παραμορφώσεις αποτελούν μακροπρόθεσμους πρόδρομους δείκτες εκρήξεων για τα ενεργά ηφαίστεια. Στις ενεργές ηφαιστειακές περιοχές, οι εδαφικές μετακινήσεις και παραμορφώσεις μετρώνται με τη βοήθεια των κλασσικών γεωδαιτικών μεθόδων. Όταν όμως ένα ηφαίστειο βρίσκεται σε παράκτια ή νησιωτική περιοχή, οι κατακόρυφες εδαφικές παραμορφώσεις μπορούν να ανιχνευθούν μέσω της ανάλυσης των καταγραφών της θαλάσσιας στάθμης από σύγχρονα δίκτυα παλιρροιογράφων.

Στην καλδέρα της Σαντορίνης αυτή την περίοδο λειτουργεί ένα δίκτυο τεσσάρων παλιρροιογράφων. Οι σταθμοί έχουν εγκατασταθεί από το Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης (Ι.Μ.Π.Η.Σ.) σε συνεργασία με το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και παρέχουν ολοκληρωμένη παρακολούθηση της ηφαιστειακής δραστηριότητας του νησιού. Οι τέσσερις σταθμοί παρακολούθησης είναι μέρος του δικτύου R.E.Mo.S. (Remote Environmental Monitoring System), το οποίο είναι εγκατεστημένο και σ' άλλες περιοχές της Ελλάδας. Οι μετρήσεις συλλέγονται ανά μία ώρα. Τα μετρούμενα μεγέθη είναι α) η στάθμη της θάλασσας, β) η θερμοκρασία του νερού (σε 0,5m βάθος) και γ) η θερμοκρασία του αέρα. Από τους τέσσερις σταθμούς ο σταθμός «Γιαλός» βρίσκεται εγκατεστημένος στο λιμάνι των Φηρών και χρησιμοποιείται ως σταθμός αναφοράς, ενώ οι υπόλοιποι τρεις, «Ερινιά», «Ταξιάρχης» και «Άγιος Νικόλαος», βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές των νέων νησίδων Παλαιάς και Νέας Καμμένης.

Ο στόχος αυτής της διατριβής είναι η συλλογή, η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων του συστήματος R.E.Mo.S. στη Σαντορίνη για την περίοδο Οκτώβριος 2000 - Οκτώβριος 2003. Οι καταγραφές περιλαμβάνουν μεγάλες διακοπές λόγω βλάβης των σταθμών. Παρόλα αυτά, υπάρχουν περίοδοι με ταυτόχρονες μετρήσεις και των 4 σταθμών, οπότε κατέστησαν δυνατές συγκρίσεις για την εκτίμηση της κατακόρυφης παραμόρφωσης του εδάφους.

Από τη στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε, η θερμοκρασία του νερού και του αέρα για όλους τους σταθμούς δεν παρουσιάζει κάποια ανώμαλη συμπεριφορά που να οφείλεται στη δραστηριότητα του ηφαιστείου. Αντίθετα, οι μεταβολές αυτών των παραμέτρων ακολουθούν τον εποχικό κύκλο (χειμώνας – καλοκαίρι).

Από τη συσχέτιση της θαλάσσιας στάθμης των 4 σταθμών φαίνεται πώς οι σταθμοί στις Καμμένες, σε σχέση με τον σταθμό αναφοράς «Γιαλός», παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στην καταγραφή της θαλάσσιας στάθμης. Αυτό φανερώνει πώς διάφορα μετεωρολογικά και ωκεανογραφικά φαινόμενα επιδρούν διαφορετικά στις ηφαιστειακές νησίδες σε σχέση με το λιμάνι των Φηρών. Δηλαδή, ανάλογα με τη διεύθυνση των ανέμων και τη διεύθυνση των θερμών ή ψυχρών μαζών νερού ως προς το λιμάνι, που λειτουργεί ως

φυσικό εμπόδιο, ενισχύεται ή μειώνεται το μέγεθος της στάθμης της θάλασσας στις καταγραφές του σταθμού «Γιαλός» ως προς τους άλλους σταθμούς.

Οι μετρήσεις των παραμέτρων pH, δυναμικό οξειδοαναγωγής (Redox) και αγωγιμότητας αντιμετωπίστηκαν με σκεπτικισμό εξαιτίας της ανώμαλης συμπεριφοράς που παρουσίασαν τα όργανα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ωστόσο, από το πλήθος των μετρήσεων συμπεραίνεται πώς η πηγή στη θέση «Ζεστά Νερά» της Π. Καμμένης είναι μια όξινη υδροθερμική πηγή, της οποίας το νερό έχει θαλάσσια προέλευση. Το τελευταίο εισέρχεται στο υδροθερμικό σύστημα του ηφαιστείου και αφού θερμανθεί και εμπλουτιστεί με διάφορα συστατικά, γίνεται ελαφρύτερο και επανέρχεται στη θάλασσα από το συγκεκριμένο σημείο.

Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, εκτιμάται γενικά ότι, όλα τα καταγεγραμμένα μεγέθη από το σύστημα R.E.Mo.S. στη Σαντορίνη είναι σε κανονικά επίπεδα. Αυτό δείχνει ότι, το ηφαίστειο της Σαντορίνης, στο χώρο που καλύπτεται από το δίκτυο, συνεχίζει για την τριετία Οκτώβριος 2000 – Οκτώβριος 2003 να βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας.

Η προσπάθεια που έγινε και συνεχίζεται από το Ι.Μ.Π.Η.Σ. είναι σημαντική, γιατί η συνεχής παρακολούθηση του ηφαιστείου της Σαντορίνης δίνει τη δυνατότητα κατανόησης της λειτουργίας του με πραγματικά δεδομένα. Επίσης, εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη, συστηματική και μακροχρόνια λήψη μετρήσεων και διαμορφώνονται έτσι βάσεις δεδομένων ηφαιστειολογικών μετρήσεων, χρήσιμες σε οποιονδήποτε θελήσει να μελετήσει μελλοντικά το ηφαίστειο σε βάθος. Επίσης, θωρακίζεται η Σαντορίνη μ' ένα επιπλέον δίκτυο, που μαζί με τα υπόλοιπα, εγγυούνται την έγκαιρη πρόβλεψη τυχόν επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου.

Abstract

Seismic activity and ground deformation have been considered as the most reliable precursors of volcanic eruptions. Recently, it has been demonstrated that the ground movements constitute long-term precursors of eruptions at explosive volcanoes. In active volcanic areas, ground movements and deformations are monitored by means of classical and space-based geodetic observations. When a volcano is located in coastal or insular areas, the vertical ground movements can be continuously monitored through the analysis of sea-level records obtained at tide-gauge stations.

In the Caldera of Santorini Island, a four tide-gauge network is currently operating, providing important results. The monitoring stations have been installed from the Institute of Study and Monitoring of Santorini Volcano Island (ISMOSAV) in collaboration with the Aristotle University of Thessaloniki, to provide an integrated monitoring of the volcanic activities in the island. These monitoring stations are part of the entire R.E.Mo.S. (Remote Environmental Monitoring System) network, which also exists on other areas of Greece. The measurements are collected every hour.

The measured parameters of each station are: (a) sea-water level, (b) sea water temperature (0,5m depth) and (c) air temperature. Recently, in cooperation with Athens University, new electronic gauges for chemical parameters (ph, salinity, Redox-Eh and water temperature) were connected to the "Agios Nikolaos" station (Palea Kameni). One of the four stations, "Gialos", is located on the caldera (Fyra Port) and is used as the reference station, while the three remaining stations, "Erinia", "Taxiarhis" and "Agios Nikolaos" are located on different areas in the young volcanic islets of Palea and Nea Kameni.

The aim of this thesis is the collection, the processing and the analysis of the R.E.Mo.S. data of Santorini Volcano Island for the period October 2000 – October 2003.

The data series include many gaps, due to operational problems at the four stations. Nevertheless, there were certain periods of contemporary measurements from all four stations, so that comparisons could be made for the better estimation of the vertical ground deformations. The statistical elaboration that was carried out showed that the water and air temperature doesn't present abnormal behavior that could be attributed to the volcanic activity. On the contrary, the variations in these parameters follow the seasonal cycle (winter-summer).

The correlation of the sea-level data indicated that the stations located in the Kamenes islets behave differently, regarding to the sea level, towards the reference station "Gialos". This behavior actually reflects the different influence at the various meteorological and oceanographic phenomena to the four stations. Thus, depending on the direction of the wind and the hot or cold-water masses towards the port, which acts as a natural obstacle, the sea-level values registered in "Gialos" increase or decrease with regard to the other stations.

The measurements of pH, Redox and conductivity were dealt with skepticism due to the irregular behavior they presented for long time intervals. However, it could be concluded that the spring in "Zesta Nera" (Palaia Kameni) island is an acidic hydrothermal spring, the water of which has marine origin. The water, as it enters the hydrothermal system of the volcano, it gets heated and is enriched in various components. Then it becomes lighter and consequently returns to the sea from the exact spring location.

From the analyses that were conducted, it was generally estimated that the recorded magnitudes of R.E.Mo.S. were in normal levels. Those indicate that the Santorini Volcano, at least in the area that is covered by the network, continues for the three-year monitoring period (October 2000 – October 2003) to be dormant.

The effort for continuous monitoring that has started and is still carried out by ISMOSAV is important because it provides the possibility to understand the volcanic processes using real data. It also ensures the unhindered, systematic and long-term receiving of records thus the creation of volcanic measurements databases that will constitute, useful for any future the volcano studies. It also, provides Santorini with an additional network, which in combination with the other networks guarantees, the timely prediction of any potential reactivation of the volcano.

Πρόλογος

Πολλοί ηφαιστειολόγοι πιστεύουν ότι έχουν την καλύτερη δουλειά στον κόσμο. Τους δίνεται η συναρπαστική δυνατότητα να μελετήσουν ενεργά ηφαίστεια σε όμορφα και συχνά εξωτικά μέρη. Η δουλειά των ηφαιστειολόγων προάγει την επιστήμη, αλλά έχει άμεση υπευθυνότητα για τη ζωή των ανθρώπων που βρίσκονται κοντά σε ηφαίστεια. Αν ένας ηφαιστειολόγος πει ότι το ηφαίστριο που παρακολουθεί δεν πρόκειται να εκραγεί, αλλά συμβεί το αντίθετο, πολλοί άνθρωποι μπορεί να πεθάνουν κατά τη διάρκεια της έκρηξης. Αντίθετα, αν προειδοποιήσει ότι το ηφαίστριο ενδέχεται να εκραγεί, τότε πολλοί άνθρωποι θα εγκαταλείψουν προσωρινά τα σπίτια τους με ασφάλεια.

Τα ηφαίστεια είναι πολύπλοκα φαινόμενα και για την κατανόησή τους απαιτείται γνώση της δομής και της χημείας της γης και των πετρωμάτων της, αλλά και της αλληλεπίδρασης των ηφαιστειακών προϊόντων με το νερό και τον αέρα. Για τη μελέτη των ηφαιστειών κρίνεται απαραίτητη η συμβολή μεγάλου αριθμού επιστημών, αλλά η πιο απαραίτητη είναι η γεωλογία.

Οι πιο πρόσφατες ιστορικές καταστροφικές εκρήξεις με χιλιάδες ανθρώπινα θύματα, όπως αυτές του Βεζούβιου το 79 μ.Χ., Ταμπόρα το 1812, Κρακατόα το 1883, του όρους Πελέ το 1902, του Nevado del Ruiz το 1985, προκάλεσαν κάθε φορά έντονα συναισθήματα στην κοινή γνώμη.

Από την ανάγκη να εξηγηθούν και την επιθυμία να προβλεφθούν οι ηφαιστειακές εκρήξεις, με στόχο την αποφυγή ή τον μετριασμό των καταστροφικών αποτελεσμάτων τους, γεννήθηκε η έρευνα και η παρακολούθηση των ενεργών ηφαιστειών, που με το χρόνο οδήγησε στη δημιουργία σύγχρονων και τεχνολογικά εξοπλισμένων παρατηρητηρίων. Περισσότερα από σαράντα ηφαιστειολογικά παρατηρητήρια ή ερευνητικά Ινστιτούτα εξασφαλίζουν σήμερα την παρακολούθηση 150 περίπου ηφαιστειών ανά τον κόσμο. Η παρακολούθηση αυτή μπορεί να είναι απλός περιοδικός έλεγχος των θερμοκρασιών των ατμίδων έως πλήρη δίκτυα παρακολούθησης, με την εφαρμογή πολλαπλών επιστημονικών μεθόδων.

Η χώρα μας μέχρι και το καλοκαίρι του 1995 στερούταν μιας τέτοιας υποδομής, παρά την ύπαρξη σ' αυτήν του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου και του πιο εκρηκτικού ηφαιστείου της Ανατολικής Μεσογείου, της Σαντορίνης.

Το Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης (ΙΜΠΗΣ) που ιδρύθηκε το 1995 καλύπτει επαρκώς το κενό που υπάρχει από την έλλειψη ενός αρμόδιου δημόσιου φορέα για την αντιμετώπιση του ηφαιστειακού κινδύνου στη Σαντορίνη.

Η διατριβή αυτή, που εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου της Θεσσαλονίκης, έχει ως στόχο να συμβάλλει στην παρακολούθηση της δραστηριότητας του ηφαιστείου της

Σαντορίνης μέσω της συλλογής, επεξεργασίας και της ανάλυσης των δεδομένων του συστήματος R.E.Mo.S. για την περίοδο Οκτώβριος 2000 – Οκτώβριος 2003.

Το πρώτο κεφάλαιο είναι εισαγωγικό. Δίνονται τα κυριότερα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του χώρου του Νοτίου Αιγαίου καθώς και πληροφορίες για την Τριτογενή και Τεταρτογενή Ηφαιστειότητα του ελληνικού χώρου. Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει την γεωλογική τοποθέτηση και την ηφαιστειακή δραστηριότητα της Σαντορίνης. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στον ηφαιστειακό κίνδυνο και την ηφαιστειακή επικινδυνότητα του νησιού. Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει τις κυριότερες μεθόδους παρακολούθησης της κατακόρυφης εδαφικής παραμόρφωσης που προκαλείται από τα ηφαίστεια. Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τη δομή και τη λειτουργία του συστήματος R.E.Mo.S και το πέμπτο κεφάλαιο δίνει μια γενική εικόνα της λειτουργίας του συστήματος στη Σαντορίνη. Το έκτο κεφάλαιο περιγράφει τον τρόπο συλλογής των δεδομένων και της στατιστικής επεξεργασίας τους. Το έβδομο κεφάλαιο περιλαμβάνει τις μεθόδους ανάλυσης που υιοθετήθηκαν και τα αποτελέσματά τους.

Στην προσπάθεια μου αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Φυτίκα Μιχάλη για την ανάθεση του θέματος και την επίβλεψή του καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερος τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Λαόπουλο Θεόδωρο για την συνεχή καθοδήγησή του, που ήταν καθοριστική για το πέρας της εργασίας αυτής και τον επίκουρο καθηγητή κ. Αλμπανάκη Κωνσταντίνο για την υποστήριξη που μου παρείχε.

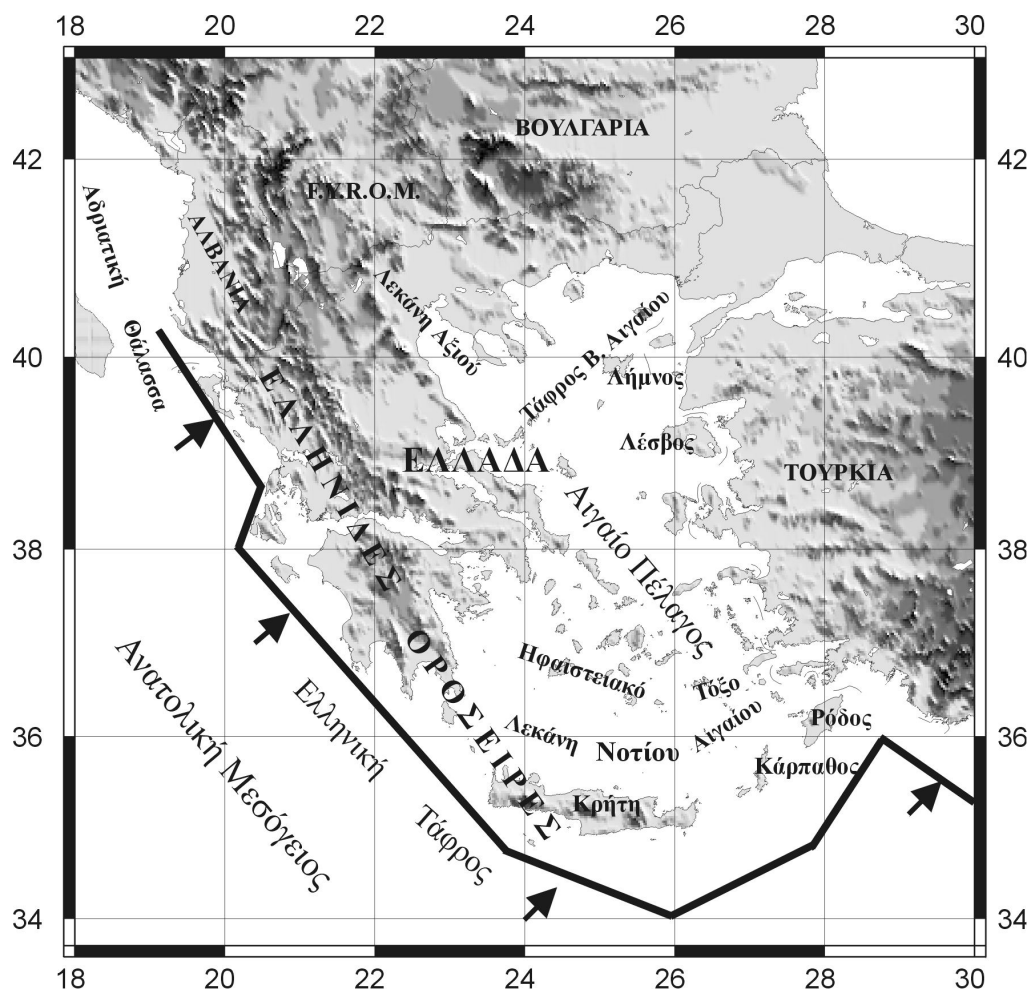
Τέλος, οφείλω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και στους φίλους μου, που με βοήθησαν και μου συμπαραστάθηκαν μ' όλες τους τις δυνάμεις όλα αυτά τα χρόνια.

Κεφάλαιο 1 ο

Εισαγωγή

1.1 Γεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά του Νοτίου Αιγαίου

Ο Ελληνικός χώρος βρίσκεται στο όριο επαφής και σύγκλισης της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας. Η ενεργός τεκτονική δράση στο χώρο αυτό είναι έντονη, όπως εξάλλου δείχνει η υψηλή σεισμικότητα, η έντονη διάρρηξη και πτύχωση πετρωμάτων και σχηματισμών, ως και τα ηφαιστειακά και γεωθερμικά φαινόμενα.

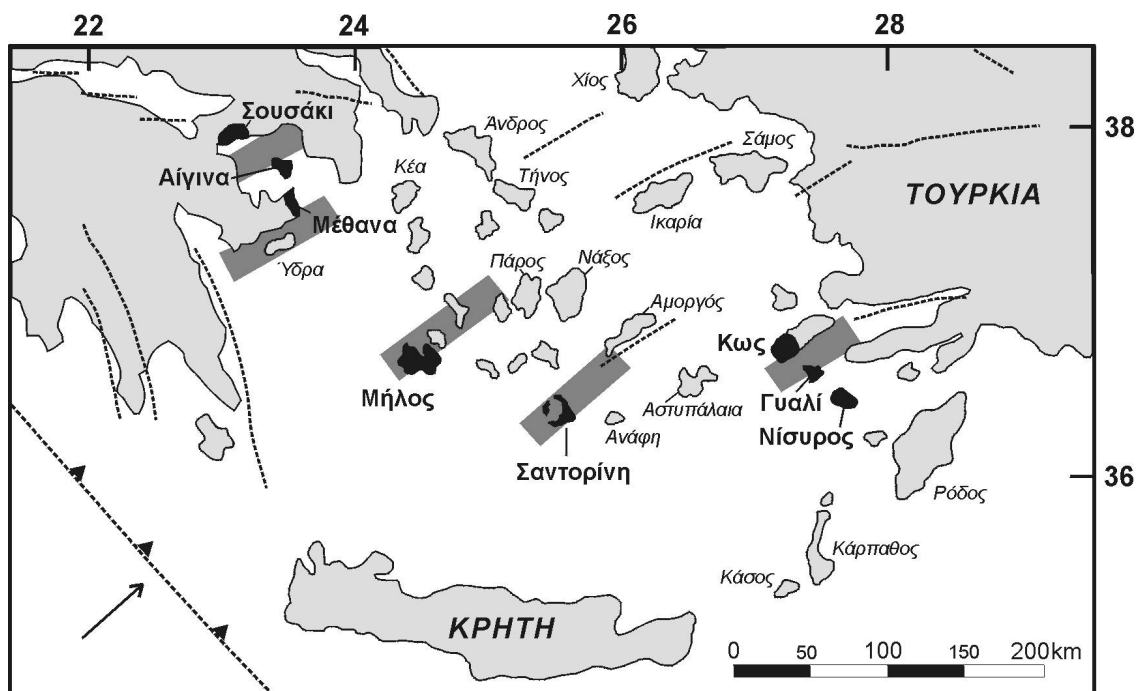


Σχήμα 1.1 Τα κύρια μορφολογικά στοιχεία στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου (Parazachos, Parazachou 1997).

Ένα από τα πιο βασικά τεκτονικά γνωρίσματα του Ελληνικού χώρου είναι το Ελληνικό τόξο, το οποίο διαχωρίζει το Αιγαίο Πέλαγος από την υπόλοιπη Μεσόγειο θάλασσα και έχει τις τυπικές ιδιότητες ενός νησιωτικού τόξου (Parazachos and Comninakis 1971, McKenzie 1978, Le Pichon & Angelier 1979, 1981). Το Σχήμα 1.1 δείχνει χάρτη του Ελληνικού χώρου και των

γύρω περιοχών, στον οποίο φαίνεται η θέση του Ελληνικού τόξου, καθώς επίσης και οι άξονες των δύο λεκανών του νοτίου και βορείου Αιγαίου με τη θέση της Ελληνικής τάφρου.

Το Ελληνικό τόξο αποτελείται από ένα εξωτερικό ιζηματογενές τόξο (νότιο τμήμα του τόξου) και από ένα εσωτερικό ηφαιστειακό τόξο (βόρειο τμήμα του τόξου). Το ιζηματογενές τόξο αποτελεί τμήμα της Αλπικής πτύχωσης και ακολουθεί τη γραμμή: Ελληνίδες Οροσειρές – Κύθηρα – Κρήτη – Κάρπαθος – Ρόδος και ενώνεται με τις Ταυρίδες οροσειρές της Τουρκίας. Το ηφαιστειακό τόξο έχει μήκος 500 km και περίπου 40 km πλάτος και ξεκινάει από την ηπειρωτική Ελλάδα, και πορεύεται μέσω των νησιών: Αίγινα, Μέθανα, Πόρος, Μήλος, Σαντορίνη, Κως, Γυαλί και Νίσυρος. Κάτω από αυτό βρίσκεται μια ζώνη Benioff, που ορίζεται από σεισμούς ενδιαμέσου βάθους (150 – 170 km) και σχετίζεται με την κατάδυση (πλάγια βύθιση υπό μία μέση γωνία 38°) της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική πλάκα, και πιο συγκεκριμένα κάτω από την υποπλάκα του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου (*Papazachos and Comninakis 1969, 1971*). Μεταξύ του ιζηματογενούς και του ηφαιστειακού τόξου υπάρχει η λεκάνη του Νοτίου Αιγαίου, που ονομάζεται Κρητικό Πέλαγος, με μέγιστο βάθος 2 km. Στο κυρτό μέρος του τόξου (ανατολική Μεσόγειος) υπάρχει ένα σύστημα τάφρων που ονομάζεται Ελληνική τάφρος και έχει ένα μέγιστο βάθος 5 km.



Σχήμα 1.2 Τα ηφαιστειακά κέντρα του Ελληνικού Τόξου (μαύρο χρώμα). Σχετίζονται με τεκτονικές ζώνες ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Οι στικτές γραμμές είναι ενεργά ρήγματα της περιοχής (τροποποιημένο από *Druitt et al. 1999*).

Το ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης είναι ένα από τα πέντε ηφαιστειακά κέντρα που σχηματίζουν το Ενεργό Ηφαιστειακό Τόξο του Νοτίου Αιγαίου (ΕΗΤΝΑ). Αυτά τα ηφαιστειακά κέντρα περιλαμβάνουν και τρία Τεταρτογενή ηφαίστεια (Μέθανα, Νίσυρος και Σαντορίνη) καθώς και περιοχές ατμίδων και θειονιών (Σουσακι, Μήλος και Κως) (*Georgalas 1962, Fytikas et al. 1985*). Τα ηφαιστειακά κέντρα, τα επίκεντρα των ισχυρών επιφανειακών σεισμών, καθώς και τα επίκεντρα των ενδιαμέσου βάθους σεισμών στην περιοχή του νοτίου Αιγαίου σχηματίζουν πέντε σεισμο-ηφαιστειακά κέντρα (Σουσακι, Μέθανα, Μήλος, Σαντορίνη και

Νίσυρος) (*Papazachos and Panagiotopoulos 1993*). Αυτά τα κέντρα σχετίζονται με τεκτονικές ζώνες καλά ορισμένες με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (περίπου $B60^{\circ}A$). Σε συμφωνία με αυτές τις ζώνες είναι και η μέση διεύθυνση των κυριότερων γεωμορφολογικών (βυθίσματα, νησιά), γεωφυσικών (ανωμαλίες Bouguer) και σεισμικών (μηχανισμοί γένεσης των σεισμών, τσουναμογόνοι χώροι) χαρακτηριστικών της περιοχής. Στο Σχήμα 1.2 δείχνονται τα πέντε σεισμο-ηφαιστειακά κέντρα και η μέση διεύθυνσή τους (*Papazachos and Panagiotopoulos 1993*).

1.2 Τριτογενής και Τεταρτογενής Ηφαιστειότητα του Ελληνικού Χώρου

Σύμφωνα με τις σύγχρονες απόψεις (*Fytikas et al. 1984*) η ηφαιστειότητα του ελληνικού χώρου θεωρείται ότι έλαβε χώρα σε συνεχείς διαδοχικές φάσεις από το Ολιγόκαινο μέχρι σήμερα.

Η πρώτη και η δεύτερη φάση έλαβαν χώρα στη διάρκεια του Ολιγόκαινου – Μέσου Μειόκαινου στο χώρο του Βορείου Αιγαίου και συνίστανται από ασβεσταλκαλικές (calc-alkaline) και σοσωνιτικές ενδιάμεσες λάβες και πυροκλαστικά υλικά.

Μια τρίτη φάση στο Άνω Μειόκαινο εκδηλώθηκε στον περιορισμένο χώρο του Ανατολικού Αιγαίου με λίγες εμφανίσεις.

Η τέταρτη και σπουδαιότερη φάση αντιπροσωπεύει την ηφαιστειότητα Πλειοκαίνου – Τεταρτογενούς του Νοτίου Αιγαίου ηφαιστειακού τόξου, άμεσα συνδεδεμένου με την ενεργό βύθιση της ζώνης Benioff κάτω από το Αιγαίο, καθώς και την ηφαιστειότητα της Αλμωπίας. Ορισμένα από τα ηφαίστεια του τόξου θεωρούνται γεωλογικά ενεργά (Σαντορίνης, Μεθάνων) και μερικά δυνητικά ενεργά (Μήλου, Νίσυρου) και συντηρούν σημαντικά γεωθερμικά πεδία. Τα ηφαιστειακά πετρώματα του Αιγαίου τόξου είναι ανδεσίτες, βασάλτες και ρυόλιθοι, τυπικού ασβεσταλκαλικού χημικού χαρακτήρα.

Αναλυτικά, τα ηφαιστειακά κέντρα και οι αντίστοιχες ηλικίες τους (που προήλθαν από ραδιοχρονολογήσεις των *Fytikas et al. 1984*) είναι κατά φάσεις τα παρακάτω:

- Ολιγόκαινο (23,6-33,1 Ma). Ηφαιστειακά κέντρα Θράκης: Βόρεια της Ξάνθης, Δυτικά και Βόρεια της Αλεξανδρούπολης, Νότια του Σουφλίου.
- Κατώτερο – Μέσο Μειόκαινο (13,2-23,2 Ma). Ηφαιστειακά κέντρα Βορείου Αιγαίου: Λήμνος, Άγιος Ευστράτιος, Λέσβος, Χίος, Ψαρά – Αντίψαρα, Σκύρος, Εύβοια.
- Ανώτερο Μειόκαινο (6-10,4 Ma). Ηφαιστειακά κέντρα Ανατολικού Αιγαίου: Πάτμος, Σάμος, Κως, Καλόγεροι.
- Πλειόκαινο – Τεταρτογενές (0-5 Ma). Ηφαιστειακά Αλμωπίας. Ηφαιστειακά Νοτίου Αιγαίου τόξου: Σαντορίνη, Μήλος, Νίσυρος, Μέθανα, Κρομμυωνία (Σουσάκι), Γυαλί, Κως. Διάσπαρτα ηφαιστειακά κέντρα της Πάτμου, Αντίπαρου, Λιχάδων, Καμένων Βούρλων, Ψαθούρας κ.ά.

Κεφάλαιο 3ο

Μέθοδοι παρακολούθησης της κατακόρυφης εδαφικής παραμόρφωσης των ηφαιστειών

3.1 Εισαγωγή στις μεθόδους παρακολούθησης των ηφαιστειών

Αν και το Παρατηρητήριο του Βεζούβιου στήθηκε πριν 160 χρόνια, η συστηματική παρακολούθηση των ηφαιστειών άρχισε στις αρχές του εικοστού αιώνα. Η εμπειρία που αποκτήθηκε απ' αυτήν, μαρτυρεί ότι οι περισσότερες εκρήξεις προηγήθηκαν και συνοδεύτηκαν από μετρήσιμες γεωφυσικές και γεωχημικές αλλαγές. Έτσι, η ηφαιστειακή παρακολούθηση παρέχει τα αρχικά δεδομένα για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις (ώρες έως μήνες πριν) των εκρήξεων. Οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις (1 χρόνος ή περισσότερο) βασίζονται σ' άλλα δεδομένα, συνήθως στην ενεργητική συμπεριφορά των εκρήξεων του ηφαιστείου.

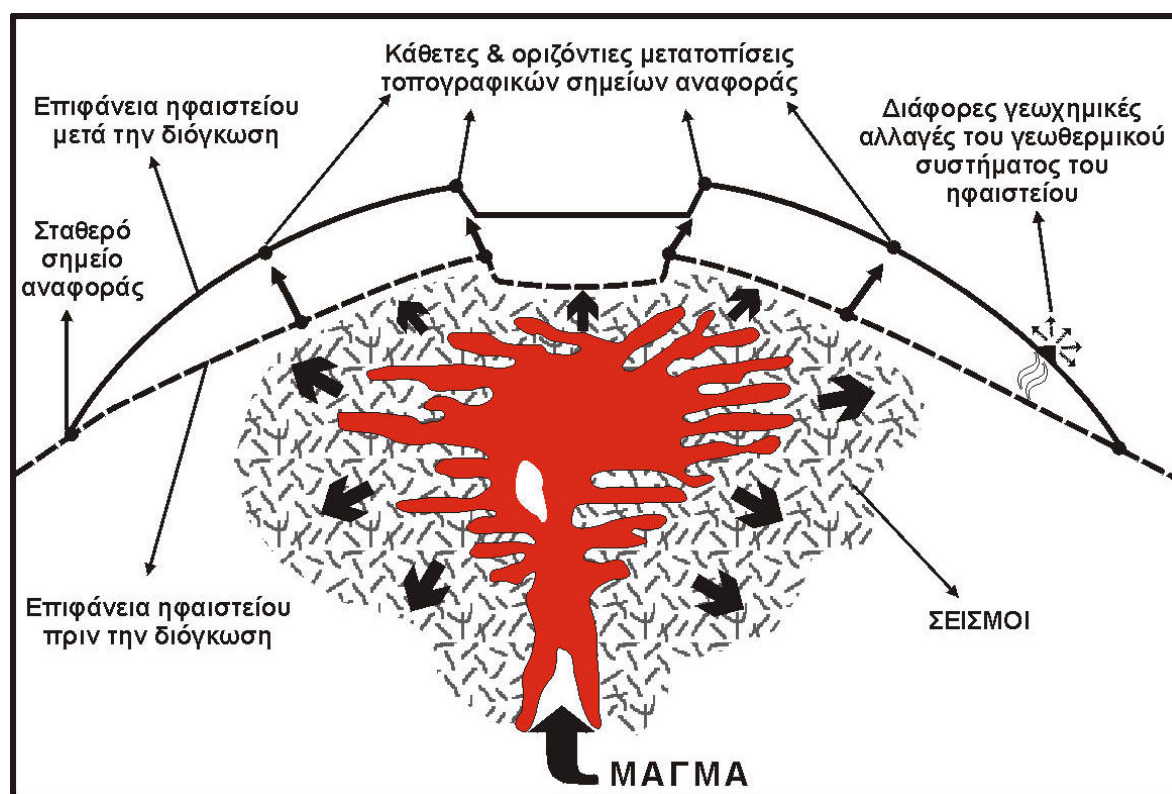
Η λογική και οι τεχνικές της ηφαιστειακής παρακολούθησης και της πρόγνωσης της έκρηξης έχουν συνοψισθεί σε πολλούς και διάφορους τόμους και άρθρα (π.χ. *UNESCO 1972, Civetta et al. 1974, Decker 1986, Newhall 1984b*). Απ' αυτές τις περιλήψεις, οι συλλογές της δεκαετίας του 1970 παραμένουν, ακόμη, οι καλύτερες και περισσότερο περιεκτικές παρουσιάσεις των βασικών τεχνικών παρακολούθησης, ενώ οι επόμενες εργασίες της δεκαετίας του 1980 τονίζουν την λεπτομέρεια και την εφαρμογή τους στην ηφαιστειακή παρακολούθηση. Επιπροσθέτως, βάση αυτών των εργασιών, πολλές άλλες έχουν εκπονηθεί σε συγκεκριμένα ηφαίστεια ή περιοχές: Mount St. Helens (*Bardberi και Villari 1984*), Campi Flegrei (*Phlegraean Fields*) (*Barberi et al. 1984a*) και Hawaii (*Decker et al. 1987*).

Οι περισσότερες τεχνικές παρακολούθησης έχουν σχεδιαστεί για τη μέτρηση των αλλαγών της φυσικής ή χημικής κατάστασης που προκαλείται από κινήσεις του μάγματος μέσα σ' ένα ηφαιστειακό σύστημα.

Στην περίπτωση διατάραξης της κατάστασης ισορροπίας στο μαγματικό θάλαμο ενός ηφαιστείου, προκαλούνται μεταβολές στο εντατικό πεδίο του οικοδομήματος και δημιουργούνται σεισμικές δονήσεις. Της μεγάλης πλειοψηφίας των εκρήξεων προηγείται ή συνοδεύεται αρμονικός ή ηφαιστειακός θόρυβος, ο οποίος χαρακτηρίζεται από σχεδόν συνεχόμενες, στενού εύρους, μπάντες σεισμικών παλμών, με επικρατέστερη μία και μοναδική συχνότητα που πιστεύεται ότι έχει σχέση με την κίνηση του μάγματος ή με τα ηφαιστειακά υπό πίεση ρευστά (*Ala et al. 1977, Chouet et al. 1987, Koyonagi et al. 1987, Leet 1988*).

Η άνοδος του μάγματος βαθιάς προέλευσης και η είσοδός του στο σύστημα τροφοδοσίας ενός ηφαιστείου προκαλεί ισχυρές πιέσεις, κύρια κατά τη διείσδυσή του σε πιο επιφανειακούς μαγματικούς θαλάμους. Οι πιέσεις αυτές παραμορφώνουν το ηφαιστειακό οικοδόμημα, μεταβάλλοντας τη γεωμετρία του, το μαγνητικό και βαρυτικό πεδίο, πριν και κατά τη διάρκεια μιας έκρηξης.

Το μάγμα είναι ένα υψηλής θερμοκρασίας τήγμα πυριτικών ενώσεων, το οποίο, ανάλογα με τη χημική του σύσταση, περιέχει σ' αφθονία ή μη διαλυμένα αέρια. Μέσα στο μαγματικό θάλαμο, τα συστατικά αυτά βρίσκονται σε θερμοδυναμική ισορροπία. Η αποσυμπίεση που δημιουργείται από τη διάνοιξη διαρρήξεων κατά την άνοδο του μάγματος, προκαλεί κατά τη διάρκεια των εκρήξεων διαφορική απελευθέρωση των αερίων, που έχει σα συνέπεια την τροποποίηση της χημικής σύστασης αυτών. Η ανάλυση της χημικής σύστασης των ατμίδων ή θερμών πηγών δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την εξέλιξη της εκρηκτικής διαδικασίας. Τα παραπάνω συνοψίζονται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 Σχηματική απεικόνιση μερικών πρόδρομων δεικτών που προκαλούνται από τις κινήσεις του μάγματος και μπορούν να μετρηθούν από τις διάφορες μεθόδους παρακολούθησης (βλέπε κείμενο) (Tilling et al. 1987).

Μέχρι σήμερα, οι τεχνικές παρακολούθησης των σεισμών και της εδαφικής παραμόρφωσης έχουν γίνει οι πιο εύκολες και συνηθισμένες στην εφαρμογή της ηφαιστειακής παρακολούθησης (Shinozuru 1972, Decker και Kinoshita 1972, Kinoshita et al. 1974). Ωστόσο, υπάρχουν πολλές άλλες τεχνικές που εφαρμόζονται με επιτυχία και αναφορικά είναι: η μικροβαρυτική (Jackens et al. 1981, Rymer και Brown 1987), η γεωμαγνητική (Davis et al. 1984, Zlotniki 1986), η γεωηλεκτρική (Zablocki 1975, 1978, Jackson και Kauahikaua 1987), η τηλεπαρακολούθηση (Malingreau 1984, Francis et al. 1988), η γεωχημική (Le Guern 1983, Greenland 1987) και η θερμική ακτινοβολία (Moxham 1972, Kieffer et al. 1981).

Οι βραχυπρόθεσμες προβλέψεις εκρήξεων, που στηρίζονται κυρίως σε σεισμικά ή εδαφικής παραμόρφωσης δεδομένα, θεωρούνται περισσότερο αξιόπιστες. Εντούτοις, η παγκόσμια εμπειρία δείχνει ότι η βέλτιστη ηφαιστειακή παρακολούθηση επιτυγχάνεται από τον ολοκληρωτικό συνδυασμό των μεθόδων προσέγγισης του ζητήματος, παρά από τη

στήριξη σε κάθε μεμονωμένη μέθοδο ή προειδοποιητικό δείκτη. Επίσης, κάθε ηφαιστειακό οικοδόμημα έχει τις δικές του ιδιαιτερότητες και γι' αυτό είναι ανέφικτη η τυποποίηση των μεθόδων.

3.2 Μέθοδοι παρακολούθησης της κατακόρυφης εδαφικής παραμόρφωσης

3.2.1 Γεωμετρική χωροστάθμηση (Geometrical Leveling)

Μέχρι σήμερα, παραμένει η ακριβέστερη μέθοδος για τον προσδιορισμό της κατακόρυφης συνιστώσας της παραμόρφωσης. Είναι γνωστή σαν *άμεση χωροστάθμηση ή ακριβής χωροστάθμηση* και πραγματοποιείται μ' ένα όργανο χωροστάθμησης και τις ράβδους *invar*. Ο όρος *invar* αναφέρεται σε ένα κράμα σιδηρονικελίου με μηδαμινό συντελεστή θερμικής διαστολής. Η μέθοδος συνίσταται από τον προσδιορισμό των διαφορών της ανύψωσης μεταξύ δύο μόνιμων τοπογραφικών βάσεων (*monuments*). Η σύγκριση δύο διαδοχικών μετρήσεων θα δώσει μια κατακόρυφη μετατόπιση. Η διαμόρφωση και ο σχεδιασμός ενός δικτύου χωροστάθμησης εξαρτάται άμεσα από την πρόσβαση της περιοχής εγκατάστασης. Οι διαστάσεις θα μπορούσαν να κυμανθούν από τα μεγάλα περιφερειακά ή εθνικά δίκτυα (που γενικά ελέγχονται και συντηρούνται από τα Γεωγραφικά Ινστιτούτα) στις μικρές διατάξεις τις γνωστές και ως «ξηρής κλίσης» σταθμοί.

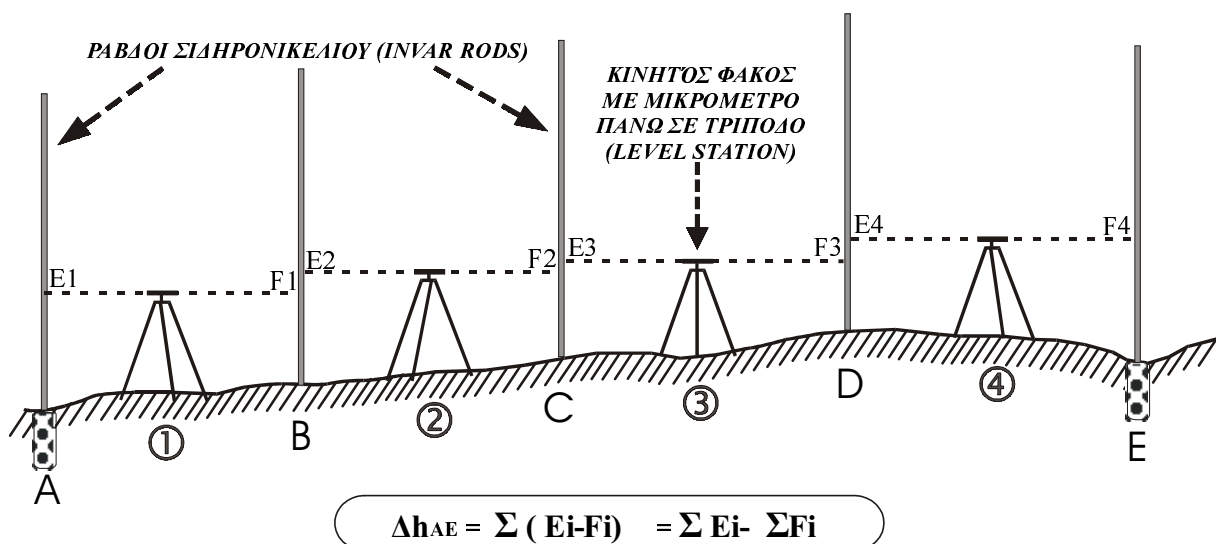
3.2.2 Χωροστάθμηση πρώτης διάταξης, τάξης II (first-order class II leveling)

Το πρώτο κριτήριο για την χωροστάθμηση πρώτης διάταξης τάξης II είναι η ύπαρξη ενός οπτικού μικρομέτρου, με δυνατότητα ανάλυσης έως και 1 χιλιοστού του μέτρου. Τα τοπογραφικά σημεία που θα εξεταστούν με τη μέθοδο αυτή δεν θα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους απόσταση μεγαλύτερη των 3.0 χιλιομέτρων. Τα τοπογραφικά σημεία αναφοράς κατατάσσονται σε τάξεις, A, B ή άλλες, ανάλογα με τον τρόπο που είναι τοποθετημένα (*Floyd 1978*). Συγκεκριμένες οδηγίες διαδικασίας πεδίου για την τάξη της χωροστάθμησης που θα χρησιμοποιηθεί δίνονται από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Γεωδαιτικού Ελέγχου (*Federal Geodetic Control Committee 1984*). Για την χωρομέτρηση πρώτης διάταξης τάξης II, πρέπει να ακολουθούνται οι παρακάτω διαδικασίες πεδίου.

Γενικά, η χωροστάθμηση θα πρέπει να ξεκινάει από ένα εγκατεστημένο μόνιμο τοπογραφικό σημείο και να περιλαμβάνει μετρήσεις σε τουλάχιστον ακόμη δύο διαδοχικά, παλαιότερης εγκατάστασης, τοπογραφικά σημεία που θα ενσωματωθούν στη νέα χωρομέτρηση (*Ομοσπονδιακή Επιτροπή Γεωδαιτικού Ελέγχου 1984*). Συνήθως, πριν ξεκινήσει η διαδικασία της χωροστάθμησης πρώτης διάταξης, τάξης II, πρέπει να καταγραφεί η ημερομηνία, ο τύπος και ο σειριακός αριθμός (*serial number*) του οργάνου που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και ο σειριακός αριθμός και η μάρκα των ράβδων, να σημειωθούν τα απαραίτητα γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής και τέλος τα στοιχεία των ράβδων που θα είναι πάνω στα τοπογραφικά σημεία.

Μια ράβδος τοποθετείται κάθετα με τη βοήθεια στηριγμάτων πάνω από το ψηλότερο σημείο της βάσης του μόνιμου τοπογραφικού σημείου αναφοράς. Με το όργανο χωροστάθμησης ρυθμίζεται η κατάλληλη απόσταση της τοποθέτησης της οπίσθιας ράβδου αλλά σ' ένα σημείο που δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 60 μέτρα, γιατί η μικρότερη κλίμακα μέτρησης που φέρει η ράβδος για ανάγνωση, σε τέτοιες τυπικές μεθόδους, είναι της τάξης του 0.5 του μέτρου και οι ανακλάσεις κοντά στο έδαφος μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά σφάλματα κατά την ανάγνωση των μετρήσεων (*Whalen 1981*). Κατά προσέγγιση, η απόσταση μεταξύ των ράβδων μπορεί να μετρηθεί με απλό βηματισμό και η υψομετρική διαφορά των ράβδων, κατά την εγκατάστασή τους, να μετρηθεί αξιόπιστα με μετροταινίες. Η μπροστινή ράβδος τοποθετείται σε μια απόσταση ίση με αυτή που έχει η οπίσθια ράβδος από το μετρικό όργανο. Η ανισομέρεια μεταξύ των δύο παραπάνω αποστάσεων δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 5.0 μέτρα, γιατί, όπως προαναφέρθηκε, η μικρότερη κλίμακα μέτρησης που φέρουν οι ράβδοι είναι της τάξης του 0.5 του μέτρου, όπως έχει οριστεί από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Γεωδαιτικού Ελέγχου 1984.

Το σφάλμα της υψομετρικής διαφοράς των ράβδων που υπολογίζεται για τις μικρές και τις μεγάλες κλίμακες μέτρησης δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 0.03 εκατοστά του μέτρου. Εάν το σφάλμα της διαφοράς που έχει υπολογιστεί και με τις δύο κλίμακες είναι μεγαλύτερο της παραπάνω τιμής, τότε πρέπει να ξαναγίνει έλεγχος της διάταξης και να επαναληφθούν οι μετρήσεις. Αφού έχουν γίνει αποδεκτές οι αναγνώσεις και οι απαραίτητοι έλεγχοι, η οπίσθια ράβδος και το όργανο χωροστάθμησης μεταφέρονται μπροστά από τη μπροστινή ράβδο. Παράλληλα μ' αυτή τη μετακίνηση, περιστρέφεται και η μπροστινή ράβδος κατά 180° , με πολύ μεγάλη προσοχή. Έτσι, η προηγούμενη οπίσθια ράβδος γίνεται τώρα ή μπροστινή ράβδος της διάταξης και η προηγούμενη μπροστινή ράβδος γίνεται η νέα οπίσθια ράβδος. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται μέχρι να εντοπιστεί το άλλο τοπογραφικό σημείο αναφοράς (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2 Παράδειγμα της γεωμετρικής χωροστάθμησης μεταξύ των τοπογραφικών σημείων A και E. Η μερική διαφορά της ανύψωσης του επιπέδου AB λαμβάνεται από την αφαίρεση της τιμής E1 με την τιμή F1. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται για τους σταθμούς 2, 3 και 4.

Μετά το πέρας της διαδικασίας και πριν συνεχιστεί σε άλλη τομή ή διάταξη, τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν ελέγχονται ξανά με προηγούμενες μετρήσεις στην ίδια διαδρομή για την αποφυγή οφθαλμοφανών λαθών.

Οι πηγές των λαθών της χωροστάθμησης πρώτης διάταξης τάξης II διακρίνονται σε απρογραμμάτιστες και συστηματικές. Τα απρογραμμάτιστα λάθη στις αναγνώσεις των μετρήσεων προκαλούνται από τις μετακινήσεις του τρίποδα που στηρίζει το όργανο χωροστάθμησης ή των σημείων πάνω στα οποία περιστρέφονται οι ράβδοι και το όργανο και από τις επιδράσεις που έχει η τυχόν ανισομέρεια μεταξύ των ράβδων στο όργανο στόχευσης. Τα συστηματικά λάθη είναι ασαφή αλλά σταθερά, και είναι αυτά που προέρχονται από το γήινο μαγνητικό πεδίο σε συγκεκριμένα είδη αντισταθμιστικών χωρομετρήσεων (*Rumpf and Meurisch 1981*), ή τα λάθη που μπορεί να εισαχθούν από την χρήση οργάνων ή ράβδων που δεν είναι καλά βαθμονομημένα.

Τα δεδομένα που αποκτήθηκαν στο πεδίο δίνουν μόνο μια προσέγγιση της αληθινής διαφοράς στην ανύψωση, που πραγματοποιείται στην περιοχή μεταξύ των τοπογραφικών σημείων αναφοράς. Πρέπει να υπολογιστούν αρκετοί ακόμη παράγοντες, για να υπάρξει η μέγιστη δυνατή ακρίβεια στα αποτελέσματα.

3.2.3 Χωροστάθμηση απλής διευθέτησης (Single Setup Leveling)

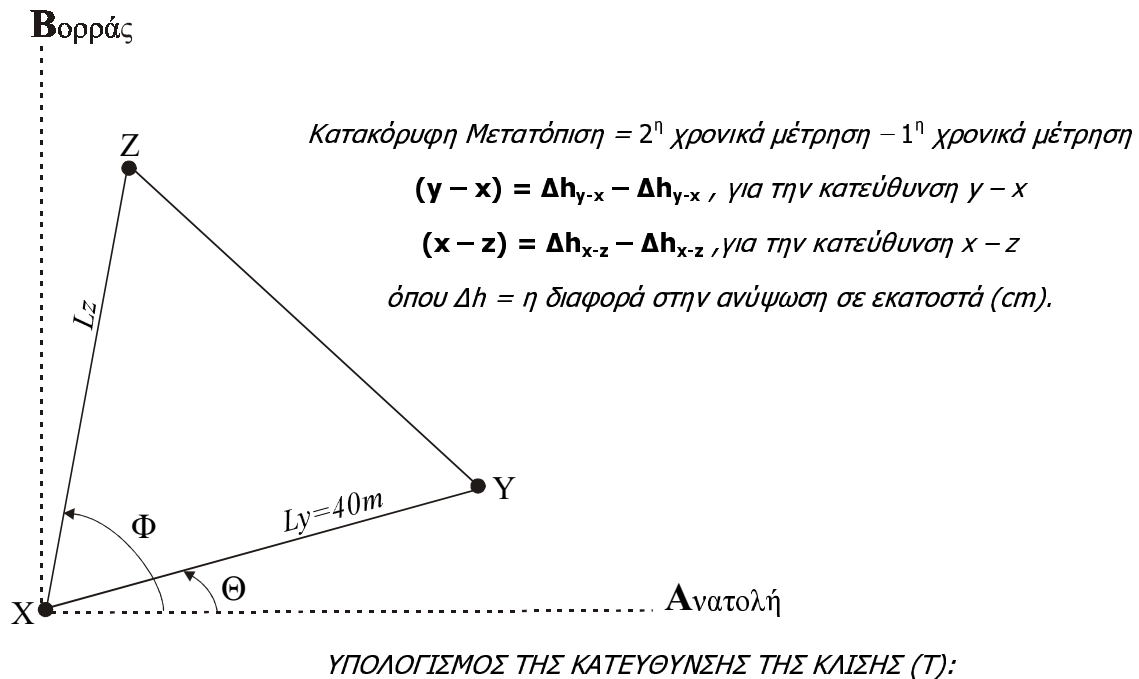
Η χωροστάθμηση απλής διευθέτησης ή γνωστή στους ηφαιστειολόγους, ως μέθοδος «ξηρής κλίσης» χρησιμοποιείται στα ηφαίστεια με τις μεγάλες εδαφικές παραμορφώσεις. Για τα ανδειστικά ηφαίστεια που εμφανίζουν αργές ή μικρές σε μέγεθος παραμορφώσεις, είναι καλύτερο να χρησιμοποιηθούν κυκλικές, σχήματος "L" ή σχήματος "T" διατάξεις, με διαστάσεις μικρότερες από 0.5 χλμ. Ο σχετικός προσανατολισμός των τοπογραφικών σημείων καθορίζεται σύμφωνα με τις περιοχές που δέχονται τη μέγιστη τάση. Σε γενικές γραμμές, είναι πολύ δύσκολο να υπάρξει ένα σημείο σε μια σταθερή θέση που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά και γι' αυτό το λόγο, οι περισσότερες των περιπτώσεων ερμηνεύονται σε σχετικές κατακόρυφες μετατοπίσεις.

Ο Yamashita (1982) δίνει μια περιγραφή της τριγωνικής μεθόδου μέτρησης της «ξηρής κλίσης» (Σχήμα 3.3). Ο όρος «ξηρή» χρησιμοποιείται για να διαφοροποιήσει αυτή την τεχνική από την μέθοδο του σωλήνα ύδατος (water-tube method), όπου η στάθμη του νερού μέσα σ' ένα σωλήνα χρησιμοποιείται ως αναφορά στις μετρήσεις των διαφορών της ανύψωσης (*Eaton 1959*).

Αν τρεις ράβδοι είναι διαθέσιμες, αυτές χαρακτηρίζονται ως X, Y και Z και τοποθετούνται κατακόρυφα σε τριγωνική (ισόπλευρη αν είναι δυνατόν) διάταξη πάνω στα διαθέσιμα τοπογραφικά σημεία. Οι ράβδοι τοποθετούνται μέσα σε βοηθητικά τρίποδα υποστηρίγματα, ενώ κάθε πλευρά της τριγωνικής διάταξης δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 40 μέτρα. Το όργανο χωροστάθμησης τοποθετείται στο κεντρικό σημείο της τριγωνικής διάταξης. Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι η μέτρηση της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ κάθε δυάδας των τριών τοπογραφικών σημείων αναφοράς.

Η διαδικασία μέτρησης είναι σχετικά απλή. Αρχικά, παίρνεται η πρώτη μέτρηση από τη ράβδο Y και στην συνέχεια ακολουθούν δύο μετρήσεις της ράβδου X, δύο μετρήσεις της ράβδου Y και η τελική μέτρηση γίνεται από τη ράβδο X. Αν η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των τριών αυτών σετ μετρήσεων δεν είναι μεγαλύτερη από 0.006 εκατοστά, η επόμενη

δυάδα, X και Z, μπορεί να μετρηθεί. Αν η διαφορά είναι μεγαλύτερη, τότε πρέπει να γίνουν πρόσθετες μετρήσεις για τη δυάδα X και Y. Η τελευταία μέτρηση που πάρθηκε στη ράβδο X μεταφέρεται τώρα στη δυάδα X και Z, ως πρώτη μέτρηση. Στη συνέχεια, λαμβάνονται δύο μετρήσεις στη ράβδο Z, δύο μετρήσεις στη ράβδο X και η τελική μέτρηση γίνεται στη ράβδο Z. Και εδώ, η μέγιστη επιτρεπόμενη διαφορά των τριών σετ πρέπει να είναι της τάξης των 0.006 εκατοστών. Με τον ίδιο τρόπο γίνεται και η μέτρηση της τελευταίας δυάδας Z και Y. Το Σχήμα 3.4 δείχνει μια τυπική διάταξη απλής χωροστάθμησης ή ξηρής κλίσης.



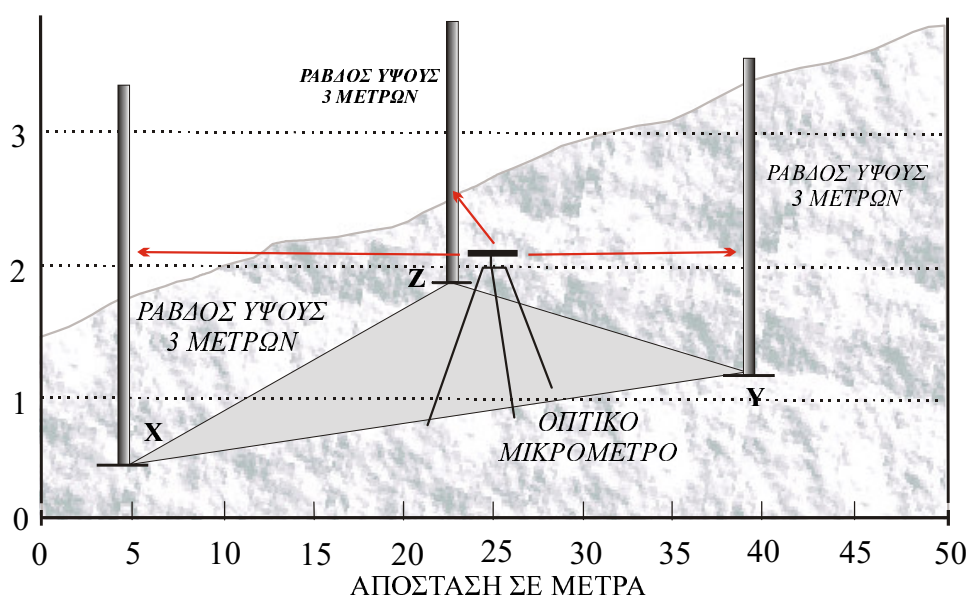
$$\tau (N) = [((-\sin\Phi) / L_y * \eta\mu(\Phi-\Theta)) * (y - x) - (\sin\Phi / L_z * \eta\mu(\Phi-\Theta)) * (x - z)] * 10000$$

$$\tau (E) = [(\eta\mu\Phi) / L_y * \eta\mu(\Phi-\Theta)) * (y - x) + (\eta\mu\Theta / L_z * \eta\mu(\Phi-\Theta)) * (x - z)] * 10000$$

Σχήμα 3.3 Θέση των τριγωνικών σειρών κλίσης. Τρία τοπογραφικά σημεία X, Y και Z μετριοούνται με το όργανο χωροστάθμησης δύο φορές. Οι κατακόρυφες μετατοπίσεις (y-x) και (x-z) είναι συγκρίσεις των αντίστοιχων διαφορών της ανύψωσης. Οι συνιστώσες της κλίσης του βορρά και της ανατολής [$\tau (N)$ και $\tau (E)$] σε microradians (μrad) υπολογίζονται από τις παραπάνω σχέσεις του σχήματος. Τα L_y , L_z , Φ και Θ είναι σταθερές οριζόντιες παράμετροι αυτής της τεχνικής (Yamashita 1982).

Αν χρησιμοποιούνται δύο ράβδοι, τότε αυτές χαρακτηρίζονται ως A και B. Η ράβδος A τοποθετείται στο τοπογραφικό σημείο Y και η ράβδος B τοποθετείται πάνω στο τοπογραφικό σημείο X. Η διαδικασία των μετρήσεων είναι ίδια με αυτή που περιγράφηκε παραπάνω. Αφού πραγματοποιηθούν τα σετ των μετρήσεων για τη δυάδα X και Y, η ράβδος A μεταφέρεται από το τοπογραφικό σημείο Y στο τοπογραφικό σημείο Z. Αφού πραγματοποιηθούν και αυτές οι μετρήσεις, και είναι αποδεκτές, μεταφέρεται η ράβδος B από το τοπογραφικό σημείο X στο

τοπογραφικό σημείο Υ και παίρνονται οι μετρήσεις του ζεύγους Ζ και Υ, για να τελειώσει η διαδικασία.



Σχήμα 3.4 Τυπική διάταξη χωροστάθμησης απλής διευθέτησης ή «ξηρής» κλίσης.

3.2.4 Τριγωνομετρική χωροστάθμηση

Με ένα όργανο ηλεκτρονικής μέτρησης της απόστασης (EDM) που συμπληρώνεται από ένα ή δύο θεοδόλιχους, πραγματοποιείται η τριγωνομετρική χωροστάθμηση ή έμμεση χωροστάθμηση. Η ακρίβεια της μεθόδου είναι μικρότερη απ' αυτή της γεωμετρικής χωροστάθμησης, αλλά με μερικές προφυλάξεις είναι δυνατό να φθάσει και τα 5 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm).

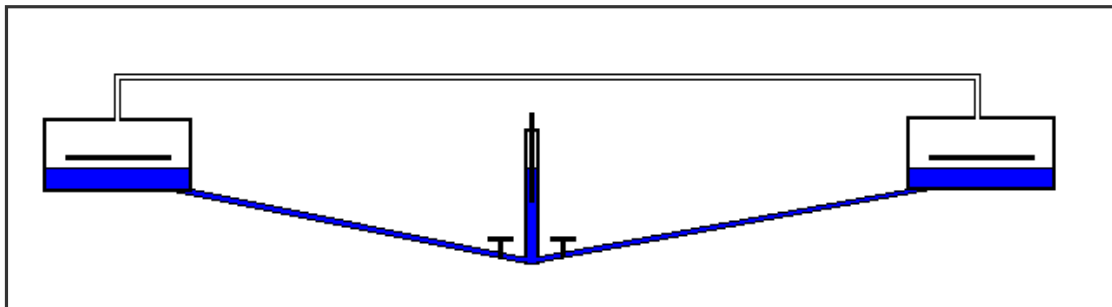
Η τεχνική περιλαμβάνει τη μέτρηση της απόστασης μιας γραμμής και μιας ή δύο κάθετων γωνιών και στα δύο τέλη της γραμμής. Όταν πραγματοποιείται με τη μέτρηση δύο κάθετων γωνιών είναι γνωστή ως τριγωνομετρική χωροστάθμηση, με αμοιβαίες και ταυτόχρονες παρατηρήσεις. Σ' αυτήν την περίπτωση, η εμβέλεια του οργάνου μπορεί να φθάσει και το 1 χιλιόμετρο. Αποστάσεις μικρότερες από 100 χιλιόμετρα μπορούν να χωροσταθμηθούν με τη μέτρηση της κάθετης γωνίας από το ένα τέλος της γραμμής παρατήρησης. Οι διαστάσεις του τριγωνομετρικού δικτύου χωροστάθμησης μπορεί να είναι ίδιου μεγέθους μ' αυτές ενός δικτύου γεωμετρικής χωροστάθμησης, ενώ η πυκνότητα των σημείων παρατήρησης μικρότερη. Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται ένα σημείο πάνω στη τοπογραφική βάση, στο οποίο θα κεντράρονται οι θεοδόλιχοι. Παρά τη μικρότερη ακρίβειά της, εκτελείται γρηγορότερα σε σχέση με τη γεωμετρική χωροστάθμηση και καλύπτει μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με το χρόνο εργασίας υπαίθρου. Η μέθοδος αυτή, πέρα από τη πληροφορία της κάθετης μετατόπισης που παρέχει, δίνει και οριζόντιες παραμέτρους, όπως είναι οι αποστάσεις και οι γωνίες.

Εφαρμόστηκε στο ηφαίστειο Poas της Costa Rica. Το δίκτυο της τριγωνομετρικής χωροστάθμησης ήταν ακτινικό. Η ακτίνα ξεκινούσε από το νότιο χείλος του κρατήρα και

έφτανε μέχρι ένα σημείο 0.8 χιλιομέτρων προς το νότο. Καταγράφηκαν μικρές αλλαγές της κλίσης, με μέσο όρο τα 10 μικροακτίνια (mrad), ενώ το 1990 η αποκτηθείσα ακρίβεια στα δεδομένα επιτεύχθηκε με την προσθήκη περισσότερων ζενίθων γωνιών στην κάθε μέτρηση.

3.2.5 Κλισίμετρα τύπου σωλήνα ύδατος (water-tube tiltmeters)

Η τεχνική αυτού του είδους χρησιμοποιεί τις μετρήσεις του επιπέδου του νερού μέσα σε δύο δοχεία, τα οποία επικοινωνούν με ένα εύκαμπτο σωλήνα. Ο Eaton (1959) δίνει μια λεπτομερή περιγραφή αυτού του οργάνου από την εφαρμογή του για παρατηρήσεις στο ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Χαβάης. Οι κλιματικές συνθήκες, ειδικά οι αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού σε κάθε δοχείο, μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα διαφορικές αλλαγές στο επίπεδο του. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, τα όργανα αυτά τοποθετούνται σε υπόγειους τεχνικούς θαλάμους, όπου η ημερήσια αλλά και οι πρόσκαιρες θερμοκρασιακές αλλαγές είναι ελάχιστες. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η συνεχής παρατήρηση και συλλογή δεδομένων. Η λειτουργία των κλισιμέτρων τέτοιου τύπου είναι απλή και παριστάνεται στο Σχήμα 3.5. Όπως προαναφέρθηκε, δύο δοχεία (κυλινδρικά) με τις ίδιες διαστάσεις συνδέονται μεταξύ τους με ένα σωλήνα. Οι κύλινδροι και ο σωλήνας γεμίζονται με νερό έτσι ώστε η διαφορά στο επίπεδο του νερού κάθε κυλίνδρου να δείχνει και την υφιστάμενη κλίση. Ένας κενός σωλήνας συνδέει επίσης τα δύο δοχεία από το πάνω μέρος τους (τα δοχεία είναι σφραγισμένα) για να εμποδίζει την πίεση στην επιφάνεια του νερού που οφείλεται στον αέρα που πιέζεται καθώς το επίπεδο του νερού στον ένα σωλήνα ανέρχεται και στον άλλο υποχωρεί.



Σχήμα 3.5 Διάταξη και λειτουργία του κλισιμέτρου τύπου σωλήνα ύδατος (επεξήγηση στο κείμενο).

Ο διαχωρισμός των δοχείων καθορίζει και την ευαισθησία του οργάνου. Η διάμετρος του σωλήνα και των δοχείων, καθώς και το μήκος του σωλήνα που επικοινωνούν τα δύο δοχεία, καθορίζουν την περίοδο της ελεύθερης ταλάντωσης του συστήματος. Στο κέντρο του σωλήνα βρίσκεται ένα όργανο βαθμονόμησης που αποτελείται από ένα σωλήνα σύνδεσης με ένα έμβολο, απ' το οποίο το επίπεδο του νερού μπορεί να μετατραπεί σε μια γνωστή μονάδα μέτρησης.

3.2.6 Ηλεκτρονικά κλισίμετρα

Τα φορητά συστήματα μέτρησης κλίσης – υγρής ή ξηρής – έχουν ένα μειονέκτημα, στο ότι αυτά παρέχουν μόνο περιοδική παρατήρηση, παρόλο που αυτό το πρόβλημα μπορεί να απλοποιηθεί με τη συχνή επαναμέτρηση των θέσεων μέτρησης κλίσης. Μόνιμα κλισίμετρα

σωλήνα νερού, αν βρίσκονται σε ένα κοντινό στο ηφαίστειο, επανδρωμένο παρατηρητήριο, παρέχουν πιο συνεχή παρατήρηση, επειδή αυτά συνήθως διαβάζονται καθημερινώς και, αν είναι απαραίτητο, ωριαία ή ακόμα και πιο συχνά. Τα ηλεκτρονικά κλισίμετρα, παρόλο αυτά, μετρούν μεταβολές της κλίσης σε μια πραγματική συνεχή βάση, 24 ώρες την ημέρα ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Έτσι, αυτά μπορούν να εντοπίσουν γρήγορα εξελισσόμενους πρόδρομους δείκτες, που θα χανόντουσαν από την περιοδική παρατήρηση. Προσφέρουν επίσης αρκετά άλλα χρήσιμα χαρακτηριστικά: (1) μπορούν να εντοπίσουν κλίσεις πολύ πιο μικρότερες από εκείνες που είναι πιθανόν να εντοπιστούν με υγρής ή ξηρής κλίσης τεχνικές, (2) έχουν υψηλή και ευκανόνιστη κλίμακα δυναμικής ενίσχυσης, (3) ορισμένα μοντέρνα όργανα είναι άμεσης μεταφοράς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θέσεις δύσκολες ή αδύνατες να παρατηρηθούν από άλλες τεχνικές, (4) οι συνεχόμενες καταγραφόμενες διαφοροποιήσεις της κλίσης μπορούν να λειτουργήσουν ως ένας οδηγός στον προγραμματισμό της επαναμέτρησης διαστημάτων σε δίκτυα υπαίθριων παρατάξεων, για να αυξηθεί η πιθανότητα καταγραφής βραχείας διάρκειας μεταβολών κλίσης, και (5) μπορούν να παρέχουν τηλεμετρικά δεδομένα κλίσης από απομακρυσμένες ή επικίνδυνες περιοχές, χωρίς κανέναν κίνδυνο για τον παρατηρητή.

Τα ηλεκτρονικά κλισίμετρα, παρόλο αυτά, έχουν επίσης αρκετά σοβαρά μειονεκτήματα. Είναι πολύ δαπανηρά, σε σύγκριση με τις τεχνικές μέτρησης υγρής ή ξηρής κλίσης, με τους όρους της αρχικής αγοράς και της εγκατάστασης, καθώς επίσης και της μετέπειτα λειτουργίας, συντήρησης, και επεξεργασίας των δεδομένων. Οι μικρές τους βάσεις (λίγα εκατοστά μέχρι και λίγα μέτρα) κάνουν τα ηλεκτρονικά κλισίμετρα πολύ πιο ευαίσθητα στην τοπική αστάθεια της θέσης, παρά οι μεγαλύτερες βάσεις (δεκάδες μέτρα) που χρησιμοποιούνται με τις παρατάξεις μέτρησης κλίσης. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι τα ηλεκτρονικά και τα μεταλλικά τους μέρη είναι ευαίσθητα στις μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, οι οποίες εισαγάγουν διαφοροποιήσεις (ημερήσιες, εποχιακές) άσχετες με την εδαφική παραμόρφωση. Μείωση ή εξάλειψη αυτού του προβλήματος απαιτεί την εγκατάσταση του κλισιμέτρου σε μια θερμικά απομονωμένη τοποθεσία (π.χ., υπόγειος θόλος, σπηλιά, αγωγός λάβας) και/ή τη χρήση επιπρόσθετων ενόργανων συνιστωσών για την διόρθωση των θερμικών αποτελεσμάτων (επιδράσεων) στα καταγεγραμμένα δεδομένα.

Πολλά ηλεκτρονικά κλισίμετρα, μετά από την αρχική τους εγκατάσταση, απαιτούν μια περίοδο «τακτοποίησης» αρκετών εβδομάδων μέχρι και μήνες, πριν από την επίτευξη αξιόπιστων δεδομένων. Αυτό συνιστά ένα πολύ μεγάλο μειονέκτημα, αν αυτά χρησιμοποιηθούν στο μέσο μιας ταχείας εξελισσόμενης ηφαιστειακής κρίσης. Τα κλισίμετρα είναι επίσης τρωτά σε προβλήματα των οργάνων, που σχετίζονται με τη μείωση ακρίβειας ή βλάβη των ηλεκτρονικών. Έτσι, κάθε κλισίμετρο πρέπει να ρυθμίζεται περιοδικά, σε σύγκριση με ένα σταθμό υγρής ή ξηρής κλίσης στην ίδια ή σε μια κοντινή θέση, για να ελέγχεται αν οι καταγεγραμμένες μεταβολές της κλίσης είναι αυθεντικές και σχετικές με την δυναμική του ηφαιστείου ή είναι παρεκκλίσεις που οφείλονται σε προβλήματα ηλεκτρονικών, εγκατάστασης, ή σταθερότητας της θέσης. Χωρίς αυστηρούς, περιοδικούς ελέγχους της ρύθμισης, τα δεδομένα από τα ηλεκτρονικά κλισίμετρα μπορούν να παρερμηνευθούν, υποδεικνύοντας πλασματική ηφαιστειακή παραμόρφωση, με αποτέλεσμα να προκληθεί σύγχυση και, πιθανότατα, περιττή ανησυχία.

3.2.7 Μετρήσεις GPS

Το Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS) προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, σχετικά με τις παρακολουθήσεις ηφαιστείων που χρησιμοποιούν τον ηλεκτρονικό τρόπο μέτρησης της απόστασης. Το GPS δεν απαιτεί «μονοπάτια» ορατά από τοπογραφικό σε τοπογραφικό σημείο. Έτσι, τα τοπογραφικά σημεία αναφοράς σ' ένα δίκτυο GPS μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε, με καλή θέα στον ουρανό, σε μια ηφαιστειακή περιοχή (Σχήμα 3.6). Αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα για τα περισσότερα ηφαίστεια, όπου οι απότομες κλίσεις των στρωματο-ηφαιστείων (Mount Rainier) ή οι μεγάλες εκτάσεις των ηπιότερων σε κλίση ασπιδικών ηφαιστείων (Mauna Loa) συχνά αποτελούν εμπόδιο στο οπτικό πεδίο μεταξύ των τοπογραφικών σημείων αναφοράς. Ένα άλλο πλεονέκτημα του GPS είναι ότι, οι μετρήσεις μπορούν να γίνονται αδιάκοπα, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Οριζόντιες και κάθετες αλλαγές των σημείων μέτρησης μπορούν να μετρηθούν με μια ακρίβεια λίγων χιλιοστών για τις οριζόντιες και ορισμένων χιλιοστών για τις κατακόρυφες. Τέλος, οι δέκτες GPS είναι φορητοί, απαιτούν μόνο ένα άτομο για την εγκατάσταση του εξοπλισμού και μπορούν να διαβιβάζουν τα στοιχεία με προσέγγιση πραγματικού χρόνου και να λειτουργούν χωρίς μεγάλες απαιτήσεις συντήρησης (έως καθόλου) για πολλούς μήνες, εκμεταλλευόμενοι την ηλιακή ενέργεια και τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες τους.



Σχήμα 3.6 Δέκτης GPS στο ηφαίστειο Augustine, Αλάσκα, 1995 (από USGS).

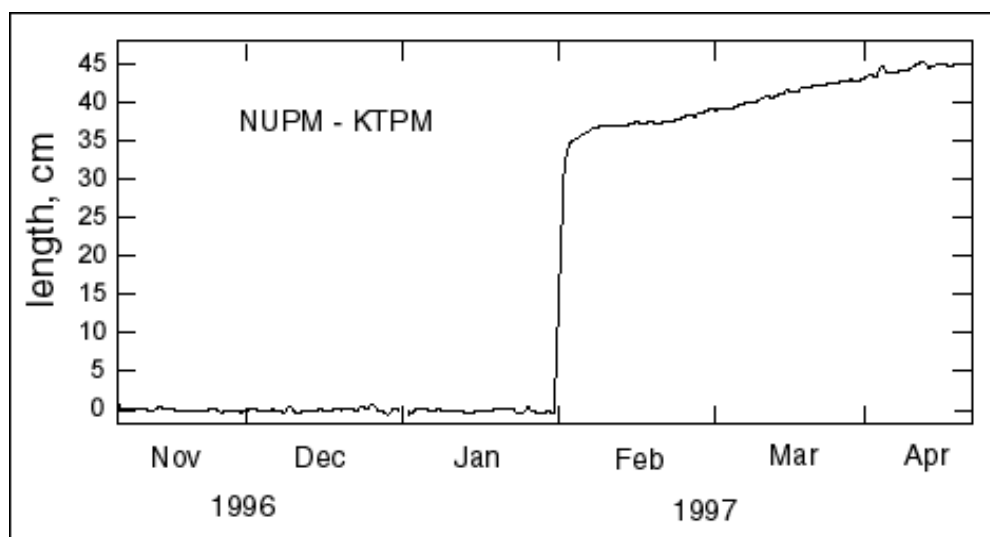
τους, τους ψηφιακούς κωδικούς τους και ένα ακριβέστατο χρονικό σήμα. Ένας δέκτης GPS χρησιμοποιεί ένα εσωτερικό ρολόι και τους κώδικες που εκπέμπονται από τέσσερις

Το σύστημα GPS αποτελείται από μια ομάδα 24^{ωv} δορυφόρων. Κάθε δορυφόρος εκτελεί μια πλήρη περιστροφή γύρω από τη γη δύο φορές τη μέρα, σε ένα υψόμετρο 20.000 χιλιομέτρων ενώ παράλληλα διαβιβάζει την πληροφορία συνεχόμενα και σε συγκεκριμένη ηλεκτρομαγνητική συχνότητα στους γήινους δέκτες. Το σύστημα GPS αναπτύχθηκε από το Αμερικάνικο Υπουργείο Άμυνας, σαν ένα παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού, και έχει υιοθετηθεί από τους πολίτες και για άλλες χρήσεις, συμπεριλαμβανομένης της έρευνας, της χαρτογράφησης και άλλων επιστημονικών εφαρμογών. Οι σχετικά φθηνοί δέκτες GPS, όπως αυτοί που χρησιμοποιούν οι πιλότοι, οι ναυτικοί και οι ενθουσιώδεις λάτρεις της φύσης, έχουν ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης της τάξης των μερικών δεκάδων μέτρων. Με τους τεχνικά καλύτερους δέκτες και σε συνδυασμό με τις τεχνικές ανάλυσης των δεδομένων, είναι δυνατό να επιτευχθεί ακρίβεια λιγότερη από ένα εκατοστό του μέτρου.

Οι δορυφόροι του συστήματος GPS εκπέμπουν συνεχόμενα μια εκτίμηση της θέσης

τουλάχιστον δορυφόρους, για να καθορίσει τις αποστάσεις. Η απόσταση είναι το γινόμενο του χρόνου που χρειάζεται το ράδιο-σήμα για να διαβαστεί από τους δέκτες επί την ταχύτητα με την οποία ταξιδεύουν τα ραδιοκύματα που είναι, περίπου, 186.000 μίλια ανά δευτερόλεπτο (300.000 Km/sec), που είναι η ταχύτητα του φωτός. Γνωρίζοντας που βρίσκονται οι δορυφόροι όταν εκπέμπουν τα ράδιο-σήματά τους, ο δέκτης μπορεί να υπολογίσει τη θέση του στη γη ή στον αέρα. Το μυστικό είναι ότι οι δέκτες πρέπει να λάβουν ταυτόχρονα τα ράδιο-σήματα από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους και αυτό γιατί τα εσωτερικά ρολόγια των δεκτών δεν είναι τόσο ακριβή όσο τα ατομικά ρολόγια των δορυφόρων. Εάν για παράδειγμα τα ρολόγια ενός δέκτη και ενός δορυφόρου έχουν διαφορά στην ακρίβεια τους 1/1000 του δευτερολέπτου, η μέτρηση της απόστασης μπορεί να εμπεριέχει λάθος της τάξης των 186 μιλίων. Η τέταρτη μέτρηση επιτρέπει ουσιαστικά στο δέκτη να διορθώσει το εσωτερικό του ρολόι.

Η υπάρχουσα ομάδα των δορυφόρων παρέχει στο χρήστη του συστήματος GPS την ανάγνωση 5 έως και 8 δορυφόρων με θέα από οπουδήποτε πάνω στη γη, με την προϋπόθεση να υπάρχει ανεμπόδιστη θέα προς τον ουρανό απ' όλες τις διευθύνσεις. Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω, ένας δέκτης GPS μπορεί να καθορίσει τη θέση του πολύ γρήγορα και με ακρίβεια μερικών μέτρων. Στα ηφαίστεια, όμως, μια ακρίβεια λίγων εκατοστών ή και χιλιοστών είναι εξαιρετικά σημαντική για την ανίχνευση της συγκεντρωμένης τάσης και της πίεσης που προκαλεί το ανερχόμενο μάγμα προς την επιφάνεια του εδάφους. Για να επιτευχθεί αυτή η ακρίβεια στον υπολογισμό των αποστάσεων με τη χρήση του GPS, πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες. Ένας τέτοιος παράγοντας είναι και η μεταβολή της ταχύτητας του σήματος που εκπέμπει ο δορυφόρος, καθώς αυτό διασχίζει την ατμόσφαιρα και η μη ακρίβεια ή αβεβαιότητα για τη θέση του δορυφόρου.



Σχήμα 3.7 Γραφική παράσταση που δείχνει την αύξηση στην απόσταση μεταξύ NUPM και KTPM (σταθμοί GPS) κατά τη διάρκεια της παρείσφρησης του μάγματος στη ζώνη των ανατολικών ρηγμάτων και την έκρηξη της λάβας από τον κρατήρα Napau στις 30 Ιανουαρίου, 1997 (από USGS).

Ένας κοινός τρόπος να εξαλειφθούν τέτοιου είδους πιθανά σφάλματα είναι να συγχρονιστούν αρκετοί δέκτες GPS που βρίσκονται στα τοπογραφικά σημεία αναφοράς, ώστε να συλλέγονται ταυτόχρονα από τους ίδιους δορυφόρους. Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο

ποσοστό σφάλματος στην ακρίβεια για όλες τις περιοχές συνδέεται με τη διέλευση του ράδιο-σήματος στην ατμόσφαιρα και με την ανακρίβεια της θέσης των δορυφόρων, μπορεί να υπολογιστεί η θέση τους με ακρίβεια της τάξης του ενός εκατοστού με τη σύγκριση πολλών ταυτόχρονων τιμών. Για την επίτευξη της μέγιστης ακρίβειας, συλλέγονται δεδομένα GPS για 8 έως 24 ώρες και μετά υπολογίζεται η θέση του κάθε τοπογραφικού σημείου αναφοράς με τη χρήση περισσότερων δορυφορικών θέσεων, και αφού έχει γίνει γνωστή και η ατμοσφαιρική επίδραση στα ράδιο-σήματα.

3.2.8 Παρακολούθηση των επιπέδων των υδάτινων όγκων

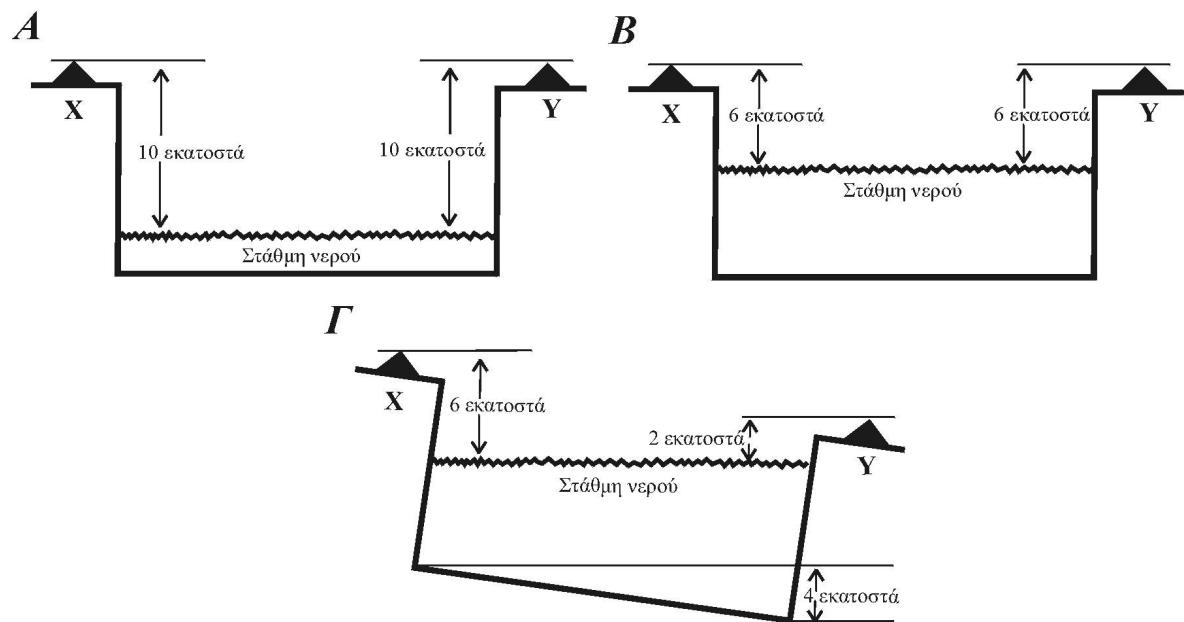
Αυτού του είδους η παρατήρηση είναι δυνατή μόνο αν κοντά στο ηφαίστειο υπάρχει μια λίμνη ή η ηφαιστειακή περιοχή είναι παραθαλάσσια ή είναι ηφαιστειακό νησί. Η συνεχής καταγραφή ενός υδάτινου σώματος που συνορεύει με ένα ηφαίστειο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά για την ανίχνευση και την μέτρηση των σχετικών κατακόρυφων μετατοπίσεων συγκεκριμένων σημείων ή οριζόντων της παρακείμενης χερσαίας μάζας (π.χ. όλου του ηφαιστειακού οικοδομήματος ή τμήματος του).

Αν οι μεταβολές στο επίπεδο του νερού είναι επαρκώς μεγάλες ή γρήγορες, η σχετική ανύψωση ή υποχώρηση μπορεί να εντοπιστεί και οπτικώς από τις διάφορες τροποποιήσεις στην ακτογραμμή ή κοντά στην επιφάνεια. Τέτοιες τροποποιήσεις έχουν συμβεί και παρατηρηθεί στο παρελθόν και είναι η ανάδυση ή η κατάδυση αρχαιολογικών έργων (μνημεία, αποβάθρες, κτίρια, τοίχοι) ή προϊστορικών γεωλογικών ή γεωμορφολογικών σχηματισμών (σχηματισμών οστράκων, κοραλλιογενείς ύφαλοι, ανυψωμένες παραλίες ή αναβαθμίδες, κυματοθραυστικές πλατφόρμες λάβας) (*Moore και Fornari 1984*). Η διαφορική ανύψωση οριζόντων συγκεκριμένων υδρόβιων οργανισμών (όπως βάλανοι και φύκη) παρέχουν σημαντικά στοιχεία, γιατί σχετίζονται άμεσα με τις μεταβολές της στάθμης του νερού στο οποίο αναπτύσσονται. Για παράδειγμα, τρυπήματα από θαλάσσιους οργανισμούς στις πέτρινες κολώνες της αρχαίας ρωμαϊκής Αγοράς στο Serapeo (χτισμένη κοντά στο λιμάνι του Pozzuoli) αποτέλεσαν σημαντικά στοιχεία για τις διακυμάνσεις του επιπέδου της θάλασσας με εύρος μεγαλύτερο των 10 μέτρων κατά τη διάρκεια των περασμένων δύο χιλιάδων χρόνων στην καλδέρα Campi Flegrei, στην Ιταλία (*Parascandola 1947, Berrino et al. 1984*). Επιπροσθέτως, μεταβολές στους ενδοπαλιρροιακούς ορίζοντες οστράκων έχουν χρησιμοποιηθεί, για να παρουσιαστεί η εδαφική παραμόρφωση στην καλδέρα Rabaul, στην Παπούα Νέα Γουινέα (*de St. Ours 1987*).

Γενικά, οι μεταβολές στο επίπεδο του νερού που σχετίζονται με την εδαφική παραμόρφωση, είναι αρκετά μικρές και βαθμιαίες για να παρατηρηθούν οπτικά. Παρόλα αυτά, τέτοιες μεταβολές μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια από παλιρροιογράφους, μετρητές πίεσης, ή από άλλα όργανα (π.χ., *Gutenberg 1933, Tsuboi 1937, Moore 1970, 1987, Otway et al. 1984 pp. 47-48, Hamilton 1987*).

Η βασική αρχή που διέπει την παρακολούθηση του επιπέδου της στάθμης του νερού μιας λίμνης ή μιας παράκτιας περιοχής στην έρευνα της εδαφικής παραμόρφωσης στηρίζεται στο γεγονός πώς, το επίπεδο της στάθμης του νερού παραμένει οριζόντιο, ανεξάρτητα από την παραμόρφωση που υφίστανται τα περιβάλλοντα στερεά πετρώματα. Επομένως, σχετικές αλλαγές στο κατακόρυφο επίπεδο μεταξύ σταθερών σημείων αναφοράς και της στάθμης του

νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της σχετικής κατακόρυφης μετατόπισης μεταξύ των σημείων αναφοράς.



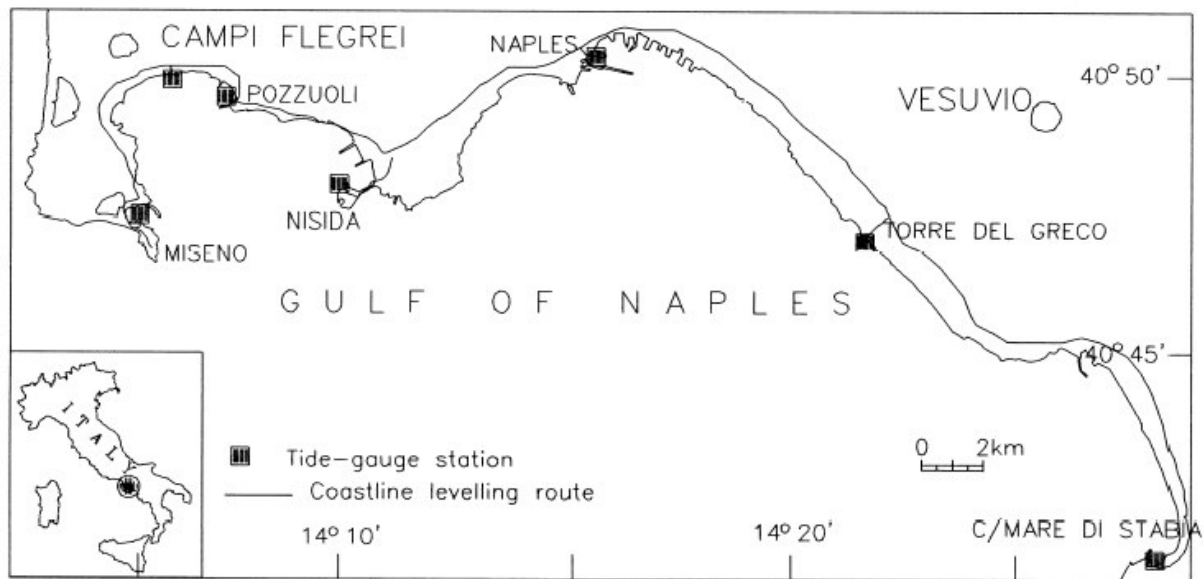
Σχήμα 3.8 Παρακολούθηση του επιπέδου της στάθμης μιας λίμνης (επεξήγηση στο κείμενο).

Το Σχήμα 3.8 περιγράφει την παρακολούθηση του επιπέδου της στάθμης μιας λίμνης. Τα τρίγωνα X και Y αναπαριστούν σταθερά σημεία αναφοράς στις όχθες της λίμνης. Στην A περίπτωση, η αρχική μέτρηση και των δύο σταθερών σημείων σε σχέση με την στάθμη του νερού της λίμνης είναι 10 εκατοστά. Στην B περίπτωση, η επαναμέτρηση μετά από διέλευση ορισμένου χρόνου έδειξε ανύψωση της στάθμης 4 εκατοστά και στα δύο σημεία αναφοράς. Καμιά διαφορά στην κλίση μεταξύ των δύο σημείων δεν καταγράφηκε. Στην Γ περίπτωση, η μέτρηση μετά από διέλευση πρόσθετου χρόνου έδειξε ότι για το σημείο X η απόσταση από τη στάθμη της λίμνης είναι 6 εκατοστά και για το σημείο Y είναι 2 εκατοστά. Αν χρησιμοποιηθεί σαν σημείο αναφοράς το X και συγκριθούν οι τελευταίες μετρήσεις θα διαπιστωθεί μια γενική ανύψωση της λίμνης 4 εκατοστών. Αν τώρα χρησιμοποιηθεί και το σημείο Y και συσχετισθεί με το X θα παρατηρηθεί μια διαφορά στην ανύψωση 8 εκατοστών, εκ των οποίων τα 4 εκατοστά οφείλονται στη γενική ανύψωση του νερού της λίμνης και τα 4 εκατοστά προκύπτουν από το συσχετισμό του σημείου Y με το σημείο X.

Δίκτυα παλιρροιογράφων υπάρχουν από πολλές δεκαετίες στην Ιταλία για την Αίτνα και το Βεζούβιο (Σχήμα 3.9).

Οι παλιρροιογράφοι βγαίνουν σε μια ποικιλία από μοντέλα, αλλά όλοι βασικά αποτελούνται από το όργανο μέτρησης (αισθητήριο), το οποίο τοποθετείται στο νερό. Αυτό συνδέεται με το σταθμό βάσης, που βρίσκεται έξω από το νερό, μ' ένα καλώδιο το οποίο είναι το μέσο μεταφοράς των δεδομένων στο σταθμό. Ο σταθμός μπορεί να είναι ενεργειακά αυτόνομος (ηλιακός) και να μεταδίδει τα δεδομένα τηλεμετρικά στο ηφαιστειολογικό

παρατηρητήριο ή οπουδήποτε αλλού, ανάλογα με τις ανάγκες και το σχεδιασμό του δικτύου. Οι μετρήσεις μπορεί να είναι συνεχείς ή περιοδικές.



Σχήμα 3.9 Το δίκτυο παλιρροιογράφων στην περιοχή Campi Flegrei της Ιταλίας (κατά G. Berrino 1998).

3.3 Επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων

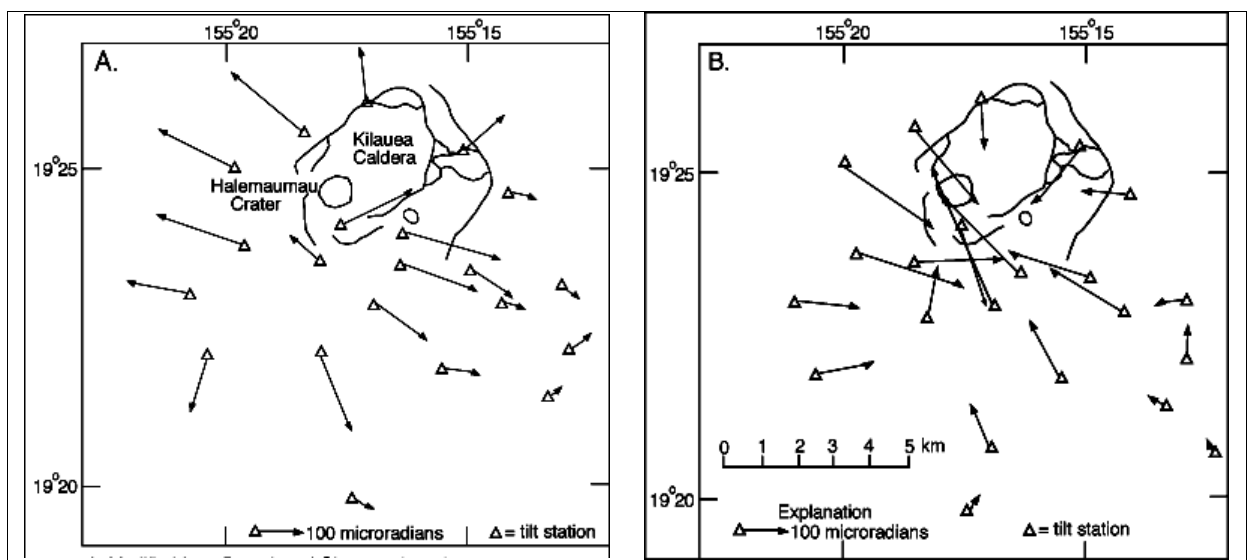
Σε γενικές γραμμές, μετά την εργασία στο πεδίο και τον έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων, η πληροφορία συγκεντρώνεται για επεξεργασία, με σκοπό να υπολογιστεί το μέγεθος των μετατοπίσεων. Για ένα δεδομένο διάστημα χρόνου, μπορούν να υπάρξουν στατιστικά δηλωτικές διαφορές στην ανύψωση, στις οριζόντιες από σημείο σε σημείο αποστάσεις και την κλίση (όσον αφορά τη σχέση μεταξύ κάθετων και οριζοντίων γωνιών). Αυτά τα μεγέθη συγκρίνονται με τα προηγούμενα που είχαν εντοπιστεί και στο παρελθόν (αν είχαν προηγηθεί τέτοιου είδους μετρήσεις). Οι τυπικοί παράμετροι περιέχουν τις κατακόρυφες μετατοπίσεις, τα διανύσματα κλίσης και τις οριζόντιες διαφοροποιήσεις. Τα μεγέθη παρουσιάζονται σε διαγράμματα ως συνάρτηση του χρόνου. Μετά απ' όλα αυτά, μπορούν να κατασκευαστούν μοντέλα που να ερμηνεύουν, για παράδειγμα, την ταχύτητα ή την συχνότητα των μετατοπίσεων. Μπορούν επίσης τα αποτελέσματα να συσχετισθούν και με τα αποτελέσματα άλλων μεθόδων παρακολούθησης των ηφαιστειών (σεισμικών, χημικών κ.α.), ώστε τα συμπεράσματα να είναι πιο ολοκληρωμένα.

3.3.1 Χωρικές μεταβολές

Η σύγκριση δύο διαδοχικών διαφορών της ανύψωσης μπορεί να υπολογιστεί σε μια γωνιώδης κλίση. Όπως και να 'χει πάντως, δεν υπάρχει σιγουριά της σταθερότητας του σημείου που είναι πέρα από την υποτιθέμενη προέλευση της παραμόρφωσης. Δεν υπάρχει τρόπος να ερμηνευθούν απόλυτα οι κατακόρυφες μεταβολές, αλλά όταν η σχετική κλίση εκφράζεται ως διάνυσμα κλίσης μπορεί εύκολα να γίνουν κατανοητές αυτές οι μεταβολές.

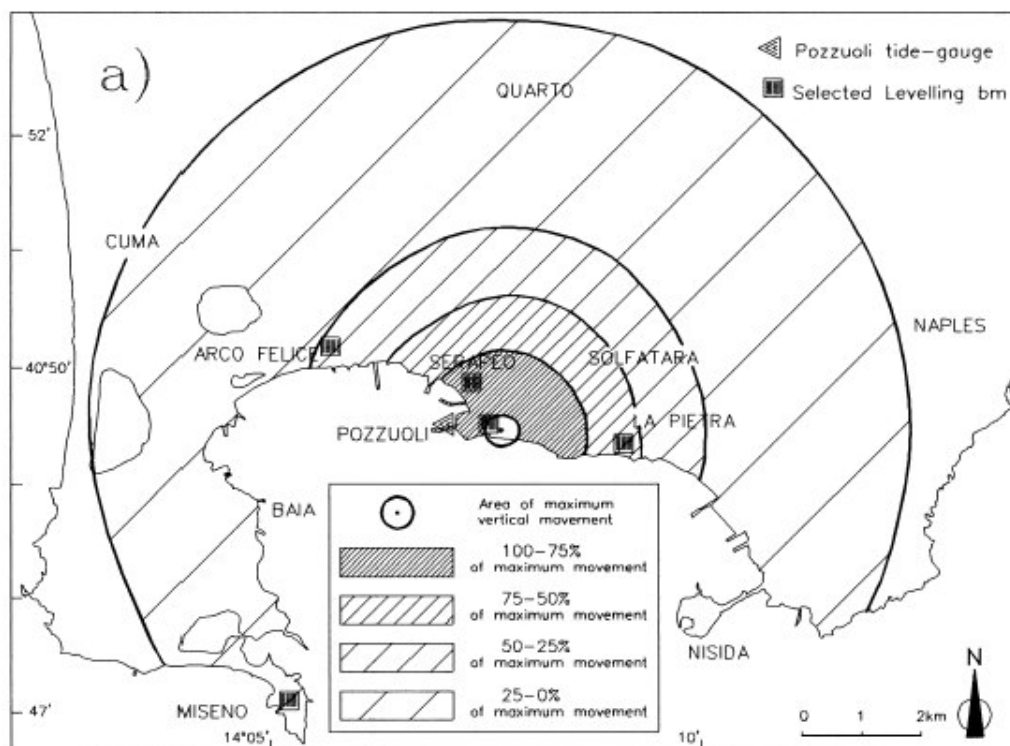
Κατά συνθήκη, το βέλος του διανύσματος της κλίσης δείχνει την κλίση που πραγματοποιείται στο έδαφος προς τα κάτω και το μέγεθος αυτής εκφράζεται σε μικροακτίνια (μrad) ή ppm. Σε μια συνηθισμένη ηφαιστειακή περιοχή, όπου πραγματοποιούνται εδαφικές παραμορφώσεις, μπορούν να σχεδιαστούν με κλίμακα τα διανύσματα της κλίσης. Αν τα διανύσματα της κλίσης είναι ακτινικά τοποθετημένα γύρω από την περιοχή και τα βέλη τους δείχνουν κατεύθυνση προς το ηφαίστειο, το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως χαλάρωση ή «ξεφούσκωμα» του ηφαιστειακού οικοδομήματος (Σχήμα 3.10-B). Αντίθετα, αν τα διανύσματα κλίσης είναι ακτινικά τοποθετημένα γύρω από την περιοχή και τα βέλη τους δείχνουν κατεύθυνση απομάκρυνσης από το ηφαίστειο το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως ανύψωση ή «φούσκωμα» του ηφαιστειακού οικοδομήματος (Σχήμα 3.10-A). Είναι δυνατόν να σχεδιαστούν ακολουθίες διανυσμάτων (πρόσθεση διανύσματος) (Tryggvason 1994). Τα σφάλματα των διανυσμάτων της κλίσης μπορούν να υπολογιστούν και να σχεδιαστούν αν έχουν προηγηθεί πλεονάζουσες παρατηρήσεις στο πεδίο. Τα σφάλματα των διανυσμάτων της κλίσης σχεδιάζονται ως ελλείψεις.

Για την ερμηνεία των οριζόντιων μετατοπίσεων, οι γραμμικές τάσεις (συστολής-διαστολής) των ευθειών παρατήρησης υπολογίζονται και παριστάνονται γραφικά ως διανύσματα μετατόπισης, χωριστά για κάθε ευθεία. Γεωδαιτικά αποτελέσματα μπορούν να υπολογιστούν ως τανυστές πίεσης-έκτασης, σύμφωνα με τη θεωρία της ελαστικότητας. Αυτός ο υπολογισμός επιτρέπει στους ερευνητές να ερμηνεύουν τα μεγέθη και τις διευθύνσεις των τάσεων έκτασης-συμπίεσης της επιφάνειας του εδάφους, τη μέγιστη διατμητική τάση και την επέκταση της περιοχής από τις διαφορές των τριγωνικών ή πολυγωνικών παρατάξεων. Η τοπική επέκταση που παρατηρείται από μια τριγωνική διάταξη γύρω από το ηφαιστειακό συγκρότημα του Kilauea δείχνει αλλαγές στενά συνδεδεμένες με τις ηφαιστειακές δραστηριότητες από την περίοδο 1966 έως και το 1970 (Kinoshita et al. 1974).



Σχήμα 3.10 Διανύσματα κλίσης στην κορυφή του ηφαιστίου Kilauea της Χαβάης (επεξήγηση στο κείμενο) (Dvorak & Okamura 1987).

Οι καμπύλες ίσων κατακόρυφων μετατοπίσεων, που στηρίζονται στον προσδιορισμό και τη σταθεροποίηση ενός κατάλληλου σημείου απομακρυσμένου από το δίκτυο παρακολούθησης, μπορούν να δώσουν μια καλή εικόνα για την κατανομή της παραμόρφωσης και τις θέσεις των μέγιστων σημείων της ανύψωσης (Σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.11 Ισοϋψείς της κατακόρυφης εδαφικής παραμόρφωσης στην περιοχή Campi Flegrei της Ιταλίας (G. Berrino 1998).

Επειδή οι μετατοπίσεις εξαρτώνται από το μέγεθος και το σχήμα της πηγής που προκαλεί την παραμόρφωση (του μαγματικού θαλάμου για παράδειγμα) ενδείκνυται οι ακτινικές και οι εφαπτομενικές γραμμές της ηλεκτρονικής μέτρησης της απόστασης EDM να τοποθετούνται σε συνδυασμό με τα δίκτυα μέτρησης της ανύψωσης. Βασικά, ο συγκεκριμένος τύπος έρευνας της παραμόρφωσης παρέχει στους ερευνητές μια καλύτερη ιδέα για το χώρο (θέση και βάθος) και το μέγεθος της πηγής που προκαλεί την παραμόρφωση. Έτσι, συμπληρώνουν με στοιχεία άλλες πληροφορίες, που μπορούν να μοντελοποιήσουν τις κινήσεις του μάγματος μέσα στο ηφαίστειο. Έτσι και καθοριστεί η βασική συμπεριφορά του ηφαιστείου (baseline), η ερμηνεία θα υποδεικνύει τις περαιτέρω βελτιώσεις που θα πρέπει να γίνουν στο σχεδιασμό του δικτύου από την τροποποίηση ή την επέκταση των περισσότερο ευαίσθητων τομέων, σχετικά με την ανίχνευση και την καταγραφή των παραμορφώσεων.

3.3.2 Χρονικές μεταβολές

Οι κλίσεις που σχετίζονται με τις ανυψώσεις ή τις οριζόντιες μετατοπίσεις μπορούν να παρουσιαστούν σε γράφημα ως συνιστώσες γνωστών και προτιμώμενων διευθύνσεων, όπως βορράς-νότος ή ανατολή-δύση ή ως ακτινικές και εφαπτομενικές διευθύνσεις.

Επαναλαμβανόμενα φαινόμενα ανύψωσης και υποχώρησης, που καταγράφηκαν από ένα κλισίμετρο τύπου σωλήνα ύδατος, που ήταν τοποθετημένο στο ηφαίστειο Kilauea, έδειξαν ότι σχετίζονταν άμεσα με την εκρηκτική δραστηριότητα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι αθροιστικές τιμές των νέων παρατηρήσεων υπολογίστηκαν με αναφορά στις προγενέστερες. Οι επιτάχυνση κάθε είδους παραμόρφωσης συσχετίζεται ικανοποιητικά με άλλες παραμέτρους, που είναι βασικές για την πρόβλεψη των εκρήξεων. Τα διαγράμματα που είναι συνάρτηση του χρόνου, επιτρέπουν επίσης τη συσχέτιση διαφορετικών τεχνικών παρατήρησης της εδαφικής παραμόρφωσης μεταξύ τους για συγκεκριμένες περιόδους παρακολούθησης. Στατιστική και αναλυτική επεξεργασία των παραπάνω διαγραμμάτων και του ρυθμού της επιτάχυνσης της παραμόρφωσης αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για την πρόγνωση της έκρηξης (*Cornelius & Voight 1995*).

3.4 Σύνοψη

Οι μετρήσεις της κατακόρυφης συνιστώσας της παραμόρφωσης, που προκαλείται από την ηφαιστειακή δραστηριότητα, αποτελούν σημαντικά στοιχεία για την περιγραφή και το χαρακτηρισμό των ηφαιστειών. Η ερμηνεία των μετρήσεων βοηθάει τους ερευνητές στην διευκρίνιση της δυναμικής της ηφαιστειακής συμπεριφοράς, σε συνδυασμό και με τις πληροφορίες που παρέχονται και από τις άλλες μεθόδους παρακολούθησης των ηφαιστειών (σεισμικές, γεωχημικές, βαρυτικές, γεωηλεκτρικές, κ.ά.).

Ένα αποτελεσματικό και αξιόπιστο δίκτυο μέτρησης της κατακόρυφης συνιστώσας της εδαφικής παραμόρφωσης σ' ένα ηφαίστειο πρέπει να στηριχτεί και να συμπληρωθεί από γεωλογικές και γεωμορφολογικές έρευνες, από τα χαρακτηριστικά της ηφαιστειακής δομής, την ιστορική εκρηκτική συμπεριφορά και από ορισμένα υπολογιστικά πακέτα προσομοίωσης των ηφαιστειακών παραμορφώσεων, που παρέχουν μια χονδρική προσέγγιση των αναμενόμενων αλλαγών.

Ο σχεδιασμός, ο τύπος και το μέγεθος ενός τέτοιου δικτύου, καθώς και η ακρίβεια των μετρήσεων σχετικά με την συχνότητα που πρέπει να συλλέγονται τα δεδομένα, είναι αποφάσεις που πρέπει να λαμβάνονται με προσοχή και να βασίζονται σ' όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες, σχετικά με το συγκεκριμένο ηφαίστειο. Η αναγωγή των παραμέτρων της μεταβολής των αποστάσεων, της ανύψωσης και των κλίσεων πρέπει να διαμορφώνονται σε υπολογιστικά προγράμματα, ώστε να είναι εύκολη και δυνατή η παρουσίαση της αριθμητικής και της γραφικής πληροφορίας για ανάλυση και ερμηνεία.

Οι χωρικές και οι χρονικές μεταβολές των καταγεγραμμένων αλλαγών, αποτελούν τα αρχικά βήματα της ερμηνείας. Ο βασικός στόχος των ερευνών της ανίχνευσης της κατακόρυφης εδαφικής παραμόρφωσης που προκαλούν τα ηφαίστεια είναι:

- i. η περιγραφή της τρέχουσας συμπεριφοράς του ηφαιστείου και
- ii. η γρήγορη ανίχνευση των ανώμαλων εδαφικών κινήσεων γύρω από τα ενεργά ηφαίστεια.

Ο πρώτος στόχος περιλαμβάνει μοντέλα, που περιγράφουν τη δυναμική του μαγματικού θαλάμου και των αγωγών του, καθώς και τα χαρακτηριστικά του μάγματος (σύσταση, θερμοκρασία, ιξώδες). Ο δεύτερος στόχος σχετίζεται με την πρόβλεψη ή την

εκτίμηση της ηφαιστειακής δραστηριότητας μελλοντικά. Έτσι, δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην εδραίωση της βασικής εικόνας της ηφαιστειακής συμπεριφοράς. Η γρήγορη ανίχνευση της κίνησης του μάγματος μπορεί να διακριθεί μόνο από τη σύγκριση των αλλαγών με τη βασική εικόνα (baseline) που οριοθετήθηκε κατά τη διάρκεια ήρεμων ηφαιστειακών περιόδων.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, οι μετρήσεις της εδαφικής παραμόρφωσης (κάθετης και οριζόντιας συνιστώσας) που πραγματοποιούνται στα πλαίσια των προγραμμάτων παρακολούθησης των ενεργών ηφαιστίων, έχουν αυξηθεί. Προηγμένες τεχνικές έχουν συμπεριληφθεί και έχουν κατασκευαστεί υψηλής ευαισθησίας όργανα. Τα περισσότερα ενεργά ηφαίστεια του κόσμου παρακολουθούνται εδώ και δύομισι δεκαετίες. Παρόλα αυτά, οι ηφαιστειολόγοι γνωρίζουν πως υπάρχει μεγάλη ανάγκη παρακολούθησης πολλών ακόμη ηφαιστίων. Τα περισσότερα ηφαίστεια υψηλού κινδύνου βρίσκονται σε πυκνοκατοικημένες και αναπτυσσόμενες πολιτισμικά περιοχές και παρακολουθούνται ανεπαρκώς, και μερικά καθόλου. Γι' αυτό, πρέπει να δυναμώσουν οι σύνδεσμοι επικοινωνίας μεταξύ των ηφαιστειολόγων, των πολιτικών αρχών, των κατοίκων και των μέσων μαζικής επικοινωνίας, για να γίνουν αποτελεσματικές και να χρησιμοποιηθούν στο μετριασμό του ηφαιστειακού κινδύνου οι πληροφορίες που συλλέγονται από τις μεθόδους παρακολούθησης των ηφαιστίων. Ασφαλείς και χρονικά γρήγορες προειδοποιήσεις της ηφαιστειακής συμπεριφοράς μπορούν να σώσουν πολλές ζωές και να μετριάσουν σημαντικά τις οικονομικές απώλειες.

Κεφάλαιο 4ο

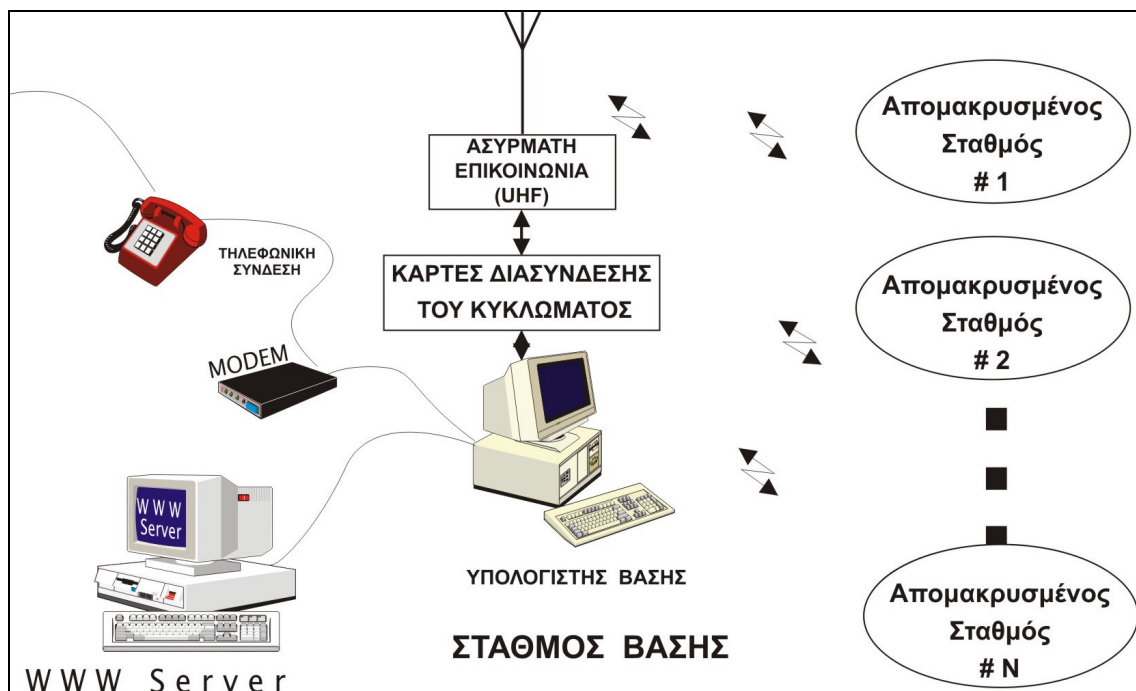
Το τηλεχειριζόμενο σύστημα περιβαλλοντικών μετρήσεων R.E.Mo.S.(Remote Environmental Monitoring System)

4.1 Χαρακτηριστικά του συστήματος R.E.Mo.S.

4.1.1 Γενική περιγραφή

Το τηλεχειριζόμενο σύστημα περιβαλλοντικών μετρήσεων R.E.Mo.S. (Remote Environmental Monitoring System) αναπτύχθηκε από την ερευνητική ομάδα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης ΠΕΡ.Σ.Ε.Α.Σ. Είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματοποιημένων μετρήσεων περιβαλλοντικών (και άλλων) παραμέτρων που αποτελείται από δύο μέρη:

- Ένα κεντρικό σταθμό βάσης, που αποτελείται από ένα προσωπικό υπολογιστή, εφοδιασμένο με τα κατάλληλα κυκλώματα (κάρτες διασύνδεσης), το ειδικό λογισμικό, καθώς επίσης και το σύστημα ασύρματης επικοινωνίας του δικτύου.
- Ένα αριθμό απομακρυσμένων σταθμών λήψης μετρήσεων, που αποτελούν τους περιφερειακούς σταθμούς του συστήματος. Οι σταθμοί αυτοί είναι εφοδιασμένοι με τα κατάλληλα ηλεκτρονικά συστήματα μέτρησης των παραμέτρων που ενδιαφέρουν (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 Συνοπτική περιγραφή του συστήματος R.E.Mo.S.

Η διασύνδεση των παραπάνω γίνεται σε μορφή αστέρα (αμφίδρομη ασύρματη σειριακή επικοινωνία), όπου ο ηλεκτρονικός υπολογιστής του σταθμού βάσης αποτελεί το κέντρο του συστήματος, στο οποίο φθάνουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων των περιφερειακών σταθμών.

Οι περιφερειακοί σταθμοί είναι σε θέση να μετρούν έναν αριθμό παραμέτρων, όπως για παράδειγμα το ύψος της στάθμης του νερού, θερμοκρασία, αγωγιμότητα, διαλυμένο οξυγόνο κλπ, ανάλογα με το είδος των χρησιμοποιούμενων αισθητηρίων. Είναι μονάδες αυτόνομες και αυτόρκες στο θέμα της τροφοδότησής τους, δηλαδή δε χρειάζονται σύνδεση με το δίκτυο του ηλεκτρικού ή το τηλεφωνικό δίκτυο, καθώς η ηλιακή ενέργεια αποθηκεύεται σε μια μπαταρία με τη βοήθεια φωτοβολταϊκών στοιχείων και για τη μεταφορά των αποτελεσμάτων των μετρήσεων από κάθε περιφερειακό σταθμό στον κεντρικό Η/Υ, χρησιμοποιείται ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας δεδομένων.

Μέχρι σήμερα, η ομάδα ΠΕΡ.Σ.Ε.Α.Σ. έχει εγκαταστήσει τέτοια δίκτυα συστημάτων R.E.Mo.S. στις ακτές της Σαντορίνης (Ευρωπαϊκή Ένωση, ΙΜΠΗΣ), στη λιμνοθάλασσα του Μεσολογγίου-Αιτωλικού (πρόγραμμα PESCA) και στο δέλτα του Νέστου (ΔΑΥΕ/ΔΕΗ).

Σκοπός της λειτουργίας του συστήματος είναι η συγκέντρωση πληροφοριών για τις συνεχείς αλλαγές του περιβάλλοντος στις περιοχές αυτές.

4.1.2 Δυνατότητες του συστήματος

Οι δυνατότητες του συστήματος είναι συνοπτικά οι εξής:

1. Μεγέθη που μετρούνται από το σύστημα
 - α. Στάθμη νερού
 - β. Διαύγεια νερού
 - γ. Θερμοκρασία νερού
 - δ. Διαλυμένο οξυγόνο
 - ε. Αγωγιμότητα (αλατότητα) νερού
 - στ. Θερμοκρασία περιβάλλοντος
 - ζ. Ένδειξη καλής λειτουργίας αισθητηρίου μέτρησης οξυγόνου
 - η. Τάση τροφοδοσίας περιφερειακού σταθμού
 - θ. Ψηφιακός έλεγχος (ψηφιακή είσοδος)
 - ι. pH
 - κ. Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Redox)
2. Πλήρως αυτόνομη λειτουργία, χωρίς την ανάγκη οποιασδήποτε επιτήρησης για σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα (μήνες).
3. Ασφαλή καταγραφή και αποθήκευση των μετρήσεων και των απαραίτητων δεδομένων για κάθε μέτρηση, σε τακτά χρονικά διαστήματα, τα οποία ορίζονται από το πρόγραμμα του ηλεκτρονικού υπολογιστή.
4. Ικανότητα επικοινωνίας του κεντρικού σταθμού μέσω modem, για πλήρη χειρισμό του συστήματος από οποιαδήποτε σημείο.

4.2 Περιγραφή του Προγράμματος

4.2.1 Γενική περιγραφή

Το πρόγραμμα βασίζεται σε μια σειρά αναδυόμενων καταλόγων επιλογής (pull-down menus) από τα οποία ο χρήστης έχει τον πλήρη έλεγχο του προγράμματος.

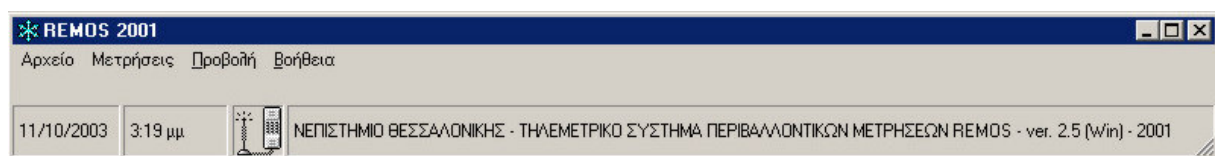
Η χρήση του επιλογέα (mouse) θεωρείται πολύ χρήσιμη για το χειρισμό του προγράμματος. Όμως, τυχόν απουσία του αντικαθίσταται πλήρως από το πληκτρολόγιο του υπολογιστή.

Η περιγραφή του προγράμματος χωρίζεται σε τέσσερα μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται μια πρώτη καταγραφή των επιλογών του χρήστη μέσω των καταλόγων, στο δεύτερο μέρος γίνεται μια γενική ανάλυση της εφαρμογής και των μηνυμάτων που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της. Επίσης δίνονται λύσεις στα διάφορα προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπίσει ένας χρήστης κατά τη λειτουργία της εφαρμογής. Στο τρίτο μέρος γίνεται μια παρουσίαση των δυνατοτήτων ρύθμισης και λειτουργίας του προγράμματος κατά την κατάσταση λειτουργίας διαχειριστή (supervisor mode of operation). Στο τέταρτο και τελευταίο μέρος δίνονται οι πληροφορίες που καθιστούν δυνατό το χειρισμό του συστήματος από απόσταση, μέσω του προγράμματος απομακρυσμένης επικοινωνίας Close-Up.

Η λειτουργία του συστήματος στο επίπεδο αυτό των επαυξημένων δυνατοτήτων ρύθμισης πρέπει να γίνεται με προσοχή και μόνο από εξειδικευμένο και ειδικά εξουσιοδοτημένο πρόσωπο-διαχειριστή του συστήματος.

4.2.2 Επιλογές των καταλόγων (menus)

Όπως προαναφέρθηκε, το πρόγραμμα του συστήματος R.E.Mo.S. βασίζεται σε μια σειρά αναδυόμενων καταλόγων (pull-down menus), από τα οποία ο χρήστης έχει τον πλήρη έλεγχο του προγράμματος. Στο μέρος αυτό θα γίνει μια συνολική περιγραφή των καταλόγων του προγράμματος. Πριν όμως αρχίσει η περιγραφή των καταλόγων, θα γίνει μια ανάλυση της βασικής οθόνης του προγράμματος.



Σχήμα 4.2 Η βασική οθόνη του προγράμματος R.E.Mo.S.

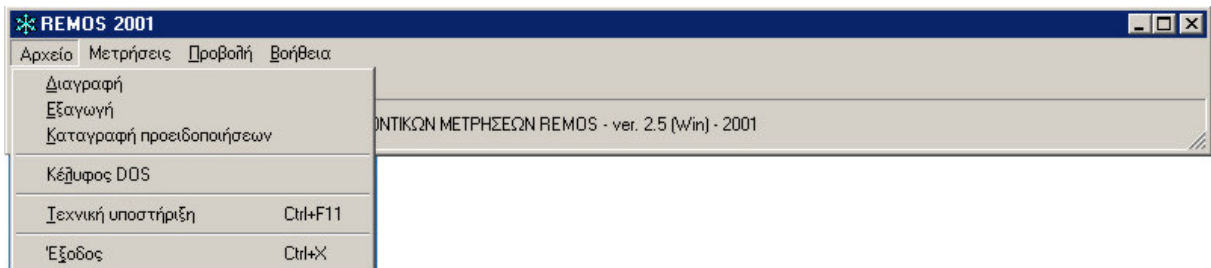
Η οθόνη του προγράμματος χωρίζεται σε τρία βασικά μέρη: τη γραμμή των καταλόγων, από όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μια λειτουργία του προγράμματος, το χώρο εργασίας στον οποίο γίνεται η απεικόνιση των καταλόγων και των παραθύρων του προγράμματος και τη γραμμή κατάστασης, στην οποία καταγράφονται η ώρα, η ημερομηνία και τα στοιχεία του συστήματος (Σχήμα 4.2).

Οι κατάλογοι του προγράμματος είναι οι εξής: (α) Κατάλογος Αρχείο, (β) Κατάλογος Μετρήσεις, (γ) Κατάλογος Προβολή και (δ) Κατάλογος Βοήθεια.

4.2.3 Κατάλογος αρχείο

Από τον κατάλογο File μπορεί ο χρήστης να διαχειριστεί τα αρχεία τόσο του συστήματος μετρήσεων, όσο και του λειτουργικού συστήματος του υπολογιστή.

Στον κατάλογο αυτό υπάρχουν έξι επιλογές: (α) Διαγραφή, (β) Εξαγωγή, (γ) Καταγραφή προειδοποιήσεων, (δ) Κέλυφος DOS (ε) Τεχνική υποστήριξη και (στ) Έξοδος (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3 Ο κατάλογος αρχείο του προγράμματος R.E.Mo.S.

(α) Διαγραφή: Η εντολή αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται αν και μόνο αν ο χρήστης γνωρίζει επακριβώς τη λειτουργία της. Με την εντολή αυτή διαγράφονται οριστικά τα αρχεία μετρήσεων του συστήματος μετρήσεων. Η εντολή αυτή μπορεί να εκτελεστεί μόνο όταν το σύστημα δε βρίσκεται σε διαδικασία τακτικών μετρήσεων και προειδοποιεί δύο φορές το χρήστη του προγράμματος για το τι θα επακολουθήσει.

Το πρόγραμμα προειδοποιεί το χρήστη ότι η εντολή αυτή θα διαγράψει τα αρχεία μετρήσεων και προτρέπει το πάτημα του πλήκτρου Διαγραφή (Cancel) εφόσον ο χρήστης δεν είναι σίγουρος για την επιλογή του.

Το πλήκτρο OK μπορεί να πατηθεί μόνο σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να διαγράψει τα αρχεία. Εάν πατηθεί το πλήκτρο OK, τότε το πρόγραμμα εμφανίζει ένα παράθυρο στο οποίο προειδοποιεί το χρήστη για δεύτερη φορά αν είναι σίγουρος για την επιλογή που έχει κάνει.

Αν ο χρήστης δεν είναι σίγουρος, μπορεί να πατήσει το No και έτσι να αποφύγει τυχόν λάθος χειρισμό και καταστροφή πολύτιμων στοιχείων από τα αρχεία μετρήσεων.

Αν ο χρήστης θεωρεί ότι η επιλογή του είναι σωστή, δηλαδή ότι πρέπει να διαγραφούν τα αρχεία μπορεί να πατήσει το Yes και τα αρχεία θα διαγραφούν εκείνη τη στιγμή.

Εάν οι επιλογές του χρήστη είναι Cancel ή No (στη δεύτερη περίπτωση) θα οδηγηθεί στη βασική οθόνη του προγράμματος χωρίς να γίνει καμία διαγραφή στα αρχεία μετρήσεων. Εάν ο χρήστης θέλει να διαγράψει τα αρχεία μετρήσεων μετά την επιλογή OK, Yes θα οδηγηθεί στη βασική οθόνη του προγράμματος μετά τη διαγραφή των αρχείων.

(β) Εξαγωγή: Με την επιλογή αυτή ο χρήστης μπορεί να εξαγει τα δεδομένα από τα αρχεία μετρήσεων, σε αρχεία τα οποία είναι αναγνωρίσιμα και επεξεργάσιμα στο λογιστικό φύλλο Excel. Τα δεδομένα βρίσκονται πριν από την εκτέλεση της εντολής αυτής σε αρχεία με κατάληξη .MET και μετά την εκτέλεση τα δεδομένα αντιγράφονται σε αρχεία με κατάληξη .DAT που μπορούν όπως είπαμε να επεξεργασθούν στο Excel. Μετά την εξαγωγή αυτή, τα αρχεία με κατάληξη .MET δεν έχουν υποστεί καμία αλλαγή, ενώ τα .DAT διαγράφονται εάν ήδη περιείχαν δεδομένα και εγγράφονται σε αυτά τα νέα δεδομένα των μετρήσεων.

ΠΡΟΣΟΧΗ!: Βεβαιωθείτε ότι έχετε μεταφέρει το περιεχόμενο των αρχείων .DAT που περιέχουν δεδομένα από προηγούμενη εξαγωγή σε διαφορετικό υποκατάλογο, γιατί η εντολή αυτή θα καταστρέψει το περιεχόμενό τους με την εγγραφή νέων δεδομένων.

Με την εκτέλεση της εντολής αυτής θα εμφανιστεί ένα παράθυρο, το οποίο προειδοποιεί το χρήστη για την εγγραφή των δεδομένων των αρχείων μετρήσεων στα εξαγόμενα αρχεία μετρήσεων και ζητά διαβεβαίωση για το αν ο χρήστης είναι σίγουρος για την επιλογή του.

Ο χρήστης πρέπει να πατήσει No αν δεν είναι σίγουρος για την επιλογή του, να ελέγξει τα δεδομένα που περιέχονται στα αρχεία με κατάληξη .DAT και πρέπει να πατήσει Yes αν είναι απόλυτα σίγουρος ότι στα αρχεία με κατάληξη .DAT υπάρχουν δεδομένα τα οποία έχει μεταφέρει αλλού και η εγγραφή νέων δεδομένων στα αρχεία αυτά δε θα έχει ως συνέπεια την απώλεια δεδομένων.

(γ) Καταγραφή προειδοποιήσεων: Η επιλογή αυτή έχει ως αποτέλεσμα το άνοιγμα ενός διαλογικού παραθύρου, από το οποίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τις ρυθμίσεις που θέλει να κάνει στην προβαλλόμενη οθόνη του προγράμματος.

Η αριστερή λίστα περιέχει τα στοιχεία εκείνα της οθόνης που είναι ρυθμιζόμενα. Έτσι για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να ορίσει τα χρώματα του προσκηνίου και του παρασκηνίου για τα παρακάτω στοιχεία:

- το γράμμα-κλειδί για τις επιλογές (Access Key)
- το ενεργό περιθώριο του παραθύρου (Active Border)
- το κουμπί εντολής (Command Button)
- το χώρο εργασίας (Desktop)
- των απενεργοποιημένων στοιχείων (Disabled Items)
- των καταλόγων (Menus)
- των επιλογών των καταλόγων (Menu Selected Items)
- των γραμμών ολίσθησης (Scrollbars)
- της γραμμής τίτλου (Title Bar)

Κάτω από τη λίστα επιλογών υπάρχει ένα δείγμα (Sample) των ρυθμίσεων που κάνει ο χρήστης για καθένα από τα παραπάνω στοιχεία. Κάτω από το δείγμα υπάρχουν δυο επιλεγόμενα κουμπιά (Checkbox), τα οποία αφορούν πρώτον την τρισδιάστατη απεικόνιση των στοιχείων στην οθόνη και δεύτερον τη σκιά των παραθύρων. Επίσης, στα κάτω δεξιά του διαλογικού παραθύρου υπάρχει μια αναδυόμενη λίστα (Combo box), από την οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το στυλ της επιφάνειας εργασίας (wallpaper) το οποίο θέλει να χρησιμοποιεί. Υπάρχουν οι παρακάτω ρυθμίσεις: None, Default, Shading 1, Shading 2, Faces, Dots, Logo, Bricks, Window. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι αλλαγές στα χρώματα δεν εφαρμόζονται πριν τη χρήση του κουμπιού OK. Αν ο χρήστης δεν είναι σίγουρος για τις επιλογές που έκανε, μπορεί να πατήσει το κουμπί Cancel και δε θα εφαρμοστούν οι τρέχουσες ρυθμίσεις στο σύστημα. Ένα τρίτο κουμπί που υπάρχει κάτω ακριβώς από το Cancel είναι αυτό με το οποίο ο χρήστης μπορεί να περάσει τις προκαθορισμένες από τον κατασκευαστή του προγράμματος ρυθμίσεις.

ΠΡΟΣΟΧΗ!: Μια λανθασμένη ρύθμιση των χρωμάτων του προσκηνίου και του παρασκηνίου, όπως είναι αυτή του ιδίου χρώματος και στα δύο χρώματα ή η ρύθμιση του χρώματος του μαύρου στο προσκήνιο με παρασκήνιο χρώμα κάποιο περίπου της ίδιας λάμψης και αντίθεσης, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα το σκοτεινιάσμα της οθόνης.

(δ) Κέλυφος DOS: Με την επιλογή αυτή ο χρήστης μπορεί να βρεθεί προσωρινά στο κέλυφος του λειτουργικού συστήματος, δηλαδή στη γραμμή εντολών του DOS, από την οποία μπορεί να απευθύνει εντολές προς το σύστημα. Οι εντολές αυτές είναι καταχωρημένες στα εγχειρίδια χρήσης του λειτουργικού συστήματος και περαιτέρω εξηγήσεις δεν αποτελούν θέμα της παρούσας διατριβής.

ΠΡΟΣΟΧΗ!: Ο χρήστης πρέπει να γνωρίζει τη χρήση και τη σωστή σύνταξη των εντολών πριν τις χρησιμοποιήσει. Λανθασμένη χρήση των εντολών του λειτουργικού συστήματος, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια δεδομένων και λογισμικού, καθώς επίσης και τη λανθασμένη ρύθμιση του συστήματος μετρήσεων.

Η παραπάνω οθόνη μπορεί να διαφέρει, λόγω της διαφορετικής έκδοσης του λειτουργικού συστήματος που είναι εγκαταστημένο στον κάθε υπολογιστή. Για να επανέλθει η οθόνη του προγράμματος, πρέπει ο χρήστης να γράψει στη γραμμή εντολών την λέξη exit και έπειτα να πατήσει το πλήκτρο Enter. Πάνω από την τρέχουσα γραμμή εντολής υπάρχει μόνιμα μια γραμμή που υπενθυμίζει ανά πάσα στιγμή στο χρήστη ότι η επιστροφή στο πρόγραμμα γίνεται μέσω συγγραφής της εντολής exit.

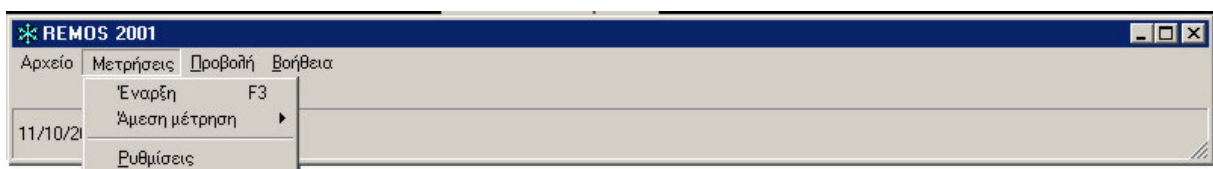
(στ) Έξοδος: Με την επιλογή αυτή ο χρήστης μπορεί να σταματήσει την εκτέλεση του προγράμματος και να επιστρέψει οριστικά στο λειτουργικό σύστημα. Το πρόγραμμα ρωτά το χρήστη αν είναι σίγουρος για την επιλογή του, μέσω ενός διαλογικού παραθύρου. Αν ο χρήστης δεν είναι σίγουρος για την επιλογή του, πρέπει να πατήσει το No, ενώ αν είναι σίγουρος πρέπει να πατήσει το Yes.

ΠΡΟΣΟΧΗ!: Εάν ο χρήστης σταματήσει την εκτέλεση του προγράμματος, είναι προφανές ότι σταματά η τυχόν ενεργοποιημένη κατάσταση τακτικών μετρήσεων και η καταγραφή των δεδομένων στα αρχεία.

4.2.4 Κατάλογος μετρήσεις

Μέσα από τις επιλογές του καταλόγου μετρήσεις ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί το μετρητικό σε τρία επίπεδα: (1) στο επίπεδο της εκκίνησης-διακοπής των τακτικών μετρήσεων, (2) στο επίπεδο της μέτρησης στιγμής και (3) στο επίπεδο των ρυθμίσεων του χρήστη για τις παραμέτρους των μετρήσεων.

Ο κατάλογος περιλαμβάνει τρεις επιλογές: (α) Έναρξη, (β) Άμεση μέτρηση και (γ) Ρυθμίσεις (Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4 Ο κατάλογος μετρήσεις του προγράμματος R.E.Mo.S.

(α) Έναρξη: Με την επιλογή αυτή ξεκινά η διαδικασία των τακτικών μετρήσεων. Στην οθόνη εμφανίζεται ένα παράθυρο, το οποίο περιέχει στοιχεία για την διαδικασία τακτικών μετρήσεων. Η μπάρα του παραθύρου δείχνει την τρέχουσα ώρα-ημερομηνία του συστήματος, ενώ οι επόμενες δύο γραμμές ενημερώνουν το χρήστη για την ώρα και την ημερομηνία της επόμενης μέτρησης.

ΠΡΟΣΟΧΗ!: Όταν το σύστημα βρίσκεται σε διαδικασία τακτικών μετρήσεων, ο χρήστης πρέπει να προσέχει το χρόνο που αναγράφεται ως χρόνος επόμενης μέτρησης και να πραγματοποιεί όλους τους χειρισμούς του πριν το χρόνο αυτό. Κατά το χειρισμό του προγράμματος, όταν η διαδικασία τακτικών μετρήσεων είναι ενεργοποιημένη, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο θέμα των ανοικτών παραθύρων. Ο χρήστης μετά την ολοκλήρωση της εργασίας του με το πρόγραμμα, πρέπει να κλείνει όλα τα παράθυρα, έτσι ώστε να διαφυλαχθεί η απρόσκοπτη και αδιάκοπη λειτουργία λήψης τακτικών μετρήσεων. Εάν αυτό δεν επιτευχθεί, τότε η διαδικασία τακτικών μετρήσεων δε μπορεί να λαμβάνει και να καταγράφει μετρήσεις μέχρι το οριστικό κλείσιμο των άλλων παραθύρων. Για να αποφευχθούν οι απώλειες δεδομένων λόγω αναστολής των μετρήσεων από ανοικτά παράθυρα, το πρόγραμμα μας υπενθυμίζει ανά πάσα στιγμή την τρέχουσα ημερομηνία και ώρα καθώς επίσης και την ημερομηνία και ώρα της επόμενης μέτρησης.

Υπάρχει η δυνατότητα Διακοπή/Έναρξη, δηλαδή να σταματήσει και να συνεχίσει την διαδικασία τακτικών μετρήσεων μετά από κάποιο χρόνο, αν αυτό είναι αναγκαίο για την διεξαγωγή ορισμένων επεμβάσεων στο σύστημα.

Αν κατά την εκκίνηση των μετρήσεων δεν υπάρχουν μετρήσεις στα αρχεία μετρήσεων, τότε η ώρα της εκκίνησης καταγράφεται ως ώρα αρχής των τακτικών μετρήσεων και καταχωρείται στα αρχεία μετρήσεων η πρώτη μέτρηση. Οι επόμενες μετρήσεις γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, οριζόμενα από το χρήστη, όπως αναφέρεται παρακάτω στην παράγραφο (γ) Ρυθμίσεις, στην οποία αναλύονται οι ρυθμίσεις των τακτικών μετρήσεων του συστήματος. Για να σταματήσει τη διαδικασία μετρήσεων, ο χρήστης πρέπει να πάει ξανά στο κατάλογο Μετρήσεις, στο οποίο τώρα η πρώτη επιλογή από Έναρξη έχει μετατραπεί σε Διακοπή.

(β) Άμεση μέτρηση: Με την επιλογή αυτή ο χρήστης μπορεί να εκκινήσει τη διαδικασία της μέτρησης στιγμής. Μέσω αυτής της διαδικασίας, το σύστημα μετρά εκείνη τη στιγμή όλες τις παραμέτρους από όλα τα κανάλια και τις μεταφέρει σε ένα παράθυρο. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να δει τις τρέχουσες συνθήκες που επικρατούν στο σημείο που είναι τοποθετημένο το σύστημα μετρήσεων. Η έξοδος από το παράθυρο γίνεται μέσω του πλήκτρου OK, που βρίσκεται στο κάτω μέρος του παραθύρου.

(γ) Ρυθμίσεις: Με την επιλογή αυτή ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τις παραμέτρους του συστήματος μετρήσεων. Στην οθόνη εμφανίζεται ένα παράθυρο, στο οποίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει, από μία λίστα που υπάρχει στα αριστερά, το θέμα που θα ρυθμίσει και από δεξιά τις παραμέτρους του θέματος που είναι ρυθμιζόμενες. Το πρόγραμμα έχει δύο θέματα Period και General.

Όταν ο χρήστης επιλέξει το πρώτο θέμα, τότε στα δεξιά του παραθύρου εμφανίζονται οι ρυθμιζόμενες παράμετροι. Στο επάνω μέρος ρυθμίζεται η περίοδος μέτρησης σε ώρες και λεπτά. Αυτή είναι η βάση του χρόνου για τις τακτικές μετρήσεις του συστήματος. Στο κάτω μέρος υπάρχουν οι πολλαπλασιαστές για τα κανάλια 2, 3, 4 και 5. Τα κανάλια αυτά μπορούν να μετρούν σε χρόνους ίσους ή πολλαπλάσιους με τη βάση των μετρήσεων. Έτσι π.χ., αν τεθεί η βάση των μετρήσεων στα 5 λεπτά και οι πολλαπλασιαστές για τα κανάλια 2, 3, 4 και 5 σε τιμές 1, 2, 3, 1, το κανάλι 2 θα μετρά ανά 5 λεπτά, το κανάλι 3 ανά 10 λεπτά, το κανάλι 4 ανά 15 λεπτά και το κανάλι 5 ανά 5 λεπτά. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι, τα υπόλοιπα κανάλια μετρήσεων και πιο συγκεκριμένα τα κανάλια 1,6,7 και 8, μετρούν πάντα με τη βάση

χρόνου για τις τακτικές μετρήσεις του συστήματος, δηλαδή σαν πολλαπλασιαστή έχουν πάντα τον σταθερό αριθμό 1.

Όταν ο χρήστης επιλέξει το δεύτερο θέμα, General, στα δεξιά εμφανίζεται μόνο μια παράμετρος, η Beer, μέσω της οποίας το σύστημα μπορεί να ενεργοποιεί το βομβητή του υπολογιστή (μεγάφωνο) όταν εμφανιστεί κάποιο πρόβλημα.

ΠΡΟΣΟΧΗ!: Για να καταχωρηθούν οι αλλαγές στις ρυθμίσεις των παραμέτρων των μετρήσεων, πρέπει να μην υπάρχουν μετρήσεις στα αρχεία. Για το λόγο αυτό, όταν υπάρχουν μετρήσεις στα αρχεία, το πλήκτρο OK που βρίσκεται στο κάτω μέρος της οθόνης είναι απενεργοποιημένο (δε μπορεί να πατηθεί). Η μόνη επιλογή για την έξοδο στη βασική οθόνη του προγράμματος είναι η Cancel. Για ρύθμιση των παραμέτρων και καταχώρηση των ρυθμίσεων πρέπει να διαγραφούν τα αρχεία μετρήσεων, που και αυτό είναι μια διαδικασία που χρειάζεται την προσοχή, για να μη χαθούν πολύτιμα στοιχεία μετρήσεων.

4.2.5 Κατάλογος προβολή

Στον κατάλογο προβολή (View), ο χρήστης μπορεί να κάνει μια απλή επισκόπηση των μετρήσεων οι οποίες ελήφθησαν κατά τη διαδικασία των τακτικών μετρήσεων (Σχήμα 4.5). Δύο είναι τα επίπεδα της επισκόπησης: η μορφή λίστας δεδομένων και η μορφή γραφικής παράστασης.



Σχήμα 4.5 Ο κατάλογος προβολή του προγράμματος R.E.Mo.S.

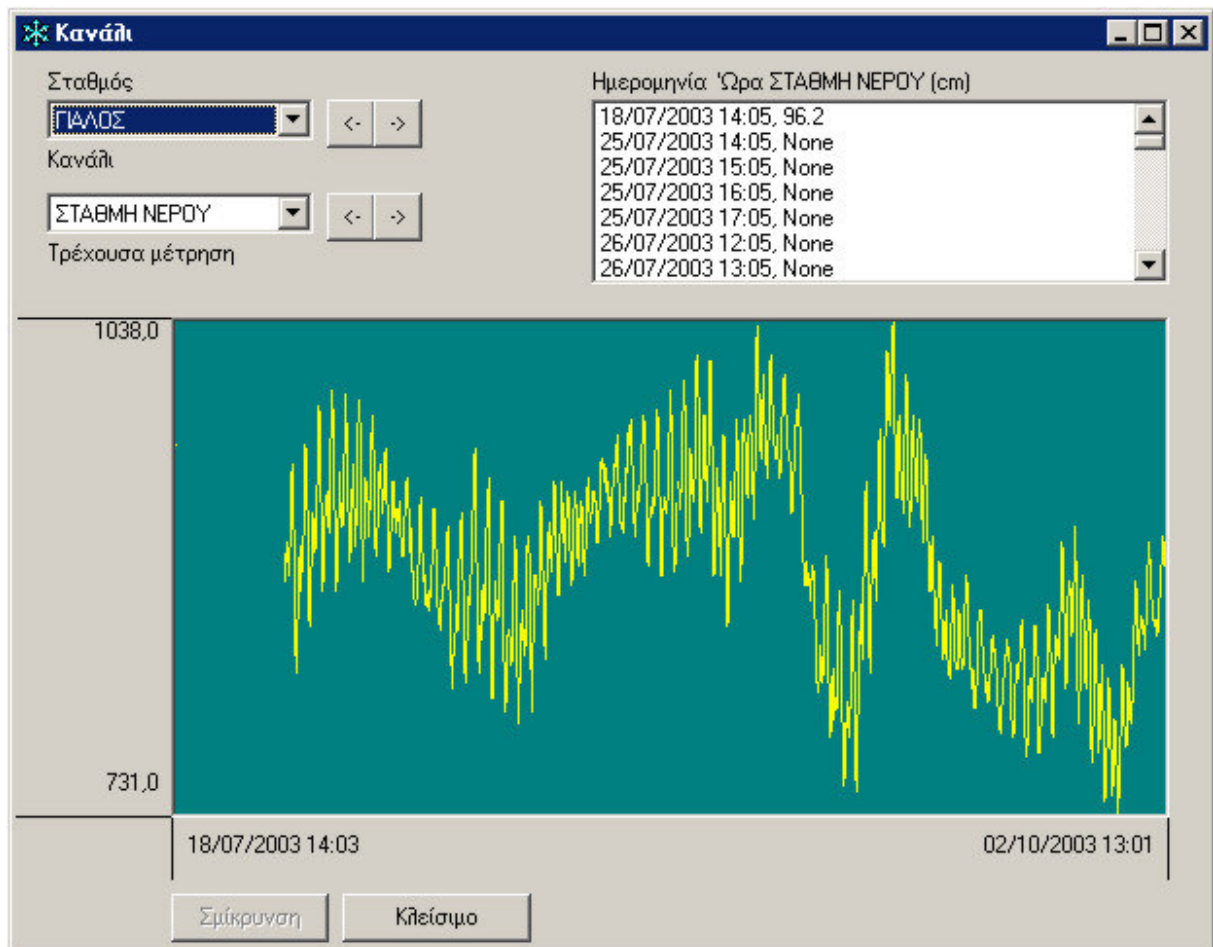
Επιλέγοντας ο χρήστης ένα από τα κανάλια μέτρησης, θα βρεθεί μπροστά σε μία λίστα μετρήσεων η οποία έχει τη μορφή: ημερομηνία, ώρα και αριθμητική τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Ο αριθμός των μετρήσεων μπορεί να είναι τέτοιος που να είναι απαγορευτικός για να είναι οι μετρήσεις σε σειρά. Για το λόγο αυτό έχει επιλεγεί μια λίστα με μπάρα κατακόρυφης κύλισης, που διευκολύνει πολύ την επισκόπηση των μετρήσεων (Σχήμα 4.6).

Υπάρχει περίπτωση, αντί αριθμητικής τιμής του μετρούμενου μεγέθους, να υπάρχει μια από τις ενδείξεις None ή Error. Η ένδειξη None σημαίνει ότι το σύστημα, μετά από έναν καθορισμένο αριθμό αιτήσεων για μέτρηση από τον περιφερειακό σταθμό, δεν έλαβε καμία απάντηση, ενώ η ένδειξη Error σημαίνει ότι, μετά από έναν καθορισμένο αριθμό αιτήσεων για μέτρηση, οι μεταβολές της τιμής της μετρούμενης ποσότητας ήταν τέτοιες που υπερέβαιναν το οριζόμενο μέγιστο αποδεκτό σφάλμα και απορρίφθηκαν, και στη θέση τους έχει γραφεί η ένδειξη Error.

Τα ονόματα των καναλιών μπορεί να διαφέρουν, ανάλογα με τις απαιτήσεις τις τρέχουσας εγκατάστασης. Έτσι, ο χρήστης στο παράθυρο αυτό μπορεί να βλέπει άλλα ονόματα για τα κανάλια που εμφανίζονται καθώς και τη γραφική απεικόνιση των μετρήσεων στο κάτω μέρος του παραθύρου.

Στη γραφική παράσταση υπάρχουν οι παρακάτω ενδείξεις: το όνομα του καναλιού και της μετρούμενης ποσότητας, η αρχική και η τελική ημερομηνία-ώρα μετρήσεων, η

χαμηλότερη η υψηλότερη και η μέση τιμή των μετρήσεων. Ο χρήστης μπορεί εδώ με τη χρήση του ποντικιού να κινηθεί μέσα στο παράθυρο των μετρήσεων και να επισκοπήσει με κάποια ακρίβεια την ημερομηνία, ώρα και τιμή κάποιας μέτρησης με την πίεση του αριστερού πλήκτρου του ποντικιού. Η ακρίβεια της επισκόπησης αυτής εξαρτάται κατά πολύ από τον αριθμό των μετρήσεων, καθώς επίσης και από τη διαφορά της χαμηλότερης με την υψηλότερη τιμή των μετρήσεων. Το Σχήμα 4.6 παρουσιάζει τη γραφική παράσταση της στάθμης της θάλασσας του Σταθμού «Γιαλός» στη Σαντορίνη, στο οποίο φαίνονται ξεκάθαρα τα όσα περιγράφηκαν παραπάνω.

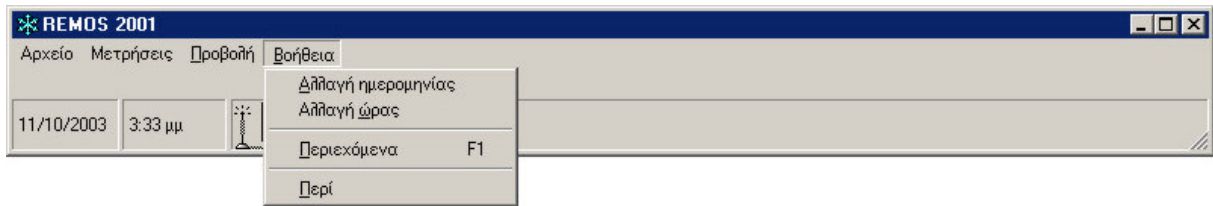


Σχήμα 4.6 Ο κατάλογος προβολή του προγράμματος R.E.Mo.S. μετά την επιλογή καναλιού.

4.2.6 Κατάλογος βοήθεια

Μέσα από τον κατάλογο βοήθεια (Help) μπορεί ο χρήστης να βρει μερικές βοηθητικές πληροφορίες για τη χρήση του προγράμματος, αλλά και χρήσιμες πληροφορίες για την ομάδα ανάπτυξης. Οι επιλογές του χρήστη είναι τέσσερις στο μενού αυτό: (α) Αλλαγή ημερομηνίας, (β) Αλλαγή ώρας, (γ) Περιεχόμενα και (δ) Περί (Σχήμα 4.7).

Με τις επιλογές Αλλαγή ημερομηνίας και Αλλαγή ώρας, ο χρήστης μπορεί να αλλάξει την ημερομηνία και την ώρα του προγράμματος που εμφανίζονται στη βασική οθόνη.



Σχήμα 4.7 Ο κατάλογος βοήθεια του προγράμματος R.E.Mo.S.

Με την επιλογή Περιεχόμενα, ο χρήστης μπορεί να δει τις βοηθητικές πληροφορίες που εμφανίζονται μέσω του συστήματος βοήθειας που χρησιμοποιείται τη στιγμή αυτή. Αναφέρονται περιληπτικά οι τρόποι εκτέλεσης του προγράμματος (modes of operation), οι κατάλογοι του προγράμματος, καθώς επίσης και τα εναλλακτικά πλήκτρα ή πλήκτρα κλειδιά (Access Keys) που διευκολύνουν τη χρήση του προγράμματος.

Με την επιλογή Περί, ο χρήστης μπορεί να δει χρήσιμες πληροφορίες για την ομάδα ανάπτυξης του συστήματος.

Κεφάλαιο 5ο

Περιγραφή του τηλεμετρικού δικτύου σταθμών της Σαντορίνης

5.1 Το Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης (ΙΜΠΗΣ)

Το Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης (ΙΜΠΗΣ) ιδρύθηκε το καλοκαίρι του 1995, με σαφή μη κερδοσκοπικό χαρακτήρα, έχοντας ως κύριο σκοπό τη συνέχιση της λειτουργίας του Ηφαιστειολογικού Παρατηρητηρίου και των δικτύων παρακολούθησης που εγκαταστάθηκαν το 1994-1995 στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος, το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Κύριος στόχος του είναι η προώθηση της ηφαιστειολογικής έρευνας στο νησί, ειδικότερα δε αυτής που συνεισφέρει ουσιαστικά στην καλύτερη εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου και βελτιώνει τις δυνατότητες πρόβλεψής του.

Με την ίδρυσή του το Ινστιτούτο καλύπτει το κενό που υπάρχει από την έλλειψη ενός αρμόδιου δημόσιου φορέα για την αντιμετώπιση του ηφαιστειακού κινδύνου και θωρακίζει τη Σαντορίνη μ' ένα αξιόπιστο σύστημα, το οποίο εγγυάται την έγκαιρη πρόβλεψη τυχόν επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου και τη διάψευση τυχόν αναίτιων συναγερμών και φημολογιών για το ηφαίστειο, μ' όλες τις θετικές επιπτώσεις που αυτό συνεπάγεται.

Στα ιδρυτικά μέλη του ΙΜΠΗΣ (48) περιλαμβάνονται από τους περισσότερους επιστήμονες που έλαβαν μέρος στο σχετικό πρόγραμμα της Ε.Ε., εκπρόσωποι των φορέων του νησιού και στελέχη της κοινωνίας της Σαντορίνης.

Το παρατηρητήριο στεγάζεται στο Φηροστεφάνι, σε χώρο που έχει παραχωρηθεί στο ΙΜΠΗΣ από τον κ. Πέτρο Μ. Νομικό.

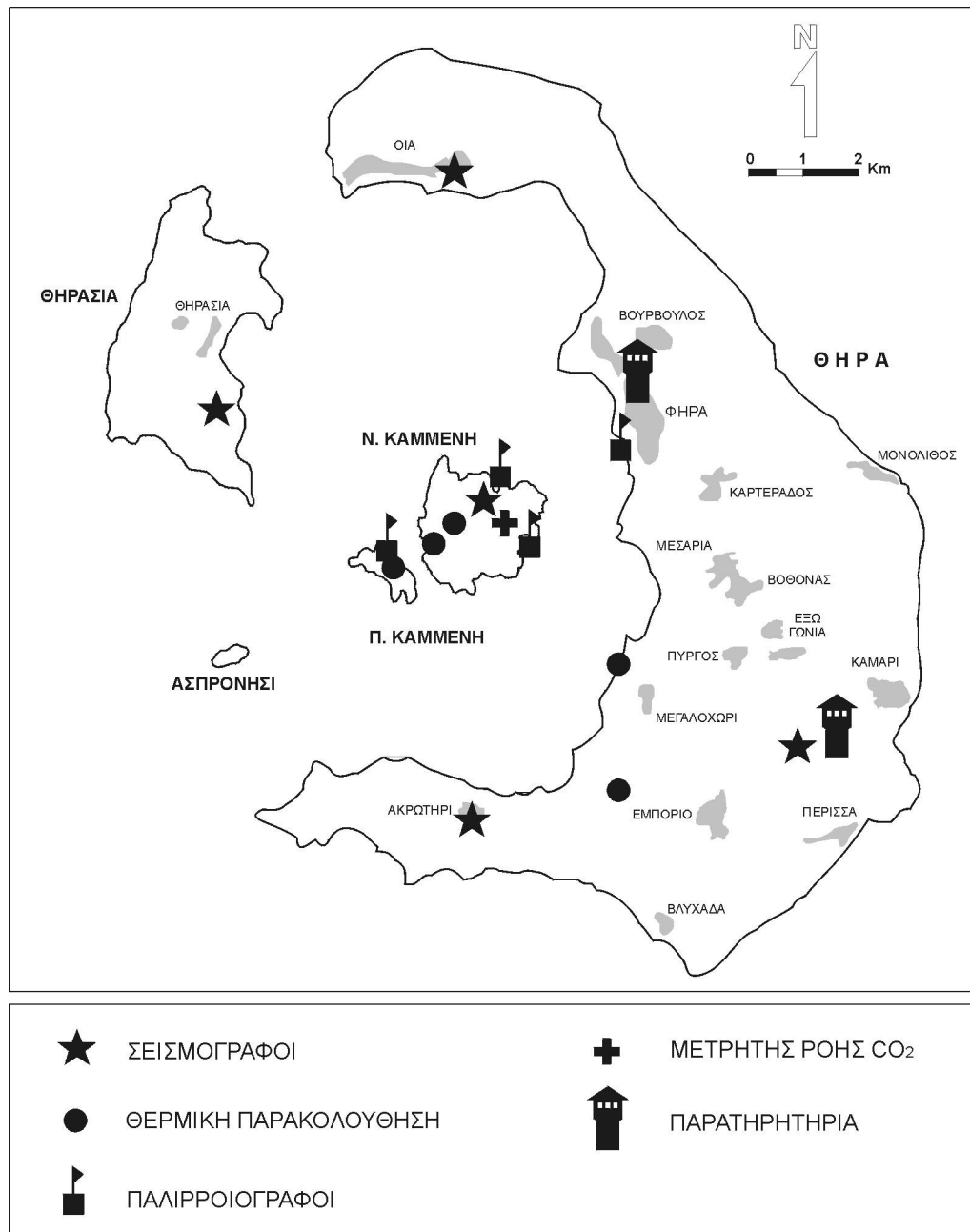
Το ΙΜΠΗΣ απασχολεί σε μόνιμη βάση στη Σαντορίνη έναν παρατηρητή, ο οποίος φροντίζει για την καλή λειτουργία των δικτύων και έχει την ευθύνη της πρώτης εκτίμησης των καταγραφόμενων μεγεθών.

Μέχρι σήμερα, το ΙΜΠΗΣ κατορθώνει να κρατάει σε λειτουργία τα κυριότερα δίκτυα παρακολούθησης, με την ενεργή υποστήριξη του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Ε.Α.Α. και του ΙΓΜΕ, εξασφαλίζοντας τους απαραίτητους πόρους από ίδια έσοδα (από πωλήσεις οδηγών και συνδρομές μελών), τη Νομαρχία Κυκλάδων, το Υπουργείο Αιγαίου και από χορηγίες του Ομίλου της Τράπεζας Πειραιώς.

Τα δίκτυα παρακολούθησης που λειτουργούν στη Σαντορίνη είναι:

- i. Σεισμικής παρακολούθησης
- ii. Παρακολούθησης παραμόρφωσης του αναγλύφου
- iii. Θερμικής παρακολούθησης
- iv. Χημικής παρακολούθησης

Στο Σχήμα 5.1 φαίνονται οι τοποθεσίες των παραπάνω δικτύων.



Σχήμα 5.1 Τα κυριότερα δίκτυα παρακολούθησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης.

5.2 Το τηλεμετρικό δίκτυο σταθμών τύπου R.E.Mo.S.

5.2.1 Ιστορικό του δικτύου

Ένα από τα βασικότερα πρόδρομα φαινόμενα ηφαιστειακής επαναδραστηριοποίησης σ' όλες τις ιστορικές εκρήξεις της Σαντορίνης ήταν η βύθιση των ακτών αρκετό χρονικό διάστημα πριν την εκδήλωση της έκρηξης. Για την ανίχνευση τέτοιων κινήσεων εγκαταστάθηκε το 1994 ένα πειραματικό πρωτότυπο δίκτυο από τέσσερις τηλεμετρικούς σταθμούς αυτόματης μέτρησης και καταγραφής της στάθμης της θάλασσας, άρα και των

ανοδικών-καθοδικών κινήσεων των ακτών. Οι σταθμοί σχεδιάστηκαν, κατασκευάστηκαν και εγκαταστάθηκαν από την ερευνητική ομάδα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης ΠΕΡ.Σ.Ε.Α.Σ.



Φωτογραφία 5.1
Παλιρροιογράφος
υπερήχων του
πilotικού συστήματος
στην Παλαιά Καμμένη.

Ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση του συστήματος έγινε με το ελάχιστο δυνατό κόστος και δόθηκε έμφαση στη μεθοδολογία και την ανάπτυξη τεχνολογίας προσαρμοσμένης στη μελέτη του ηφαιστείου. Μετά το πέρας του ερευνητικού προγράμματος, το δίκτυο λειτούργησε για μερικά χρόνια ακόμα με πολύ μεγάλες προσπάθειες απ' όλα τα μέλη της ερευνητικής ομάδας που το στηρίζουν. Οι καταστροφές από κεραυνούς στο σταθμό βάσης ήταν πολύ συχνές, αλλά επισκευαζόμενες.

Το 1998 οι παραπάνω pilotικοί σταθμοί (Φωτ. 5.1) μετρήσεων έφτασαν τα όρια της διάρκειας ζωής τους και παρά τις επίμονες προσπάθειες, οι επισκευές δεν είχαν αποτέλεσμα. Παρόλο που λειτούργησαν με μεγάλες διακοπές, υπήρξαν μικρές περίοδοι με ταυτόχρονες μετρήσεις των σταθμών, ώστε να γίνονται δυνατές συγκρίσεις για εκτίμηση της παραμόρφωσης του εδάφους.

Από την αξιοποίηση αυτών των σποραδικών μετρήσεων, παρά το ότι δεν υπήρχαν συστηματικές χρονοσειρές, δεν προέκυψε ένδειξη για παραμόρφωση του εδάφους.

5.2.2 Εξέλιξη του δικτύου

Με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε, οργανώθηκε την περίοδο 1999-2000 η αναβάθμιση του τηλεμετρικού δικτύου, ώστε να συνεχίσει να λειτουργεί με συστήματα σύγχρονης ηλεκτρονικής τεχνολογίας, που προσφέρουν σημαντικά περισσότερες δυνατότητες. Έγινε αρχικά μια τεκμηριωμένη μελέτη του θέματος, η οποία κατέληξε στη σύνταξη μιας ολοκληρωμένης πρότασης αναβάθμισης για ανάπτυξη ενός τηλεμετρικού δικτύου παρακολούθησης πολλαπλών παραμέτρων, που αξιοποιεί τις νέες δυνατότητες της τεχνολογίας των μικρο-υπολογιστών. Η μελέτη αυτή αναδεικνύει την ανάγκη ανάπτυξης ενός πρότυπου δικτύου ολοκληρωμένης παρακολούθησης της ηφαιστειακής δραστηριότητας, αλλά και ενημέρωσης όλων των ενδιαφερομένων για το ηφαίστειο και τα φαινόμενα που συμβαίνουν στο χώρο αυτό. Η σύγχρονη τεχνολογία των μικρο-υπολογιστικών συστημάτων επιτρέπει αφενός την αύξηση των δυνατοτήτων (μετρούμενων μεγεθών, αυτοματοποίηση, έγκαιρη τηλε-ειδοποίηση, κλπ), και αφετέρου τη λειτουργία ενός πρότυπου κέντρου πληροφόρησης (σε Ελληνικό αλλά και Διεθνές επίπεδο).

Η δομή του νέου δικτύου είναι ειδικά σχεδιασμένη για να μπορεί να προσφέρει ολοκληρωμένη κάλυψη των σημερινών, αλλά και των προβλέψιμων μελλοντικών αναγκών παρακολούθησης της ηφαιστειακής δραστηριότητας, και περιλαμβάνει: πλήρως αυτόνομη λειτουργία των περιφερειακών σταθμών (μονάδων μέτρησης), πλήρως αυτοματοποιημένη παρακολούθηση των μετρούμενων μεγεθών (πρωτόκολλο μετρήσεων) και άμεση ενημέρωση (μέσω συστημάτων ασύρματης ραδιοεπικοινωνίας) του κεντρικού σταθμού ελέγχου στο ηφαιστειολογικό παρατηρητήριο του ΙΜΠΗΣ. Επίσης περιλαμβάνει μια πλήρως

αυτοματοποιημένη διαδικασία αρχικού ελέγχου των μετρήσεων με δυνατότητα αυτόματης ενημέρωσης των υπευθύνων.

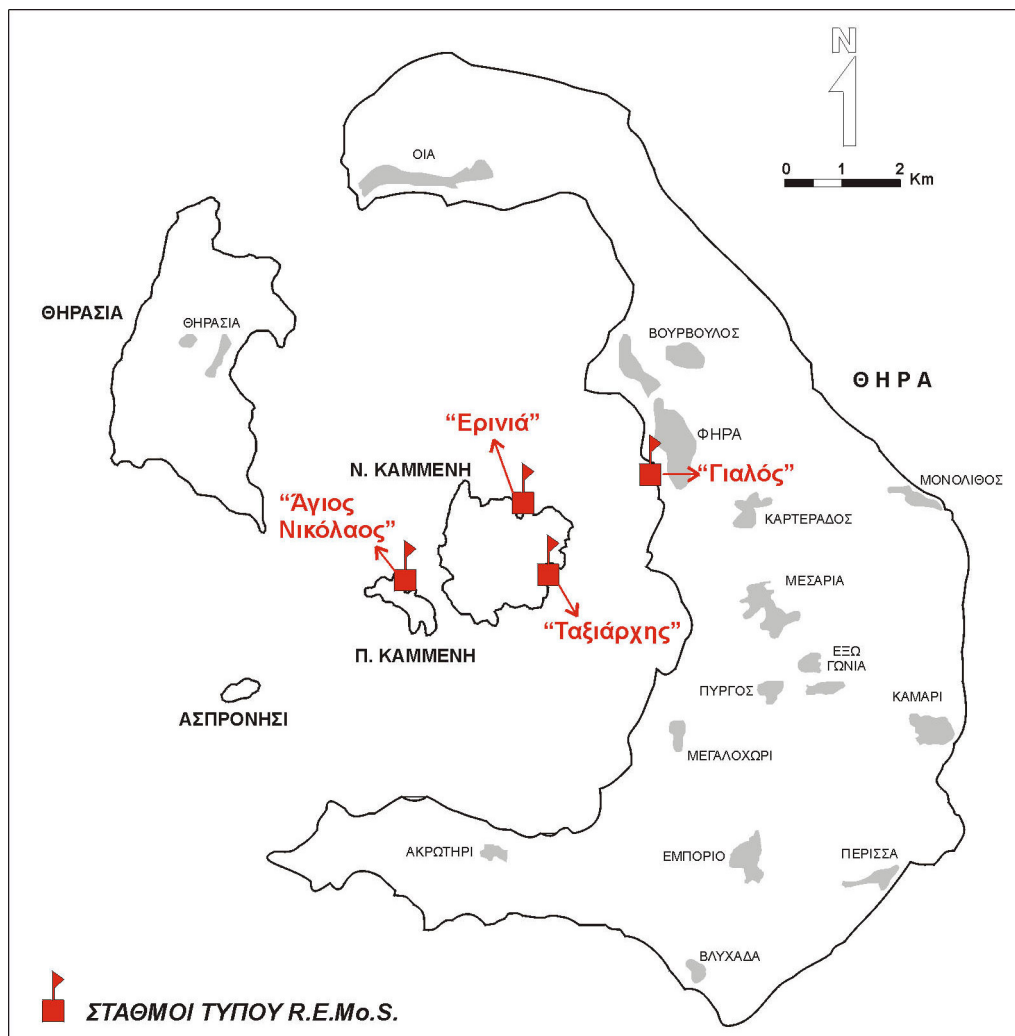
Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματοποιημένων μετρήσεων, που αποτελείται από δύο μέρη:

i. Ένα **κεντρικό σταθμό ελέγχου**, που αποτελείται από ένα προσωπικό υπολογιστή εφοδιασμένο με τα κατάλληλα κυκλώματα (κάρτες διασύνδεσης), από το ειδικό λογισμικό, και από το κεντρικό σύστημα ασύρματης επικοινωνίας του δικτύου. Ο Σταθμός είναι εγκατεστημένος και λειτουργεί στο ηφαιστειολογικό παρατηρητήριο του Ι.Μ.Π.Η.Σ., που βρίσκεται στο Συνεδριακό Κέντρο Νομικού, στην περιοχή Φηροστεφάνι (Φωτ. 5.2).



Φωτογραφία 5.2 Άποψη του εσωτερικού του κεντρικού σταθμού ελέγχου στο Συνεδριακό Κέντρο Π. Νομικού στο Φηροστεφάνι.

ii. Τέσσερις απομακρυσμένους σταθμούς λήψης μετρήσεων, που αποτελούν τους **περιφερειακούς σταθμούς** του συστήματος. Οι σταθμοί αυτοί είναι εφοδιασμένοι με τα αισθητήρια μέτρησης στάθμης νερού, θερμοκρασίας νερού και θερμοκρασίας αέρα, καθώς και με σύστημα κωδικοποίησης και αποστολής των δεδομένων των μετρήσεων στον κεντρικό σταθμό βάσης μέσω του ασύρματου δικτύου δεδομένων. Ένα τοπικό μικρο-υπολογιστικό σύστημα ελέγχει συνεχώς όλη τη λειτουργία του περιφερειακού σταθμού και των ηλεκτρονικών μετρητικών οργάνων που είναι συνδεδεμένα σε αυτόν. Οι τέσσερις περιφερειακοί σταθμοί μετρήσεων είναι εγκατεστημένοι και λειτουργούν στις περιοχές «Ταξιάρχης» και «Ερινιά» της Νέας Καμένης, «Άγιος Νικόλαος» της Παλαιάς Καμένης (στη θέση Ζεστά Νερά), και «Γιαλός» (λιμάνι Φηρών) της Σαντορίνης (Σχήμα 5.2, Φωτ. 5.3α-β).



Σχήμα 5.2 Σχηματικός χάρτης της Σαντορίνης, όπου φαίνονται οι θέσεις των σταθμών τύπου R.E.Μο.S.



α)



β)

Φωτογραφία 5.3 α) Παλιρροιογράφος μετατροπής της πίεσης του νερού στο σταθμό «Ερινιά» στην Ν. Καμμένη, β) άποψη του σταθμού «Άγιος Νικόλαος» στην Π. Καμμένη.

5.2.2 Δυνατότητες του δικτύου

Οι περιφερειακοί σταθμοί είναι μονάδες αυτόνομες από άποψη λειτουργίας και επικοινωνίας, και αυτόρκειες ενεργειακά: διαθέτουν σύστημα τοπικού μικροϋπολογιστή για τον έλεγχο όλων των λειτουργιών, σύστημα ασύρματης επικοινωνίας δεδομένων για σύνδεση με τον κεντρικό σταθμό βάσης, καθώς και σύστημα ηλιακών στοιχείων – μπαταρίας, που εξασφαλίζει την απαιτούμενη ενέργεια για 24ωρη λειτουργία, αλλά και την απρόσκοπτη λήψη μετρήσεων (βλέπε κεφάλαιο 4).

Οι μετρήσεις των παραμέτρων γίνονται κατά δύο ανεξάρτητους τρόπους:

- i. Σε συνεχή βάση και σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα (λήψη μετρήσεων ανά μία ώρα). Η διαδικασία αυτή προκαθορίζεται και ελέγχεται πλήρως από το ειδικό λογισμικό (software) που συνοδεύει και ενσωματώνεται στο πλήρες σύστημα και
- ii. Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή επιθυμεί ο χρήστης και για οποιαδήποτε παράμετρο. Αρκεί γι' αυτό μία απλή σύνδεση μέσω modem με τον κεντρικό σταθμό καταγραφής και καταχώρησης των μετρήσεων. Η δεύτερη αυτή, πολύ σημαντική δυνατότητα δίνεται χωρίς να διακόπτεται η συστηματική και προκαθορισμένη ροή των μετρήσεων απ' όλους τους σταθμούς και όλα τα αισθητήρια.

Με τον πρώτο τρόπο εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη, συστηματική και μακροχρόνια λήψη μετρήσεων, που καταχωρούνται σε σκληρό δίσκο και στη συνέχεια αναλύονται επιστημονικά με διάφορα λογισμικά (από τα ευρέως γνωστά πακέτα Excel ή Access, μέχρι τα ειδικά προγράμματα ανάλυσης δεδομένων) και διαμορφώνονται σε βάσεις δεδομένων ηφαιστειολογικών μετρήσεων, χρήσιμες σε οιοδήποτε θελήσει να μελετήσει μελλοντικά το ηφαίστειο της Σαντορίνης σε βάθος.

Με το δεύτερο τρόπο δίνεται η δυνατότητα στους εξουσιοδοτημένους χρήστες από οπουδήποτε, να συνδέονται στο σύστημα με απλό τρόπο (μέσω modem) και να ζητούν όποια μέτρηση και από όποιο σταθμό θέλουν, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή (άμεση μέτρηση σε πραγματικό χρόνο).

Οι δυνατότητες του νέου αναβαθμισμένου συστήματος που εγκαταστάθηκε και λειτουργεί είναι συνοπτικά οι εξής: **A)** Ο κάθε περιφερειακός σταθμός μετρά συνεχώς τα μεγέθη: **1) Στάθμη νερού, 2) Θερμοκρασία νερού, 3) Θερμοκρασία αέρα**. Επιπλέον υπάρχει δυνατότητα μέτρησης και άλλων μεγεθών (μέχρι 4 επιπλέον), ανάλογα με τα επιστημονικά δεδομένα και τα διαθέσιμα όργανα μέτρησης. **B)** Πλήρως αυτόνομη λειτουργία, χωρίς την ανάγκη οποιασδήποτε επίσκεψης προσωπικού για σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα (περίπου 6 μήνες). **Γ)** Ασφαλή καταγραφή και αποθήκευση των μετρήσεων και των απαραίτητων δεδομένων για κάθε μέτρηση (χρόνος λήψης κ.ά.) στη μονάδα σκληρού δίσκου του υπολογιστή του σταθμού βάσης, σε τακτά χρονικά διαστήματα, οριζόμενα από το χρήστη μέσω του ειδικού λογισμικού του ηλεκτρονικού υπολογιστή. **Δ)** Πρόσβαση στον υπολογιστή του σταθμού βάσης μέσω τηλεφωνικής σύνδεσης (modem) για λήψη των μετρήσεων και πλήρη χειρισμό του συστήματος από οποιαδήποτε σημείο (σε εξουσιοδοτημένους χρήστες μόνο).

Το καλοκαίρι του 2001 και στο πλαίσιο συνεργασίας του ΙΜΠΗΣ και του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (καθηγητής κ. Μ. Φυτίκας) με το τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών (επ. καθηγητής κ. Κ. Παπαβασιλείου) συνδέθηκαν στο υπάρχον δίκτυο και όργανα μέτρησης φυσικοχημικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, στον

σταθμό μετρήσεων «Άγιος Νικόλαος-Ζεστά Νερά» της Παλαιάς Καμένης συνδέθηκαν στο τηλεμετρικό δίκτυο ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης **αγωγιμότητας (αλατότητας), pH, Redox-Eh και θερμοκρασίας**. Τα νέα όργανα τοποθετήθηκαν σε νέο σταθμό, σε σημείο εκροής θερμής πηγής εντός του κολπίσκου των Ζεστών Νερών, για την παρακολούθηση της υδροθερμικής δραστηριότητας του ηφαιστείου.

5.2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, οι παλιρροιογράφοι βγαίνουν σε μια ποικιλία από μοντέλα, αλλά όλοι έχουν βασικό στοιχείο τους το όργανο μέτρησης (αισθητήριο), το οποίο τοποθετείται στο νερό.

Το πειραματικό πιλοτικό δίκτυο (1994) χρησιμοποιούσε αυτόματους τηλεμετρικούς παλιρροιογράφους υπερήχων. Αποτελούνταν από ένα σωλήνα διαμέτρου 10 έως 20 εκατοστών, ο οποίος ήταν βυθισμένος κατά το ήμισυ μέσα στο νερό και βρισκόταν σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα διαμέσου δύο μικρών οπών. Η στάθμη της θάλασσας μέσα στο σωλήνα ήταν ίση με τη στάθμη της θάλασσας έξω απ' αυτόν, απαλλαγμένη, όμως, από τις αναταράξεις των ανεμογενών κυμάτων.

Την περίοδο 1999-2000 οι παλιρροιογράφοι υπερήχων αντικαταστήθηκαν με ηλεκτρονικά αισθητήρια μετατροπής της πίεσης της στήλης του νερού. Τα αισθητήρια αυτά,



Φωτογραφία 5.4
WL400 Water Level Sensor.

είναι τοποθετημένα μέσα σε προστατευτικούς ημι-βυθιζόμενους σωλήνες, αλλά επικοινωνούν απευθείας με τη θάλασσα και όχι διαμέσου μικρών οπών. Τα αισθητήρια σχεδιάστηκαν από την εταιρεία Global Water και ο κωδικός τους είναι WL400 Water Level Sensor. Αποτελούνται από ένα ενιαίο αισθητήρα μέτρησης της πίεσης, ο οποίος βρίσκεται προστατευμένος μέσα σ' ένα ανοξείδωτο μεταλλικό σωλήνα διαμέτρου 3/4" (Φωτ. 5.4).

Το όργανο διαθέτει ένα αδιάβροχο καλώδιο, το οποίο συνδέει το μετρητή της πίεσης του νερού με το σταθμό. Επίσης, διαθέτει δύο καλώδια εξόδου 4-20 mA, 5 επίπεδα διακύμανσης των μετρήσεων, ανάλογα με το βάθος τοποθέτησης, ενώ αντισταθμίζει πλήρως τις μετρήσεις με την επικρατούσα ατμοσφαιρική πίεση.

Τα υπόλοιπα αισθητήρια (θερμοκρασίας, αγωγιμότητας κτλ) σχεδιάστηκαν από την εταιρεία Hanna Instruments και το Ι.Μ.Π.Η.Σ. τα προμηθεύτηκε από την Ιταλία.

Κεφάλαιο 6 ο

Συλλογή και στατιστική επεξεργασία των δεδομένων

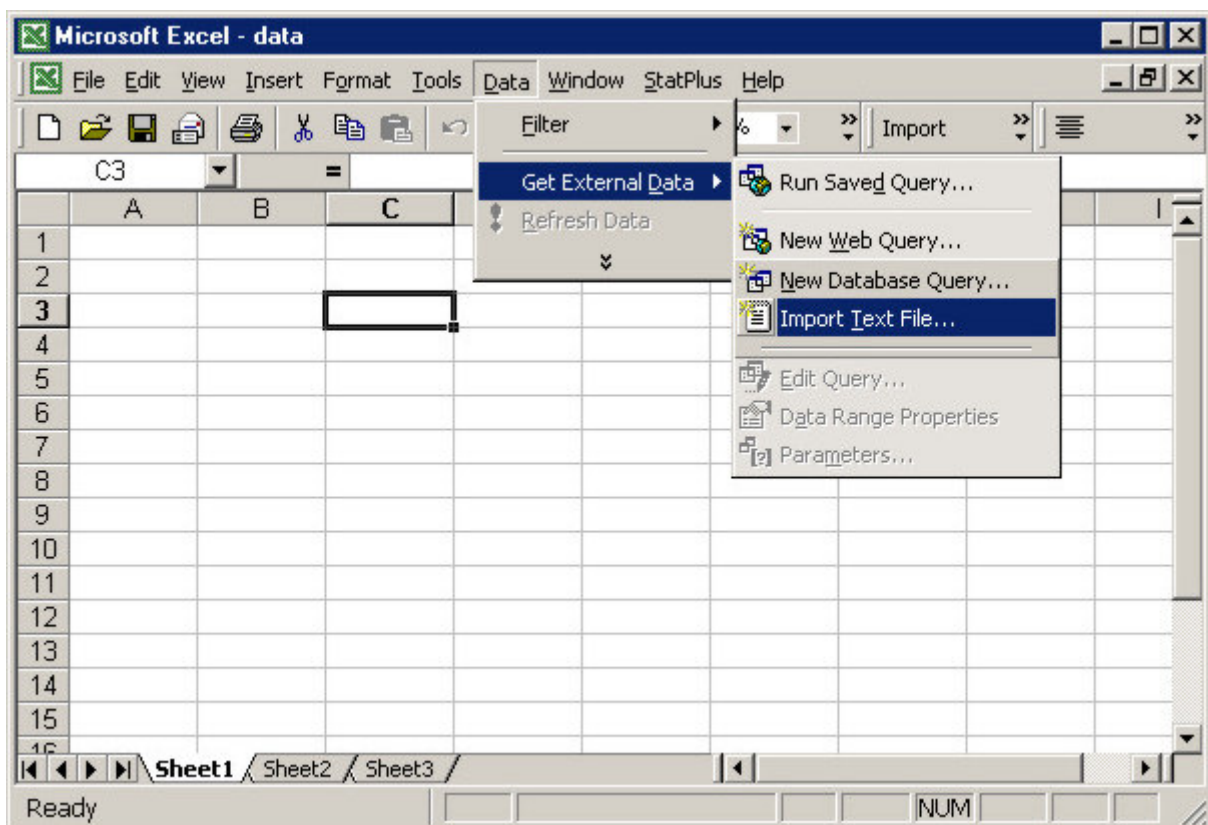
6.1 Συλλογή των δεδομένων

6.1.1 Εισαγωγή των δεδομένων στο λογιστικό φύλλο Excel

Η εξαγωγή των δεδομένων από το βασικό πρόγραμμα του R.E.Μο.S. περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4 (παράγραφος 4.2.3). Τα δεδομένα βρίσκονται πριν από την εκτέλεση της εντολής Εξαγωγή, σε αρχεία με κατάληξη .MET και μετά την εκτέλεση αντιγράφονται σε αρχεία με κατάληξη .DAT, που μπορούν να καταχωρηθούν και να επεξεργασθούν στο Excel.

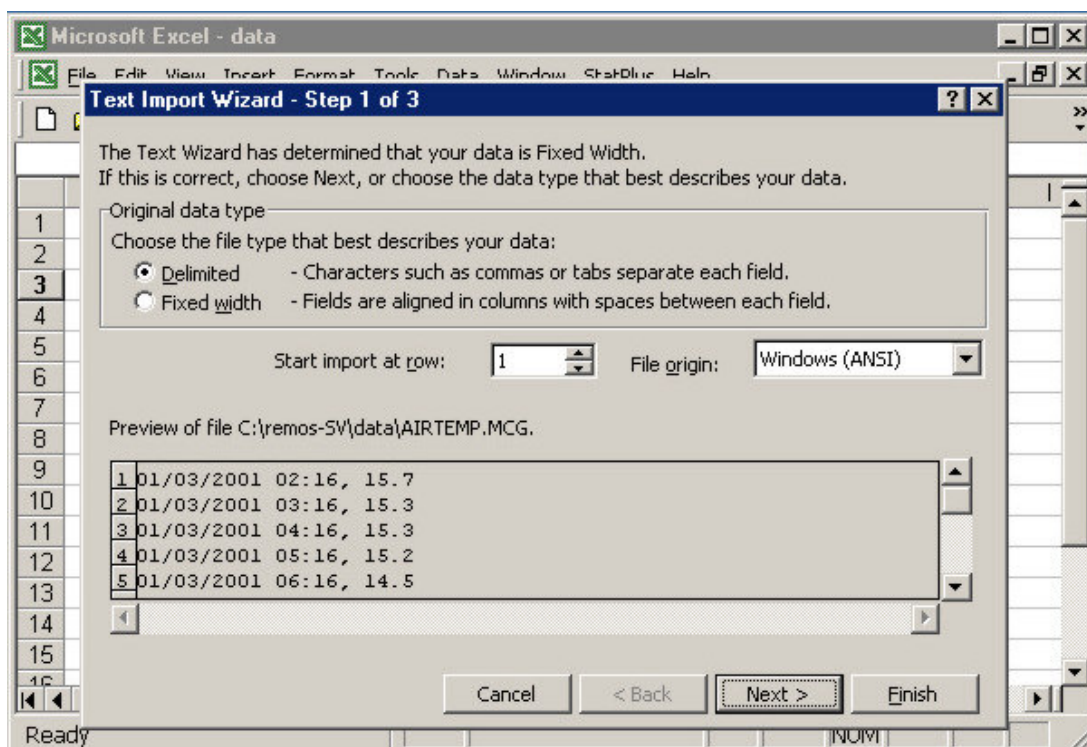
Η εισαγωγή των δεδομένων στο λογιστικό φύλλο Excel μπορεί να γίνει με περισσότερους από ένα τρόπους.

Από το μενού Αρχείο (File) της βασικής οθόνης του λογιστικού φύλλου επιλέγεται η εντολή Άνοιγμα (Open). Αφού εντοπιστεί το αρχείο που ενδιαφέρει (κατάληξη .DAT) επιλέγεται το κουμπί OK. Επίσης (άλλος τρόπος εισαγωγής), από το μενού Δεδομένα (Data) επιλέγεται η εντολή Λήψη Εξωτερικών Δεδομένων (Get External Data) και στη συνέχεια η εντολή Εισαγωγή Αρχείου Κειμένου (Import Text File) (Σχήμα 6.1).

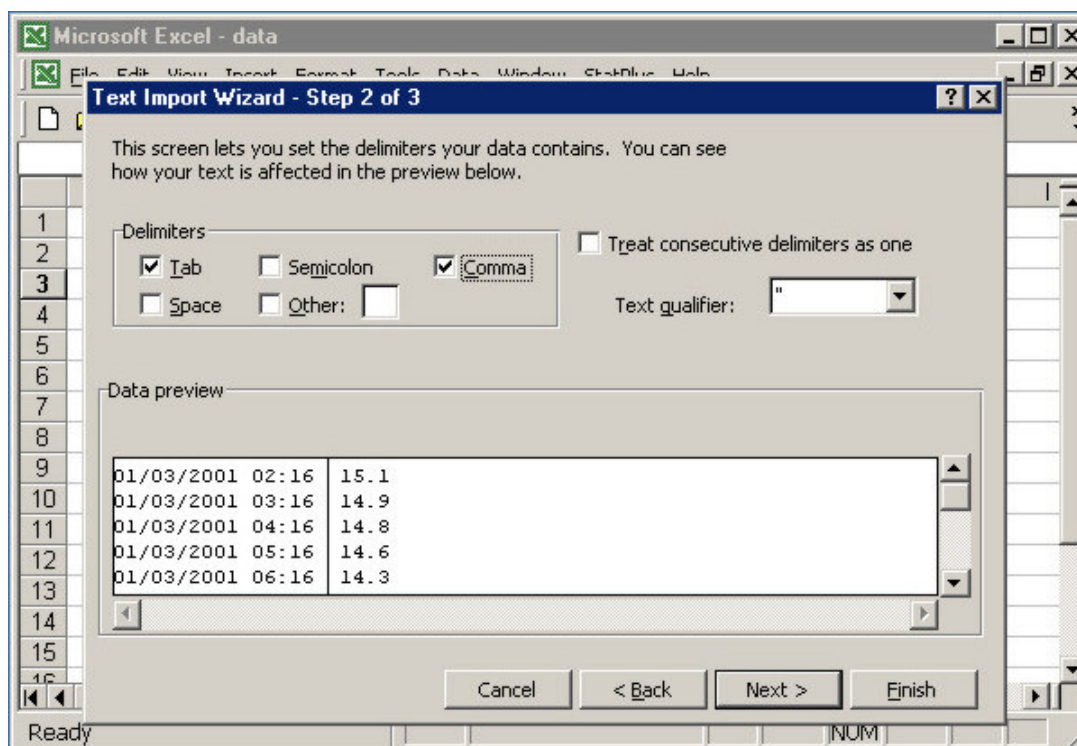


Σχήμα 6.1 Τρόποι εισαγωγής των δεδομένων στο λογιστικό φύλλο Excel.

Στη συνέχεια, και με την επιλογή της εντολής OK εμφανίζεται ένα πλαίσιο διαλόγου, στο οποίο θα πρέπει να οριστούν διάφοροι παράμετροι για το πώς επιθυμεί ο χρήστης να καταχωρήσει τα δεδομένα στο φύλλο. Οι επιλογές που θα πρέπει να επιλεγθούν είναι η οριοθέτηση (Delimited) και το κόμμα (Comma) (Σχήματα 6.2 και 6.3).

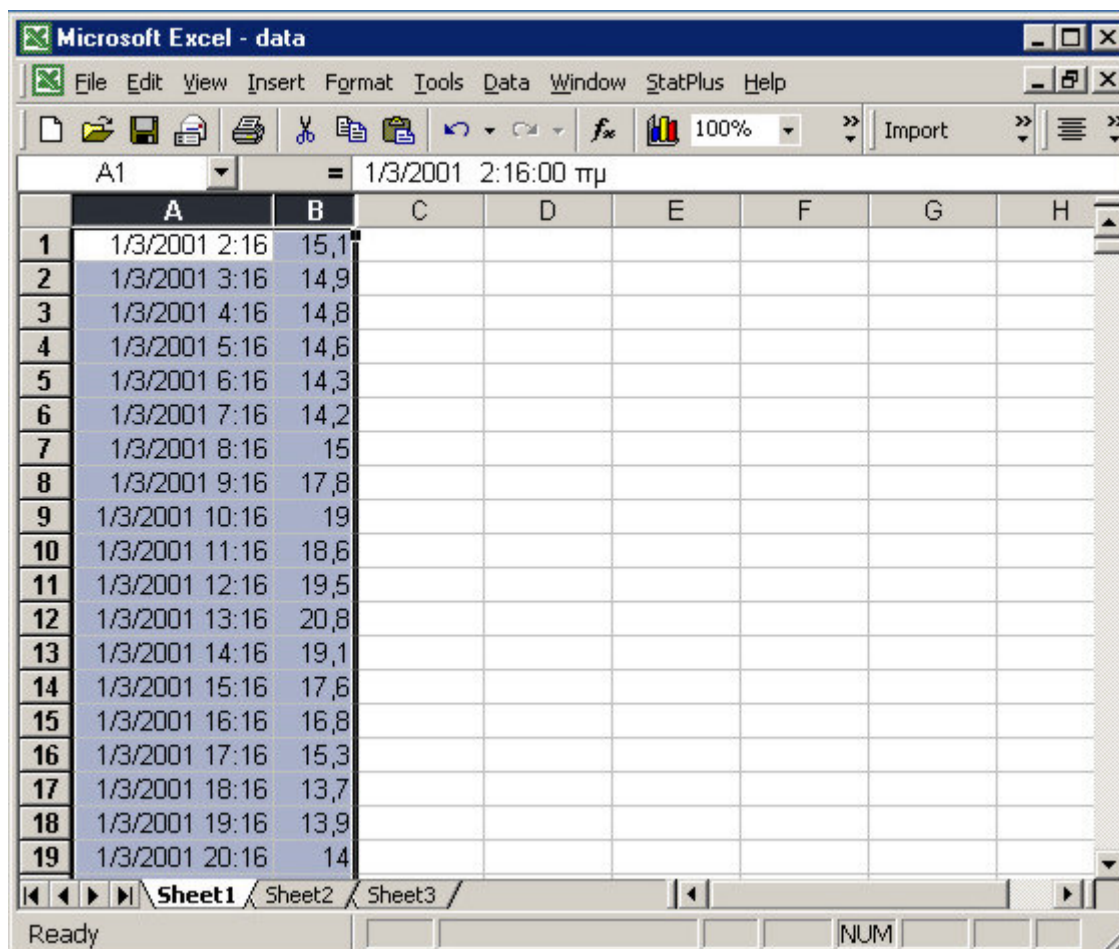


Σχήμα 6.2 Το πλαίσιο διαλόγου πριν την εισαγωγή των δεδομένων στο Excel και η επιλογή της εντολής Οριοθέτηση (Delimited).



Σχήμα 6.3 Η επιλογή της παραμέτρου Κόμμα (Comma) για την οριοθέτηση των δεδομένων.

Αφού εκτελεστούν οι παραπάνω εντολές, επιλέγεται η εντολή Finish, όπου εμφανίζεται ένα νέο πλαίσιο διαλόγου, το οποίο ζητά από το χρήστη να ορίσει από ποιο κελί επιθυμεί να αρχίσει η καταχώρηση των δεδομένων. Μετά την επιλογή του κελιού, τα δεδομένα καταχωρούνται στο φύλλο εργασίας με τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 6.4.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1/3/2001 2:16	15,1						
2	1/3/2001 3:16	14,9						
3	1/3/2001 4:16	14,8						
4	1/3/2001 5:16	14,6						
5	1/3/2001 6:16	14,3						
6	1/3/2001 7:16	14,2						
7	1/3/2001 8:16	15						
8	1/3/2001 9:16	17,8						
9	1/3/2001 10:16	19						
10	1/3/2001 11:16	18,6						
11	1/3/2001 12:16	19,5						
12	1/3/2001 13:16	20,8						
13	1/3/2001 14:16	19,1						
14	1/3/2001 15:16	17,6						
15	1/3/2001 16:16	16,8						
16	1/3/2001 17:16	15,3						
17	1/3/2001 18:16	13,7						
18	1/3/2001 19:16	13,9						
19	1/3/2001 20:16	14						

Σχήμα 6.4 Η μορφή της βάσης δεδομένων στο λογιστικό φύλλο Excel. Η στήλη A αντιπροσωπεύει την ημερομηνία λήψης της μέτρησης, ενώ η στήλη B την ποσότητα της μέτρησης.

Οι μετρήσεις των σταθμών ταξινομούνται η μία δίπλα στην άλλη, κατ' αντιστοιχία ημερομηνίας και ώρας, έτσι ώστε να είναι εφικτή μια επεξεργασία που να περιλαμβάνει συγκρίσεις και συσχετίσεις των μετρήσεων ανά κανάλι και ανά σταθμό. Η παραπάνω διαδικασία είναι αρκετά επίπονη, όταν το πλήθος των εξαγόμενων μετρήσεων είναι μεγάλο. Γί' αυτό, κρίνεται απαραίτητη η εξαγωγή των δεδομένων από το σύστημα R.E.Mo.S. να πραγματοποιείται κάθε μήνα. Επίσης, ο διαχειριστής του συστήματος R.E.Mo.S. θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός με τη ρύθμιση του βήματος μέτρησης του κάθε σταθμού. Όλοι οι σταθμοί θα πρέπει να έχουν το ίδιο βήμα μέτρησης για τη σωστή επεξεργασία των δεδομένων. Σ' αντίθετη περίπτωση, το έργο της ταξινόμησης των δεδομένων απαιτεί υπομονή και χρόνο.

Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζεται η στατιστική επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, η οποία βοηθάει στον έλεγχο της ποιότητας των μετρήσεων αλλά δίνει και μια πρωταρχική εικόνα των περιβαλλοντικών παραμέτρων της Σαντορίνης.

6.2 Στατιστική επεξεργασία των δεδομένων

6.2.1 Γενική περιγραφή των στατιστικών περιγραφικών μέτρων

Τα στατιστικά (αριθμητικά) περιγραφικά μέτρα είναι αριθμοί που υπολογίζονται από το δείγμα και βοηθούν στη δημιουργία μιας εικόνας για την κατανομή. Τα μέτρα αυτά χωρίζονται σε α) μέτρα κεντρικής τάσης, β) μέτρα μεταβλητότητας και γ) μέτρα ασυμμετρίας.

□ Από τα μέτρα κεντρικής τάσης υπολογίστηκαν:

- 1) Η μηνιαία δειγματική μέση τιμή (Aver.) που προκύπτει από τον τύπο: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ και

είναι μια εκτίμηση της μέσης τιμής των μηνιαίων μετρήσεων.

- 2) Η διάμεσος (Med.) των μηνιαίων μετρήσεων. Είναι η μεσαία μέτρηση, όταν όλες οι μετρήσεις διαταχθούν σε αύξουσα ή φθίνουσα σειρά.

□ Από τα μέτρα μεταβλητότητας υπολογίστηκαν:

- 1) Η μεγαλύτερη (Max.) μικρότερη (Min.) μηνιαία τιμή και το εύρος (Range) αυτών.
- 2) Η μηνιαία τυπική απόκλιση (St. Dev.) των μετρήσεων, που είναι η θετική τετραγωνική

ρίζα της διασποράς και δίνεται από τον τύπο: $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)}$

- 3) Ο μηνιαίος συντελεστής μεταβλητότητας (Var.), που είναι ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς τη δειγματική μέση τιμή. Ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι ανεξάρτητος από μονάδες μέτρησης και χαρακτηρίζει ένα δείγμα σαν ομογενές, όταν η τιμή του είναι το πολύ 10%.
- 4) Το μηνιαίο τυπικό σφάλμα (St. Err.) των μετρήσεων.

□ Από τα μέτρα ασυμμετρίας υπολογίστηκαν:

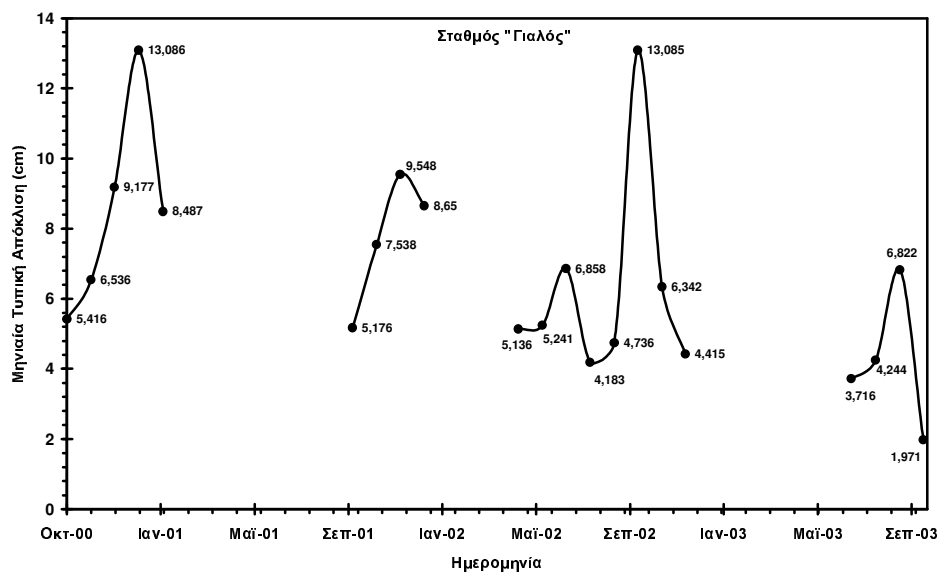
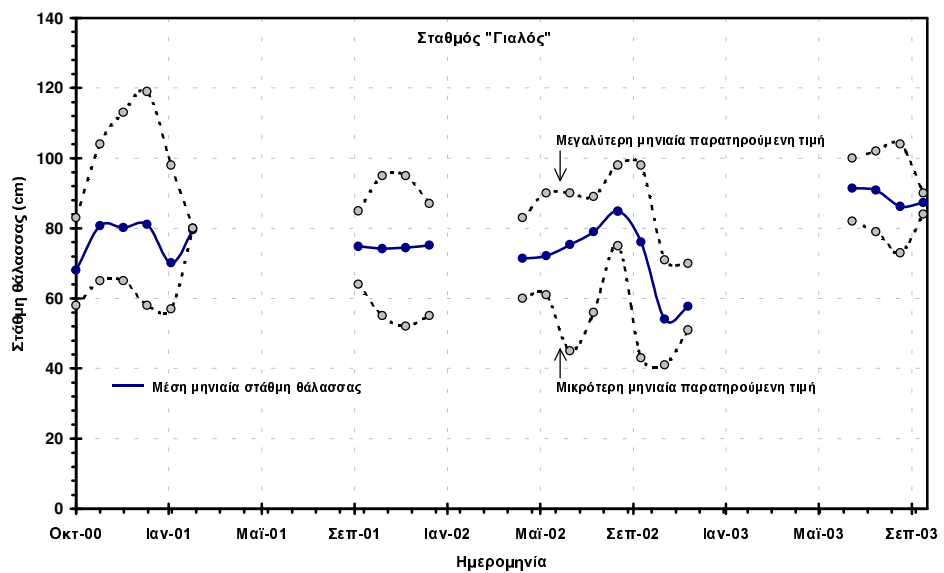
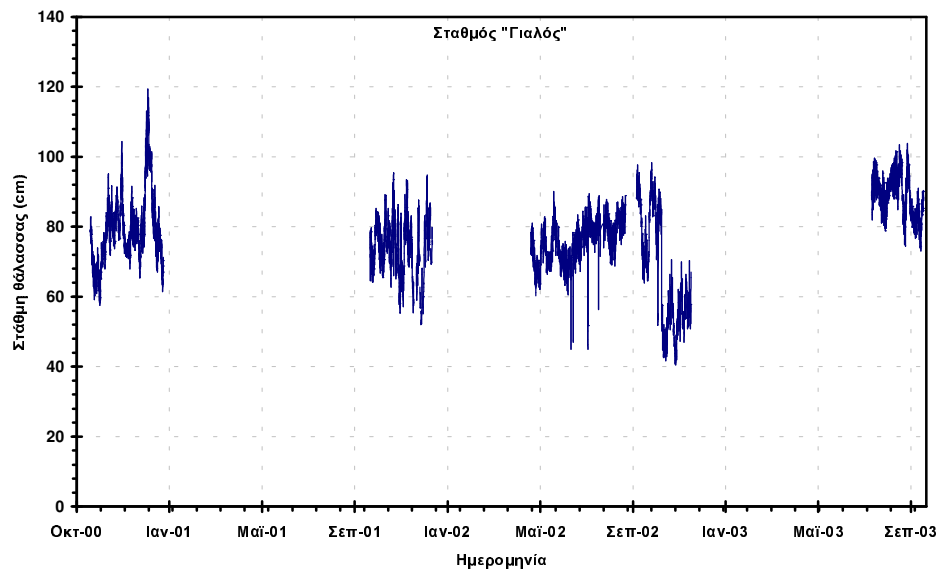
- 1) Ο μηνιαίος συντελεστής λοξότητας (Skewness) των μετρήσεων. Όταν είναι θετικός, σημαίνει ότι η περισσότερες τιμές βρίσκονται δεξιά της επικρατούσας τιμής και το αντίθετο όταν είναι αρνητικός.
- 2) Ο μηνιαίος συντελεστής κύρτωσης (Kurt.) των μετρήσεων. Όταν έχει τιμή <3 η κατανομή είναι πλατύκυρτη, ενώ όταν λαμβάνει τιμές >3 η κατανομή είναι λεπτόκυρτη.

Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται τα παραπάνω περιγραφικά μέτρα ανά σταθμό και ανά παράμετρο μέτρησης. Επίσης, δίνονται και τα σημαντικότερα διαγράμματα για μια καλύτερη εκτίμηση της χρονικής διακύμανσης των δεδομένων.

6.2.1 Στατιστικοί πίνακες και διαγράμματα

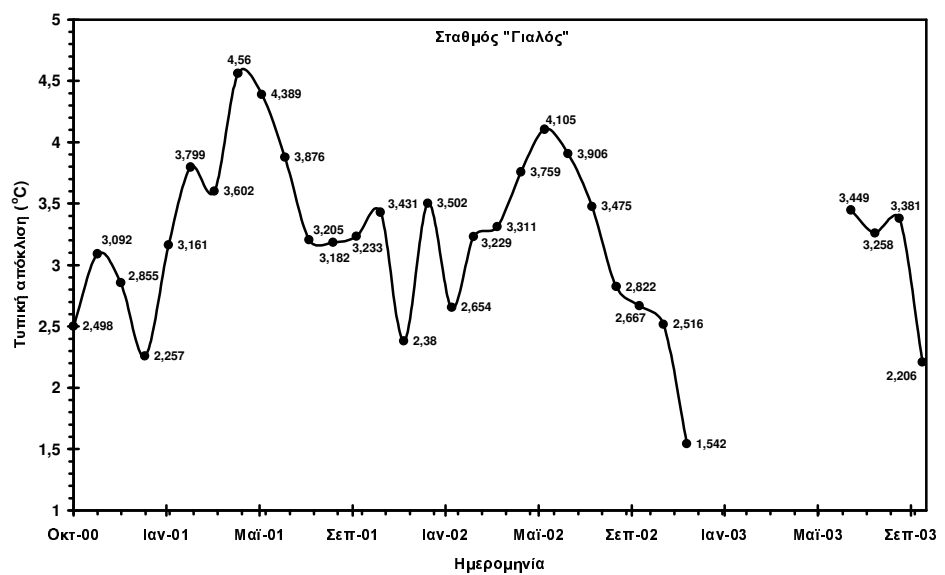
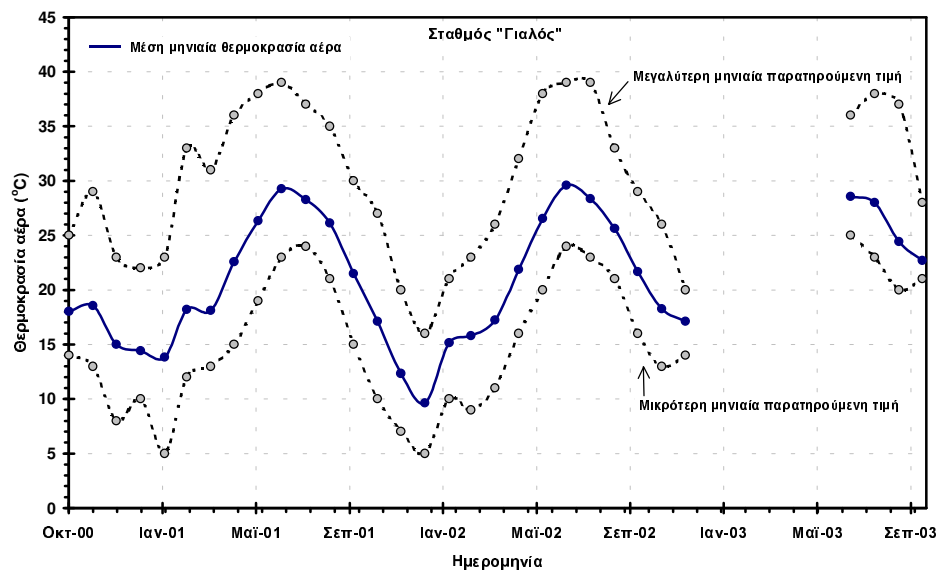
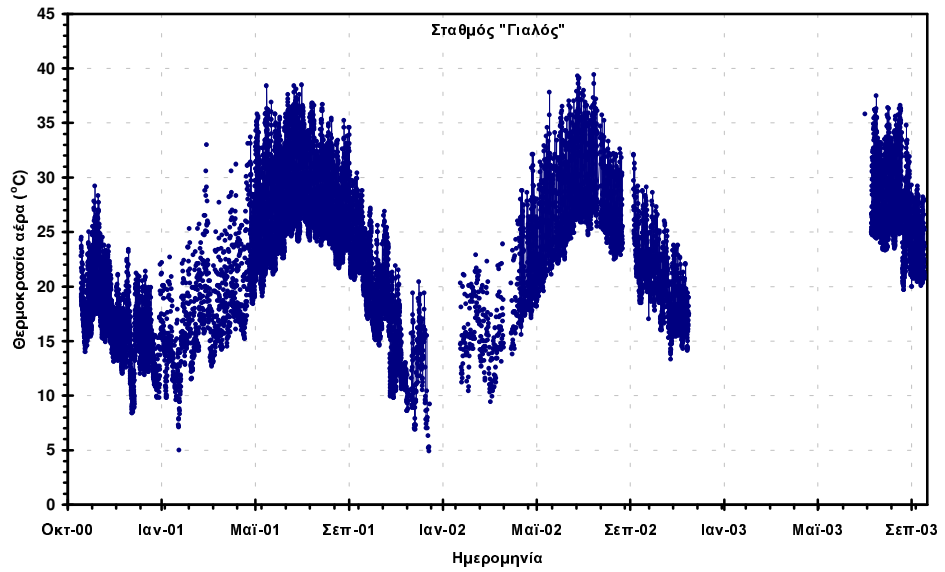
Πίνακας 6.1

Στατιστικά στοιχεία της στάθμης της θάλασσας του σταθμού «Γιαλός»											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	68,00	67	58	83	25	5,416	29,33	0,301	0,651	-0,176
Νοε-00	720	80,73	81	65	104	39	6,536	42,72	0,244	0,142	0,058
Δεκ-00	744	80,18	78	65	113	48	9,177	84,22	0,336	1,686	2,567
Ιαν-01	570	81,08	78	58	119	61	13,086	171,2	0,548	0,757	-0,162
Φεβ-01	224	70,11	68	57	98	41	8,487	72,03	0,567	1,165	1,162
Μαρ-01	1	80,00	80	80	80	0	-	-	-	-	-
Απρ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Μαϊ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουν-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Αυγ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σεπτ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Οκτ-01	395	74,85	74	64	85	21	5,176	26,79	0,260	0,041	-1,063
Νοε-01	698	74,20	75	55	95	40	7,538	56,83	0,285	-0,059	-0,520
Δεκ-01	317	74,51	76	52	95	43	9,548	91,16	0,536	-0,329	-0,440
Ιαν-02	25	75,10	76	55	87	32	8,650	74,83	1,730	-0,589	0,053
Φεβ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Μαρ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Απρ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Μαϊ-02	225	71,46	72	60	83	23	5,136	26,38	0,342	0,077	-0,821
Ιουν-02	327	72,12	71	61	90	30	5,241	27,46	0,290	0,816	0,496
Ιουλ-02	372	75,33	76	45	90	45	6,858	47,04	0,356	-1,795	5,419
Αυγ-02	329	78,96	79	56	89	33	4,183	17,5	0,231	-0,572	1,915
Σεπτ-02	192	84,90	84	75	98	23	4,736	22,43	0,342	0,302	-0,487
Οκτ-02	372	76,06	79	43	98	56	13,085	171,2	0,678	-0,843	0,010
Νοε-02	352	54,05	54	41	71	30	6,342	40,22	0,338	0,073	-0,629
Δεκ-02	48	57,72	57	51	70	20	4,415	19,49	0,637	0,914	0,684
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	124	91,38	91	82	100	18	3,716	13,81	0,334	0,177	-0,306
Αυγ-03	742	90,84	91	79	102	23	4,244	18,01	0,156	-0,278	-0,053
Σεπτ-03	720	86,25	85	73	104	31	6,822	46,55	0,254	0,613	-0,554
Οκτ-03	38	87,28	87	84	90	6	1,971	3,886	0,320	0,005	-1,474
Σύνολο μετρήσεων: 7859											



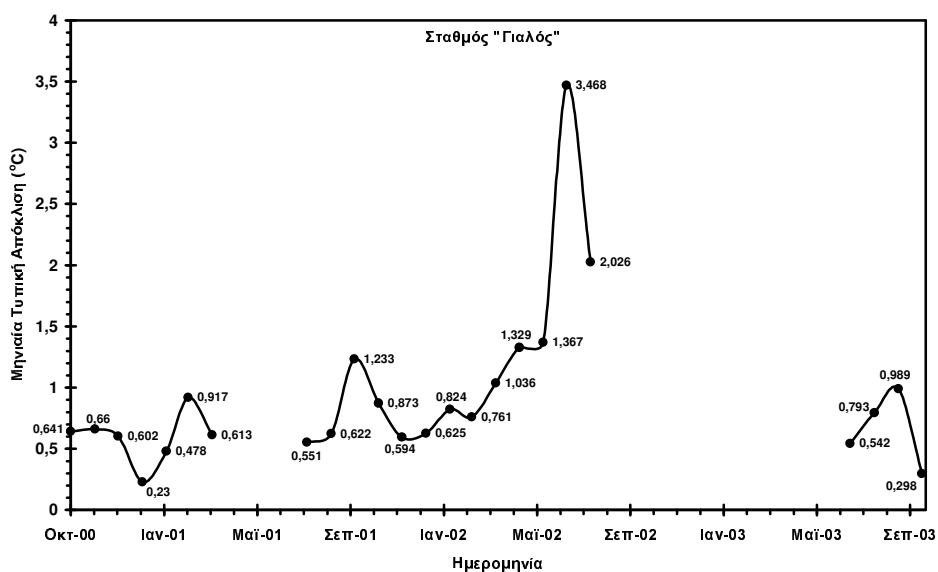
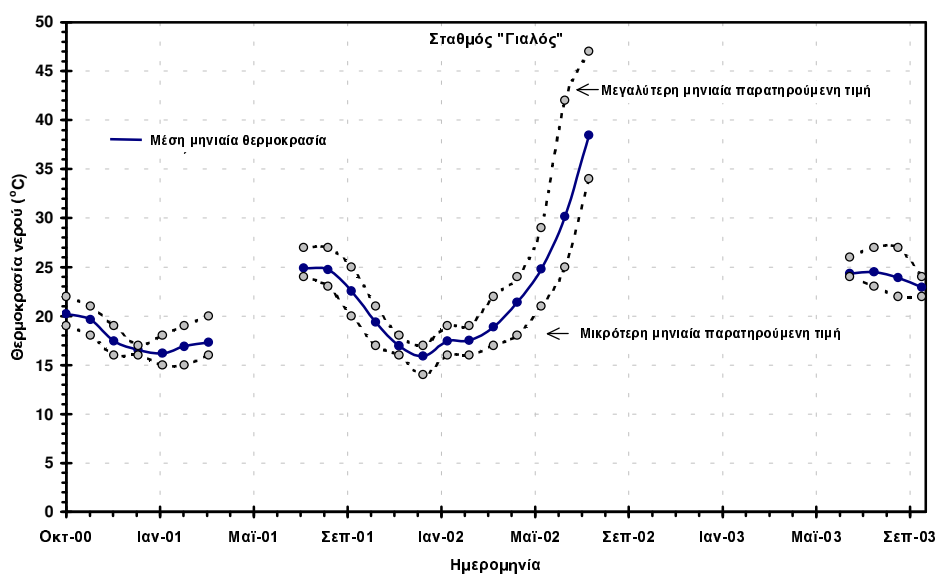
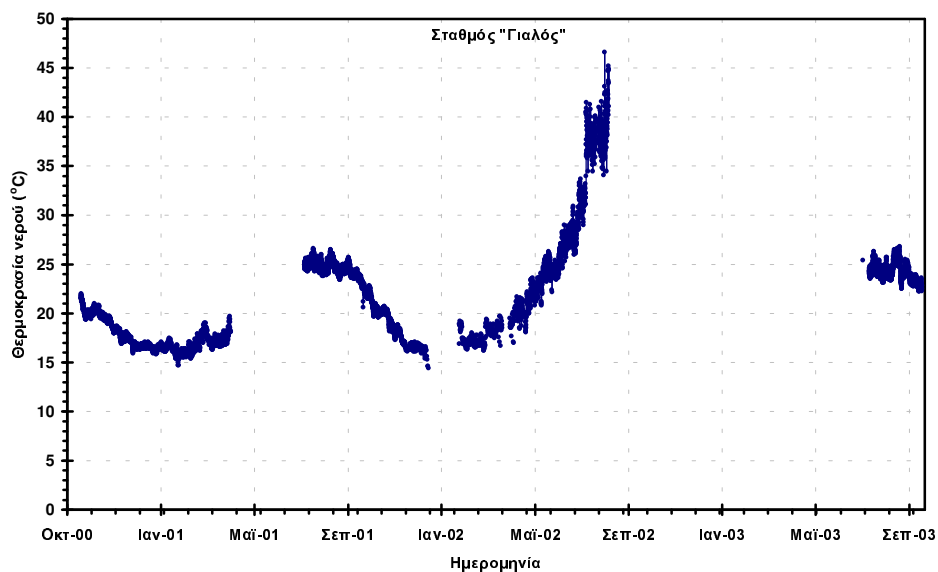
Πίνακας 6.2

Στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας του αέρα του σταθμού «Γιαλός»											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	18,01	17	14	25	11	2,498	6,241	0,139	0,697	-0,387
Νοε-00	720	18,55	18	13	29	16	3,092	9,561	0,115	0,860	0,355
Δεκ-00	744	15,00	15	8	23	15	2,855	8,151	0,105	-0,288	0,032
Ιαν-01	570	14,40	14	10	22	12	2,257	5,093	0,095	0,840	0,567
Φεβ-01	224	13,83	14	5	23	18	3,161	9,992	0,211	0,418	0,210
Μαρ-01	246	18,19	17	12	33	22	3,799	14,43	0,242	0,886	0,909
Απρ-01	239	18,10	17	13	31	18	3,602	12,98	0,233	0,857	0,404
Μαϊ-01	394	22,56	22	15	36	21	4,560	20,79	0,230	0,840	0,138
Ιουν-01	720	26,34	25	19	38	19	4,389	19,27	0,164	0,543	-0,872
Ιουλ-01	743	29,27	28	23	39	16	3,876	15,02	0,142	0,451	-0,949
Αυγ-01	740	28,24	27	24	37	13	3,205	10,27	0,118	0,792	-0,543
Σεπτ-01	718	26,13	25	21	35	15	3,182	10,12	0,119	0,727	-0,240
Οκτ-01	742	21,47	22	15	30	15	3,233	10,45	0,119	0,175	-0,386
Νοε-01	698	17,10	17	10	27	17	3,431	11,77	0,130	0,094	-0,247
Δεκ-01	317	12,33	12	7	20	14	2,380	5,663	0,134	0,693	0,685
Ιαν-02	25	9,62	9	5	16	11	3,502	12,27	0,700	0,775	-0,524
Φεβ-02	55	15,16	15	10	21	11	2,654	7,045	0,358	0,499	-0,161
Μαρ-02	123	15,80	15	9	23	14	3,229	10,43	0,291	0,065	-0,820
Απρ-02	83	17,21	16	11	26	15	3,311	10,97	0,363	0,741	0,075
Μαϊ-02	318	21,87	21	16	32	17	3,759	14,13	0,211	0,693	-0,520
Ιουν-02	327	26,54	25	20	38	18	4,105	16,85	0,227	0,552	-0,725
Ιουλ-02	372	29,59	28	24	39	15	3,906	15,26	0,203	0,610	-0,936
Αυγ-02	329	28,33	27	23	39	17	3,475	12,07	0,192	0,825	-0,090
Σεπτ-02	192	25,63	25	21	33	12	2,822	7,964	0,204	0,769	-0,384
Οκτ-02	372	21,65	21	16	29	13	2,667	7,114	0,138	0,500	0,025
Νοε-02	352	18,26	18	13	26	13	2,516	6,329	0,134	0,767	0,061
Δεκ-02	48	17,09	17	14	20	6	1,542	2,377	0,223	-0,241	-0,732
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	124	28,55	27	25	36	12	3,449	11,9	0,310	0,725	-0,777
Αυγ-03	742	27,98	27	23	38	14	3,258	10,61	0,120	0,673	-0,684
Σεπτ-03	720	24,42	24	20	37	17	3,381	11,43	0,126	1,013	0,838
Οκτ-03	38	22,70	22	21	28	7	2,206	4,865	0,358	1,279	0,445
Σύνολο μετρήσεων: 12359											



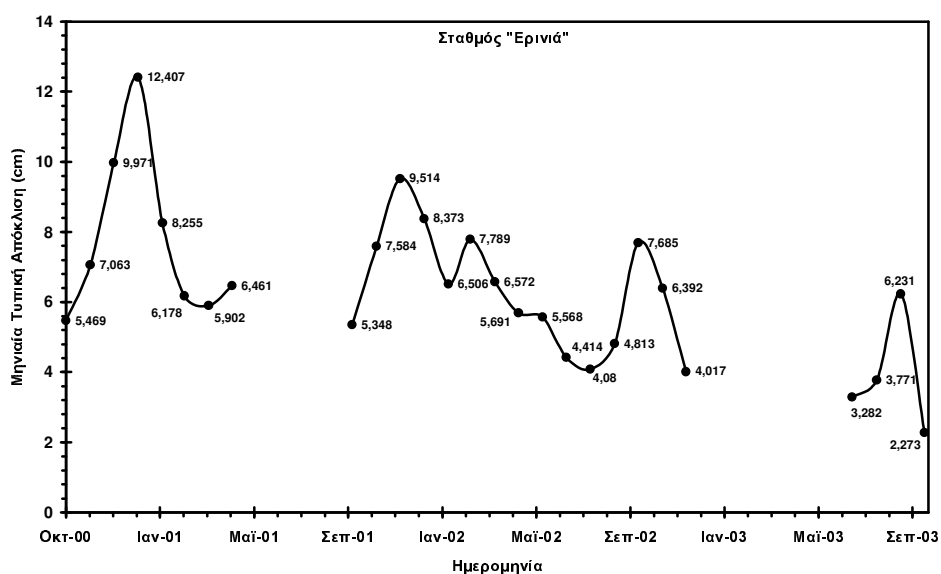
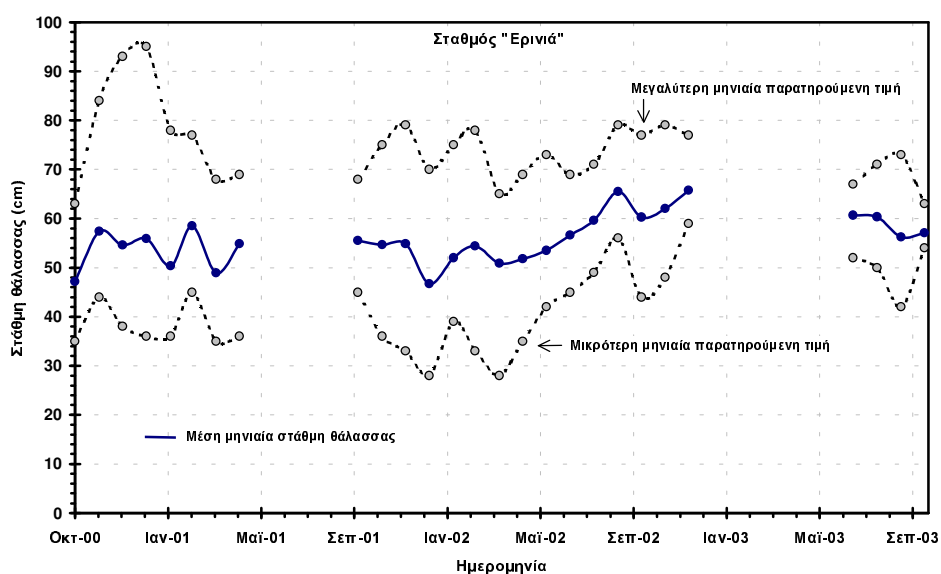
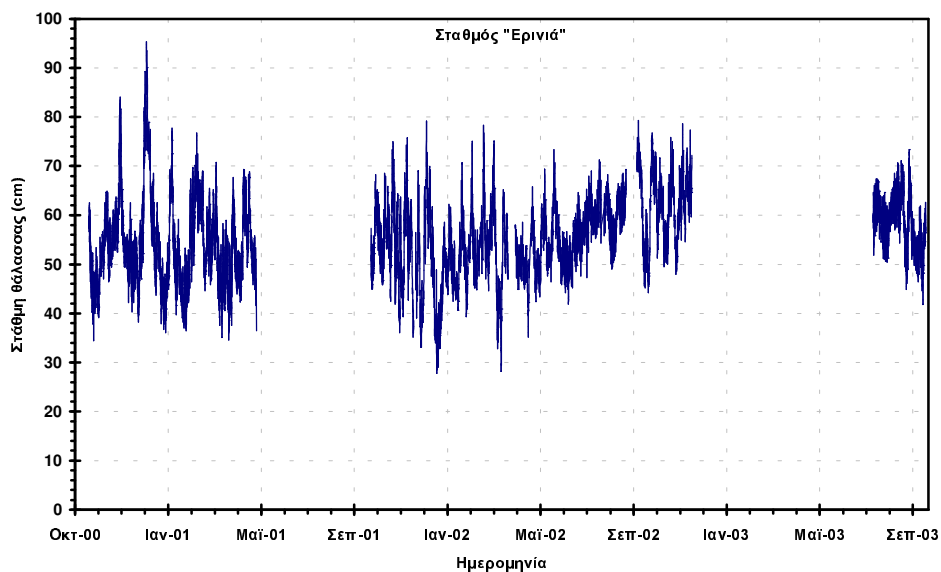
Πίνακας 6.3

Στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας του νερού του σταθμού «Γιαλός»											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	20,22	20	19	22	3	0,641	0,411	0,036	1,035	0,056
Νοε-00	720	19,63	20	18	21	3	0,660	0,435	0,025	-0,470	-0,302
Δεκ-00	744	17,41	17	16	19	3	0,602	0,363	0,022	-0,021	-0,915
Ιαν-01	570	16,52	17	16	17	1	0,230	0,053	0,010	-0,245	0,322
Φεβ-01	224	16,20	16	15	18	3	0,478	0,229	0,032	0,014	0,395
Μαρ-01	246	16,91	17	15	19	4	0,917	0,841	0,058	0,305	-0,843
Απρ-01	218	17,28	17	16	20	3	0,613	0,375	0,041	1,387	2,583
Μαϊ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουν-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Αυγ-01	729	24,87	25	24	27	3	0,551	0,303	0,020	0,480	-0,035
Σεπτ-01	718	24,73	25	23	27	3	0,622	0,387	0,023	0,471	-0,301
Οκτ-01	742	22,56	23	20	25	5	1,233	1,521	0,045	-0,445	-0,748
Νοε-01	698	19,37	20	17	21	3	0,873	0,763	0,033	-0,345	-1,316
Δεκ-01	317	16,97	17	16	18	3	0,594	0,352	0,033	0,683	-0,383
Ιαν-02	25	15,92	16	14	17	2	0,625	0,390	0,125	-1,375	0,945
Φεβ-02	55	17,43	17	16	19	3	0,824	0,680	0,111	0,813	-0,715
Μαρ-02	123	17,49	17	16	19	3	0,761	0,579	0,069	0,556	-0,627
Απρ-02	83	18,88	19	17	22	5	1,036	1,073	0,114	0,596	0,283
Μαϊ-02	318	21,41	21	18	24	6	1,329	1,766	0,075	-0,163	-0,718
Ιουν-02	327	24,80	25	21	29	8	1,367	1,868	0,076	0,169	0,501
Ιουλ-02	372	30,14	29	25	42	16	3,468	12,03	0,180	1,285	1,123
Αυγ-02	268	38,45	38	34	47	13	2,026	4,104	0,124	0,965	1,755
Σεπτ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Οκτ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Νοε-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Δεκ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	124	24,34	24	24	26	2	0,542	0,294	0,049	1,046	0,895
Αυγ-03	742	24,49	24	23	27	4	0,793	0,629	0,029	0,507	-0,604
Σεπτ-03	720	23,89	24	22	27	5	0,989	0,979	0,037	0,664	-0,365
Οκτ-03	38	22,92	23	22	24	1	0,298	0,089	0,048	0,481	0,048
Σύνολο μετρήσεων: 9445											



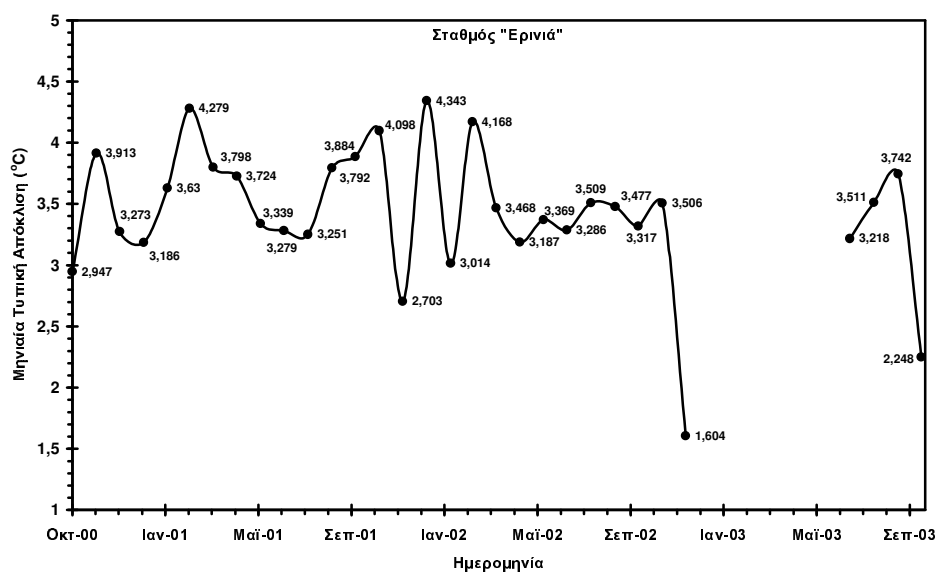
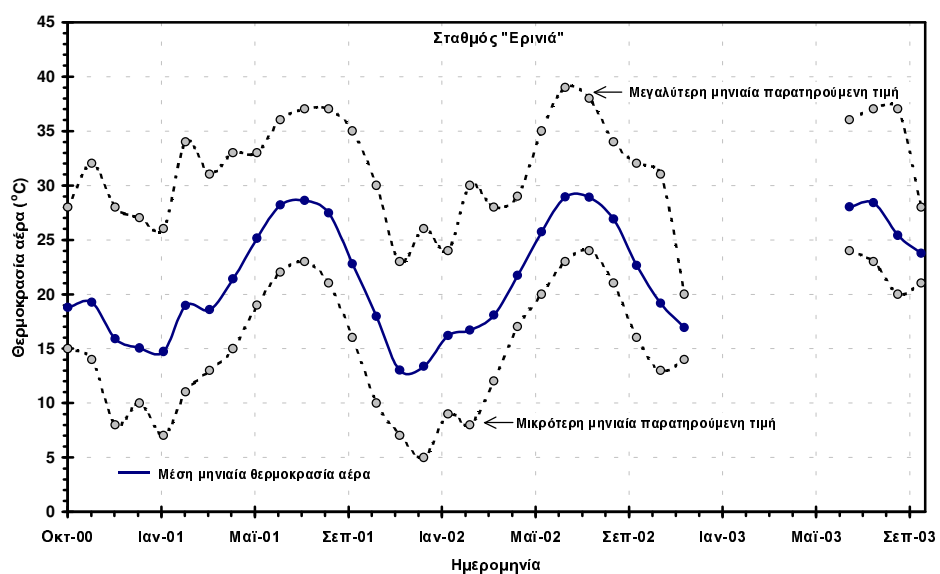
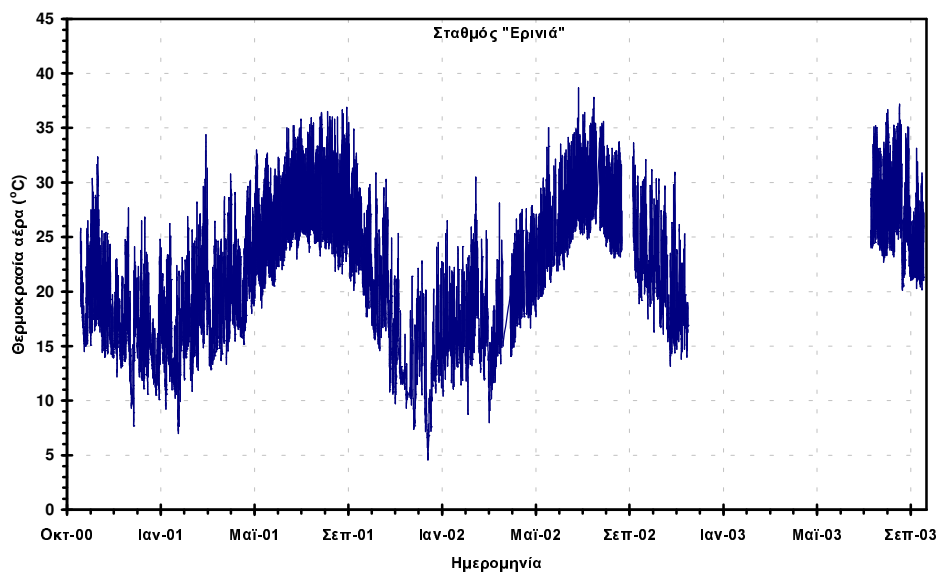
Πίνακας 6.4

Στατιστικά στοιχεία της στάθμης της θάλασσας του σταθμού «Ερινιά»											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	47,14	46	35	63	28	5,469	29,91	0,304	0,836	0,058
Νοε-00	720	57,42	56	44	84	40	7,063	49,89	0,263	1,222	1,928
Δεκ-00	744	54,55	52	38	93	54	9,971	99,42	0,366	1,669	2,491
Ιαν-01	744	55,90	53	36	95	59	12,407	153,9	0,455	0,931	0,219
Φεβ-01	672	50,39	49	36	78	41	8,255	68,14	0,318	1,118	1,031
Μαρ-01	743	58,51	58	45	77	32	6,178	38,17	0,227	0,146	-0,575
Απρ-01	719	48,93	48	35	68	33	5,902	34,83	0,220	0,451	0,070
Μαϊ-01	506	54,83	54	36	69	33	6,461	41,75	0,287	0,307	-0,759
Ιουν-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Αυγ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σεπτ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Οκτ-01	349	55,50	56	45	68	23	5,348	28,60	0,286	0,036	-1,121
Νοε-01	698	54,65	55	36	75	39	7,584	57,52	0,287	-0,019	-0,515
Δεκ-01	329	54,86	56	33	79	46	9,514	90,51	0,525	-0,247	-0,479
Ιαν-02	355	46,69	48	28	70	42	8,373	70,11	0,444	-0,066	-0,465
Φεβ-02	337	51,99	51	39	75	36	6,506	42,32	0,354	0,646	0,323
Μαρ-02	369	54,35	54	33	78	46	7,789	60,68	0,406	0,223	0,474
Απρ-02	250	50,86	52	28	65	37	6,572	43,2	0,416	-0,834	1,285
Μαϊ-02	326	51,79	51	35	69	34	5,691	32,39	0,315	0,121	-0,063
Ιουν-02	327	53,54	53	42	73	32	5,568	31,0	0,308	0,837	0,501
Ιουλ-02	372	56,60	57	45	69	24	4,414	19,48	0,229	-0,008	-0,251
Αυγ-02	330	59,63	60	49	71	22	4,080	16,64	0,225	0,000	-0,187
Σεπτ-02	193	65,47	65	56	79	23	4,813	23,17	0,346	0,366	-0,444
Οκτ-02	372	60,26	60	44	77	33	7,685	59,07	0,398	0,000	-0,871
Νοε-02	352	62,03	62	48	79	31	6,392	40,86	0,341	0,016	-0,664
Δεκ-02	48	65,74	66	59	77	19	4,017	16,14	0,580	0,789	0,880
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	124	60,70	60	52	67	16	3,282	10,77	0,295	0,165	-0,318
Αυγ-03	744	60,38	61	50	71	20	3,771	14,22	0,138	-0,264	-0,113
Σεπτ-03	720	56,23	55	42	73	32	6,231	38,83	0,232	0,580	-0,476
Οκτ-03	38	57,06	57	54	63	9	2,273	5,167	0,369	0,523	-0,456
Σύνολο μετρήσεων: 11805											



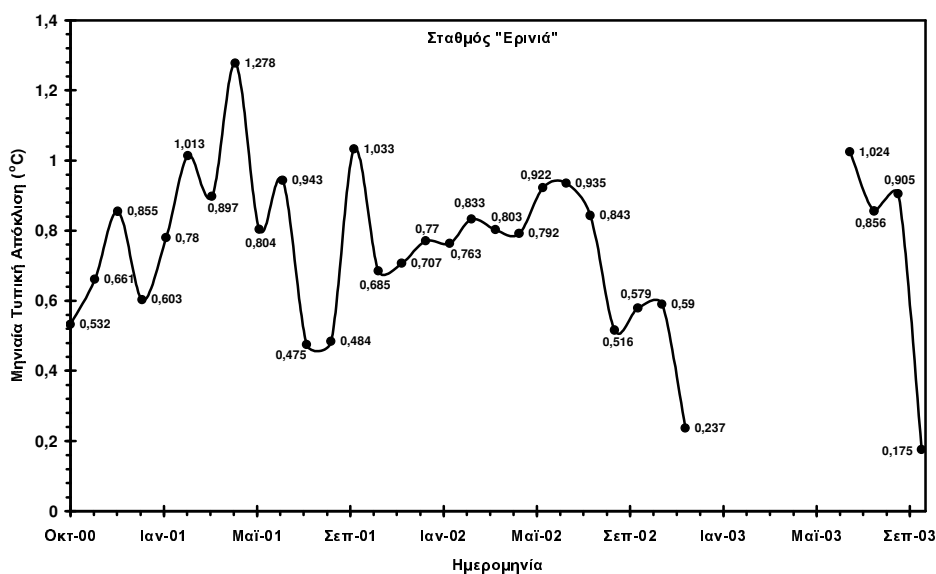
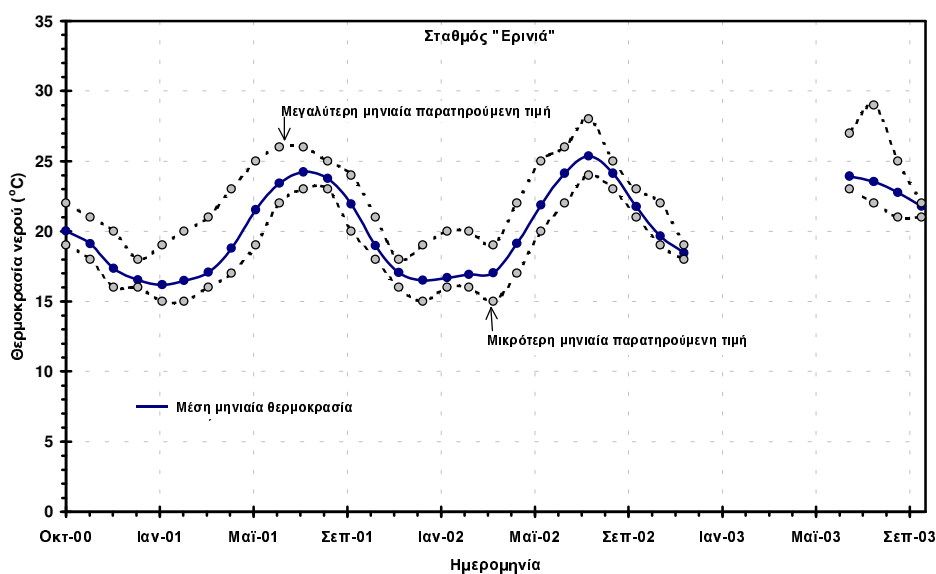
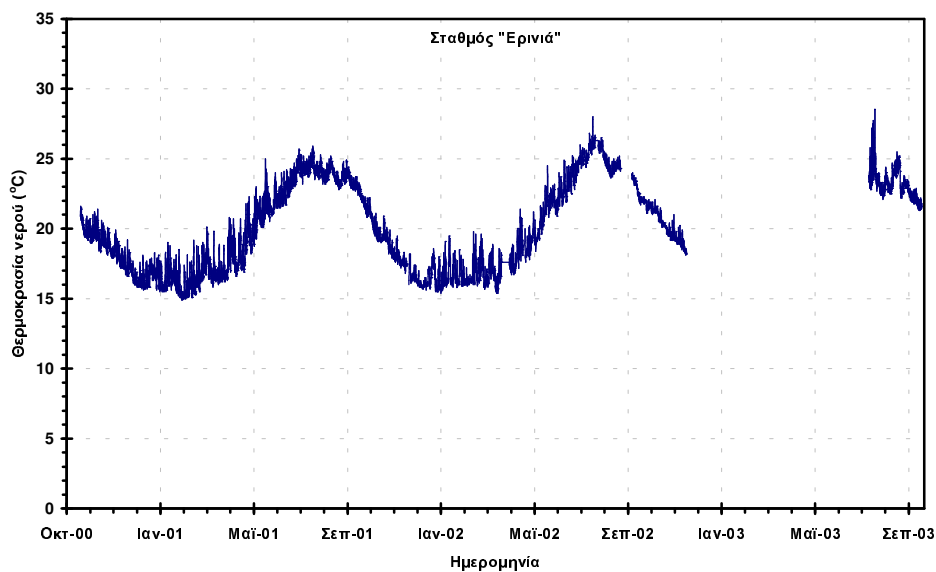
Πίνακας 6.5

Στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας του αέρα του σταθμού «Ερινιά»											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	18,79	18	15	28	13	2,947	8,685	0,164	0,785	-0,273
Νοε-00	720	19,26	18	14	32	18	3,913	15,31	0,146	0,931	0,185
Δεκ-00	744	15,89	16	8	28	20	3,273	10,72	0,120	0,230	0,345
Ιαν-01	744	15,05	14	10	27	17	3,186	10,15	0,117	1,129	0,804
Φεβ-01	672	14,73	14	7	26	19	3,630	13,18	0,140	0,652	-0,067
Μαρ-01	743	18,95	18	11	34	24	4,279	18,31	0,157	0,710	0,223
Απρ-01	719	18,59	18	13	31	18	3,798	14,42	0,142	0,649	-0,178
Μαϊ-01	722	21,39	21	15	33	18	3,724	13,87	0,139	0,549	-0,313
Ιουν-01	720	25,14	25	19	33	14	3,339	11,15	0,124	0,308	-0,966
Ιουλ-01	743	28,19	28	22	36	14	3,279	10,76	0,120	0,236	-1,081
Αυγ-01	741	28,60	28	23	37	13	3,251	10,57	0,119	0,413	-1,082
Σεπτ-01	718	27,47	27	21	37	16	3,792	14,38	0,142	0,407	-0,980
Οκτ-01	742	22,78	23	16	35	19	3,884	15,08	0,143	0,347	-0,421
Νοε-01	698	17,97	18	10	30	20	4,098	16,79	0,155	0,454	-0,033
Δεκ-01	329	13,01	12	7	23	15	2,703	7,307	0,149	0,976	1,355
Ιαν-02	355	13,37	13	5	26	22	4,343	18,86	0,230	0,407	0,018
Φεβ-02	337	16,18	16	9	24	15	3,014	9,084	0,164	0,641	-0,156
Μαρ-02	369	16,70	16	8	30	22	4,168	17,38	0,217	0,574	-0,108
Απρ-02	253	18,07	17	12	28	16	3,468	12,03	0,218	0,419	-0,705
Μαϊ-02	326	21,71	21	17	29	13	3,187	10,15	0,176	0,424	-1,096
Ιουν-02	327	25,71	25	20	35	15	3,369	11,35	0,186	0,466	-0,543
Ιουλ-02	372	28,93	28	23	39	15	3,286	10,8	0,170	0,405	-0,960
Αυγ-02	330	28,91	28	24	38	14	3,509	12,31	0,193	0,452	-0,989
Σεπτ-02	193	26,89	26	21	34	13	3,477	12,09	0,250	0,356	-1,135
Οκτ-02	372	22,64	22	16	32	16	3,317	11,00	0,172	0,672	-0,288
Νοε-02	352	19,17	18	13	31	18	3,506	12,3	0,187	0,835	-0,046
Δεκ-02	48	16,93	17	14	20	6	1,604	2,573	0,232	-0,128	-0,787
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	124	28,01	28	24	36	12	3,218	10,35	0,289	0,598	-0,717
Αυγ-03	744	28,40	28	23	37	14	3,511	12,33	0,129	0,338	-1,122
Σεπτ-03	720	25,41	25	20	37	17	3,742	14,00	0,139	0,797	-0,032
Οκτ-03	38	23,75	23	21	28	7	2,248	5,052	0,365	0,517	-1,143
Σύνολο μετρήσεων: 15339											



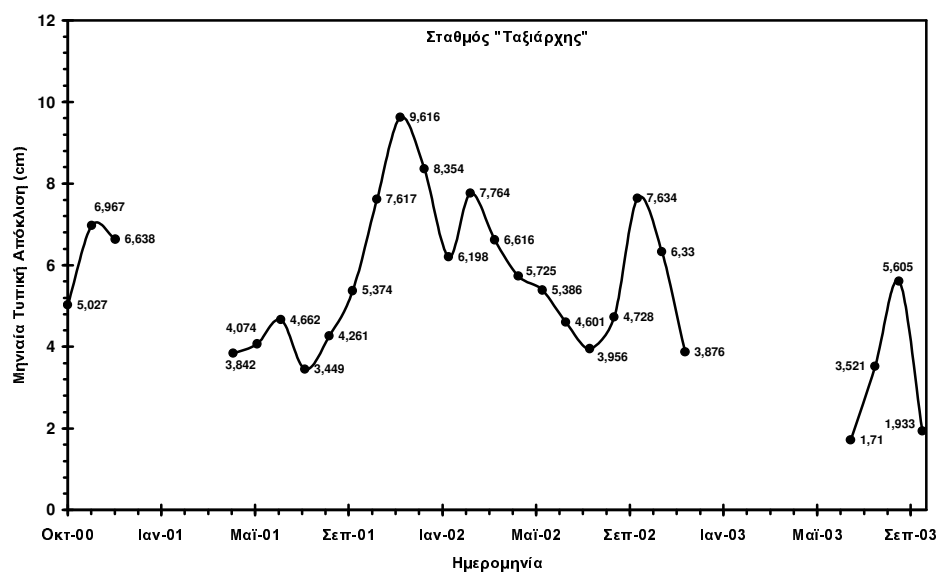
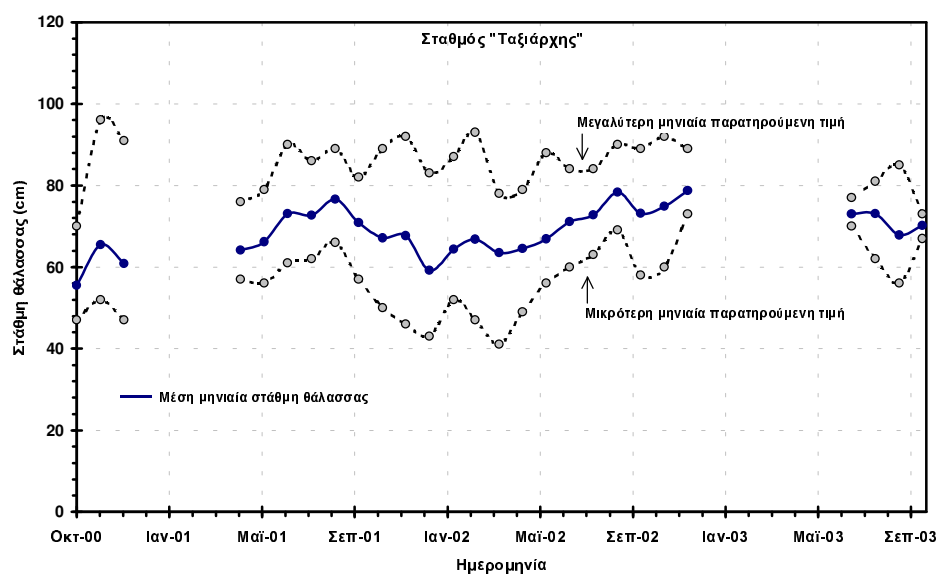
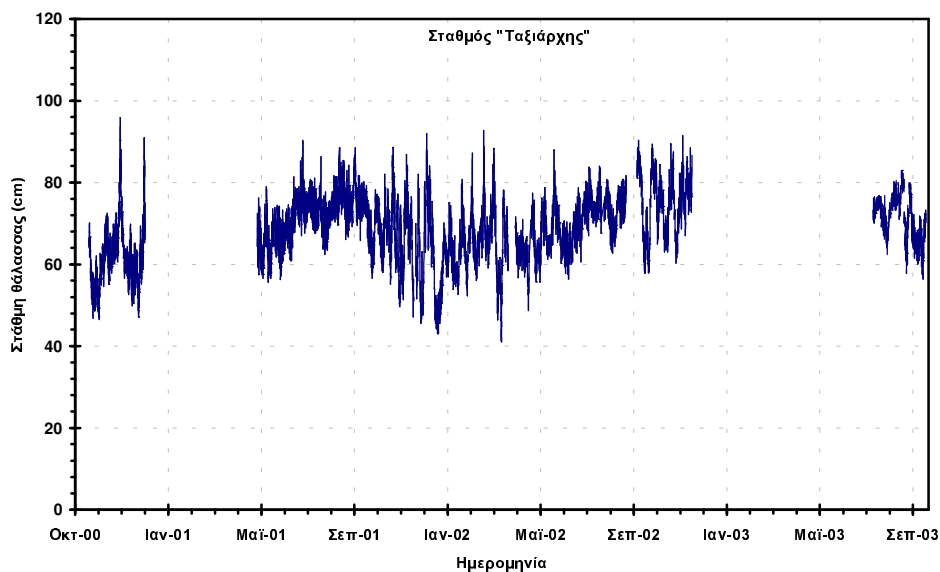
Πίνακας 6.6

Στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας του νερού του σταθμού «Ερινιά»											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	20,02	20	19	22	3	0,532	0,283	0,030	0,488	-0,255
Νοε-00	720	19,10	19	18	21	4	0,661	0,436	0,025	0,425	-0,120
Δεκ-00	744	17,36	17	16	20	4	0,855	0,731	0,031	0,285	-0,511
Ιαν-01	744	16,52	17	16	18	3	0,603	0,364	0,022	0,398	-0,743
Φεβ-01	672	16,18	16	15	19	4	0,780	0,608	0,030	0,844	0,541
Μαρ-01	743	16,47	16	15	20	5	1,013	1,027	0,037	0,794	0,155
Απρ-01	719	17,07	17	16	21	5	0,897	0,805	0,033	1,690	2,509
Μαϊ-01	722	18,77	19	17	23	6	1,278	1,634	0,048	0,507	-0,329
Ιουν-01	720	21,53	21	19	25	6	0,804	0,646	0,030	0,636	0,652
Ιουλ-01	743	23,42	23	22	26	4	0,943	0,889	0,035	-0,023	-0,877
Αυγ-01	741	24,24	24	23	26	3	0,475	0,226	0,017	0,533	0,378
Σεπτ-01	718	23,78	24	23	25	2	0,484	0,234	0,018	0,306	-0,520
Οκτ-01	742	21,92	22	20	24	4	1,033	1,067	0,038	-0,280	-0,980
Νοε-01	698	18,96	19	18	21	4	0,685	0,469	0,026	0,060	-0,585
Δεκ-01	329	17,06	17	16	18	3	0,707	0,500	0,039	-0,458	-1,209
Ιαν-02	355	16,51	16	15	19	4	0,770	0,594	0,041	0,832	-0,087
Φεβ-02	337	16,68	16	16	20	4	0,763	0,582	0,042	1,392	1,386
Μαρ-02	369	16,92	17	16	20	4	0,833	0,694	0,043	0,900	0,295
Απρ-02	253	17,02	17	15	19	4	0,803	0,645	0,050	-0,118	-0,537
Μαϊ-02	326	19,12	19	17	22	4	0,792	0,627	0,044	0,438	0,150
Ιουν-02	327	21,86	22	20	25	5	0,922	0,851	0,051	0,171	0,244
Ιουλ-02	372	24,14	24	22	26	4	0,935	0,875	0,048	-0,432	-0,773
Αυγ-02	330	25,35	26	24	28	4	0,843	0,711	0,046	-0,143	-0,413
Σεπτ-02	193	24,14	24	23	25	2	0,516	0,266	0,037	-0,283	-1,081
Οκτ-02	372	21,74	22	21	23	3	0,579	0,336	0,030	0,503	0,365
Νοε-02	352	19,66	20	19	22	3	0,590	0,348	0,031	0,538	-0,214
Δεκ-02	48	18,45	18	18	19	1	0,237	0,056	0,034	1,308	1,968
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	124	23,94	24	23	27	5	1,024	1,050	0,092	1,571	2,057
Αυγ-03	744	23,55	23	22	29	6	0,856	0,732	0,031	1,428	3,669
Σεπτ-03	720	22,75	23	21	25	4	0,905	0,819	0,034	0,930	0,266
Οκτ-03	38	21,76	22	21	22	1	0,175	0,031	0,028	0,263	0,069
Σύνολο μετρήσεων: 15339											



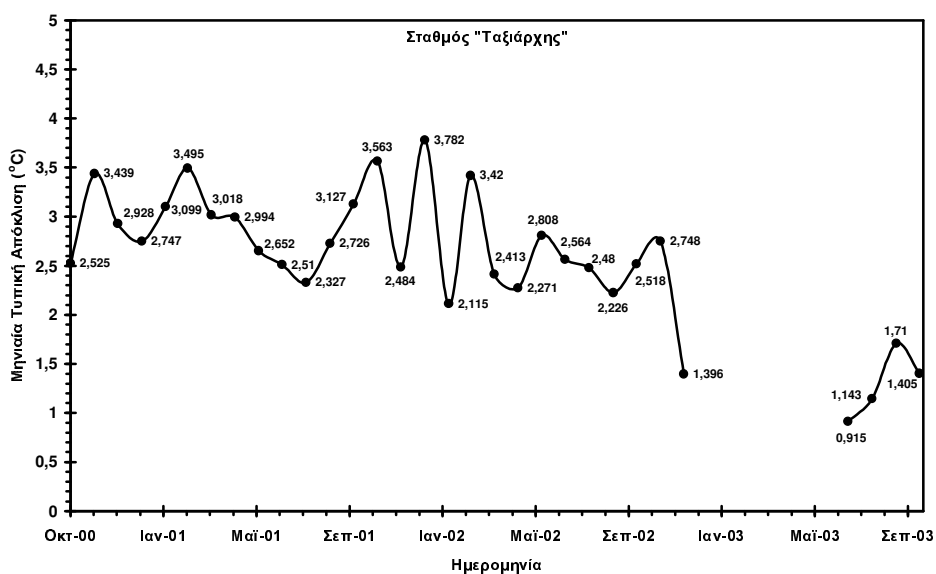
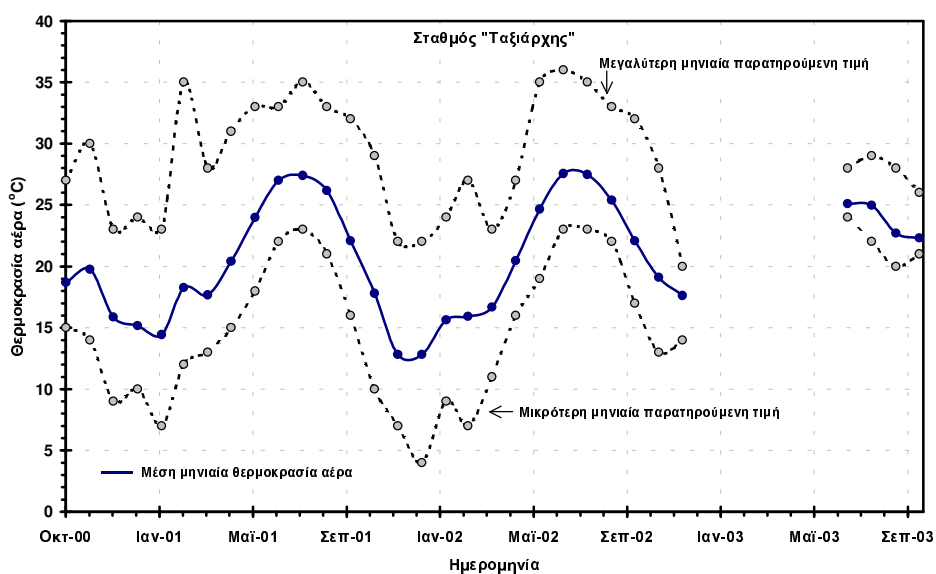
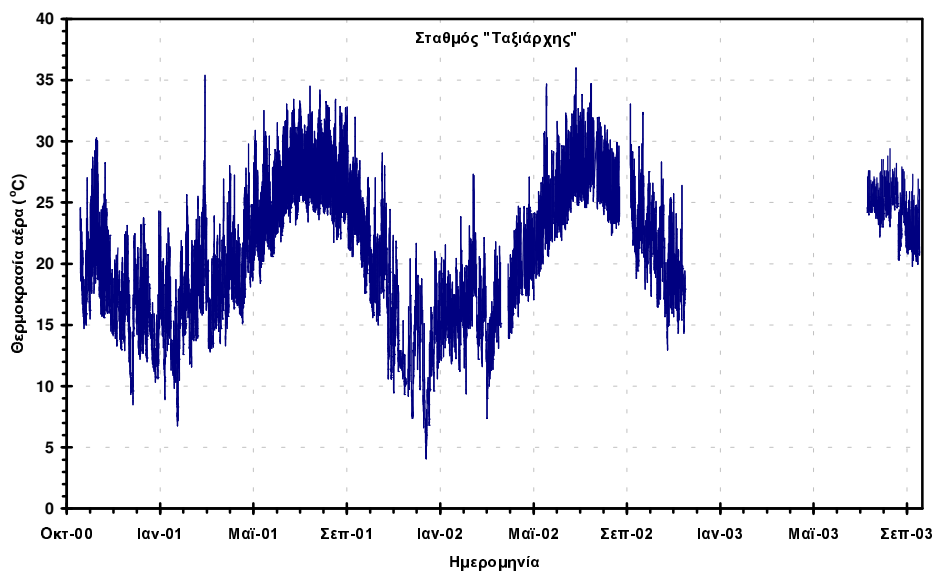
Πίνακας 6.7

Στατιστικά στοιχεία της στάθμης της θάλασσας του σταθμού « <i>Ταξάρχης</i> »											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	55,47	55	47	70	24	5,027	25,27	0,279	0,771	0,014
Νοε-00	720	65,49	64	52	96	44	6,967	48,54	0,260	1,179	1,927
Δεκ-00	697	60,83	60	47	91	44	6,638	44,06	0,251	1,455	3,835
Ιαν-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Φεβ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Μαρ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Απρ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Μαϊ-01	198	64,17	64	57	76	20	3,842	14,76	0,273	0,550	0,079
Ιουν-01	720	66,20	66	56	79	23	4,074	16,6	0,152	-0,205	-0,222
Ιουλ-01	743	73,07	74	61	90	29	4,662	21,74	0,171	-0,158	0,440
Αυγ-01	741	72,68	73	62	86	24	3,449	11,89	0,127	-0,063	0,203
Σεπτ-01	718	76,58	76	66	89	22	4,261	18,16	0,159	0,328	-0,190
Οκτ-01	742	70,84	72	57	82	25	5,374	28,88	0,197	-0,489	-0,636
Νοε-01	698	67,13	68	50	89	39	7,617	58,02	0,288	-0,040	-0,493
Δεκ-01	329	67,67	69	46	92	46	9,616	92,47	0,530	-0,278	-0,390
Ιαν-02	355	59,19	61	43	83	40	8,354	69,79	0,443	-0,004	-0,508
Φεβ-02	337	64,34	64	52	87	35	6,198	38,41	0,338	0,550	0,172
Μαρ-02	369	66,86	66	47	93	46	7,764	60,27	0,404	0,269	0,590
Απρ-02	250	63,48	64	41	78	37	6,616	43,77	0,418	-0,889	1,460
Μαϊ-02	326	64,52	64	49	79	30	5,725	32,78	0,317	0,102	-0,267
Ιουν-02	327	66,87	66	56	88	32	5,386	29,01	0,298	0,979	0,902
Ιουλ-02	372	71,07	71	60	84	24	4,601	21,17	0,239	-0,118	-0,372
Αυγ-02	330	72,76	73	63	84	21	3,956	15,65	0,218	0,000	-0,145
Σεπτ-02	193	78,34	78	69	90	21	4,728	22,35	0,340	0,327	-0,547
Οκτ-02	372	73,13	74	58	89	32	7,634	58,29	0,396	0,011	-0,903
Νοε-02	352	74,84	75	60	92	31	6,330	40,07	0,337	0,009	-0,613
Δεκ-02	48	78,71	78	73	89	16	3,876	15,02	0,559	0,785	0,413
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	53	73,01	73	70	77	6	1,710	2,923	0,235	0,311	-0,856
Αυγ-03	346	73,07	74	62	81	18	3,521	12,4	0,189	-0,412	-0,451
Σεπτ-03	446	67,82	67	56	85	29	5,605	31,41	0,265	0,804	0,256
Οκτ-03	29	70,15	71	67	73	7	1,933	3,737	0,359	-0,500	-0,925
Σύνολο μετρήσεων: 11135											



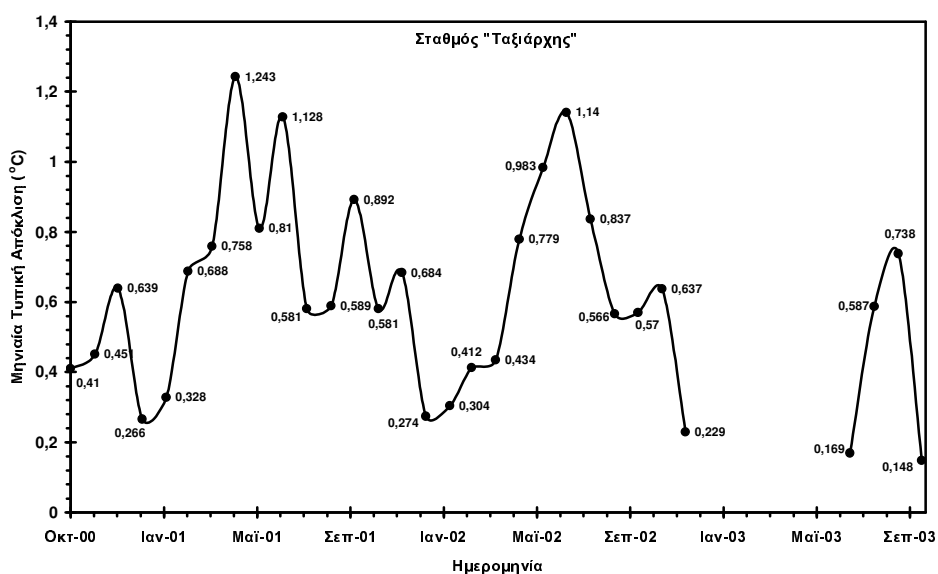
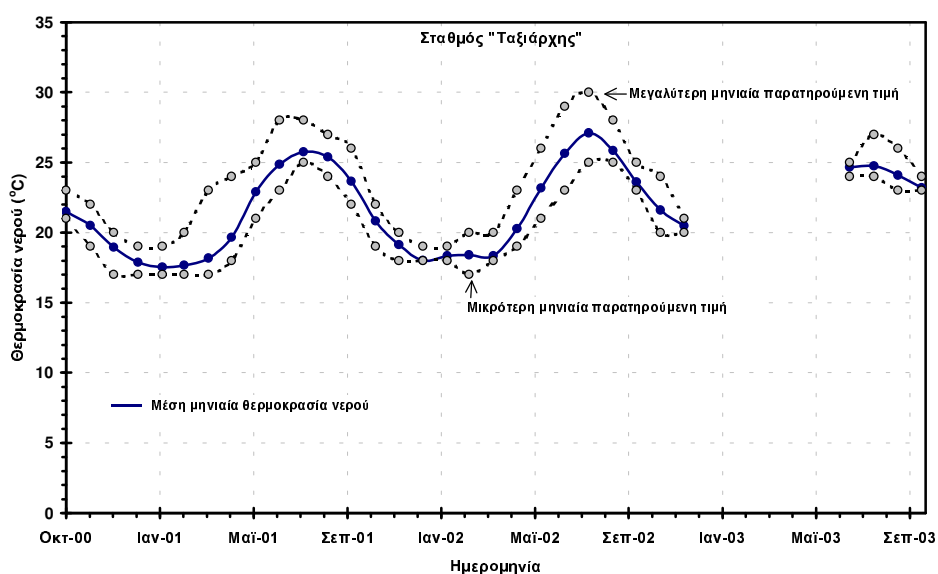
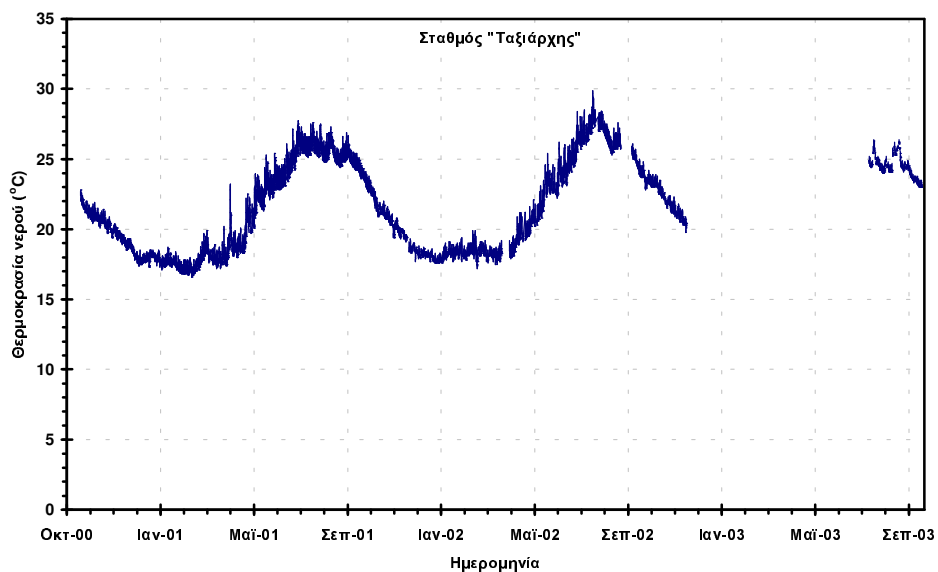
Πίνακας 6.8

Στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας του αέρα του σταθμού « <i>Ταξιάρχης</i> »											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	18,67	18	15	27	12	2,525	6,373	0,140	0,718	0,050
Νοε-00	716	19,74	19	14	30	16	3,439	11,83	0,129	0,768	0,247
Δεκ-00	741	15,85	16	9	23	15	2,928	8,573	0,108	-0,331	-0,100
Ιαν-01	744	15,14	15	10	24	14	2,747	7,547	0,101	0,890	0,689
Φεβ-01	672	14,44	14	7	23	16	3,099	9,603	0,120	0,232	-0,251
Μαρ-01	741	18,25	18	12	35	24	3,495	12,21	0,128	0,953	1,920
Απρ-01	718	17,68	17	13	28	15	3,018	9,105	0,113	0,695	0,237
Μαϊ-01	719	20,40	20	15	31	16	2,994	8,964	0,112	0,683	0,202
Ιουν-01	718	23,98	24	18	33	14	2,652	7,036	0,099	0,546	-0,362
Ιουλ-01	743	27,00	27	22	33	12	2,510	6,299	0,092	0,385	-0,668
Αυγ-01	741	27,40	27	23	35	11	2,327	5,414	0,085	0,558	-0,705
Σεπτ-01	716	26,17	26	21	33	12	2,726	7,431	0,102	0,493	-0,561
Οκτ-01	742	22,07	22	16	32	16	3,127	9,778	0,115	0,027	-0,445
Νοε-01	698	17,80	18	10	29	20	3,563	12,69	0,135	0,141	-0,140
Δεκ-01	329	12,80	12	7	22	14	2,484	6,170	0,137	0,716	0,913
Ιαν-02	355	12,82	13	4	22	17	3,782	14,31	0,201	-0,162	-0,415
Φεβ-02	337	15,61	15	9	24	14	2,115	4,471	0,115	0,334	0,466
Μαρ-02	369	15,92	16	7	27	20	3,420	11,7	0,178	0,323	0,040
Απρ-02	250	16,67	16	11	23	11	2,413	5,825	0,153	0,215	-0,418
Μαϊ-02	326	20,46	20	16	27	11	2,271	5,155	0,126	0,358	-0,832
Ιουν-02	327	24,68	24	19	35	15	2,808	7,887	0,155	0,603	0,250
Ιουλ-02	372	27,57	27	23	36	13	2,564	6,576	0,133	0,524	-0,593
Αυγ-02	330	27,49	27	23	35	11	2,480	6,152	0,137	0,506	-0,518
Σεπτ-02	193	25,39	25	22	33	12	2,226	4,955	0,160	0,479	-0,359
Οκτ-02	372	22,07	22	17	32	16	2,518	6,339	0,131	0,602	0,677
Νοε-02	352	19,09	19	13	28	15	2,748	7,551	0,146	0,687	0,147
Δεκ-02	48	17,62	18	14	20	6	1,396	1,948	0,201	-0,743	-0,068
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	53	25,08	25	24	28	4	0,915	0,837	0,126	1,570	1,813
Αυγ-03	346	24,97	25	22	29	7	1,143	1,306	0,061	0,726	0,861
Σεπτ-03	446	22,70	22	20	28	8	1,710	2,924	0,081	0,808	-0,045
Οκτ-03	29	22,30	22	21	26	5	1,405	1,975	0,261	1,284	1,063
Σύνολο μετρήσεων: 14567											



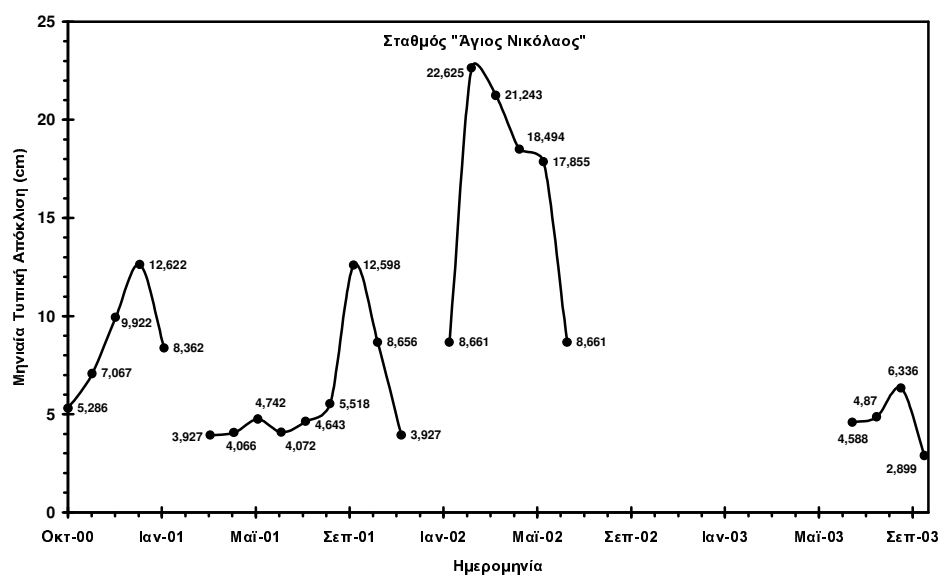
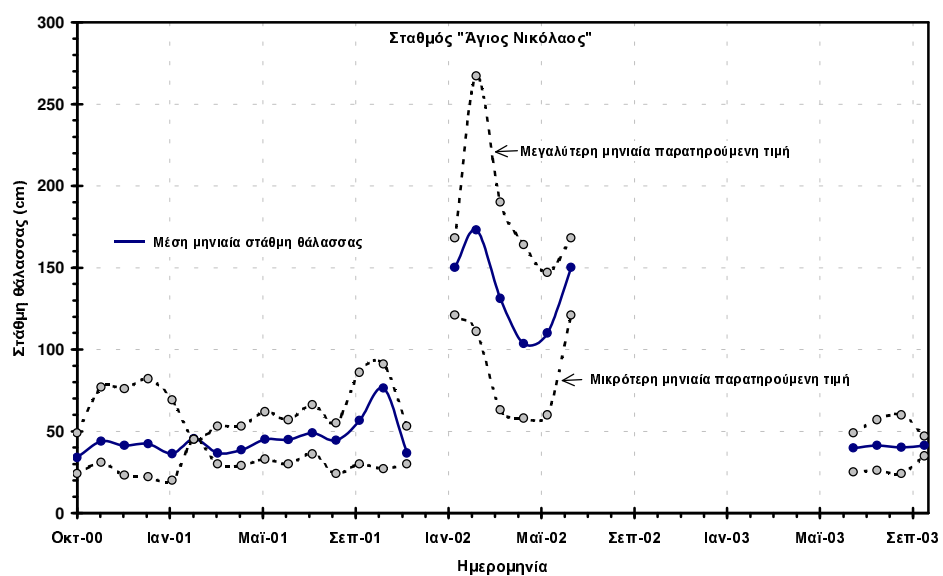
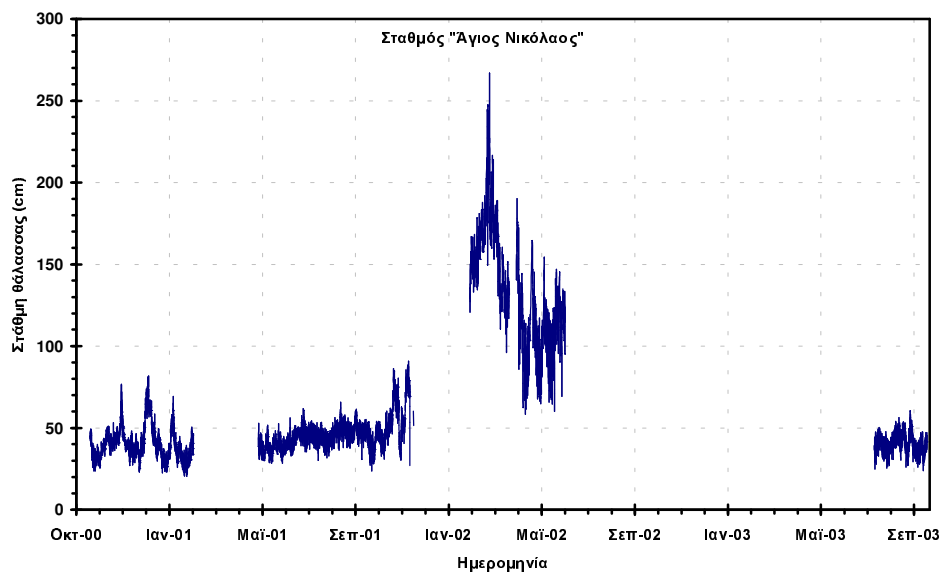
Πίνακας 6.9

Στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας του νερού του σταθμού «Ταξιάρχης»											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	21,49	21	21	23	2	0,410	0,168	0,023	0,501	0,081
Νοε-00	716	20,51	21	19	22	3	0,451	0,203	0,017	-0,118	-0,299
Δεκ-00	741	18,93	19	17	20	3	0,639	0,408	0,023	-0,215	-0,698
Ιαν-01	744	17,89	18	17	19	1	0,266	0,071	0,010	-0,047	-0,456
Φεβ-01	672	17,54	18	17	19	2	0,328	0,107	0,013	0,203	0,333
Μαρ-01	741	17,67	18	17	20	3	0,688	0,473	0,025	0,829	0,092
Απρ-01	718	18,19	18	17	23	6	0,758	0,575	0,028	2,457	8,498
Μαϊ-01	719	19,66	19	18	24	6	1,243	1,545	0,046	0,777	-0,255
Ιουν-01	718	22,89	23	21	25	4	0,810	0,655	0,030	0,256	0,006
Ιουλ-01	743	24,85	25	23	28	5	1,128	1,272	0,041	0,101	-0,898
Αυγ-01	741	25,75	26	25	28	3	0,581	0,338	0,021	0,725	0,134
Σεπτ-01	716	25,38	25	24	27	3	0,589	0,347	0,022	0,643	-0,184
Οκτ-01	742	23,66	24	22	26	4	0,892	0,796	0,033	-0,144	-1,009
Νοε-01	698	20,82	21	19	22	3	0,581	0,337	0,022	-0,234	-0,452
Δεκ-01	329	19,13	19	18	20	2	0,684	0,467	0,038	-0,304	-1,450
Ιαν-02	355	18,02	18	18	19	1	0,274	0,075	0,015	0,482	-0,091
Φεβ-02	337	18,34	18	18	19	2	0,304	0,092	0,017	0,538	0,259
Μαρ-02	369	18,42	18	17	20	3	0,412	0,170	0,021	0,591	1,419
Απρ-02	250	18,35	18	18	20	2	0,434	0,188	0,027	0,581	0,067
Μαϊ-02	326	20,27	20	19	23	4	0,779	0,606	0,043	0,442	-0,107
Ιουν-02	327	23,17	23	21	26	5	0,983	0,966	0,054	-0,043	0,372
Ιουλ-02	372	25,64	26	23	29	5	1,140	1,300	0,059	-0,160	-0,763
Αυγ-02	330	27,10	27	25	30	5	0,837	0,701	0,046	0,242	0,234
Σεπτ-02	193	25,84	26	25	28	3	0,566	0,320	0,041	0,309	-0,268
Οκτ-02	372	23,60	24	23	25	3	0,570	0,325	0,030	0,630	-0,149
Νοε-02	352	21,60	22	20	24	3	0,637	0,406	0,034	0,284	-0,690
Δεκ-02	48	20,47	21	20	21	1	0,229	0,052	0,033	-0,779	0,786
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	53	24,65	25	24	25	1	0,169	0,029	0,023	1,077	1,391
Αυγ-03	346	24,73	25	24	27	3	0,587	0,345	0,032	0,859	-0,210
Σεπτ-03	446	24,09	24	23	26	3	0,738	0,544	0,035	0,934	0,721
Οκτ-03	29	23,19	23	23	24	1	0,148	0,022	0,028	0,820	0,154
Σύνολο μετρήσεων: 14567											



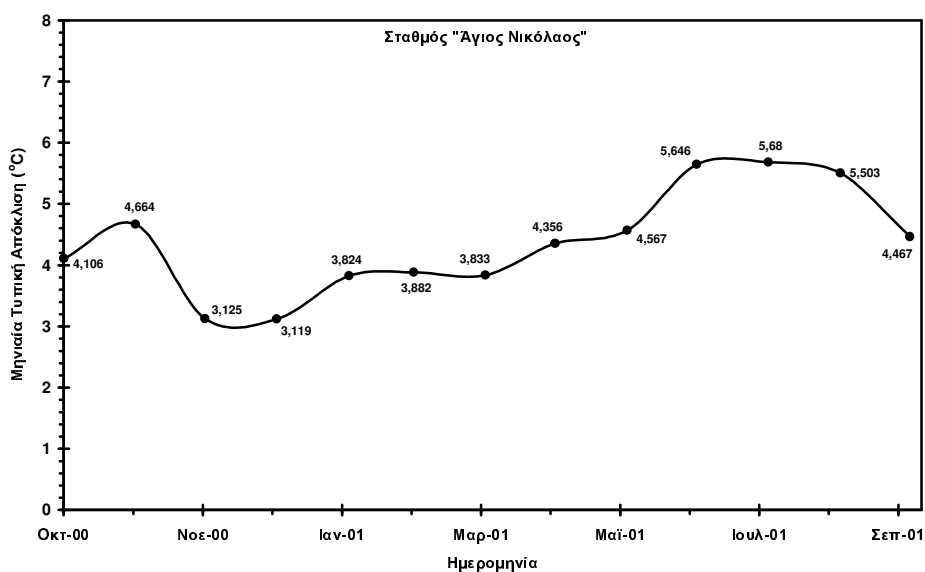
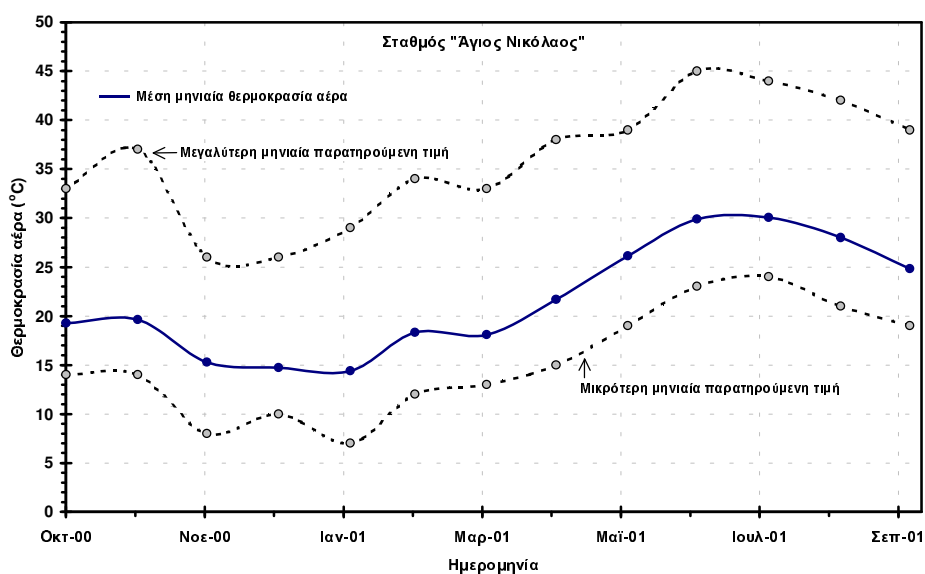
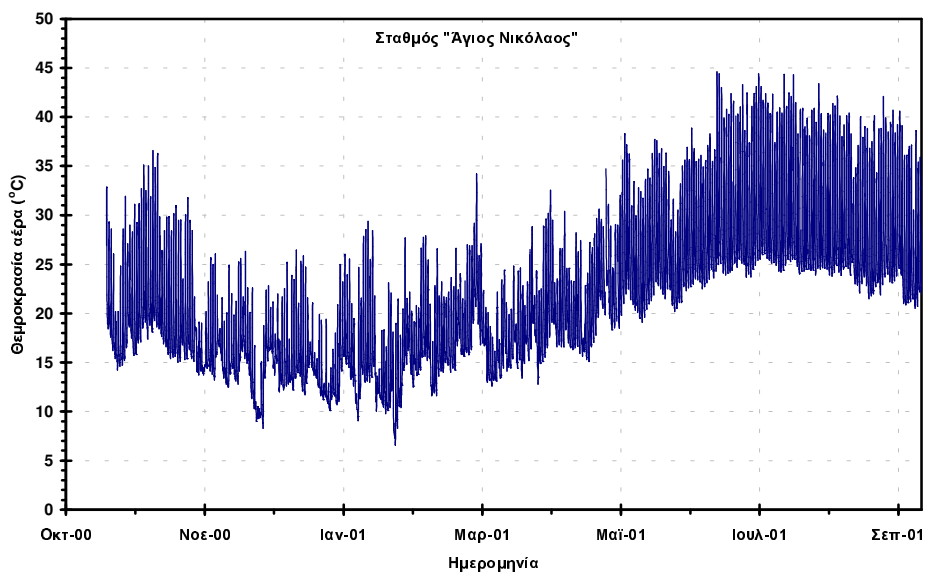
Πίνακας 6.10

Στατιστικά στοιχεία της στάθμης της θάλασσας του σταθμού « <i>Άγιος Νικόλαος</i> »											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	33,86	33	24	49	26	5,286	27,94	0,294	0,812	0,330
Νοε-00	720	43,84	43	31	77	46	7,067	49,94	0,263	1,394	3,116
Δεκ-00	744	41,14	39	23	76	53	9,922	98,45	0,364	1,584	2,326
Ιαν-01	744	42,20	39	22	82	60	12,622	159,3	0,463	0,968	0,438
Φεβ-01	672	36,21	34	20	69	49	8,362	69,93	0,323	1,109	1,163
Μαρ-01	1	45,40	45	45	45	0	-	-	-	-	-
Απρ-01	198	36,62	36	30	53	23	3,927	15,42	0,279	0,816	1,017
Μαϊ-01	720	38,45	39	29	53	24	4,066	16,54	0,152	-0,057	-0,008
Ιουν-01	743	44,91	45	33	62	29	4,742	22,49	0,174	-0,104	-0,015
Ιουλ-01	741	44,75	45	30	57	26	4,072	16,58	0,150	-0,403	0,081
Αυγ-01	718	48,88	49	36	66	29	4,643	21,55	0,173	0,237	0,108
Σεπτ-01	742	44,42	45	24	55	32	5,518	30,45	0,203	-0,632	0,089
Οκτ-01	698	56,56	55	30	86	56	12,598	158,7	0,477	0,177	-0,818
Νοε-01	98	76,40	77	27	91	64	8,656	74,93	0,874	-2,379	10,695
Δεκ-01	198	36,62	36	30	53	23	3,927	15,42	0,279	0,816	1,017
Ιαν-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Φεβ-02	103	150,1	151	121	168	47	8,661	75,01	0,853	-0,630	0,837
Μαρ-02	369	172,9	170	111	267	156	22,625	511,9	1,178	0,720	1,503
Απρ-02	250	131,2	131	63	190	128	21,243	451,3	1,344	-0,082	0,596
Μαϊ-02	326	103,5	104	58	164	106	18,494	342,0	1,024	0,149	0,285
Ιουν-02	231	110,1	112	60	147	87	17,855	318,8	1,175	-0,578	0,042
Ιουλ-02	103	150,1	151	121	168	47	8,661	75,01	0,853	-0,630	0,837
Αυγ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σεπτ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Οκτ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Νοε-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Δεκ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	120	39,57	39	25	49	25	4,588	21,05	0,419	-0,261	0,150
Αυγ-03	744	41,22	41	26	57	31	4,870	23,72	0,179	-0,153	-0,067
Σεπτ-03	720	39,96	39	24	60	36	6,336	40,14	0,236	0,464	-0,375
Οκτ-03	37	41,18	41	35	47	12	2,899	8,405	0,477	0,191	-0,055
Σύνολο μετρήσεων: 10763											



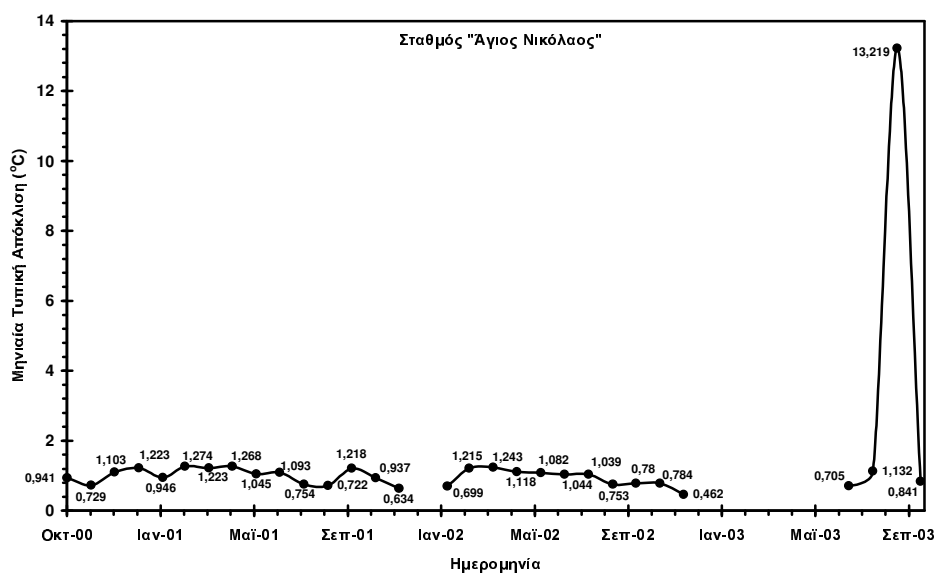
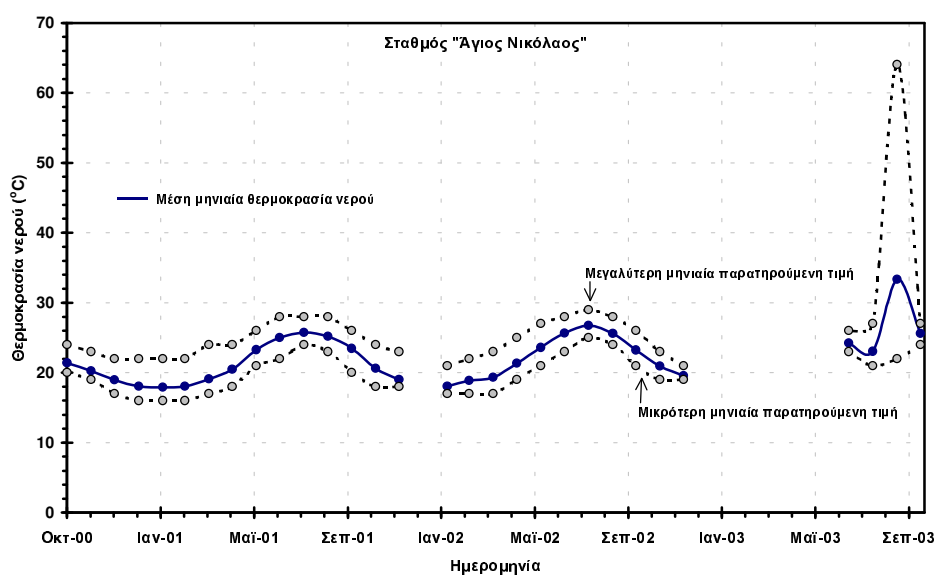
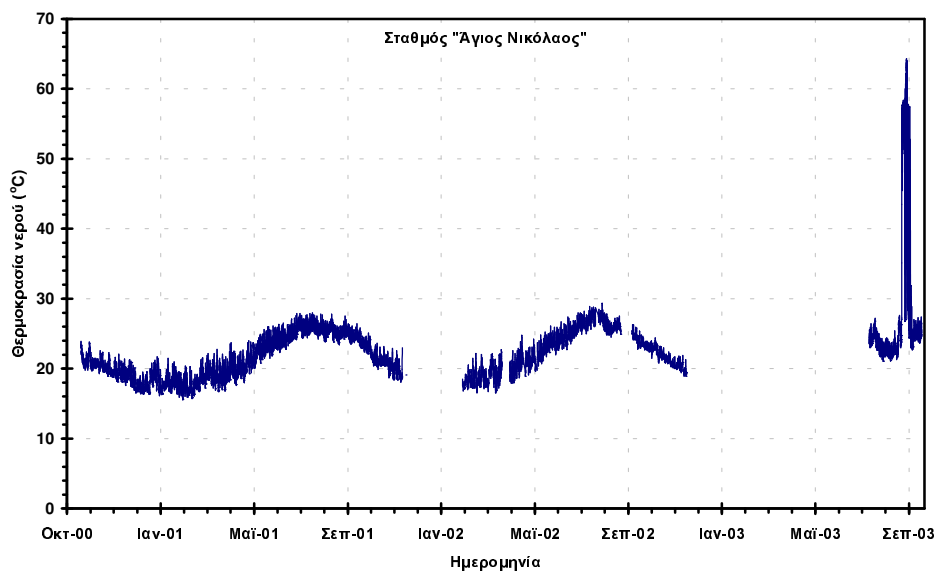
Πίνακας 6.11

Στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας του αέρα του σταθμού «Άγιος Νικόλαος»											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	19,25	18	14	33	19	4,106	16,86	0,228	1,320	0,957
Νοε-00	717	19,63	18	14	37	23	4,664	21,76	0,174	1,392	1,388
Δεκ-00	742	15,28	15	8	26	18	3,125	9,768	0,115	0,395	0,865
Ιαν-01	744	14,72	14	10	26	16	3,119	9,730	0,114	1,478	2,253
Φεβ-01	672	14,39	14	7	29	23	3,824	14,62	0,148	1,146	1,709
Μαρ-01	741	18,31	17	12	34	23	3,882	15,07	0,143	0,841	0,587
Απρ-01	718	18,08	17	13	33	20	3,833	14,69	0,143	1,058	0,956
Μαϊ-01	720	21,68	21	15	38	23	4,356	18,97	0,162	0,917	0,640
Ιουν-01	719	26,13	25	19	39	20	4,567	20,86	0,170	0,669	-0,598
Ιουλ-01	737	29,87	28	23	45	22	5,646	31,88	0,208	0,842	-0,533
Αυγ-01	739	30,06	27	24	44	21	5,680	32,26	0,209	0,777	-0,887
Σεπτ-01	718	28,00	26	21	42	21	5,503	30,29	0,205	0,829	-0,707
Οκτ-01	369	24,82	23	19	39	19	4,467	19,96	0,233	1,215	0,404
Σύνολο μετρήσεων: 8660											



Πίνακας 6.12

Στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας του νερού του σταθμού «Άγιος Νικόλαος»											
Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Οκτ-00	324	21,39	21	20	24	4	0,941	0,885	0,052	0,534	-0,665
Νοε-00	717	20,26	20	19	23	4	0,729	0,531	0,027	0,298	-0,338
Δεκ-00	742	18,94	19	17	22	6	1,103	1,216	0,040	-0,052	-0,470
Ιαν-01	744	18,03	18	16	22	6	1,223	1,496	0,045	0,557	-0,607
Φεβ-01	672	17,88	18	16	22	6	0,946	0,896	0,037	0,545	0,695
Μαρ-01	741	18,02	18	16	22	7	1,274	1,622	0,047	0,543	-0,100
Απρ-01	718	19,12	19	17	24	7	1,223	1,496	0,046	0,630	0,479
Μαϊ-01	720	20,48	20	18	24	6	1,268	1,609	0,047	0,219	-0,361
Ιουν-01	719	23,31	23	21	26	6	1,045	1,091	0,039	0,352	-0,326
Ιουλ-01	737	25,01	25	22	28	6	1,093	1,194	0,040	0,077	-0,713
Αυγ-01	739	25,72	26	24	28	4	0,754	0,568	0,028	0,210	-0,114
Σεπτ-01	718	25,16	25	23	28	4	0,722	0,522	0,027	0,147	0,080
Οκτ-01	741	23,47	24	20	26	6	1,218	1,484	0,045	-0,451	-0,542
Νοε-01	698	20,60	21	18	24	5	0,937	0,878	0,035	-0,095	0,228
Δεκ-01	95	19,02	19	18	23	5	0,634	0,402	0,065	3,057	15,857
Ιαν-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Φεβ-02	105	18,05	18	17	21	4	0,699	0,488	0,068	0,536	0,250
Μαρ-02	369	18,85	19	17	22	6	1,215	1,477	0,063	0,548	-0,351
Απρ-02	250	19,35	19	17	23	6	1,243	1,546	0,079	0,294	-0,149
Μαϊ-02	326	21,34	21	19	25	6	1,118	1,251	0,062	0,308	0,079
Ιουν-02	326	23,62	24	21	27	6	1,082	1,170	0,060	0,030	-0,120
Ιουλ-02	372	25,65	26	23	28	5	1,044	1,090	0,054	-0,177	-0,336
Αυγ-02	330	26,74	27	25	29	5	1,039	1,080	0,057	-0,122	-0,874
Σεπτ-02	191	25,61	26	24	28	3	0,753	0,567	0,055	0,046	-0,402
Οκτ-02	372	23,22	23	21	26	5	0,780	0,609	0,040	-0,206	1,263
Νοε-02	352	20,96	21	19	23	4	0,784	0,615	0,042	0,524	-0,199
Δεκ-02	46	19,55	20	19	21	2	0,462	0,214	0,068	1,306	3,194
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	125	24,20	24	23	26	3	0,705	0,497	0,063	0,568	-0,261
Αυγ-03	744	23,08	23	21	27	6	1,132	1,281	0,041	0,804	0,268
Σεπτ-03	720	33,34	26	22	64	43	13,219	174,7	0,493	1,102	-0,517
Οκτ-03	35	25,57	26	24	27	3	0,841	0,708	0,142	0,340	-0,991
Σύνολο μετρήσεων: 14488											

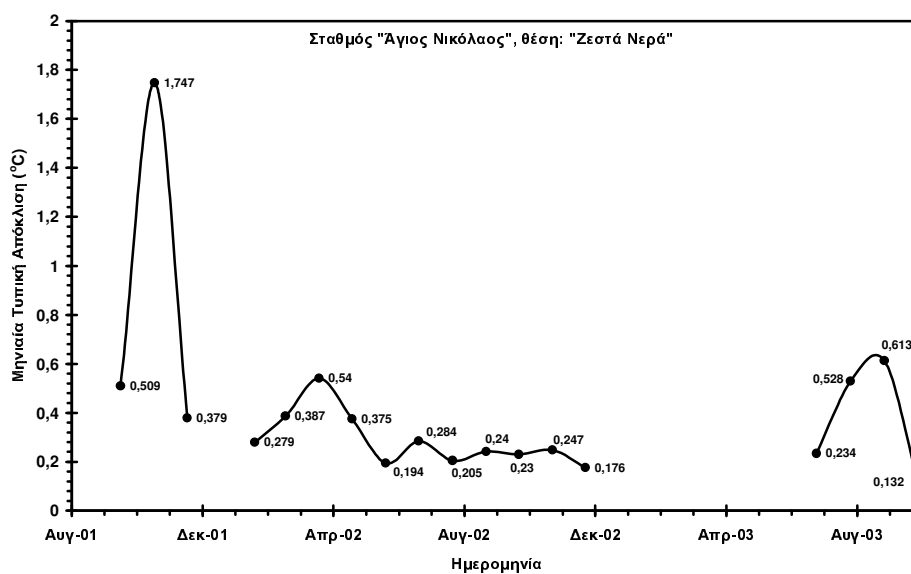
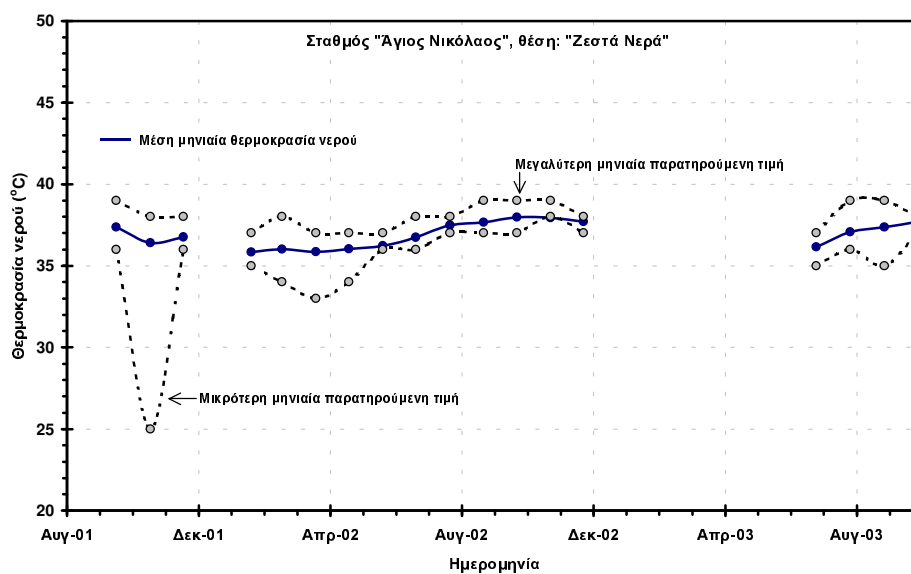
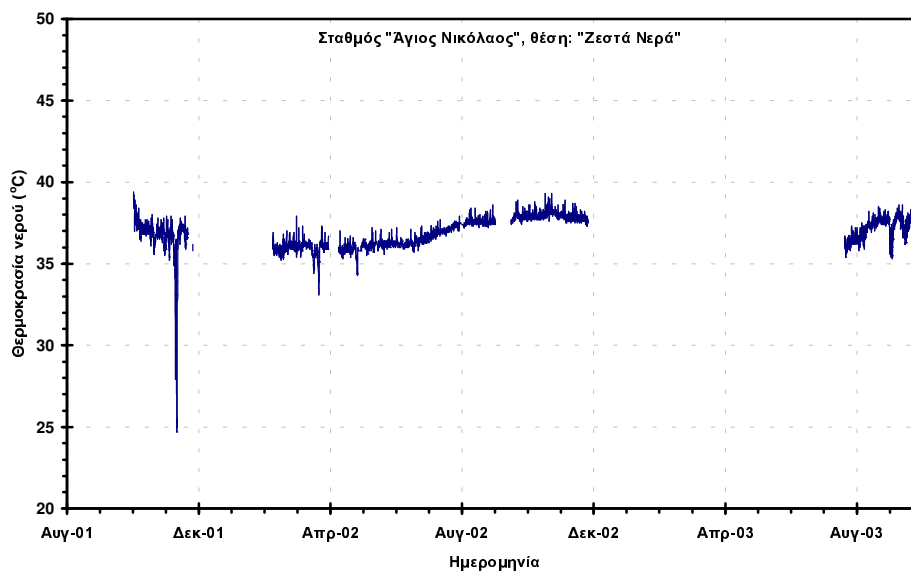


Πίνακας 6.13

**Στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας του νερού του σταθμού «Άγιος Νικόλαος»
στη θέση «Ζεστά Νερά»**

Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skew ness	Kurt.
Ιουλ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Αυγ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σεπτ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Οκτ-01	371	37,36	37	36	39	3	0,509	0,259	0,026	1,511	2,445
Νοε-01	698	36,41	37	25	38	13	1,747	3,051	0,066	-4,759	24,981
Δεκ-01	95	36,76	37	36	38	2	0,379	0,144	0,039	-0,079	0,098
Ιαν-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Φεβ-02	103	35,84	36	35	37	2	0,279	0,078	0,028	0,756	1,833
Μαρ-02	369	36,02	36	34	38	4	0,387	0,150	0,020	-0,743	4,404
Απρ-02	250	35,86	36	33	37	4	0,540	0,292	0,034	-2,284	8,453
Μαϊ-02	326	36,03	36	34	37	3	0,375	0,141	0,021	-1,742	6,319
Ιουν-02	326	36,24	36	36	37	2	0,194	0,037	0,011	0,879	4,291
Ιουλ-02	372	36,75	37	36	38	2	0,284	0,081	0,015	-0,124	-0,167
Αυγ-02	330	37,48	38	37	38	2	0,205	0,042	0,011	0,537	2,745
Σεπτ-02	191	37,65	38	37	39	2	0,240	0,058	0,017	1,379	3,125
Οκτ-02	372	37,97	38	37	39	2	0,230	0,053	0,012	1,755	6,293
Νοε-02	352	37,92	38	38	39	2	0,247	0,061	0,013	1,045	2,889
Δεκ-02	48	37,70	38	37	38	1	0,176	0,031	0,025	0,082	0,768
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	124	36,15	36	35	37	1	0,234	0,055	0,021	0,090	0,515
Αυγ-03	744	37,07	37	36	39	3	0,528	0,279	0,019	-0,201	-1,131
Σεπτ-03	720	37,36	38	35	39	3	0,613	0,376	0,023	-1,176	0,889
Οκτ-03	37	37,70	38	37	38	1	0,132	0,017	0,022	0,253	0,472

Σύνολο μετρήσεων: 5828

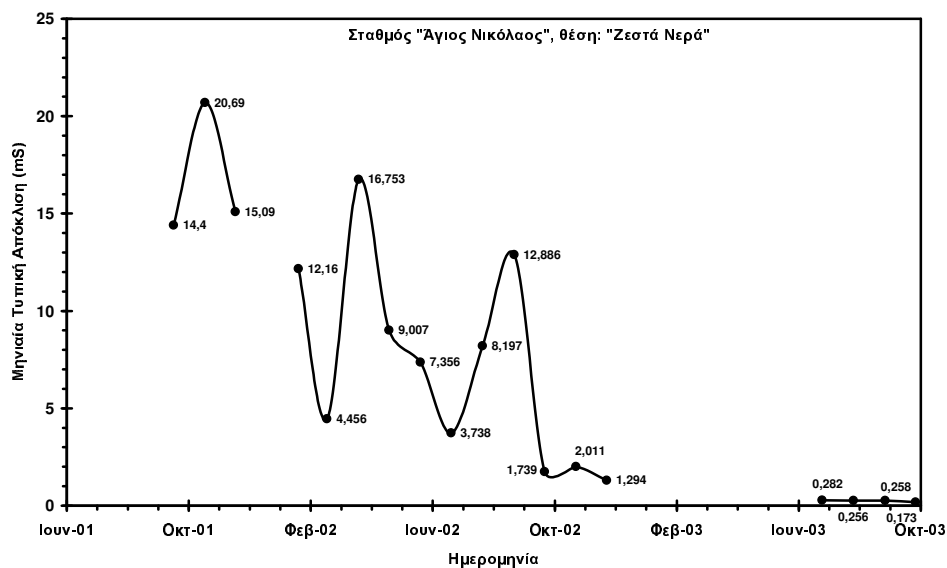
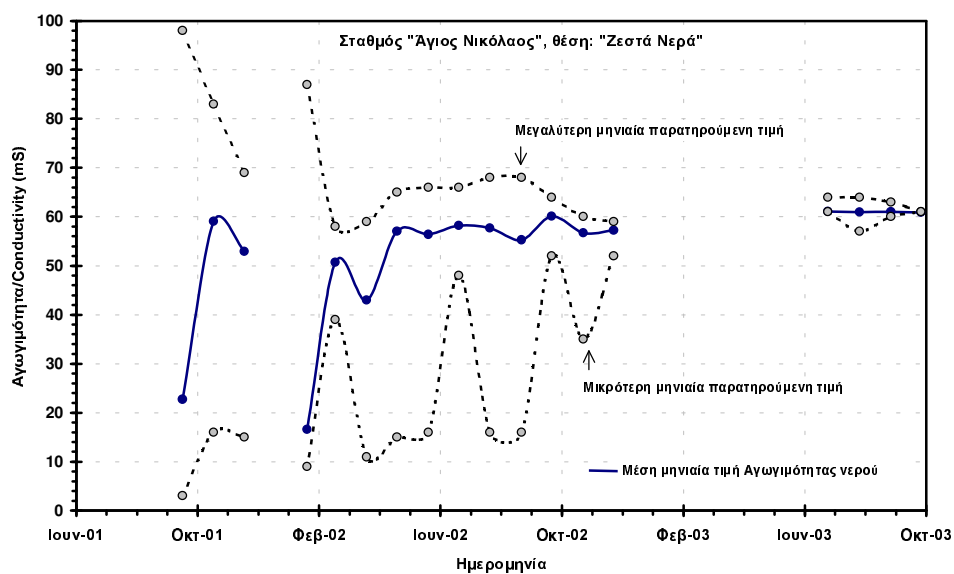
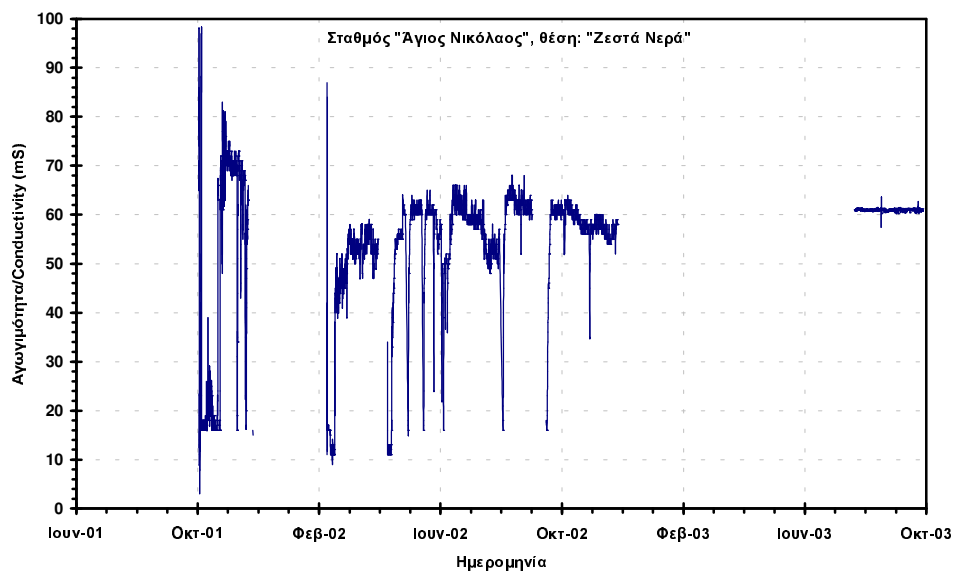


Πίνακας 6.14

Στατιστικά στοιχεία της αγωγιμότητας (conductivity) του νερού του σταθμού «Άγιος Νικόλαος» στη θέση «Ζεστά Νερά»

Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Ιουλ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Αυγ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σεπτ-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Οκτ-01	359	22,91	18	3	98	95	14,4	207,3	0,760	3,455	12,23
Νοε-01	698	59,01	69	16	83	67	20,69	428,2	0,783	-1,42	0,263
Δεκ-01	98	52,95	58	15	69	54	15,09	227,7	1,524	-1,17	0,256
Ιαν-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Φεβ-02	99	16,56	13	9	87	78	12,16	147,8	1,222	4,271	20,51
Μαρ-02	369	50,71	52	39	58	19	4,456	19,86	0,232	-0,55	-0,50
Απρ-02	250	43,53	52	11	59	48	16,753	280,6	1,060	-1,187	-0,292
Μαϊ-02	326	56,98	60	15	65	50	9,007	81,11	0,499	-3,52	12,87
Ιουν-02	326	56,61	59	16	66	50	7,356	54,11	0,407	-2,318	8,603
Ιουλ-02	372	58,20	59	48	66	18	3,738	13,97	0,194	-0,73	0,284
Αυγ-02	330	57,69	61	16	68	52	8,197	67,19	0,451	-2,55	9,674
Σεπτ-02	191	55,54	61	16	68	52	12,886	166,0	0,932	-2,152	3,480
Οκτ-02	372	60,08	60	52	64	12	1,739	3,024	0,090	-0,91	2,530
Νοε-02	352	56,67	57	35	60	25	2,011	4,045	0,107	-4,18	40,51
Δεκ-02	48	57,17	57	52	59	7	1,294	1,674	0,187	-1,36	4,046
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	124	61,07	61	61	64	3	0,282	0,080	0,025	5,930	52,386
Αυγ-03	744	60,95	61	57	64	6	0,256	0,066	0,009	-2,026	63,434
Σεπτ-03	720	60,99	61	60	63	3	0,258	0,066	0,010	0,126	4,668
Οκτ-03	37	60,89	61	61	61	1	0,173	0,030	0,028	0,529	-1,008

Σύνολο μετρήσεων: 5815

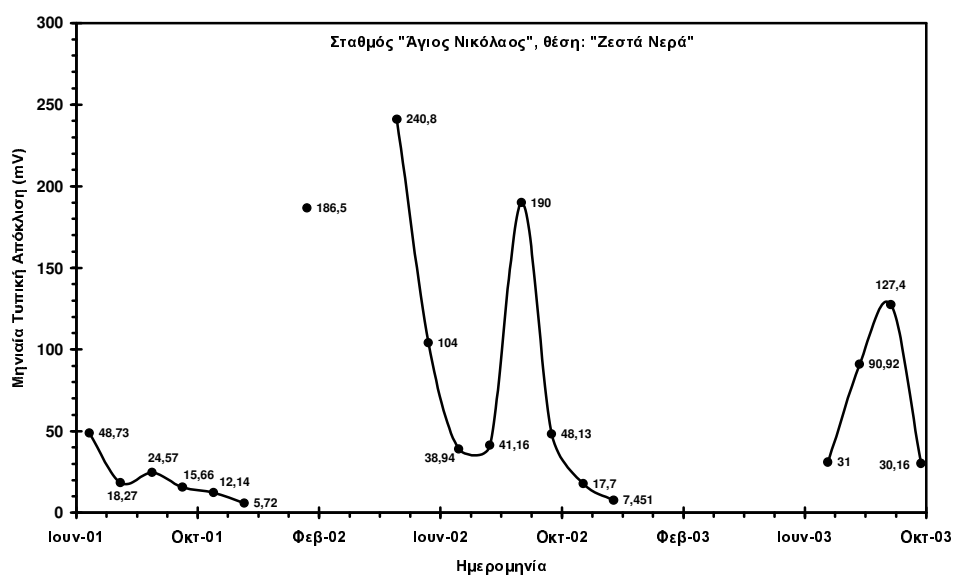
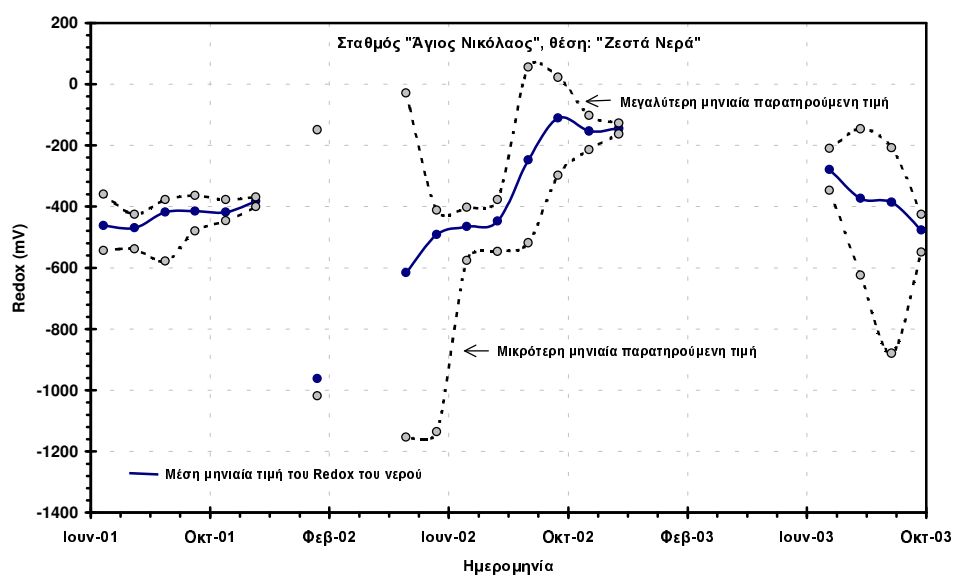
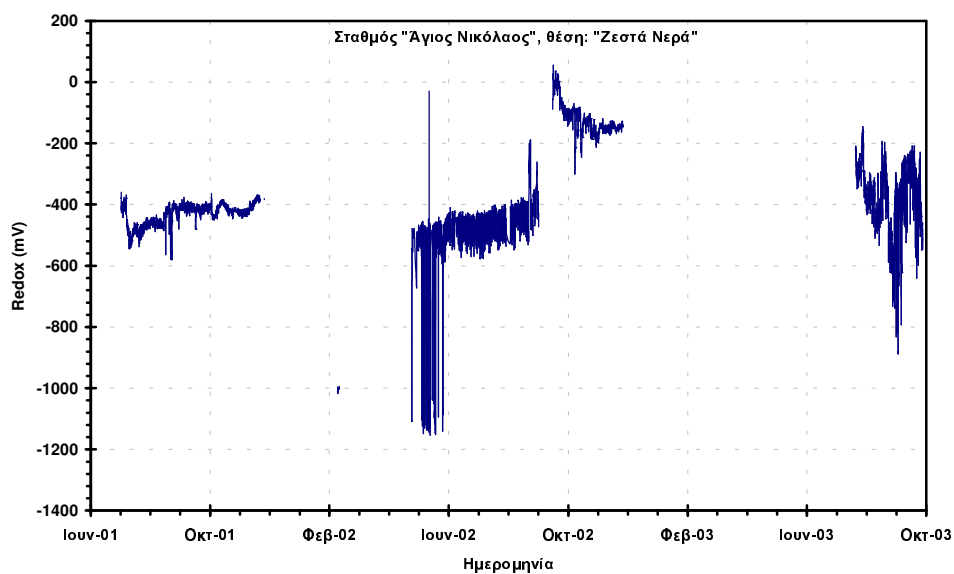


Πίνακας 6.15

**Στατιστικά στοιχεία του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Redox) του νερού του σταθμού
«Άγιος Νικόλαος» στη θέση «Ζεστά Νερά»**

Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skew ness	Kurt.
Ιουλ-01	320	-462,79	-478	-544	-360	185	48,73	2.375	2,72	0,215	-1,370
Αυγ-01	739	-470,42	-466	-538	-426	112	18,27	333,7	0,67	-0,583	0,259
Σεπτ-01	718	-418,51	-412	-578	-377	202	24,57	603,8	0,92	-3,525	16,716
Οκτ-01	740	-414,93	-412	-481	-364	117	15,66	245,1	0,58	-0,796	1,466
Νοε-01	698	-418,07	-421	-447	-377	70	12,14	147,4	0,46	0,676	0,247
Δεκ-01	98	-382,80	-383	-401	-369	32	5,72	32,69	0,58	0,386	0,832
Ιαν-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Φεβ-02	21	-962,60	-1001	-1019	-149	870	186,5	34795	40,7	4,575	20,952
Μαρ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Απρ-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Μαϊ-02	260	-616,07	-501	-1154	-29	1125	240,8	57999	14,9	-1,445	0,513
Ιουν-02	326	-492,01	-465	-1136	-412	723	104	10822	5,76	-4,794	24,715
Ιουλ-02	372	-465,77	-452	-576	-403	173	38,94	1516	2,02	-0,908	-0,080
Αυγ-02	330	-447,48	-435	-547	-378	169	41,16	1695	2,27	-0,657	-0,722
Σεπτ-02	191	-247,63	-337	-519	55	574	190	36111	13,8	0,352	-1,545
Οκτ-02	372	-110,97	-105	-299	22	322	48,13	2316	2,5	-0,325	1,714
Νοε-02	352	-153,26	-152	-214	-103	111	17,70	313,3	0,94	-0,363	0,841
Δεκ-02	48	-144,65	-145	-163	-128	36	7,451	55,52	1,08	0,012	0,527
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	124	-279,29	-286	-347	-210	137	31,00	961	2,78	0,364	-0,549
Αυγ-03	744	-373,09	-377	-625	-146	478	90,92	8266	3,33	0,046	0,078
Σεπτ-03	720	-385,84	-357	-879	-208	671	127,4	16245	4,75	-1,093	0,714
Οκτ-03	37	-477,97	-469	-549	-426	124	30,16	909,9	4,96	-0,680	0,033

Σύνολο μετρήσεων: 7210

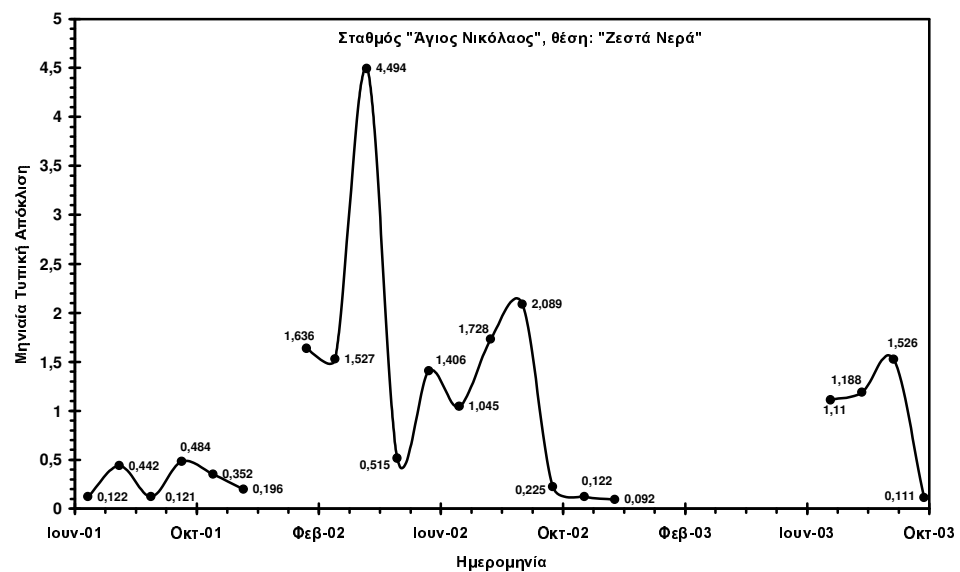
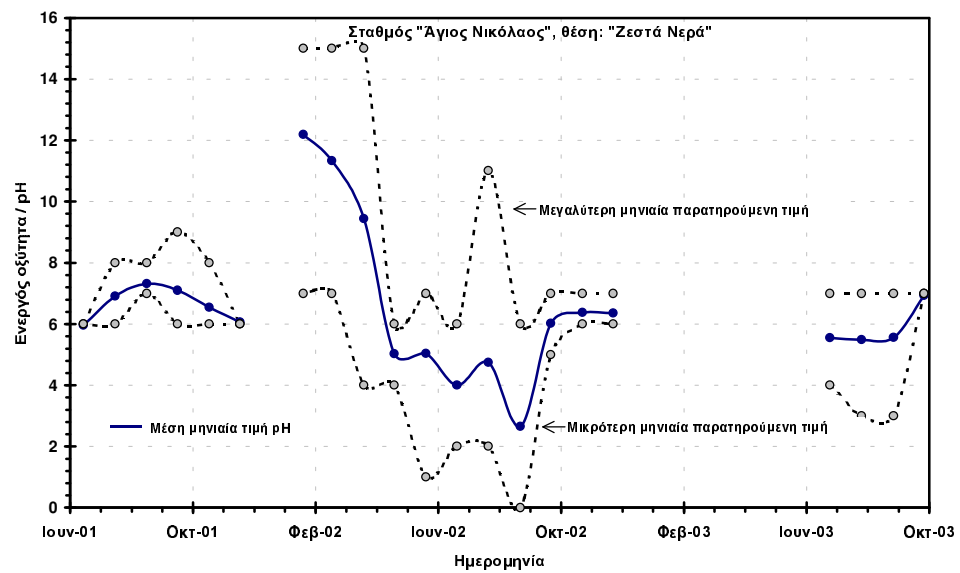
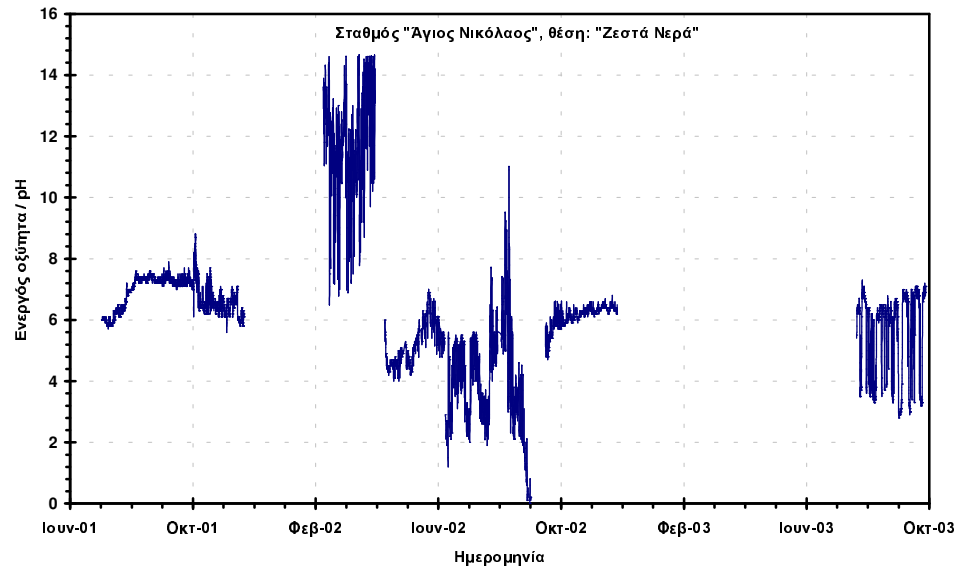


Πίνακας 6.16

**Στατιστικά στοιχεία του pH του νερού του σταθμού «Άγιος Νικόλαος»
στη θέση «Ζεστά Νερά»**

Month	Count	Aver.	Med.	Min	Max	Range	St. Dev.	Var.	St. Err.	Skewness	Kurt.
Ιουλ-01	324	5,95	6	6	6	1	0,122	0,015	0,007	0,540	0,186
Αυγ-01	739	6,91	7	6	8	2	0,442	0,195	0,016	-0,385	-1,380
Σεπτ-01	718	7,31	7	7	8	1	0,121	0,015	0,005	0,545	0,590
Οκτ-01	727	7,10	7	6	9	3	0,484	0,235	0,018	0,253	0,708
Νοε-01	698	6,54	7	6	8	2	0,352	0,124	0,013	0,421	0,265
Δεκ-01	91	6,06	6	6	6	1	0,196	0,038	0,020	0,343	-1,210
Ιαν-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Φεβ-02	103	12,19	13	7	15	8	1,636	2,678	0,161	-1,658	2,968
Μαρ-02	369	11,33	12	7	15	8	1,527	2,332	0,080	-0,598	0,658
Απρ-02	250	9,44	11	4	15	11	4,494	20,198	0,284	-0,075	-1,893
Μαϊ-02	326	5,03	5	4	6	2	0,515	0,266	0,029	0,522	-0,423
Ιουν-02	326	5,04	6	1	7	6	1,406	1,977	0,078	-0,836	-0,527
Ιουλ-02	372	4,00	4	2	6	4	1,045	1,093	0,054	0,035	-1,384
Αυγ-02	330	4,74	5	2	11	9	1,728	2,987	0,095	0,605	0,293
Σεπτ-02	191	2,65	2	0	6	6	2,089	4,365	0,151	0,210	-1,534
Οκτ-02	372	6,02	6	5	7	1	0,225	0,050	0,012	-0,232	0,326
Νοε-02	352	6,37	6	6	7	1	0,122	0,015	0,006	0,272	-0,139
Δεκ-02	48	6,35	6	6	7	0	0,092	0,008	0,013	0,468	0,128
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιουλ-03	123	5,54	6	4	7	3	1,110	1,232	0,100	-0,797	-1,093
Αυγ-03	744	5,48	6	3	7	4	1,188	1,411	0,044	-0,675	-1,147
Σεπτ-03	720	5,55	7	3	7	4	1,526	2,327	0,057	-0,692	-1,235
Οκτ-03	37	6,93	7	7	7	1	0,111	0,012	0,018	0,472	-0,044

Σύνολο μετρήσεων: 7960



6.3 Παρατηρήσεις

Οι καταγραφές της στάθμης της θάλασσας παρουσιάζουν αρκετά μεγάλες διακοπές, λόγου βλάβης των σταθμών. Παρόλα αυτά, υπάρχουν περίοδοι με ταυτόχρονες μετρήσεις, ώστε να γίνουν δυνατές συγκρίσεις για εκτίμηση της παραμόρφωσης του εδάφους. Ωστόσο υπάρχουν χρονοσειρές για κάποιους σταθμούς που θα πρέπει να ελεγχθούν πρώτα για την αξιοπιστία τους.

Απ' την στατιστική επεξεργασία που προηγήθηκε και από τα διαγράμματα γίνεται αντιληπτό πώς η θερμοκρασία του νερού και του αέρα για όλους τους σταθμούς δεν παρουσιάζει, στατιστικά, κάποια ανώμαλη συμπεριφορά που να οφείλεται στην δραστηριότητα του ηφαιστείου. Αντίθετα, οι μεταβολές αυτών των παραμέτρων ακολουθούν τον εποχικό κύκλο (χειμώνας – καλοκαίρι). Ο σταθμός «Άγιος Νικόλαος» παρουσιάζει για τον μήνα Σεπτέμβριο του 2003 ανώμαλη συμπεριφορά, η οποία όμως αποτελεί μεμονωμένο περιστατικό και παρουσιάζει μεγάλη τυπική απόκλιση. Καμία άλλη παράμετρος δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές κατά την συγκεκριμένη περίοδο. Επίσης, ο σταθμός «Γιαλός», για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο του 2002 παρουσιάζει αύξηση της θερμοκρασίας του νερού, με στατιστικά σημαντική τυπική απόκλιση, χωρίς να παρατηρούνται κάποιες άλλες μεταβολές στους υπόλοιπους σταθμούς. Οι μεγάλες τυπικές αποκλίσεις οδηγούν στο συμπέρασμα πώς πρόκειται μάλλον για βλάβες του ηλεκτρονικού συστήματος των οργάνων παρά για κάτι άλλο. Εξάλλου, το αισθητήριο μέτρησης της θερμοκρασίας του νερού του σταθμού «Γιαλός» τέθηκε εκτός λειτουργίας τα τέλη του Αυγούστου του 2002. Μετά την επισκευή και την επανατοποθέτησή του, οι μετρήσεις του ήταν σε κανονικά επίπεδα. Για τους παραπάνω λόγους οι δύο αυτοί παράμετροι δεν θα αναλυθούν περαιτέρω.

Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης, πως το αισθητήριο της θερμοκρασίας του αέρα για τον σταθμό «Άγιος Νικόλαος» αποσυνδέθηκε το Σεπτέμβριο του 2001. Στη θέση του συνδέθηκε το αισθητήριο μέτρησης της θερμοκρασίας του νερού, που τοποθετήθηκε στη θέση «Ζεστά Νερά».

Όσον αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους, αυτές θα αναλυθούν εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο. Ωστόσο, θα πρέπει να αντιμετωπιστούν με σκεπτικισμό οι μετρήσεις των παραμέτρων pH, redox και αγωγιμότητας που παρουσιάζουν ανώμαλη συμπεριφορά για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Δυστυχώς, ένα μεγάλο μειονέκτημα που παρουσιάζουν τα ηλεκτρονικά όργανα παρακολούθησης των ηφαιστείων είναι ότι απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα «τακτοποίησής» τους, πριν την επίτευξη αξιόπιστων δεδομένων.

Κεφάλαιο 7 ο

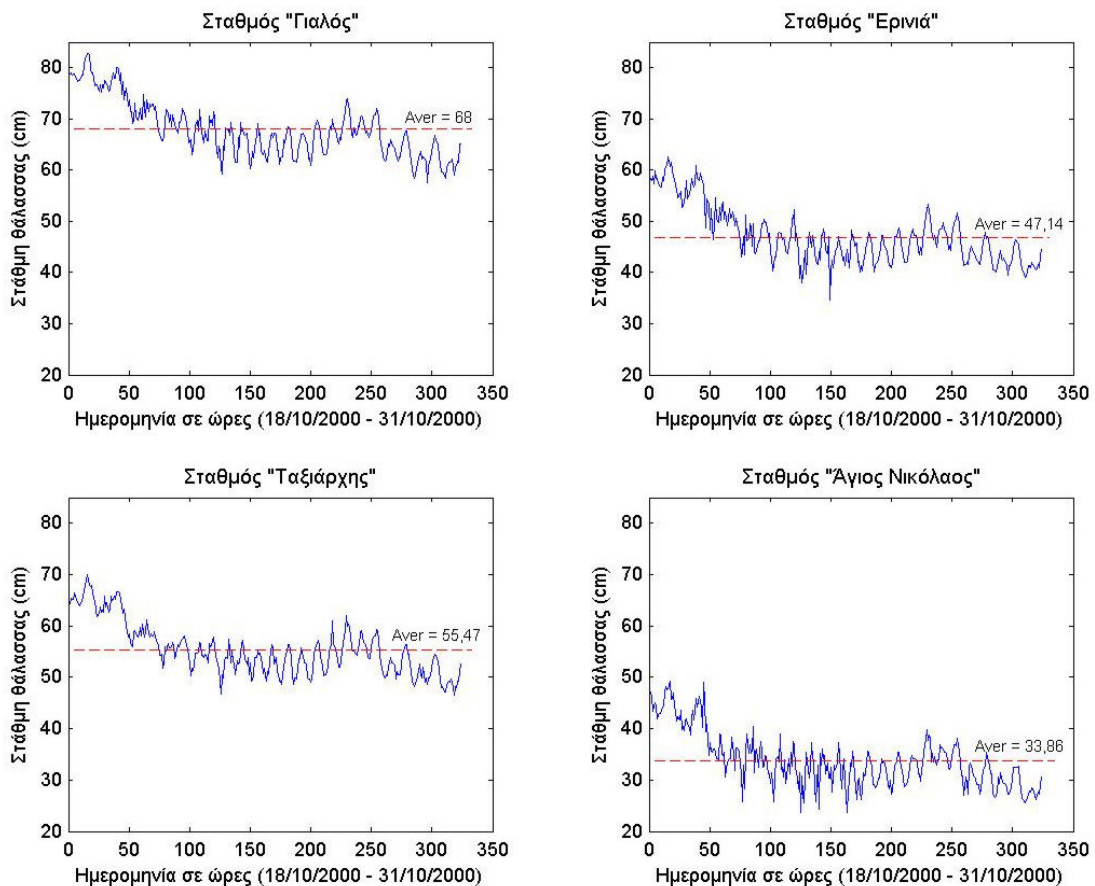
Ανάλυση των δεδομένων

7.1 Συσχέτιση της θαλάσσιας στάθμης των σταθμών

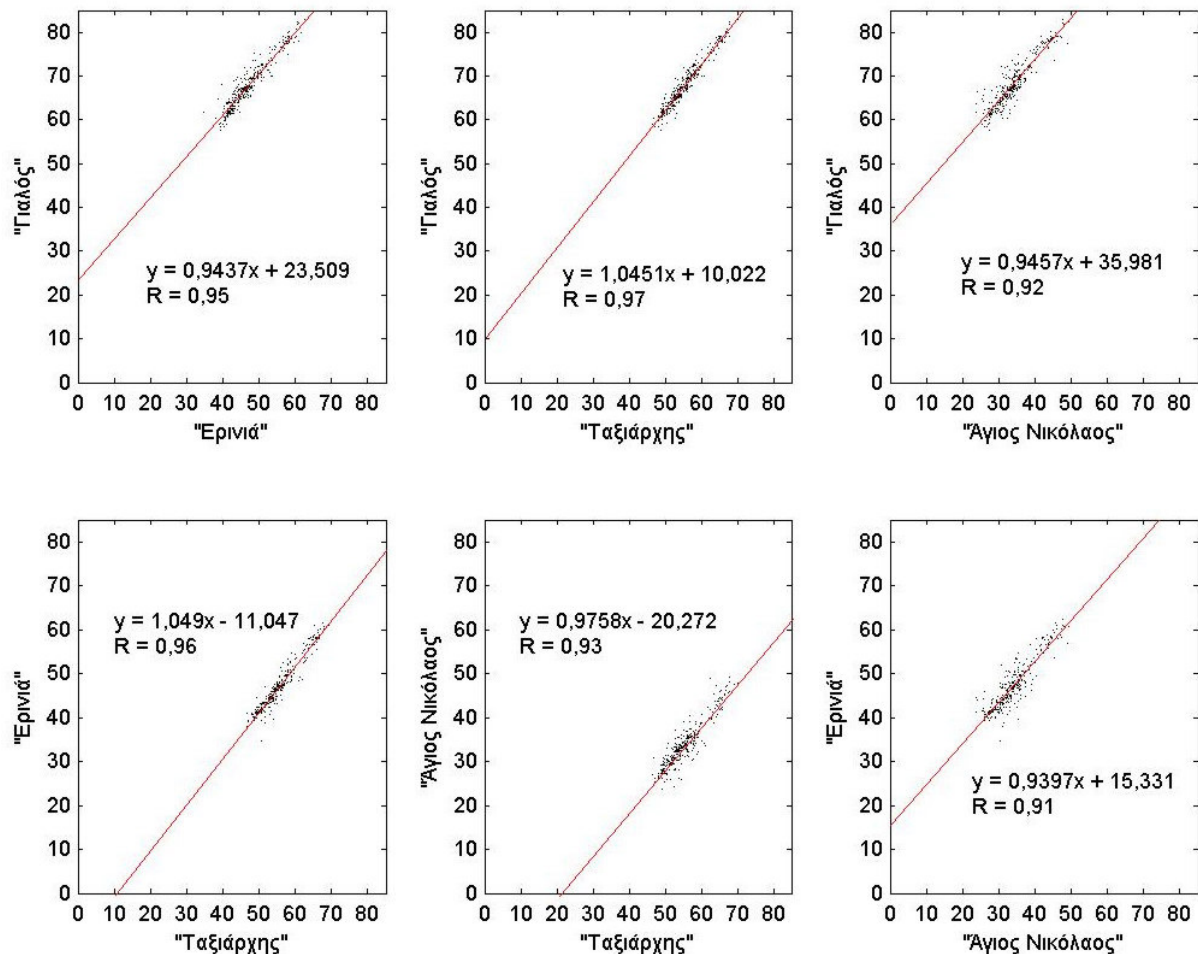
7.1.1 Αναγωγή των σταθμών στο ίδιο επίπεδο

Η αρχική εγκατάσταση των σταθμών δεν περιλάμβανε την τοποθέτησή τους στο ίδιο επίπεδο. Αυτό απαιτούσε ακριβείς γεωδαιτικές μεθόδους (μετρήσεις GPS κτλ), που δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθούν στα πλαίσια του προγράμματος.

Για την αναγωγή των σταθμών στο ίδιο επίπεδο μέτρησης της θαλάσσιας στάθμης, υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των μετρήσεων του πρώτου μήνα (Οκτώβριος 2000) για όλους τους σταθμούς. Στην συνέχεια αφαιρέθηκαν οι μέσοι όροι των σταθμών «Ερινιά», «Ταξιάρχης» και «Άγιος Νικόλαος» από το μέσο όρο του σταθμού «Γιαλός», που χρησιμοποιείται ως σταθμός αναφοράς. Οι διαφορές που προέκυψαν προστέθηκαν στην συνέχεια σ' όλο το πακέτο των μετρήσεων στους τρεις σταθμούς, κατ' αντιστοιχία.



Σχήμα 7.1 Οι μετρήσεις του πρώτου μήνα (Οκτώβριος 2000) της θαλάσσιας στάθμης για όλους τους σταθμούς. Φαίνεται το διαφορετικό επίπεδο τοποθέτησής τους.



Σχήμα 7.2 Συσχέτιση των μετρήσεων της στάθμης της θάλασσας του πρώτου μήνα (Οκτώβριος 2000) των σταθμών.

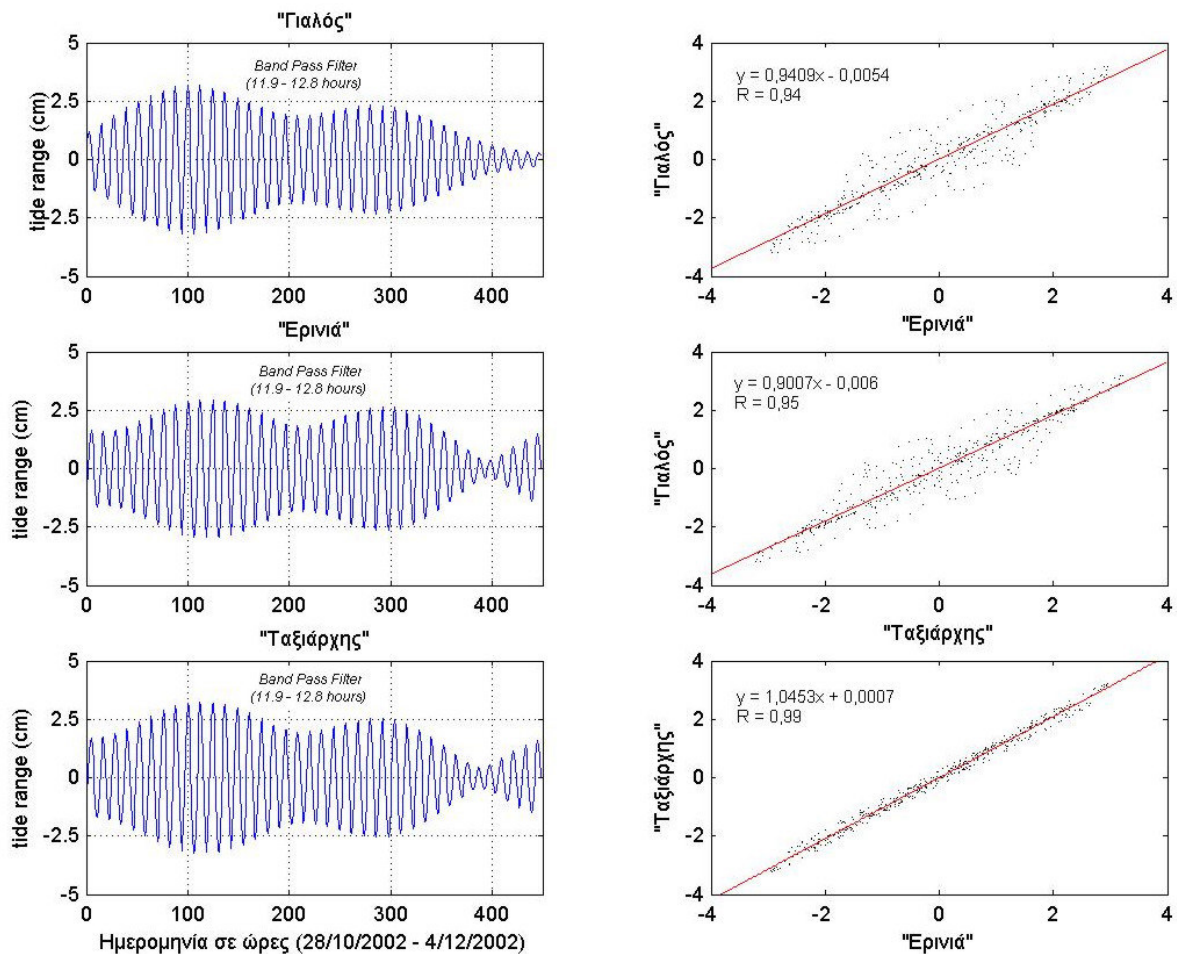
Όπως δείχνει και το Σχήμα 7.2, οι μετρήσεις του πρώτου μήνα όλων των σταθμών παρουσιάζουν πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ τους, με εύρος συντελεστή συσχέτισης 91-97%.

7.1.2 Έλεγχος της ποιότητας των δεδομένων

Από τη στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, εντοπίστηκαν χρονικές περιόδους μέτρησης σ' ορισμένους σταθμούς, που δείχνουν διαφορετική συμπεριφορά ως προς το σύνολο των σταθμών. Για να ελεγχθεί η αξιοπιστία των μετρήσεων σ' αυτές τις περιόδους ως προς τη στάθμη της θάλασσας, εξετάστηκαν οι μετρήσεις ως προς την αστρονομική παλιρροιακή διακύμανση.

Ο κυριότερος παράγοντας των αστρονομικών παλιρροιακών διακυμάνσεων στη Σαντορίνη είναι η ημι-ημερήσιες παλίρροιες. Έχοντας ως δεδομένο τη μικρή απόσταση των σταθμών μεταξύ τους, όλοι θα πρέπει να εμπεριέχουν στις μετρήσεις τους την ημι-ημερήσια παλιρροιακή διακύμανση. Εφαρμόζοντας ένα φίλτρο αποκοπής περιόδων 11,9 – 12,8 ωρών στις μετρήσεις, απομονώνεται η ημι-ημερήσια παλιρροιακή διακύμανση. Μετρήσεις που δεν εμπεριέχουν την παραπάνω παράμετρο, θεωρούνται αναξιόπιστες και δε λαμβάνονται υπόψη στην περαιτέρω ανάλυση.

Ο παραπάνω έλεγχος πραγματοποιήθηκε για τις μετρήσεις του σταθμού «Γιαλός» κατά τη χρονική περίοδο 28/10/02 – 4/12/02 (Σχήμα 7.3) και για τις μετρήσεις του σταθμού «Άγιος Νικόλαος» κατά τη χρονική περίοδο 20/2/02 – 29/5/02 (Σχήμα 7.4).



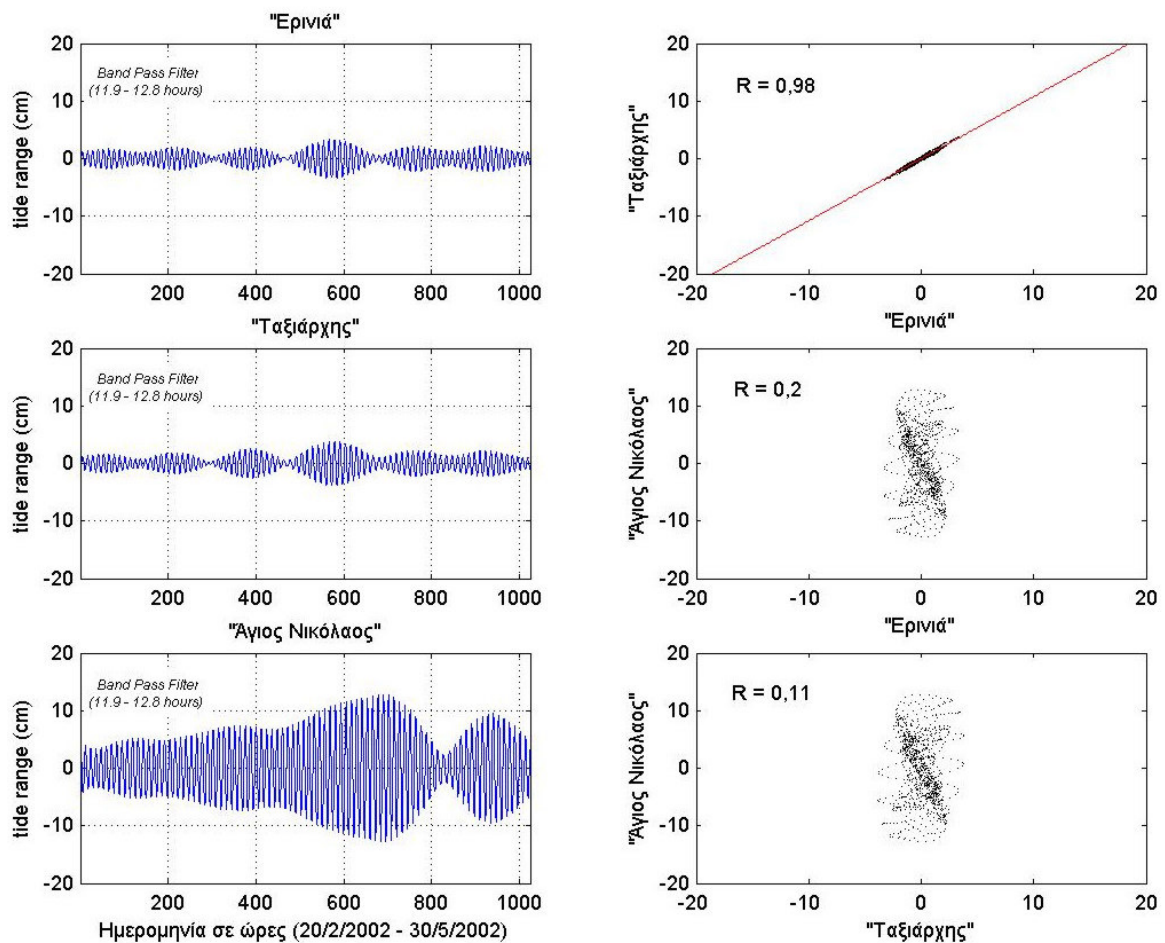
Σχήμα 7.3 Έλεγχος της ποιότητας των δεδομένων για το σταθμό «Γιαλός».

Τη χρονική περίοδο 28/10/2002 – 4/12/2002, η καταγραφή της στάθμης της θάλασσας για το σταθμό «Γιαλός» παρουσίασε πτώση 29 εκατοστών, σε σχέση με τους σταθμούς «Ερινιά» και «Ταξιάρχης», που ήταν σε λειτουργία. Αυτή η πτώση, θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως εδαφική ανύψωση της περιοχής του σταθμού. Επειδή όμως εκείνη τη χρονική περίοδο δε σημειώθηκε κανένας σεισμός στην περιοχή και δεν υπήρξε κανένας άλλος ανησυχητικός δείκτης που να δήλωνε ηφαιστειακή δραστηριότητα, εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις:

- i. Η πρώτη περίπτωση ήταν οι κακές καταγραφές του σταθμού. Όπως αποδεικνύει το Σχήμα 7.3 ο σταθμός δεν είχε υποστεί καμία βλάβη την περίοδο εκείνη, αφού στις μετρήσεις του εμπεριέχεται ο παράγοντας της ημι-ημερήσιας παλιρροιακής διακύμανσης.
- ii. Η δεύτερη περίπτωση ήταν να είχε ανέλθει το αισθητήριο μέτρησης του σταθμού μέσα στο σωλήνα λόγω κάποιας εξωτερικής επίδρασης (ανθρώπου, πλοιαρίου κτλ). Αυτό διαπιστώθηκε πράγματι να έχει συμβεί μετά τη συντήρηση του σταθμού και το αισθητήριο τοποθετήθηκε ξανά στην αρχική του θέση.

Η συγκεκριμένη περίπτωση πάντως, έδειξε τη λειτουργικότητα του συστήματος ως προς τις μεταβολές, για τις οποίες σχεδιάστηκε να καταγράφει. Γι' αυτό, οι ερευνητές που

διαχειρίζονται το σύστημα θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικοί με την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και θα πρέπει να εξετάζουν όλες τις παραμέτρους, πριν καταλήξουν σε κάποιο οριστικό συμπέρασμα.



Σχήμα 7.4 Έλεγχος της ποιότητας των δεδομένων για το σταθμό «Άγιο Νικόλαος».

Όπως δείχνει το Σχήμα 7.4, οι μετρήσεις του σταθμού «Άγιος Νικόλαος» για τη χρονική περίοδο 20/2/02 – 29/5/02 δεν λήφθηκαν υπόψη στην περαιτέρω ανάλυση, αφού δεν εμπεριέχουν την ημι-ημερήσια παλιρροιακή διακύμανση.

7.1.3 Παρουσίαση των παλιρροϊκών διακυμάνσεων στη Σαντορίνη

Σύμφωνα με τους Δρακόπουλο και Λασκαράτο (1993) είναι γνωστό ότι οι αστρονομικές παλιρροϊκές διακυμάνσεις του κεντρικού Αιγαίου είναι γενικά πολύ μικρές και το θαλάσσιο επίπεδο επηρεάζεται ισχυρά από τις αλλαγές μακράς περιόδου των μετεωρολογικών συνθηκών και πιο ειδικά της ατμοσφαιρικής πίεσης. Η ατμοσφαιρική πίεση και όλοι οι άλλοι παράγοντες, όπως οι άνεμοι, η γενική κυκλοφορία και πυκνότητα του θαλασσινού νερού της περιοχής έχουν μεγάλη χωρική κλίμακα επίδρασης και μπορούν να θεωρηθούν ότι λαμβάνουν χώρα σχεδόν ταυτόχρονα σε όλα τα μέρη της Σαντορίνης και της καλντέρας. Δεν υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στην πυκνότητα του θαλασσινού νερού μέσα στην καλντέρα, όπως έδειξαν μετρήσεις πεδίου (CTD μετρήσεις, Albanakis et al 1996).

Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ότι όλοι οι σταθμοί στην καλντέρα επηρεάζονται σχεδόν ταυτόχρονα από τις αλλαγές μεγάλης περιόδου της θαλάσσιας στάθμης.

Η υψηλής συχνότητας ταλάντωση της θαλάσσιας στάθμης (κύματα), όπως η ταλάντωση του νερού της καλντέρας, έχουν περιόδους μικρότερες από $T=10$ λεπτά.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας της διακύμανσης του θαλάσσιου επιπέδου είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες, που μπορούν να επηρεάσουν το νερό του κεντρικού Αιγαίου και της καλντέρας στο σύνολό του.

Η θαλάσσια στάθμη επηρεάζεται από πολλές μεταβολές μακράς περιόδου και απαιτούνται παρατηρήσεις μακροχρόνιες, για να καθιερωθεί το «μέσο επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης» για κάθε σταθμό (η Υδρογραφική Υπηρεσία έχει καθιερώσει απαιτούμενο χρόνο παρατήρησης 19 χρόνια).

7.1.4 Περιγραφή της μεθόδου συσχέτισης

Οι χρονικές μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης προκαλούνται κυρίως από τις παλιρροιακές δυνάμεις και την αλληλεπίδραση της ατμόσφαιρας με τους ωκεανούς. Επίσης, η τήξη ή η επέκταση των πολικών περιοχών συνεισφέρει στις αλλαγές μακράς περιόδου της θαλάσσιας στάθμης. Φαινομενικές και άμεσες αλλαγές οφείλονται στις κινήσεις του φλοιού της γης. Σε περιοχές με ενεργή ηφαιστειότητα, αλλαγές τοπικού χαρακτήρα στο επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης σχετίζονται με την ηφαιστειακή δυναμική και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συναγερμός σ' ένα δίκτυο στενής ηφαιστειακής παρακολούθησης. Στην τελευταία περίπτωση, το κυριότερο πρόβλημα είναι η διάκριση μεταξύ των πραγματικών και των φαινομενικών αλλαγών της θαλάσσιας στάθμης, που προκαλούνται από τις τοπικές εδαφικές παραμορφώσεις. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή της στατιστικής προσέγγισης που υιοθετήθηκε (Corrado και Luongo, 1981).

Έστω ότι $h_S(t)$ και $h_R(t)$ είναι οι θαλάσσιες στάθμες, σαν συναρτήσεις του χρόνου t , στη θέση S της περιοχής παρακολούθησης, και μια θέση R τοποθετείται σε μια σταθερή περιοχή και θεωρείται ως αναφορά. Η πιο γενική σχέση μεταξύ των $h_S(t)$ και $h_R(t)$ είναι μια σχέση της μορφής:

$$h_S(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \alpha(t') h_R(t-t') dt' + n(t') \quad (1)$$

όπου $\alpha(t)$ είναι μια συνάρτηση βάρους και $n(t)$ είναι ο παραμένων «θόρυβος» στη θέση S , που περιέχει κυρίως τις φαινομενικές αλλαγές της θαλάσσιας στάθμης, που προκαλούνται από τις εδαφικές κινήσεις. Μετατρέποντας την παραπάνω σχέση από την εξάρτηση του χρόνου t , σε μια σχέση με μεταβλητή τη συχνότητα f παίρνουμε:

$$H_S(f) = A(f) H_R(f) + N(f) \quad (2)$$

όπου τα κεφαλαία γράμματα δείχνουν το μετασχηματισμό Φουριέ των συναρτήσεων της σχέσης 1. Αν η θέση R και η θέση S βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση μεταξύ τους, ώστε η παλιρροιακές και οι μετεωρολογικές διακυμάνσεις να μπορούν να θεωρηθούν ότι επηρεάζουν το ίδιο και τις δύο θέσεις, η $A(f)$ θα είναι μία συνάρτηση μετασχηματισμού, η οποία θα λαμβάνει στον υπολογισμό την διαφορική απόκριση της θαλάσσιας στάθμης στις θέσεις S και R , κάτω από τις ίδιες παλιρροιακές και μετεωρολογικές επιδράσεις. Η συνάρτηση $A(f)$ μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση (Hannan 1970):

$$A(f) = \Phi_{RS}(f) / \Phi_{RR}(f) \quad (3)$$

όπου $\Phi_{RS}(f)$ και $\Phi_{RR}(f)$ είναι οι μετασχηματισμοί Φουριέ της συνάρτησης διασυσχέτισης μεταξύ των $h_S(t)$ και $h_R(t)$ και της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης της $h_R(t)$, αντίστοιχα. Μέσω ενός αντιμετασχηματισμού Φουριέ της $A(f)$ μπορεί να υπολογιστεί η συνάρτηση $a(t)$. Μετά από τον υπολογισμό της $a(t)$ μπορεί να υπολογιστεί η συνάρτηση $n(t)$ από τη σχέση 1.

Η παραπάνω μέθοδος, της απομάκρυνσης της διαφορικής συμπεριφοράς στη καταγραφή της θαλάσσιας στάθμης, που κυρίως οφείλεται σε ατμοσφαιρικές επιδράσεις, επιτρέπει τη λήψη ενός υψηλότερου σήματος / θορύβου σε αναλογία και σύγκριση με τα αποτελέσματα που δίνει μια απλή μέθοδος ημερήσιων διαφορών. Ένας πιο ξεκάθαρος υπολογισμός της εδαφικής παραμόρφωσης, κυρίως για βραχυπρόθεσμη παρατήρηση, επιτυγχάνεται ως συνέπεια των παραπάνω. Η μέθοδος επιτρέπει επίσης τη σύγκριση περισσότερων από δύο σταθμούς σε μια ενιαία ανάλυση.

Η παραπάνω μέθοδος χρησιμοποιείται στα ηφαίστεια του Βεζουβίου και των Φλεγρέων Πεδίων κοντά στην Νάπολη της Ιταλίας (Berrino 1993, 1998).

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Matlab. Οι παραπάνω εξισώσεις στη γλώσσα προγραμματισμού Matlab έχουν την παρακάτω μορφή:

```
N=length(hR);
mR=mean(hR);
mS=mean(hS);
for d=1:N
    sum=0.0;
    sum1=0.0;
    sum2=0.0;
    sum3=0.0;
    sum4=0.0;
    for i=1:N
        if i-d>=1 & i+d<=N
            sum=sum+(hR(i)-mR)*(hS(i-d)-mS);
            sum1=sum1+(hR(i)-mR)^2;
            sum2=sum2+(hS(i-d)-mS)^2;
            sum3=sum3+(hR(i)-mR)*(hR(i+d)-mR);
            sum4=sum4+(hR(i)-mR)^2;
        else
            if i-d<1 & i+d<=N
                hSzero=0;
                sum=sum+(hR(i)-mR)*(hSzero-mS);
                sum1=sum1+(hR(i)-mR)^2;
                sum2=sum2+(hSzero-mS)^2;
                sum3=sum3+(hR(i)-mR)*(hR(i+d)-mR);
                sum4=sum4+(hR(i)-mR)^2;
            else
                if i+d>N & i-d>=1
                    hRzero=0;
                    sum=sum+(hR(i)-mR)*(hS(i-d)-mS);
```



```

        sum1=sum1+(hR(i)-mR)^2;
        sum2=sum2+(hS(i-d)-mS)^2;
        sum3=sum3+(hR(i)-mR)*(hRzero-mR);
        sum4=sum4+(hR(i)-mR)^2;
    else
        if i+d>N & i-d<1
            hRzero=0;
            hSzero=0;
            sum=sum+(hR(i)-mR)*(hSzero-mS);
            sum1=sum1+(hR(i)-mR)^2;
            sum2=sum2+(hSzero-mS)^2;
            sum3=sum3+(hR(i)-mR)*(hRzero-mR);
            sum4=sum4+(hR(i)-mR)^2;
        end
    end
end
end
end
end
RRS(d)=sum/sqrt(sum1*sum2);
RRR(d)=sum3/sum4;
end
FRS=fft(RRS');
FRR=fft(RRR');
AF=FRS./FRR;
Z=real(ifft(AF));
Noise=hS-(hR-(Z.*hR));

```

Η παραπάνω μέθοδος εφαρμόστηκε σ' όλα τα ζευγάρια των σταθμών της Σαντορίνης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου για κάθε ζευγάρι χωριστά με τη μορφή διαγραμμάτων.

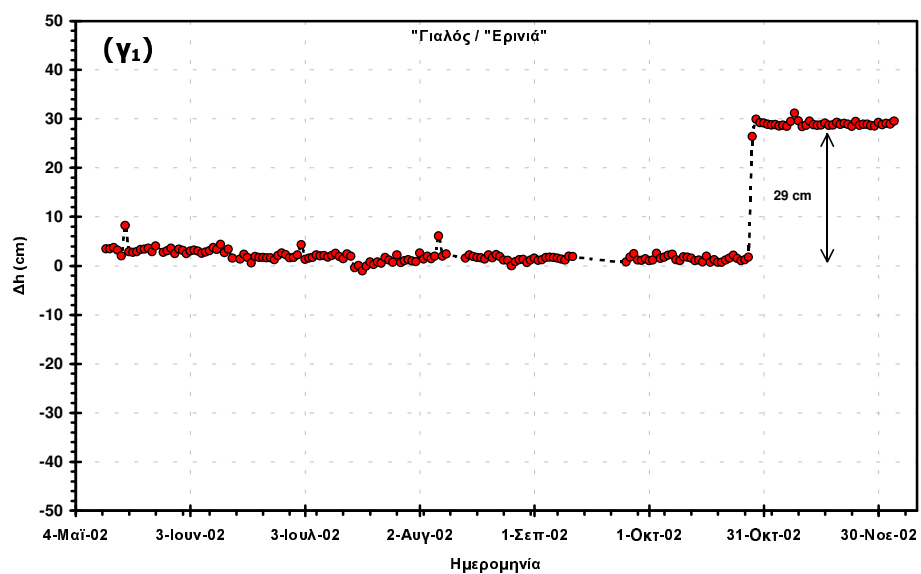
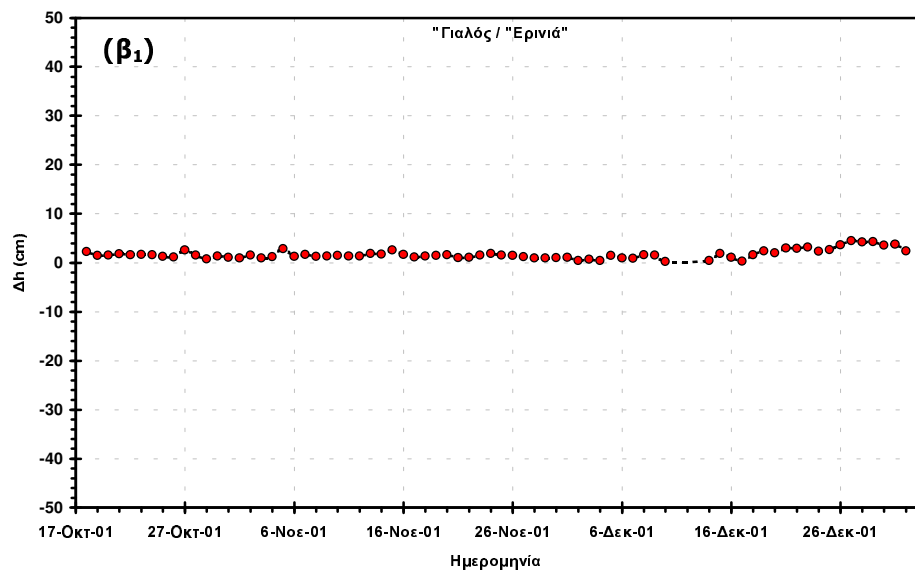
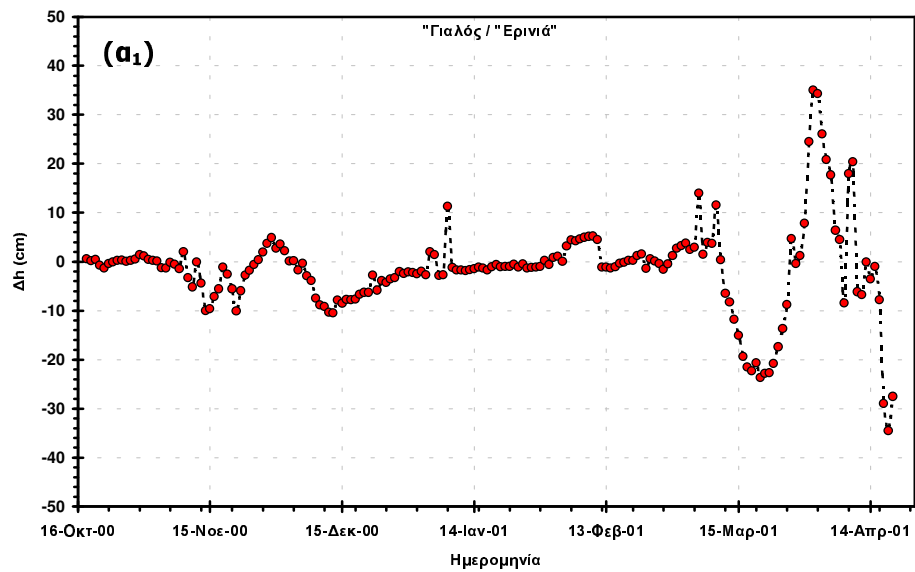
7.2 Εφαρμογή της μεθόδου συσχέτισης

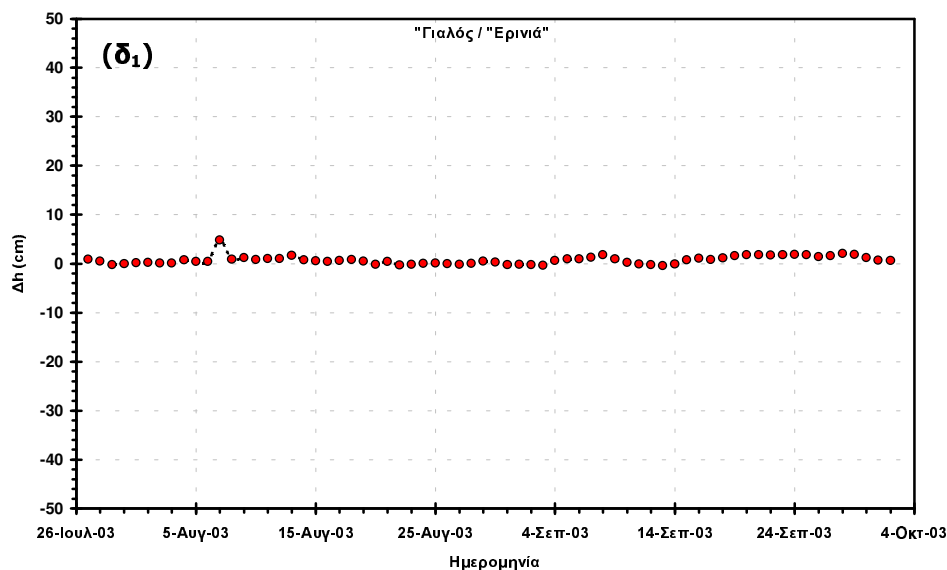
7.2.1 Σταθμοί «Γιαλός»/« Ερινιά»

Οι χρονικές περίοδοι που οι σταθμοί «Γιαλός» & «Ερινιά» λειτουργούσαν ταυτόχρονα, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.1 Χρονικές περίοδοι ταυτόχρονης λειτουργίας των σταθμών «Γιαλός»/«Ερινιά».

Από	Έως	Διάγραμμα
18/10/2000	19/4/2001	(α ₁)
18/10/2001	1/1/2002	(β ₁)
12/5/2002	4/12/2002	(γ ₁)
27/7/2003	2/10/2003	(δ ₁)



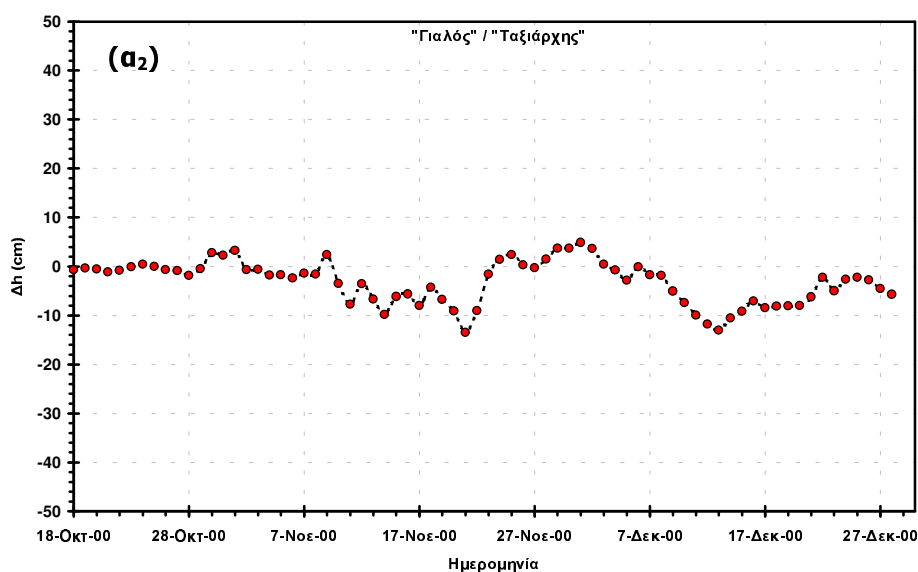


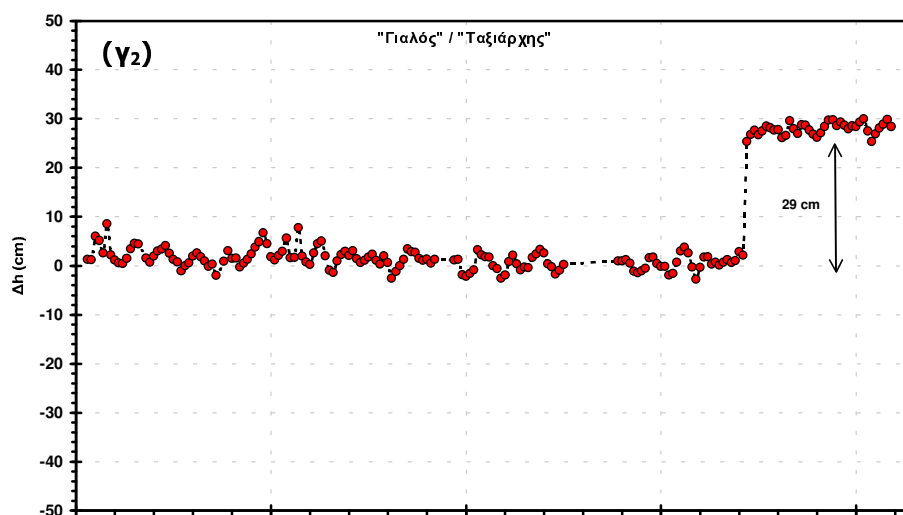
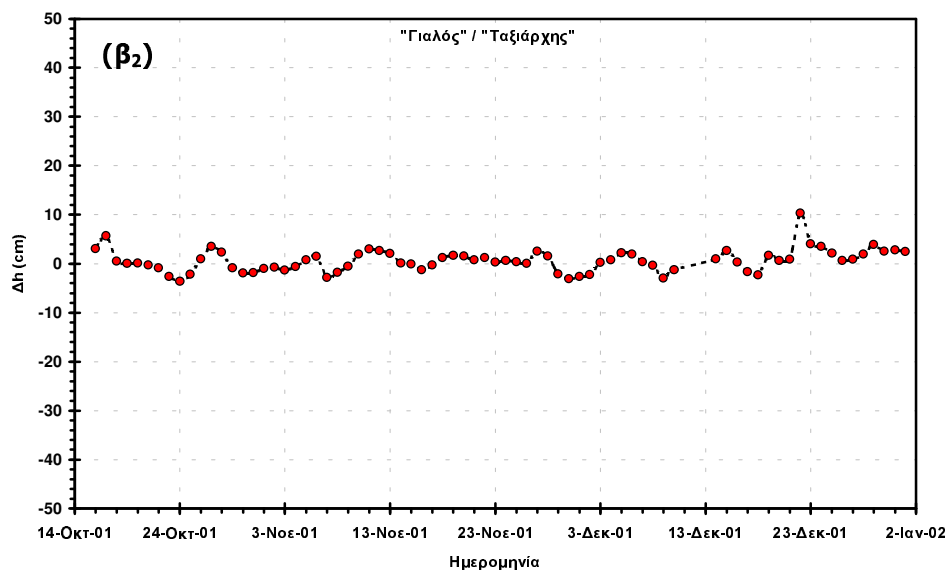
7.2.2 Σταθμοί « Γιαλός»/« Ταξιάρχης»

Οι χρονικές περίοδοι που οι σταθμοί «Γιαλός» & «Ταξιάρχης» λειτουργούσαν ταυτόχρονα, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.2 Χρονικές περίοδοι ταυτόχρονης λειτουργίας των σταθμών «Γιαλός»/«Ταξιάρχης».

Από	Έως	Διάγραμμα
18/10/2000	28/12/2000	(α ₂)
16/10/2001	1/1/2002	(β ₂)
12/5/2002	4/12/2002	(γ ₂)



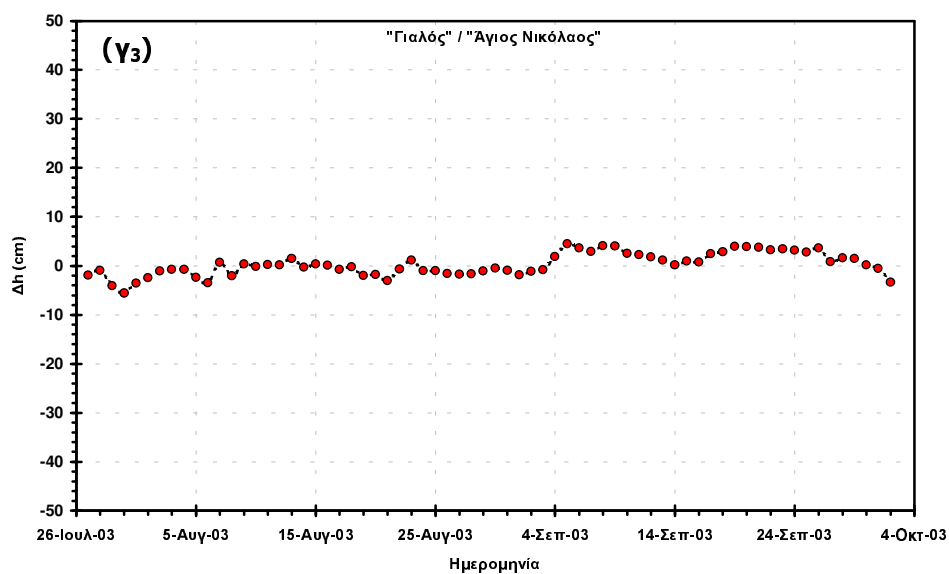
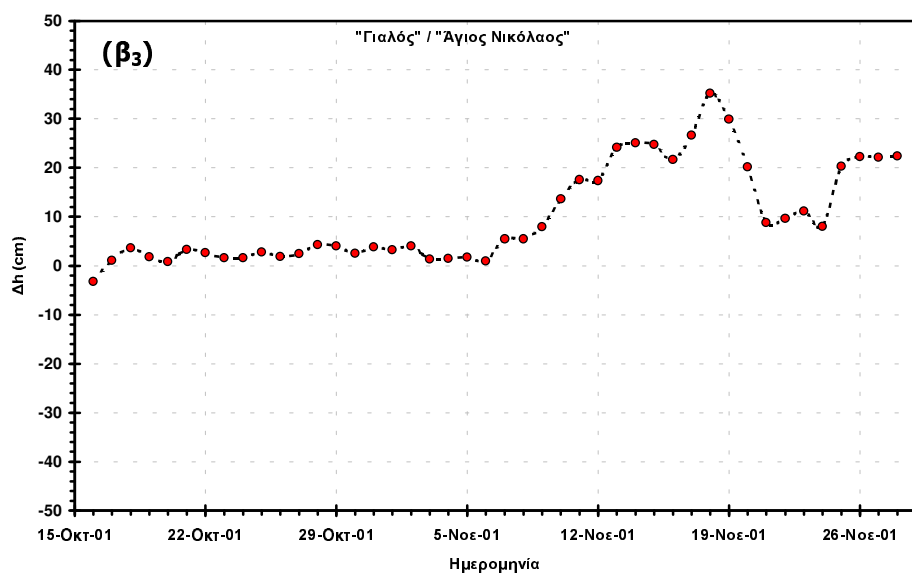
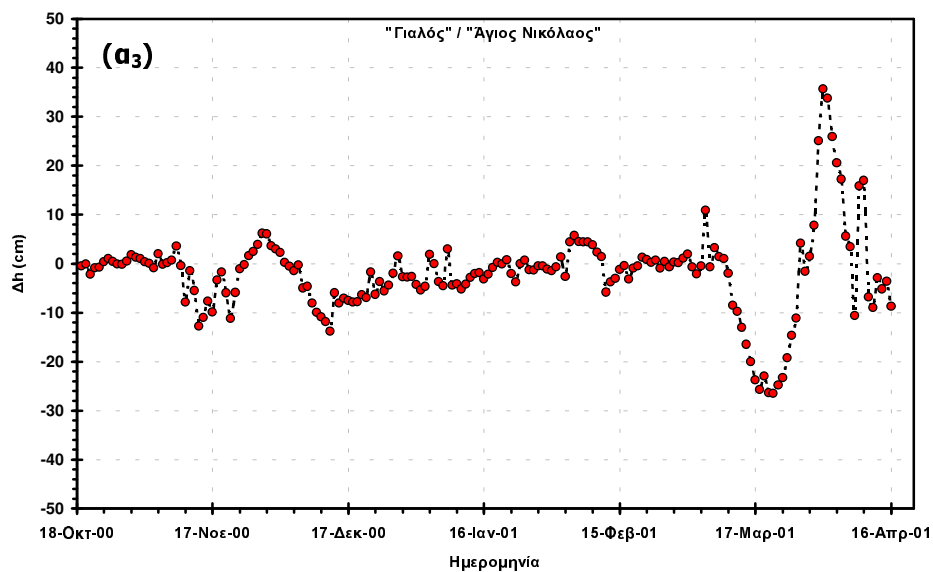


7.2.3 Σταθμοί « Γιαλός»/« Άγιος Νικόλαος»

Οι χρονικές περιόδους που οι σταθμοί «Γιαλός» & «Άγιος Νικόλαος» λειτουργούσαν ταυτόχρονα, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.3 Χρονικές περιόδους ταυτόχρονης λειτουργίας των σταθμών «Γιαλός»/«Άγιος Νικόλαος».

Από	Έως	Διάγραμμα
18/10/2000	16/4/2001	(α ₃)
16/10/2001	28/11/2001	(β ₃)
27/7/2003	2/10/2003	(γ ₃)

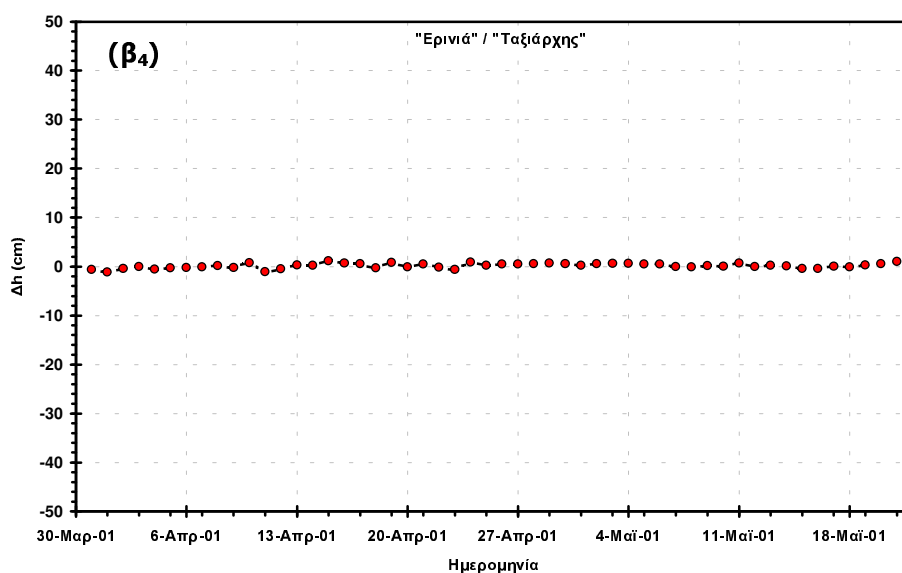
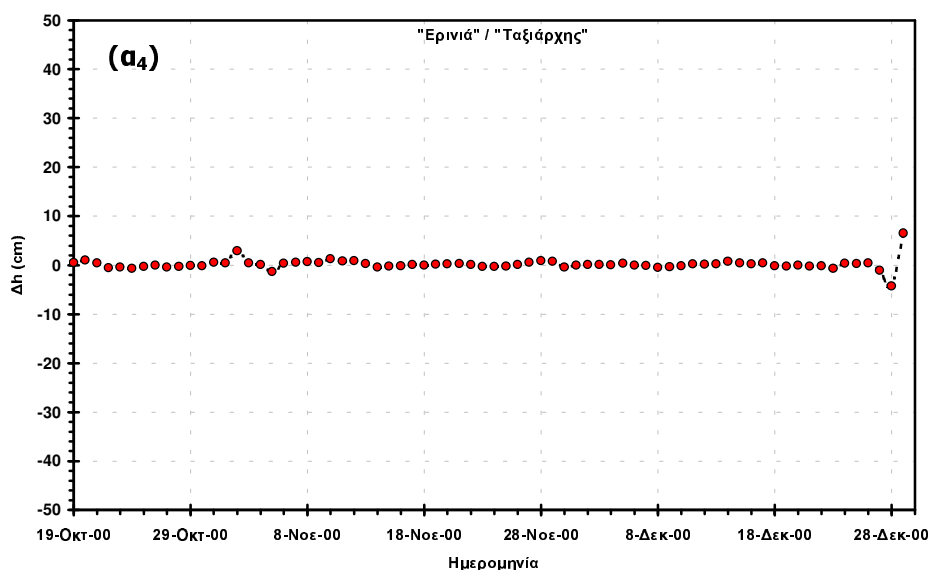


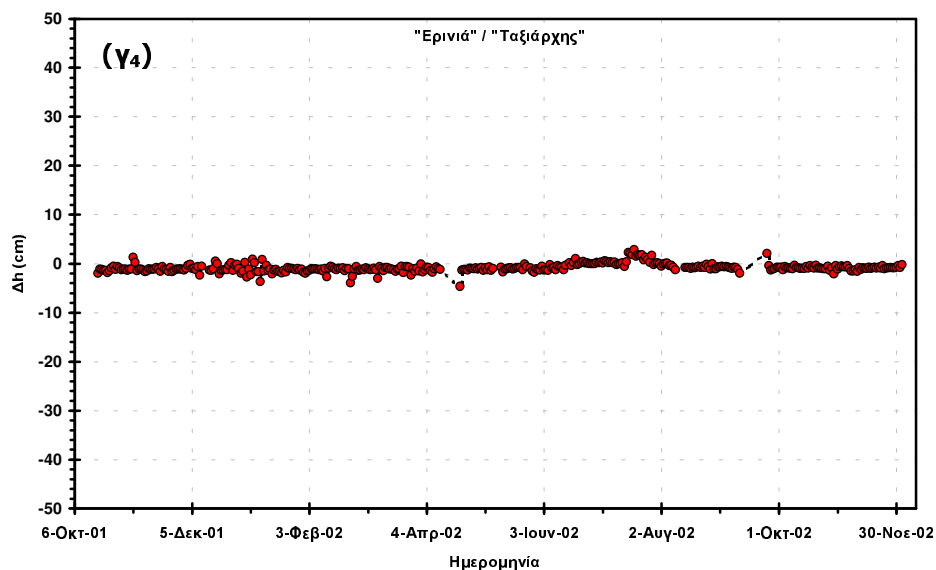
7.2.4 Σταθμοί «Ερινιά»/« Ταξιάρχης»

Οι χρονικές περίοδοι που οι σταθμοί «Ερινιά» & «Ταξιάρχης» λειτουργούσαν ταυτόχρονα, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.4 Χρονικές περίοδοι ταυτόχρονης λειτουργίας των σταθμών «Ερινιά»/«Ταξιάρχης».

Από	Έως	Διάγραμμα
18/10/2000	29/12/2000	(α ₄)
31/3/2001	21/5/2001	(β ₄)
18/10/2001	3/12/2002	(γ ₄)



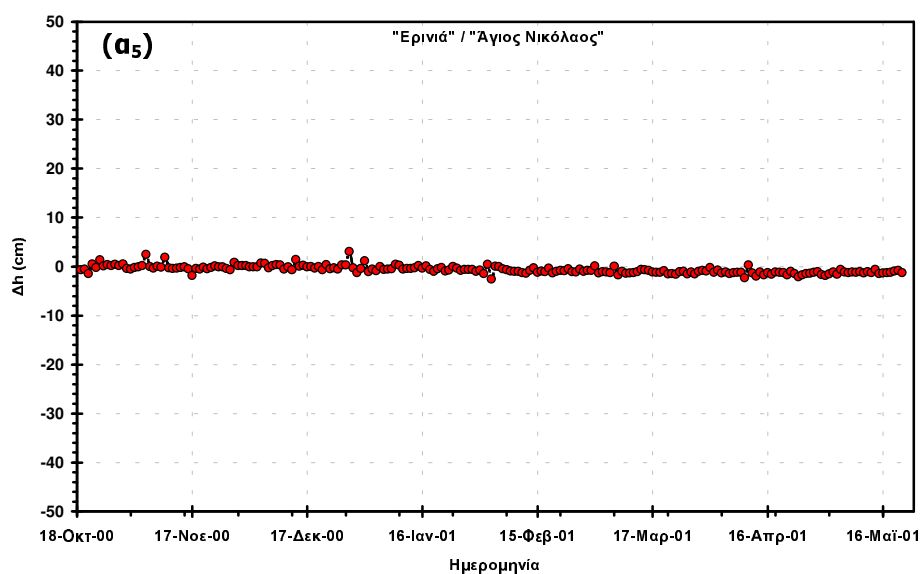


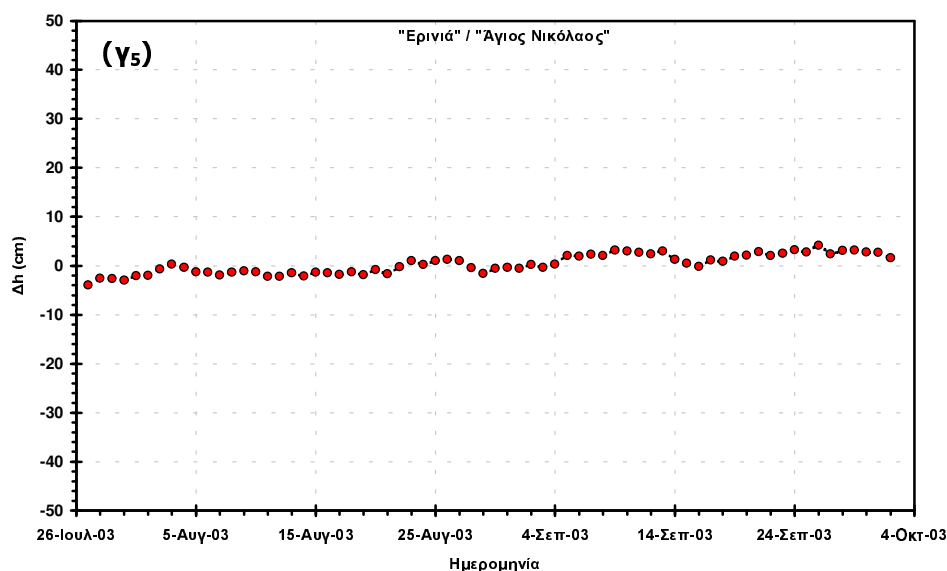
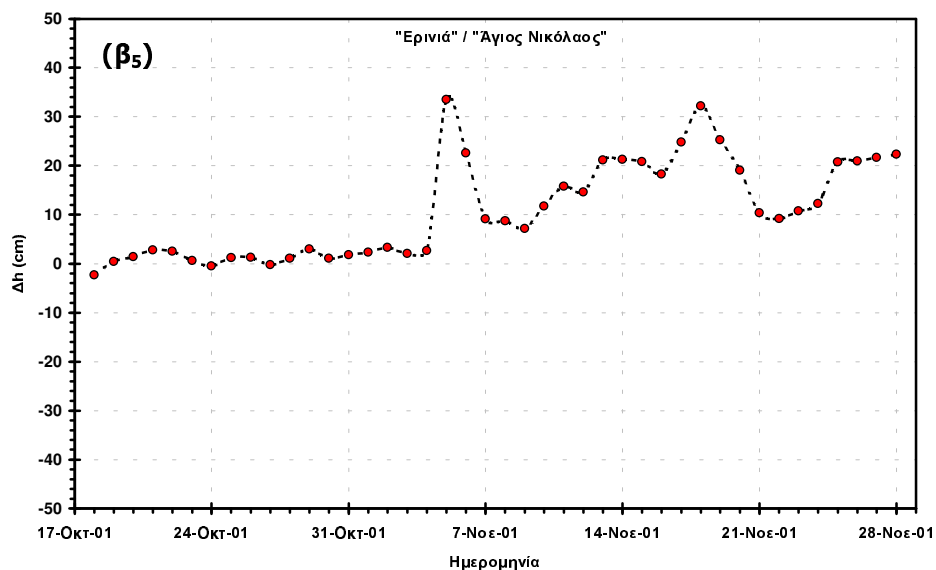
7.2.5 Σταθμοί «Ερινιά»/« Άγιος Νικόλαος»

Οι χρονικές περίοδοι που οι σταθμοί «Ερινιά» & «Άγιος Νικόλαος» λειτουργούσαν ταυτόχρονα, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.5 Χρονικές περίοδοι ταυτόχρονης λειτουργίας των σταθμών «Ερινιά»/«Άγιος Νικόλαος».

Από	Έως	Διάγραμμα
18/10/2000	21/5/2001	(α ₅)
18/10/2001	28/11/2001	(β ₅)
27/7/2003	2/10/2003	(γ ₅)



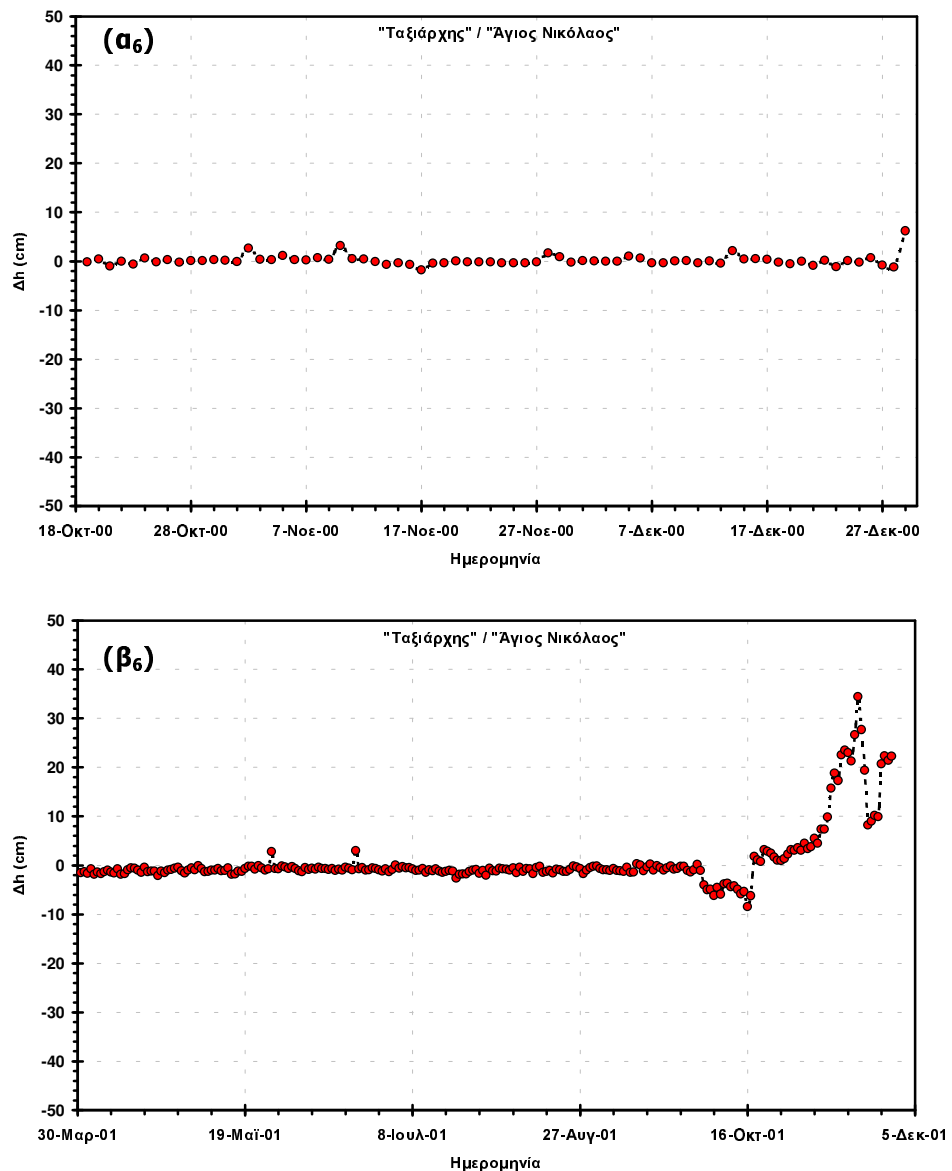


7.2.6 Σταθμοί «Ταξιάρχης»/« Άγιος Νικόλαος»

Οι χρονικές περίοδοι που οι σταθμοί «Ταξιάρχης» & «Άγιος Νικόλαος» λειτουργούσαν ταυτόχρονα, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.6 Χρονικές περίοδοι ταυτόχρονης λειτουργίας των σταθμών «Ταξιάρχης» / «Άγιος Νικόλαος».

Από	Έως	Διάγραμμα
18/10/2000	29/12/2000	(α ₆)
31/3/2001	28/11/2001	(β ₆)



7.2.7 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Στα διαγράμματα (α₁), (α₂) και (α₃) φαίνεται πως οι σταθμοί στα νησιά Καμμένες σε σχέση με το σταθμό αναφοράς «Γιαλός», στο λιμάνι των Φηρών, παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στην καταγραφή της θαλάσσιας στάθμης. Αυτό φανερώνει πώς διάφορα μετεωρολογικά και ωκεανογραφικά φαινόμενα επιδρούν διαφορετικά στις ηφαιστειακές νησίδες σε σχέση με το λιμάνι των Φηρών. Έτσι, ανάλογα με τη διεύθυνση των ανέμων αλλά και τη διεύθυνση που μπορεί να έχουν διάφορες θερμές ή ψυχρές μάζες νερού ως προς το λιμάνι, το τελευταίο, ως φυσικό εμπόδιο, ενισχύει ή μειώνει το μέγεθος της στάθμης της θάλασσας στις καταγραφές του σταθμού «Γιαλός» ως προς τους άλλους σταθμούς. Με τη

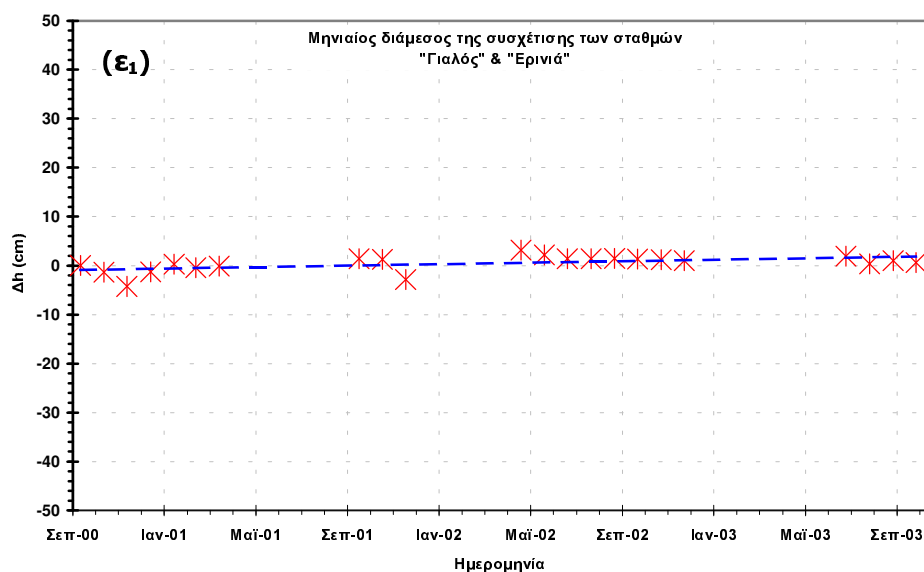
λήξη των φαινομένων αυτών, οι καταγραφές του σταθμού «Γιαλός» επανέρχονται στα ίδια επίπεδα με τους άλλους σταθμούς.

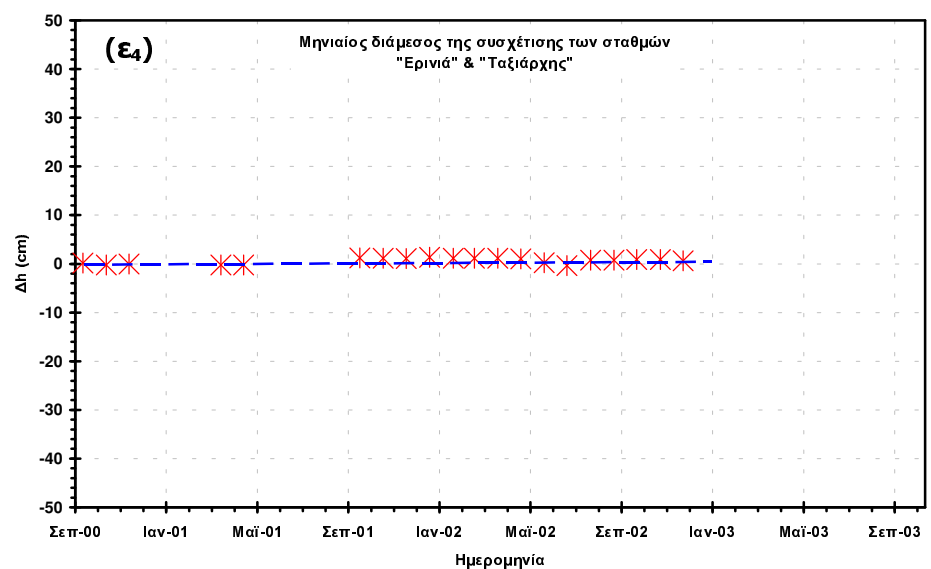
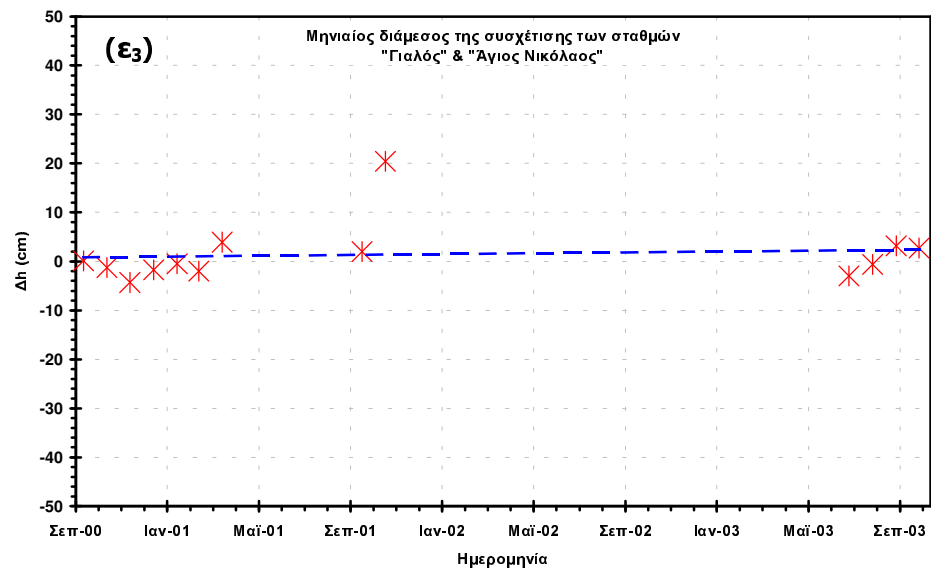
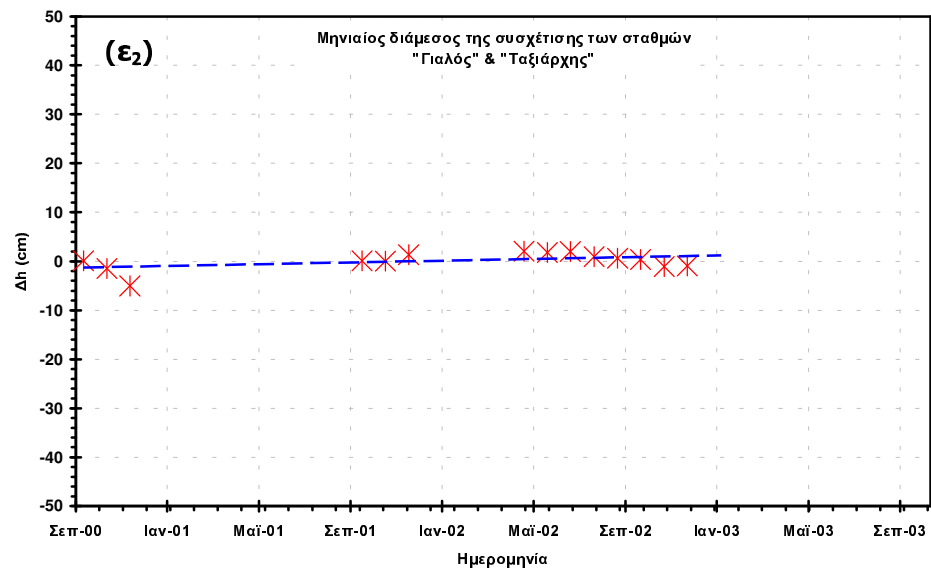
Για τον παραπάνω λόγο, παλινδρομικές κινήσεις, που θα παρουσιάζονται στο μέλλον στις συσχετίσεις των σταθμών των Καμμένων με το σταθμό «Γιαλός» θα πρέπει να αποδίδονται σε τέτοια φαινόμενα και όχι σ' ενδείξεις εδαφικής παραμόρφωσης. Οπωσδήποτε όμως, θα πρέπει να γίνεται συστηματικός έλεγχος και άλλων παραμέτρων (διεύθυνσης ανέμων, διεύθυνσης κυμάτων).

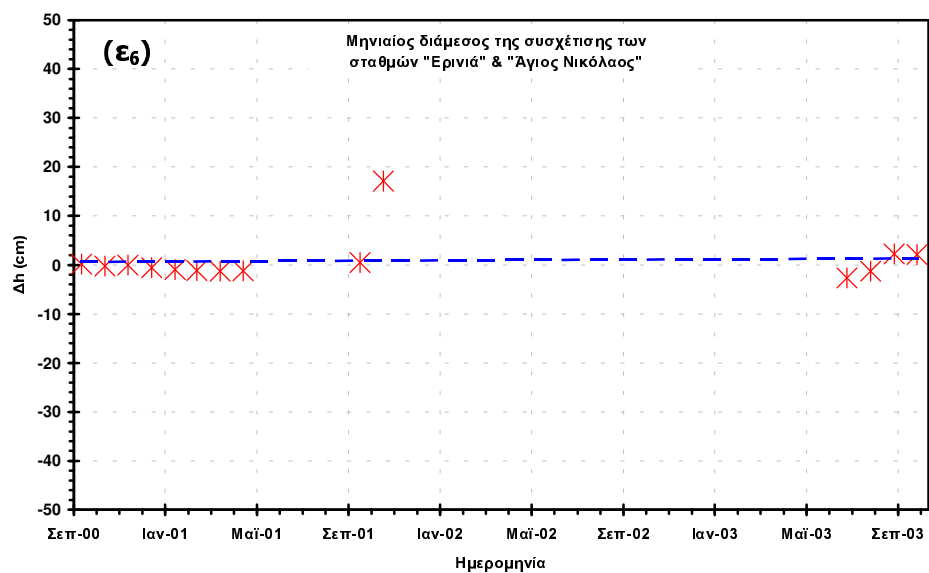
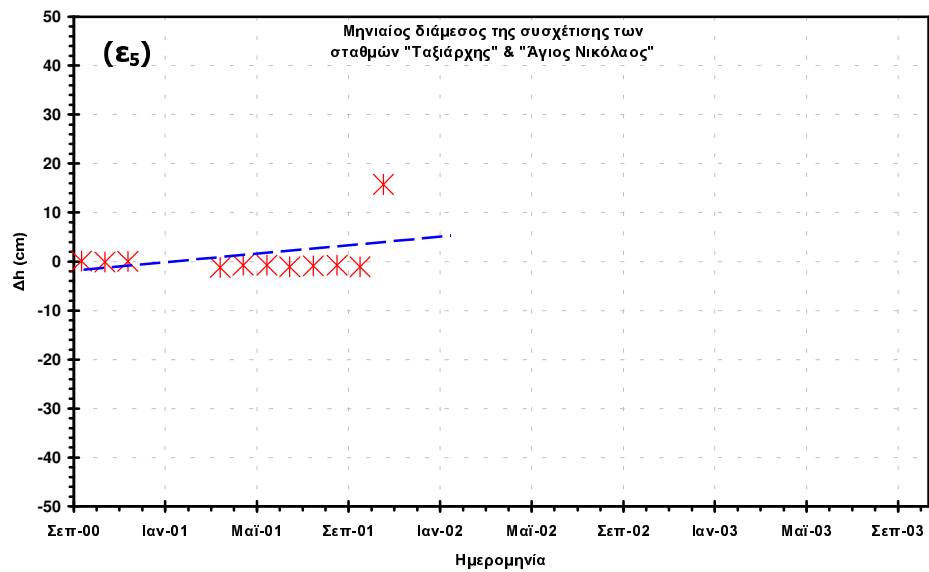
Στα διαγράμματα (γ_1) και (γ_2) φαίνεται η μετατόπιση του σταθμού «Γιαλός», που προκλήθηκε από εξωτερική επίδραση, όπως διαπιστώθηκε μετά τη συντήρηση του σταθμού. Τα διαγράμματα αυτά, όπως προαναφέρθηκε, είναι ενδεικτικά της λειτουργικότητας και της ευαισθησίας του συστήματος ως προς τις μεταβολές για τις οποίες σχεδιάστηκε να καταγράφει. Αυτή η μετατόπιση, σ' άλλη περίπτωση, θα μπορούσε να περιγράφει ανυψωτική κίνηση της περιοχής του λιμανιού και να αποτελεί ένδειξη για ηφαιστειακή επαναδραστηριοποίηση, σε συνδυασμό πάντα και μ' άλλους δείκτες.

Τα διαγράμματα (β_3), (β_5) και (β_6) δείχνουν μια ανώμαλη συμπεριφορά του σταθμού «Άγιος Νικόλαος» ως προς τους υπολοίπους για το μήνα Νοέμβριο του 2001. Οι μετρήσεις ελέγχθηκαν ως προς τον παράγοντα της παλιρροιακής διακύμανσης, όπου διαπιστώθηκε ότι η τελευταία καταγραφόταν μεν από το σταθμό, αλλά με μεγαλύτερο πλάτος. Επειδή δε μπορεί να εξακριβωθεί αν εκείνη την περίοδο λάμβανε χώρα κάποιο φυσικό φαινόμενο στην περιοχή ή αν ο μετρητής του σταθμού είχε υποστεί ηλεκτρονική βλάβη, οι μετρήσεις δεν κρίθηκαν αναξιόπιστες.

Τα υπόλοιπα διαγράμματα δείχνουν μια σταθερή κατάσταση, που δηλώνει ότι για την περίοδο 18/10/2000 – 2/10/2003 στην περιοχή της Σαντορίνης, που καλύπτεται από το δίκτυο των παλιρροιογράφων, δεν καταγράφηκε κατακόρυφη εδαφική παραμόρφωση. Η τελευταία διαπίστωση φαίνεται πιο καθαρά στα παρακάτω συγκεντρωτικά διαγράμματα του μηνιαίου διάμεσου (monthly Median) της συσχέτισης των σταθμών.







Στα παραπάνω διαγράμματα, η μετατόπιση του σταθμού «Γιαλός» που προκλήθηκε από εξωτερική επίδραση έχει αφαιρεθεί. Η γενική τάση το μηνιαίου διάμεσου περιγράφεται με την στικτή μπλε καμπύλη και σ' όλα τα διαγράμματα, εκτός του (Ε₅), που περιέχει λίγες τιμές, είναι κοντά στην τιμή μηδέν.

7.3 Ανάλυση των φυσικοχημικών παραμέτρων

7.3.1 Η έννοια του pH

Το pH ενός διαλύματος είναι το αντίθετο του δεκαδικού λογαρίθμου της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου του διαλύματος. Δηλαδή:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Τα πιο όξινα ύδατα στη φύση προέρχονται από τη διάλυση ηφαιστειακών αερίων ή από τη διάβρωση πυριτών.

Τα ηφαιστειακά αέρια περιέχουν κυρίως H_2O , CO_2 και οξείδια του θείου (SO_2 και SO_3) και, σε μικρότερα ποσοστά, HCl κ.ά. Τα οξείδια του θείου και το HCl είναι η αιτία του χαμηλού, όξινου pH υδάτων, που περιέχουν διαλυμένα ηφαιστειακά αέρια. Οι πυρίτες κατά την εξαλλοίωση τους, δηλαδή κατά την οξείδωση και υδρόλυση των προϊόντων οξείδωσής τους, παρέχουν μίγμα ουσιών με μεγάλη περιεκτικότητα σε θεϊκό οξύ, H_2SO_4 . Σε ύδατα προερχόμενα από διάβρωση πυριτών έχουν παρατηρηθεί τιμές pH περίπου μηδέν, δηλαδή η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου στα ύδατα αυτά είναι 1N.

Χαμηλές τιμές pH (≈ 2) παρατηρήθηκαν και σε όξινες θερμές πηγές (π.χ. στον Όρμο Βούδια της Μήλου).

Τα τελευταία χρόνια, εξ' άλλου, εμφανίστηκε και το φαινόμενο της όξινης βροχής, που οφείλεται στη διάλυση από το νερό της βροχής των οξεογόνων οξειδίων του θείου και του αζώτου, που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Παρατηρήθηκαν περιπτώσεις όξινης βροχής με pH περίπου 2.

Οι χαμηλές τιμές του pH στη φύση δεν παραμένουν σταθερές αλλά, λόγω της παρατεταμένης επαφής των υδάτων αυτών με τα διάφορα πετρώματα, πυριτικά και ανθρακικά, επέρχεται βαθμιαία εξουδετέρωσή τους. Η πλήρης όμως εξουδετέρωση, δηλαδή η επίτευξη $\text{pH} \approx 7$) εμποδίζεται από τη δέσμευση CO_2 και από την παρουσία οργανικών οξέων που προέρχονται από την αποσύνθεση οργανικών οξέων, που προέρχονται με τη σειρά τους από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών. Η άποψη ότι η παρουσία CO_2 σχετίζεται με ύδατα βασικού pH ($\text{pH} > 7$) είναι κατά τούτο αληθής, ότι δηλαδή τα ύδατα με βασικό pH δεσμεύουν εύκολα το διαλυμένο CO_2 και σχηματίζουν όξινα ή ουδέτερα ανθρακικά άλατα.

Χαμηλό σχετικά pH φυσικών υδάτων, περίπου 3,5 έως 4, μπορεί να οφείλεται σε συστατικά ορισμένων εδαφών, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις, το pH κοντά στην επιφάνεια των υδάτων κυμαίνεται μεταξύ 5 και 6.

Ως μέση τιμή χαμηλότερου, όξινου, ορίου pH στη φύση, αν δεν ληφθούν υπ' όψη οι ακραίες περιπτώσεις όξινων τιμών, λαμβάνεται η τιμή $\text{pH} = 4$.

Βασικά είναι συνήθως τα ύδατα που είναι σ' επαφή μ' ανθρακικά πετρώματα. Τα ύδατα αυτά δεν περιέχουν ελεύθερο CO_2 . Κατά την υδρόλυση των ανθρακικών πετρωμάτων λαμβάνονται τιμές pH μέχρι 10 περίπου, ενώ από την υδρόλυση υπερβασικών πετρωμάτων παρατηρήθηκαν τιμές pH μέχρι περίπου 12.

Υψηλές τιμές pH παρατηρούνται σ' αποξηραμένες λεκάνες, όπου η κλασματική κρυστάλλωση και η κλασματική επαναδιάλυση συνέτειναν στον αποχωρισμό αλκαλικών αλάτων, όπως Na_2CO_3 και Na_3BO_3 .

Όπως στα όξινα φυσικά ύδατα, έτσι και στα βασικά φυσικά ύδατα οι υψηλές τιμές pH δε μπορούν να διατηρηθούν. Επίσης, υψηλές τιμές pH κοντά στην επιφάνεια υδάτων δεν μπορούν να διατηρηθούν εξ' αιτίας της δέσμευσης CO₂ ή της παρουσίας οργανικών οξέων.

Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι παρατηρήθηκαν και αλκαλικές βροχές, των οποίων το pH σ' ορισμένες περιπτώσεις ήταν μεγαλύτερο της τιμής 9. Οι αλκαλικές βροχές δεν οφείλονται μόνο σε ρύπανση της ατμόσφαιρας με βασεογόνα συστατικά, αλλά ενδεχόμενα σ' ανάμιξη της βροχής με αέριες μάζες, που προέρχονται από περιοχές απ' όπου μπορούν να μεταφέρουν σα σκόνη ασβεστοαλκαλικά συστατικά (ασβεστολιθική και δολομιτική σκόνη).

Οι τιμές pH που έχουν οι κυριότερες μάζες φυσικών υδάτων είναι 8,1 έως 8,3 για τα ωκεάνια ύδατα, 6 περίπου για τα ύδατα βροχής (απαλλαγμένα από ρυπαντές) και 7 περίπου για τα ύδατα των ποταμών, ενώ στις τιμές του pH των λιμναίων εμφανίζονται διαφορές.

Ως μέση τιμή υψηλότερου, βασικού (αλκαλικού), ορίου pH στη φύση, αν δεν ληφθούν υπ' όψη οι ακραίες περιπτώσεις βασικών τιμών, λαμβάνεται η τιμή pH = 9.

7.3.2 Το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Redox) στη γεωλογία

Το δυναμικό οξειδοαναγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην επίλυση προβλημάτων που συνδέονται με την οξειδωτική ή αναγωγική συμπεριφορά ενός φυσικού περιβάλλοντος.

Είναι γνωστό ότι στη φύση πολλά στοιχεία, μέταλλα και αμέταλλα, εμφανίζονται με διαφορετικές μορφές και σε διαφορετικές οξειδωτικές βαθμίδες. Σαν παράδειγμα αναφέρονται ο σίδηρος και το θείο. Συγκεκριμένα, ο σίδηρος εμφανίζεται αυτούσιος (στοιχειακός) Fe, δισθενής (όπως στο σιδηρίτη FeCO₃) και τρισθενής (όπως στον αιματίτη Fe₂O₃) με ΑΟ=0, 2 και 3 αντίστοιχα. Το θείο εμφανίζεται αυτούσιο (στοιχειακό), S, με αρνητικό σθένος δισθενές (όπως στο υδρόθειο H₂S), με θετικό δε σθένος τετρασθενές (όπως στο διοξείδιο του θείου SO₂) και εξασθενές (όπως στα θειικά άλατα, δηλαδή στα άλατα που περιέχουν την ομάδα SO₄²⁻) με ΑΟ=0, -2, 4 και 6 αντίστοιχα.

Η σταθερότητα ενός στοιχείου σε ορισμένη οξειδωτική βαθμίδα εξαρτάται από τη μεταβολή της ενέργειας που λαμβάνει χώρα κατά την πρόσληψη ή την αποβολή ηλεκτρονίου (-ων). Σα μέτρο ενεργειακής μεταβολής λαμβάνεται το δυναμικό οξειδοαναγωγής, δηλαδή το δυναμικό μεταβολής του ΑΟ από μια οξειδωτική βαθμίδα σ' άλλη, σε σχέση με το ηλεκτρόδιο του υδρογόνου. Αν το δυναμικό αυτό αναφέρεται σε ενεργότητες ίσες προς τη μονάδα, τότε ονομάζεται κανονικό δυναμικό και συμβολίζεται με E°.

Το φυσικό περιβάλλον, όπως είναι το θαλάσσιο ύδωρ, η λάσπη βάλτου, το έδαφος, δεν έχει καθορισμένη σύσταση. Είναι μίγμα διαφόρων συστατικών, η αναλογία και η χημική συμπεριφορά των οποίων καθορίζουν τον οξειδωτικό ή αναγωγικό χαρακτήρα του φυσικού περιβάλλοντος. Το δυναμικό οξειδοαναγωγής του φυσικού περιβάλλοντος συμβολίζεται με το Eh.

Το θαλάσσιο ύδωρ κοντά στην επιφάνεια, όπου είναι εμπλουτισμένο με αέρα, εμφανίζει Eh=+300mV (οξειδωτικό περιβάλλον) ενώ κοντά στον πυθμένα, όπου υπάρχει περίσσεια οργανικών ουσιών και έλλειψη οξυγόνου, εμφανίζει Eh=-600mV (αναγωγικό περιβάλλον). Στα επιφανειακά ύδατα της θάλασσας, όπου επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες (Eh θετικό), το θείο βρίσκεται με τη μορφή του SO₄²⁻, ενώ στα ύδατα του πυθμένα κλειστών κυρίως λεκανών, όπου επικρατούν αναγωγικές συνθήκες (Eh αρνητικό), το θείο βρίσκεται με τη μορφή H₂S. Γενικά, με τη βοήθεια του δυναμικού οξειδοαναγωγής υδάτινου περιβάλλοντος,

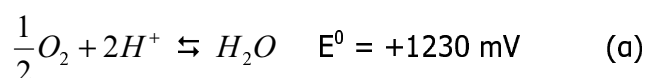
είναι δυνατό να υπολογισθούν με ικανοποιητική ακρίβεια οι συγκεντρώσεις των ιόντων ή ενώσεων του θείου στο συγκεκριμένο περιβάλλον.

Πίνακας 7.7 Κανονικά δυναμικά αντιδράσεων στη φύση, με γεωφυσικό ενδιαφέρον.

Αντίδραση	E° (mV)
$\text{Co}^{2+} \rightleftharpoons \text{Co}^{3+} + \text{e}^-$	1840
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NiO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	1750
$\text{Mn}^{2+} \rightleftharpoons \text{Mn}^{3+} + \text{e}^-$	1510
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	1460
$2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	1230
$\text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	1230
$\text{Fe}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe(OH)}_3 + 3\text{H}^+ + \text{e}^-$	980
$\text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NO}_3^- + 10\text{H}^+ + 8\text{e}^-$	840
$\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$	770
$\text{Ni(OH)}_2 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	490
$4\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$	400
$\text{PbO} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	250
$\text{Co(OH)}_2 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Co(OH)}_3 + \text{e}^-$	170
$\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	170
$\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{S}^0 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	140
$\text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^-$	140
$\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	0
$\text{Mn(OH)}_2 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 2\text{e}^-$	-50
$\text{NH}_3 + 9\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O} + 8\text{e}^-$	-130
$\text{Mn(OH)}_2 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Mn(OH)}_3 + \text{e}^-$	-400
$\text{Fe(OH)}_2 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Fe(OH)}_3 + \text{e}^-$	-550
$\text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	-930

Τα κανονικά δυναμικά ορισμένων αντιδράσεων οξειδοαναγωγής με γεωχημικό ενδιαφέρον, δίνονται στον παραπάνω πίνακα. Όπως φαίνεται στον πίνακα, στις περισσότερες αντιδράσεις παίρνουν μέρος ιόντα H^+ ή OH^- , γεγονός που σημαίνει ότι η πορεία των αντιδράσεων αυτών και επομένως και το Eh του φυσικού περιβάλλοντος εξαρτάται από το pH του. Μεταβολή της τιμής του pH του περιβάλλοντος μπορεί να προκαλέσει σημαντική μεταβολή της τιμής του Eh.

Το πιο ισχυρό και πιο άφθονο οξειδωτικό στη φύση είναι το οξυγόνο. Επομένως η υψηλότερη τιμή δυναμικού οξειδοαναγωγής σε φυσικό περιβάλλον θα καθορίζεται από την αντίδραση:



Το δυναμικό της αντίδρασης (α) εξαρτάται από το pH του ύδατος, το οποίο, προφανώς, έχει την ενεργότητα ιόντων υδρογόνου διαφορετικής της μονάδας και από την

πίεση του O_2 η οποία, για τη συνήθη συγκέντρωση του O_2 στη φύση είναι 0,2 atm, αντί της μονάδας.

Με τις προϋποθέσεις αυτές, το δυναμικό της αντίδρασης (α) θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$E = 1,23 + 0,03 \log [O_2]^{1/2} [H^+] \quad (\beta)$$

και αν γίνει αντικατάσταση όπου $[O_2] = 0,2$

τότε, αντί του E θα έχουμε το Eh του συστήματος, δηλαδή θα είναι:

$$E_h = 1,23 + 0,03 \log [0,2]^{1/2} + 0,059 \log [H^+] \quad (\gamma)$$

Η σχέση (γ) διαμορφώνεται τελικά στη σχέση:

$$E_h = 1,22 - 0,059 \text{ pH} \quad (\delta)$$

Οι ανώτερες τιμές Eh που έχουν μετρηθεί στη φύση είναι μικρότερες απ' αυτή που προκύπτει από την εξίσωση (δ).

Έτσι, για τον υπολογισμό της ανώτερης τιμής Eh φυσικού περιβάλλοντος, χρησιμοποιείται η εμπειρική σχέση:

$$E_h = 1,04 - 0,059 \text{ pH} \quad (\epsilon)$$

η οποία προτάθηκε από τον Baas Becking και τους συνεργάτες του (1960).

Ανάλογα, το ισχυρότερο αναγωγικό στη φύση θεωρείται το υδρογόνο. Επομένως η (αλγεβρικά) χαμηλότερη τιμή του δυναμικού οξειδοαναγωγής σε φυσικό περιβάλλον θα εξαρτάται από το κανονικό δυναμικό του ηλεκτροδίου υδρογόνου, δηλαδή:



Η τιμή του δυναμικού της αντίδρασης (a1) για συνθήκες διαφορετικές από αυτές του κανονικού δυναμικού θα είναι:

$$E = 0 + 0,03 \log [H^+]^2 - 0,03 \log [H_2] \quad (\beta1)$$

και τελικά:

$$E = -0,059 \text{ pH} - 0,03 \log [H_2] \quad (\gamma1)$$

Επειδή όμως η πίεση του H_2 σε φυσικό περιβάλλον, κοντά στην επιφάνεια των υδάτων δε μπορεί να υπερβεί τη 1 atm, ή αλγεβρικά χαμηλότερη τιμή δυναμικού οξειδοαναγωγής σε φυσικά ύδατα θα δίνεται από τη σχέση:

$$E_h = -0,059 \text{ pH} - 0,03 \log [1] \quad (\delta1)$$

και τελικά:

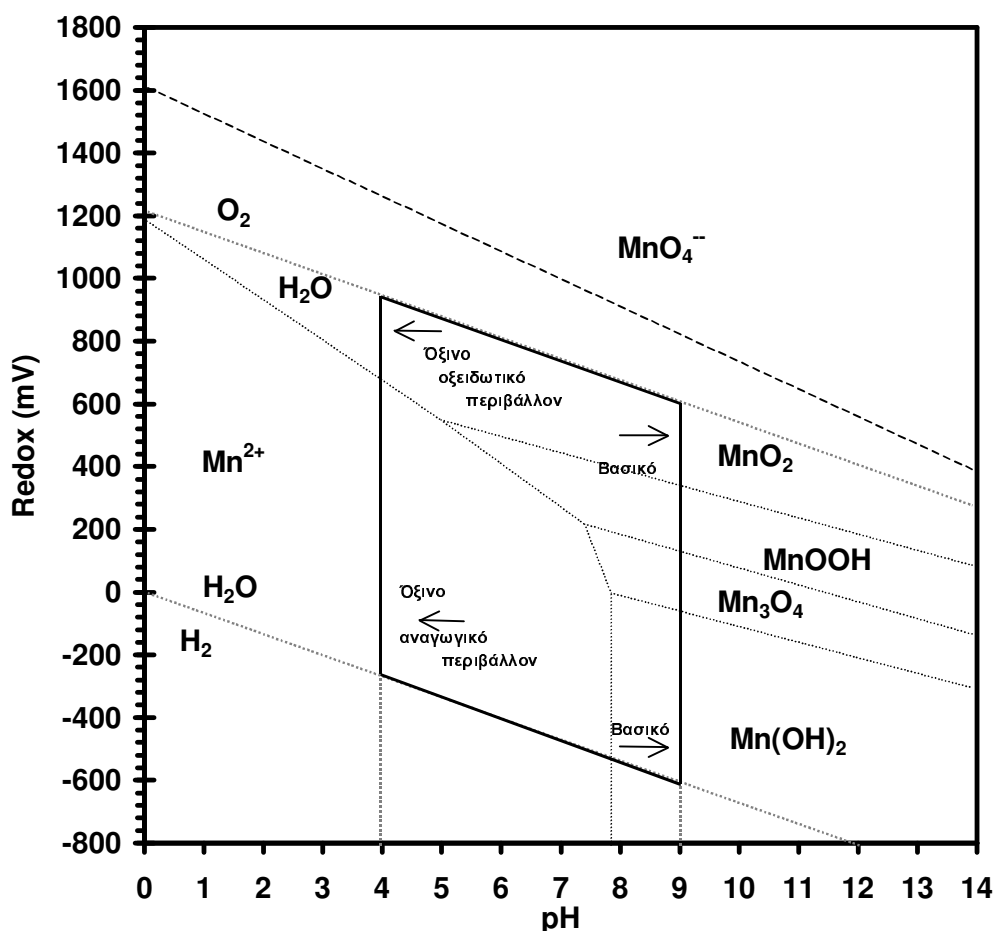
$$E_h = -0,059 \text{ pH} \quad (\epsilon1)$$

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η παρουσία οργανικών ουσιών, που κατά κανόνα εμφανίζουν αναγωγική δράση, έχει σα συνέπεια να λαμβάνονται ακόμη μικρότερες τιμές Eh.

Πολύ σημαντικός είναι ο ρόλος του Eh στον καθορισμό του σημείου ισορροπίας μιας αντίδρασης οξειδοαναγωγής σ' ένα φυσικό περιβάλλον. Με τη βοήθεια του Eh και σε συνάρτηση με το pH είναι δυνατή η εύρεση της αναλογίας μεταξύ της οξειδωτικής και της αναγωγικής μορφής ή, ακόμη περισσότερο, στην εύρεση των διαφόρων μορφών, με τις οποίες ένα στοιχείο βρίσκεται στο συγκεκριμένο περιβάλλον και σ' ορισμένη τιμή pH.

Ο αριθμός οξείδωσης ενός στοιχείου, καθώς και οι καταστάσεις ομογενούς ή ετερογενούς χημικής ισορροπίας των διαφόρων μορφών του στοιχείου σ' ένα υδάτινο περιβάλλον, εξαρτώνται από τις τιμές του Eh και του pH του συστήματος. Παραστατικά, αυτό φαίνεται στα διαγράμματα Eh – pH. Τα διαγράμματα Eh – pH είναι μια χρήσιμη επινόηση για την παράσταση των πεδίων σταθερότητας των διαφόρων μορφών ενός στοιχείου σε συγκεκριμένο υδάτινο περιβάλλον.

Στο Σχήμα 7.5 δίνεται το διάγραμμα Eh – pH για το στοιχείο Mn. Το τετράπλευρο στο κέντρο του σχήματος αναφέρεται στη χημική συμπεριφορά του ύδατος και γενικότερα του υδάτινου περιβάλλοντος. Οι τιμές των ακραίων ορίων pH, δηλαδή 4 και 9, είναι όπως αναφέρθηκε, οι μέσες οριακές τιμές όξινου και βασικού pH του ύδατος στη φύση. Οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες τιμές Eh του ύδατος προσδιορίζονται από τις σχέσεις (ε) και (ε1).



Σχήμα 7.5 Διάγραμμα Redox – pH. Το παραλληλόγραμμο με τη συνεχή γραμμή δείχνει τα συνήθη όρια Redox – pH για το ύδωρ κοντά στην επιφάνεια.

7.3.3 Συσχέτιση των παραμέτρων pH και Redox στη θέση «Ζεστά Νερά»

Από τις προηγούμενες ενότητες έγινε αντιληπτό ότι οι μεταβολές της τιμής του pH ενός περιβάλλοντος μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές μεταβολές στην τιμή του Redox.

Έχοντας υπόψη το παραπάνω συμπέρασμα, έγινε μια προσπάθεια ποιοτικού ελέγχου των μετρήσεων του pH και του Redox του σταθμού «Άγιος Νικόλαος», με τη σύγκριση των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων τους.

Μετρήσεις, των οποίων η διαφορά των μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων των δύο παραμέτρων υπερβαίνει την τιμή $\pm 10\%$, θεωρήθηκαν μη αξιόπιστες και δε συμπεριλήφθηκαν στην περαιτέρω ανάλυση. Επίσης, μικρό δείγμα μετρήσεων (<100 μετρήσεων) δεν λήφθηκαν υπόψη. Όπως φαίνεται στον πίνακα 7.8, αρκετές μετρήσεις θεωρήθηκαν αναξιόπιστες. Δεδομένου ότι τα όργανα μέτρησης χρειάζονται ορισμένο χρόνο «τακτοποίησης» στο

περιβάλλον που τοποθετούνται, και επειδή η συντήρηση του σταθμού «Άγιος Νικόλαος» δεν είναι εφικτό να πραγματοποιείται πολύ συχνά, δε μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για το πώς συμπεριφέρονται αυτοί οι δύο παράμετροι στο συγκεκριμένο περιβάλλον. Εξάλλου, ο χρόνος των μετρήσεων είναι αρκετά μικρός.

Πίνακας 7.8 Οι % μηνιαίες τυπικές αποκλίσεις και οι διαφορές τους για τις παραμέτρους pH και Redox του σταθμού «Άγιος Νικόλαος».

Ημερομηνία	% Μην. Τ. Απόκλιση του pH	% Μην. Τ. Απόκλιση του Redox	Διαφορά
Ιουλ-01	2,0	10,5	-8,5
Αυγ-01	6,39	3,88	2,51
Σεπ-01	1,65	5,8	-4,15
Οκτ-01	6,81	3,77	3,04
Νοε-01	5,3	2,9	2,4
Δεκ-01	3,2	1,49	-
Ιαν-02	-	-	-
Φεβ-02	13	19,3	-
Μαρ-02	13,4	-	-
Απρ-02	47	-	-
Μαϊ-02	10	39,0	-29
Ιουν-02	27,8	21,13	6,67
Ιουλ-02	26,1	8,36	17,74
Αυγ-02	36,4	9,19	27,21
Σεπ-02	78,8	76,7	2,1
Οκτ-02	3,7	43,3	-39,6
Νοε-02	1,9	11,54	-9,64
Δεκ-02	1,44	5,15	-
-	-	-	-
Ιουλ-03	20,0	11,0	9
Αυγ-03	21,6	24,3	-2,7
Σεπ-03	27,4	33	-5,6
Οκτ-03	1,6	6,3	-

*μικρό δείγμα

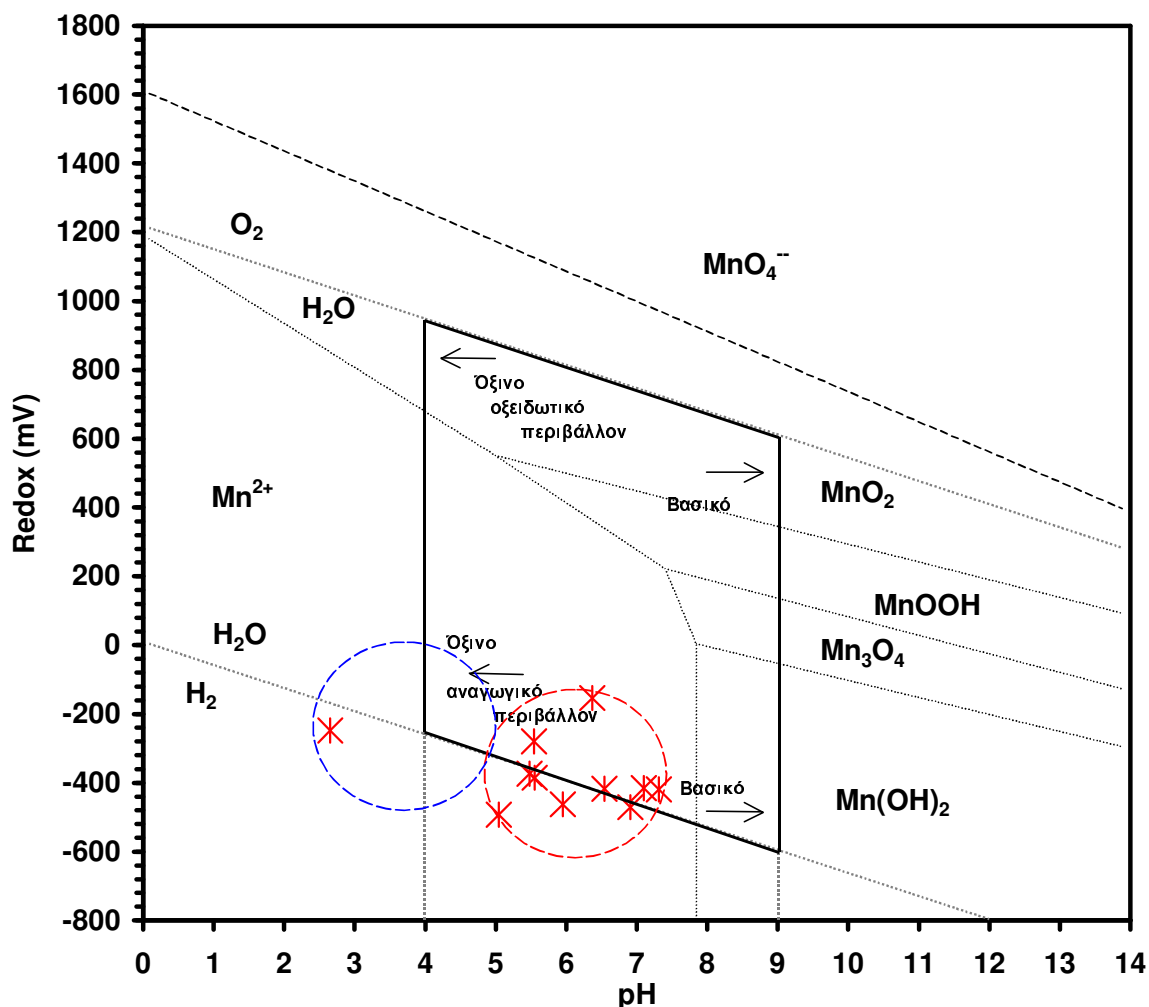
Οι μηνιαίες μέσες τιμές του πίνακα 7.8, που η διαφορά των % μηνιαίων τυπικών αποκλίσεων είναι μικρότερη της τιμής $\pm 10\%$, μεταφέρθηκαν σε διάγραμμα Redox – pH (Σχήμα 7.6).

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, και σαν πρώτη εκτίμηση το περιβάλλον της υδροθερμικής πηγής, στην περιοχή «Ζεστά Νερά» της Παλαιάς Καμμένης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως όξινο αναγωγικό περιβάλλον.

Ενδεχομένως, και με μεγάλη επιφύλαξη, μεταβολή του υδροθερμικού συστήματος του ηφαιστείου θα προκαλούσε αύξηση της περιεκτικότητας των οξειδίων του θείου και του CO₂ στο νερό της υδροθερμικής πηγής, μειώνοντας την τιμή της παραμέτρου του pH και αυξάνοντας την τιμή της παραμέτρου Redox.

Επομένως, μια τέτοια μεταβολή θα εκφραζόταν σ' ένα διάγραμμα Redox – pH με μετατόπιση του πλήθους των μετρήσεων προς τα αριστερά και πάνω του διαγράμματος (μπλε κύκλος).

Οι παραπάνω εκτιμήσεις είναι ενδεικτικές και οπωσδήποτε απαιτείται περισσότερος χρόνος παρατήρησης για να εξαχθούν πιο αξιόπιστα συμπεράσματα.



Σχήμα 7.8 Διάγραμμα Redox – pH για τις μετρήσεις του σταθμού «Άγιος Νικόλαος» στη θέση «Ζεστά Νερά» της Παλαιάς Καμμένης.

7.3.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Conductivity)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αναφέρεται στην ικανότητά του να μεταφέρει – άγει ηλεκτρικά φορτία. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, από τη συγκέντρωσή τους, την ευκινησία, το σθένος και τη θερμοκρασία.

Στα φυσικά γλυκά νερά, η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 50 – 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (μονάδα αγωγιμότητας είναι το mho/cm , δηλαδή το αντίστροφο της αντίστασης (ohm) ή το Siemens/m).

Η αγωγιμότητα του θαλασσινού νερού εξαρτάται από τον αριθμό των διαλυμένων ιόντων ανά όγκο και από την κινητικότητα των ιόντων. Η αγωγιμότητα αυξάνεται ισόποσα με την αύξηση της αλατότητας κατά 0,01, της θερμοκρασίας κατά 0,01 $^{\circ}\text{C}$ και του βάθους κατά 20 μέτρα. Στις περισσότερες πρακτικές ωκεανογραφικές εφαρμογές, οι αλλαγές της αγωγιμότητας σχετίζονται με τις αλλαγές της θερμοκρασίας. Η αύξηση της θερμοκρασίας

επηρεάζει θετικά την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Αυτό συμβαίνει επειδή η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει τη διάσπαση των ηλεκτρολυτών (υδατικά διαλύματα οξέων – βάσεων – αλάτων). Αξίζει να αναφερθεί ότι μετά το 1978, η αρμόδια επιτροπή του Ο.Η.Ε. για την ωκεανογραφία καθιέρωσε διεθνώς, ο υπολογισμός της αλατότητας να γίνεται μέσω της μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Ο υπολογισμός με τη μέθοδο αυτή ονομάζεται πρακτική αλατότητα (*Αλμπανάκης 1999*).

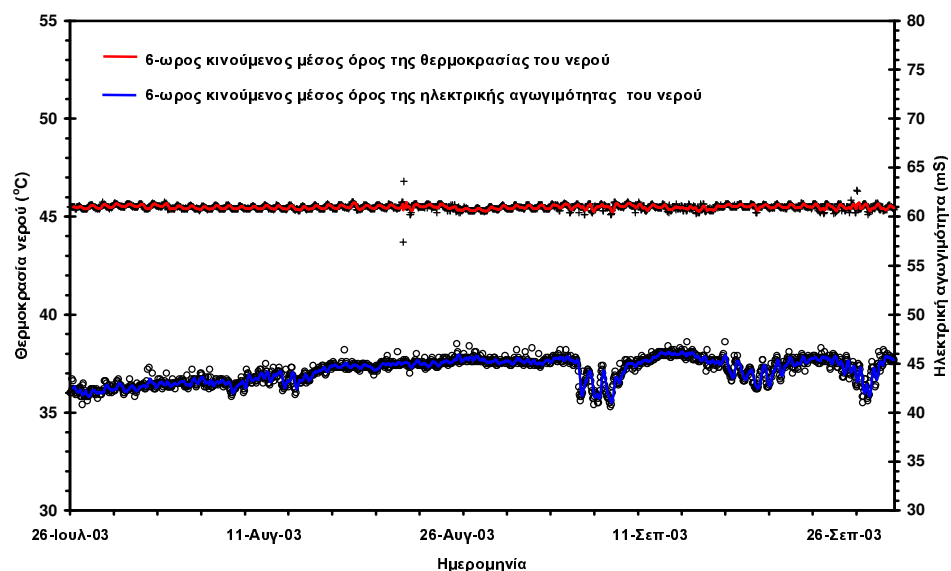
Στο θαλασσινό νερό, η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 50.000 – 60.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

7.3.5 Συσχέτιση της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας του νερού στη θέση «Ζεστά Νερά» της Π. Καμμένης

Έχοντας υπόψη τα στατιστικά στοιχεία και κυρίως τις τυπικές αποκλίσεις της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας του νερού στη θέση «Ζεστά Νερά» από το κεφάλαιο 6, θα παρατηρούσε κάποιος, πώς για τους μήνες Οκτώβριος 2001 – Δεκέμβριος 2002 οι τυπικές αποκλίσεις της αγωγιμότητας είναι πάρα πολύ μεγάλες σε σχέση μ' αυτές της θερμοκρασίας. Τους μήνες Ιούλιος 2003 – Οκτώβριος 2003 οι τυπικές αποκλίσεις των δύο αυτών παραμέτρων είναι πολύ μικρές και σχετίζονται ικανοποιητικά μεταξύ τους.

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, οι μετρήσεις της αγωγιμότητας για την περίοδο Οκτώβριος 2001 – Δεκέμβριος 2002 μπορούν να θεωρηθούν μη αξιόπιστες, στα πλαίσια του χρόνου «τακτοποίησης» του οργάνου στο περιβάλλον εγκατάστασής του.

Η θερμοκρασία του νερού για όλη την παραπάνω χρονική περίοδο δεν έλαβε τιμές μεγαλύτερες των 39°C , που σημαίνει ότι δεν πραγματοποιήθηκε κάποια μεταβολή στο υδροθερμικό σύστημα του ηφαιστείου. Στο Σχήμα 7.9 φαίνεται η παράλληλη πορεία της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας για τους μήνες Ιούλιο 2003 – Σεπτέμβριο 2003.



Σχήμα 7.9 Διάγραμμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας και θερμοκρασίας νερού στην θέση «Ζεστά Νερά» της Παλαιάς Καμμένης.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα στη συγκεκριμένη θέση και για θερμοκρασία με εύρος 35-39 °C, λαμβάνει τιμές με εύρος 57.000-64.000 μS . Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας φανερώνουν πώς πρόκειται μάλλον για θαλασσινό νερό που εισέρχεται στο υδροθερμικό σύστημα του ηφαιστείου και, αφού θερμανθεί και εμπλουτιστεί με διάφορα συστατικά, γίνεται ελαφρύτερο και επανέρχεται στη θάλασσα από το συγκεκριμένο σημείο.

7.4 Συμπεράσματα - Προτάσεις

Οι καταγραφές του συστήματος R.E.Mo.S. στη Σαντορίνη παρουσιάζουν αρκετά μεγάλες διακοπές, λόγω βλάβης των σταθμών. Παρόλα αυτά, υπάρχουν περίοδοι με ταυτόχρονες μετρήσεις και των 4 σταθμών, ώστε να γίνουν δυνατές συγκρίσεις για εκτίμηση της κατακόρυφης παραμόρφωσης του εδάφους.

Από τη στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε, η θερμοκρασία του νερού και του αέρα για όλους τους σταθμούς δεν παρουσιάζει κάποια ανώμαλη συμπεριφορά που να οφείλεται στη δραστηριότητα του ηφαιστείου. Αντίθετα, οι μεταβολές αυτών των παραμέτρων ακολουθούν τον εποχικό κύκλο (χειμώνας – καλοκαίρι).

Από τη συσχέτιση της θαλάσσιας στάθμης των 4 σταθμών φαίνεται πώς οι σταθμοί στα νησιά Καμμένες σε σχέση με τον σταθμό αναφοράς «Γιαλός», στο λιμάνι των Φηρών, παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στην καταγραφή της θαλάσσιας στάθμης. Αυτό φανεώνει πώς διάφορα μετεωρολογικά και ωκεανογραφικά φαινόμενα επιδρούν διαφορετικά στις ηφαιστειακές νησίδες σε σχέση με το λιμάνι των Φηρών. Δηλαδή, ανάλογα με τη διεύθυνση των ανέμων και τη διεύθυνση που μπορεί να έχουν διάφορες θερμές ή ψυχρές μάζες νερού ως προς το λιμάνι, το τελευταίο ως φυσικό εμπόδιο, ενισχύει ή μειώνει το μέγεθος της στάθμης της θάλασσας στις καταγραφές του σταθμού «Γιαλός» ως προς τους άλλους σταθμούς.

Για τον παραπάνω λόγο, παλινδρομικές κινήσεις, που θα παρουσιάζονται στο μέλλον στις συσχετίσεις των σταθμών μεταξύ τους θα πρέπει να αποδίδονται σε τέτοια φαινόμενα και όχι σ' ενδείξεις εδαφικής παραμόρφωσης.

Το μόνο αξιοσημείωτο γεγονός που καταγράφηκε ήταν η μετατόπιση του σταθμού «Γιαλός», που προκλήθηκε από εξωτερική επίδραση. Αυτή η μετατόπιση, σ' άλλη περίπτωση, θα μπορούσε να περιγράψει απότομη ανυψωτική κίνηση της περιοχής του λιμανιού και να αποτελεί ένδειξη για ηφαιστειακή επαναδραστηριοποίηση, σε συνδυασμό πάντα και μ' άλλους δείκτες.

Η γενική τάση του μηνιαίου διάμεσου σ' όλες τις συσχετίσεις των σταθμών είναι κοντά στην τιμή μηδέν. Οι μετρήσεις των παραμέτρων pH, Redox και αγωγιμότητας αντιμετωπίστηκαν με σκεπτικισμό λόγω της ανώμαλης συμπεριφοράς που παρουσίασαν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ωστόσο, από το πλήθος των μετρήσεων συμπεραίνεται πώς η πηγή στη θέση «Ζεστά Νερά» της Π. Καμμένης είναι μια όξινη υδροθερμική πηγή της οποίας το νερό έχει θαλάσσια προέλευση. Το τελευταίο εισέρχεται στο υδροθερμικό σύστημα του ηφαιστείου και, αφού, θερμανθεί και εμπλουτιστεί με διάφορα συστατικά, γίνεται ελαφρύτερο και επανέρχεται στη θάλασσα από το συγκεκριμένο σημείο.

Συνοπτικά, από τις παραπάνω αναλύσεις που αναφέρθηκαν, με όλα τα καταγεγραμμένα μεγέθη από το τηλεμετρικό σύστημα R.E.Mo.S, εκτιμάται ότι είναι σε φυσιολογικά επίπεδα. Αυτό δηλώνει ότι το ηφαιστειο της Σαντορίνης, στο χώρο που καλύπτεται από το δίκτυο, συνεχίζει για την τριετία, Οκτώβριος 2000 – Οκτώβριος 2003, να βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας.

Η πρωτότητα των ηλεκτρονικών οργάνων που φανερώνουν οι συχνές βλάβες, απαιτεί πιο συχνές συντηρήσεις των σταθμών, στις οποίες θα περιλαμβάνεται και επί τόπου ρύθμιση της σωστής λειτουργίας τους. Βέβαια, κάτι τέτοιο αυξάνει σημαντικά το κόστος συντήρησης του δικτύου, αλλά είναι απαραίτητο για την αξιοπιστία των δεδομένων.

Η ανάλυση των δεδομένων απαιτεί υπερβολική προσοχή, ώστε να εντοπίζονται τα απρόσκοπτα λάθη για την αποφυγή εσφαλμένων συμπερασμάτων, που θα οδηγούσαν σε ανεπιθύμητους ψευδο-συναγερμούς, μ' ό,τι συνεπάγονται αυτοί. Εξάλλου, ακόμη και η ύπαρξη πρόδρομων φαινομένων δεν οδηγεί πάντα σε ηφαιστειακές εκρήξεις, αν και το πρόβλημα αυτό δε δείχνει ότι θα λυθεί στο άμεσο μέλλον.

Τα δεδομένα, εκτός από ηφαιστειολογικό ενδιαφέρον, παρουσιάζουν και ωκεανογραφικό – μετεωρολογικό. Το μεγαλύτερο πλήθος των χρονοσειρών είναι ωριαίο και μπορούν να προκύψουν πρωτότυπα συμπεράσματα από την σκοπιά της μετεωρολογίας και της ωκεανογραφίας.

Η προσπάθεια που έγινε, και συνεχίζεται από το ΙΜΠΗΣ είναι σημαντική γιατί, η συνεχής παρακολούθηση του ηφαιστείου της Σαντορίνης δίνει τη δυνατότητα κατανόησης της λειτουργίας του με πραγματικά δεδομένα. Επίσης, εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη, συστηματική και μακροχρόνια λήψη μετρήσεων και διαμορφώνονται βάσεις δεδομένων ηφαιστειολογικών μετρήσεων, χρήσιμες σ' οποιονδήποτε θελήσει να μελετήσει μελλοντικά το ηφαιστειο σε βάθος. Επίσης, θωρακίζεται η Σαντορίνη μ' ένα επιπλέον δίκτυο, που μαζί με τα υπόλοιπα, εγγυούνται την έγκαιρη πρόβλεψη τυχόν επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου.

Τέλος, για τη συνέχιση και συντήρηση της προσπάθειας αυτής θα πρέπει να παρέμβει ενεργά ο κρατικός φορέας και η εμπειρία και η γνώση που αποκτήθηκε μέχρι σήμερα στη Σαντορίνη να αξιοποιηθεί ανάλογα και στα υπόλοιπα ενεργά κέντρα του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου (Νίσυρος – Μέθανα – Μήλος).

Βιβλιογραφία

- Αγγελής, Ε., 1999. Εισαγωγή στο Matlab (σημειώσεις για το εργαστήριο του μαθήματος Εφαρμοσμένα Μαθηματικά Ι). Τμήμα Πληροφορικής, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 74.
- Agnew, D.C., 1986. Strainmeters and tiltmeters. *Rev. Geophys.*, 24, no. 3, pp. 579-624.
- Ακύλας, Β., 1925. Τα ηφαίστεια και η νήσος Θήρα. 1^{ος} τόμος, Αθήνα, Ελλάδα.
- Albanakis, K., Laopoulos, T. and Kosmatopoulos, C., 1996. Sea-Level Monitoring of Santorini Volcanic Islands by a Network of Remote Wireless Stations. Santorini Volcano Laboratory, Final Report, Vol. III.
- Albanakis K., Laopoulos Th. and Kosmatopoulos C., 1996. Sea-level monitoring network of Santorini volcanic islands. In: *Proceedings of 2nd Workshop on European Laboratory Volcanoes*, Santorini, Greece.
- Αλμπανάκης, Κ., 1999. Μαθήματα Ωκεανογραφίας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 160.
- Aurelius, S.V., Ivth cent., *Historia Romana*.
- Banks, N.G, Tilling R.I., Harlow D.H., Ewert J.W., 1989. Volcano monitoring and short-term forecasts. In: Tilling R.I. (ed), *Volcano Hazards*. American Geophysical Union, Washington, DC. Short Course in Geology, vol. 1, pp. 26-80. US Geol. Surv. Publication. Spanish version (Les peligros volcanicos) published in 1993 by the US Geol. Surv; Bernardo Beate, translator, and Robert I. Tilling, editor.
- Barton, M., Salters, V.J.M., Huijsmans, J.P.P., 1986. Sr-isotope and trace element evidence for the role of continental crust in calc-alkaline volcanism on Santorini and Milos, Aegean Sea, Greece. *Earth and Planetary Science Letters* 63, pp. 273-291.
- Barton, M., Huijsmans, J.P.P., 1986. Post caldera dacites from the Santorini volcanic complex, Aegean Sea, Greece: an example of the eruption of lavas of near constant composition over a 2200 year period. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 94, pp. 472-495.
- Benetatos, C., Kiratzi, A., Papazachos, C. and Karakaisis, G., 2003. Focal mechanisms of shallow and intermediate depth earthquakes along the Hellenic Trench. Submitted to *Journal of Geodynamics* (under review).
- Berk, K., Carey, P., 2000. *Data Analysis with Microsoft Excel*. Duxbury Thomson Learning, Canada, pp. 587.
- Berrino, G., Corrado, C., Luongo, G. and Toro, B., 1984. Ground deformation and gravity changes accompanying the 1982 Pozzuoli uplift. *Bull. Volcanol.*, 47-2, pp. 187-200.

- Berrino, G., Corrado, G., 1991. Tidal signal in the recent dynamics of Campi Fleigrei caldera (Italy). *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 48, pp. 93-101.
- Berrino, G., 1993. Monitoring Vertical Movements in Volcanic Areas through Tide-Gauges. WOVO Workshop, Program and Abstracts.
- Berrino, G., 1998. Detection of vertical ground movements by sea-level changes in the Neapolitan volcanoes. *Tectonophysics* 294, pp. 323-332.
- Βουγιουκαλάκης, Γ., Κολιός, Ν., Φυτίκας, Μ., 1990. Μελέτη της δραστηριότητας του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Σαντορίνης. Μοντέλο συμπεριφοράς του ηφαιστείου. Εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου και επικινδυνότητας καθώς και των δυνατοτήτων πρόβλεψης πιθανής επαναδραστηριοποίησης». Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Διεύθυνση Ενεργειακών Πρώτων Υλών, Αθήνα, σελ. 34.
- Budetta, G., Condarelli, D., Fytikas, M., Kolios, N., Pascuare, G., Rapolla, A., Pinna, E., 1984. Geophysical prospecting on the Santorini islands. *Bull. Volcanol.*, Vol. 47, pp. 447-466.
- Chadwick, W.W., Iwatsubo, E.Y., Swanson, D.A. and Ewert, J.W., 1985. Measurements of slope distances and vertical angles at Mount Baker and Mount Rainier, Washington, Mount Hood and Crater Lake, Oregon and Mount Shasta and Lassen Peak, California, U.S. Geol. Surv. Open-File Report 85-205, pp. 95.
- Chadwick, W.W., Archuleta, R.J., Swanson, D.A., 1988. The mechanics of ground deformation precursory to dome-building extrusions at Mount St Helens 1981-82. *Journal of Geophysical Research* 93, pp. 4351-66.
- Δελημπάσης, Ν., Σαχπαζή, Μ., Χαιλάς, Σ., Καραντώνης, Γ., 1990. Έκθεση αποτελεσμάτων μικροσεισμικής παρακολούθησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης.
- Δημητριάδης, Ι., 2001. Σεισμολογική παρατήρηση ηφαιστειών: Η περίπτωση του Mauna Loa στη Χαβάη. Διπλωματική εργασία, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωφυσικής, Θεσσαλονίκη.
- Decker, R.W., Kinoshita W.T. Geodetic measurements. In: Surveillance and prediction of volcanic activity. UNESCO, Paris, pp. 47-74.
- Doukas, M.P., Ewert J.W., 1980-1990. Installation of benchmarks and permanent reflectors for geodetic deformation networks. In: Monitoring volcanoes: techniques and strategies used by the staff of the Cascades Volcano Observatory, 1980-1990. US Geol. Survey Bull 1966, pp. 115-124. Spanish version published in 1993 by the US Geol. Survey (Crista von Hillebrandt-Andrade, translator): Vigilando volcanes: Tecnicas y estrategias embleadas por el personal del Observatorio Vulcanologico Cascades.
- Dracopoulos, P. and Lascaratos, A., 1993. Interannual Variability of the Sea Level in the Aegean and the Ionian Seas. In: Proceedings of 4th Nat. Symp. Oceanogr. Fish., pp. 180-183.
- Druitt, T.H., Mellors, R.A., Pyle D.M., Sparks, R.S.J., 1989. Explosive volcanism on Santorini, Greece. *Geological magazine*, Vol 126-2, pp. 95-213.
- Druitt, T.H., 1989. The Pyroclastic Stratigraphy and Volcanology of Santorini. In: Proceedings of 3rd Int. Congress Thera and the Aegean World III, Vol. 2, Earth Sciences, pp. 27-28.

- Dvorak, J.J. and Berrino, G., 1991. Recent ground movement and seismic activity in Campi Flegrei, Southern Italy: episodic growth of a resurgent dome. *Journal of Geophysical Research* 96, pp. 2309-23.
- Dzurisin, D., and Yamashita, K.M., 1987. Vertical surface displacements at Yellowstone caldera, Wyoming, 1976-1986. *J. Geophys. Res.* 92, pp. 13,307-13,714.
- Dzurisin, D., Johnson, D.J., Murray, T.L., and Myers, B., 1982. Tilt networks at Mount Shasta and Lassen Peak. California, U.S. Geol. Surv. Open-File Report 82-670, pp. 42.
- Dzurisin, D., Johnson, D.J., and Symonds, R.B., 1983a. Dry tilt networks at Mount Rainier. Washington, U.S. Geol. Surv. Open-File Report 83-277, pp. 19.
- Dzurisin, D., Westphal, J.A. and Johnson, D.J., 1983b. Eruption prediction aided by electronic tiltmeter data at Mount St. Helens. *Science*, 221, pp. 1381-1383.
- Eaton, G.P., 1959. A portable water-tube tiltmeter. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 49, pp. 301-316.
- Ewert, J., 1989. A trigonometric method for monitoring ground tilt using small aperture arrays. U.S. Geol. Surv. Open-File Report 89-???, (in press).
- Ewert, J.W., Swanson, D.A., 1980-1990. Monitoring volcanoes: techniques and strategies used by the staff of the Cascades Volcano Observatory. *US Geol. Surv. Bull.* 1966.
- Fritzas, C. I. & Papadopoulos, G.S., 1988. Volcanic risk and urban planning in the region of Santorini volcano, South Aegean, Greece. In: Marinis P. G. & Koukis G. C. eds: *Proc. Int. Symp. on the Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, Preservation and Protection*, Athens, September, pp. 1321-1327.
- Fytikas, M., Kolios, N. & Vougioukalakis, G., 1989. Post Minoan Volcanic Activity of the Santorini Volcano. Volcanic hazard and risk. Forecasting possibilities. In: *Proceedings of 3rd Int. Congress Thera and the Aegean World III*, Vol. 2, Earth Sciences, pp. 183-198.
- Fouque, F., 1879. *Santorin et ses eruptions*. Masson et cie, Paris.
- Georgalas, G., 1953. L' eruption du volcan de Santorin en 1950. *Bull. Volcanol.*, Vol. 13, pp. 39-55.
- Georgalas, G., 1959. L' eruption du dome Niki. *Bull. Volcanol.*, Vol. 24.
- Georgalas, G. & Kokkoros, P., 1940. Uder den Ausbruch des Santorini Vulcanes von 1939. *Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών*, τόμος 15, σελ. 177-195.
- Γεωργαλάς, Γ. & Λιάτσικας, Ν. 1926-α. Η έκρηξη του 1925 του ηφαιστείου της Θήρας. *Έργα Α-17*, 15/2/1926.
- Georgalas, G. & Liatsikas, N., 1926-b. Le volcan de Santorin a' la fin du mois d' Avril et au commencement du mois de Mai 1926. *Public. du Bur. Geol.*, nbr 15, Athens.
- Γεωργαλάς, Γ. & Λιάτσικας, Ν., 1932. Συμβολή στη μελέτη των εκρήξεων του 1925-26 και του 1928 του ηφαιστείου της Σαντορίνης. *Δελτίο Θαλασσογραφικής Υπηρεσίας Ελλάδας*, σελ. 12-1.
- Georgalas, G. & Papastamatiou, J., 1953. L' eruption du volcan du Santorin en 1939-41. L' eruption du dome Fouque. *Bull. Volcanol.*, Vol. 13, pp. 3-18.

- Heiken, G. & Mc Coy, F., 1984. Caldera development during the Minoan eruption, Thera, Cyclades, Greece. *J. of Geophysical Res.*, Vol 89, B-10, pp. 8441-8462.
- Huijsmans, J.P.P., 1985. Calc-alkaline lavas from the volcanic complex of Santorini, Aegean Sea, Greece, p.h.D. thesis.
- Iwatsubo, Y., Swanson, D.A., 1980-90. Methods used to monitor deformation of the crater floor and lava dome at Mount St. Helens, Washington. In: *Monitoring volcanoes: techniques and strategies used by the staff of the Cascades Volcano Observatory*, US Geol. Survey Bull 1666, pp. 53-68.
- Jarrige, J.J., 1978. Etudes neotectoniques dans l' arc volcanique Egeen. Ile de Kos et Milos. p.H.D. thesis.
- Johnson, D.J., Anderson, J.L., 1993. Tacheometric strain analysis and its application to monitoring of precursory deformation of stratovolcanos. IAVCEI meeting abstract. Canberra, 1993. *Hawaii Center Volcanol. News* 1: 2.
- Kamo, K., Ishihara, K., 1989. A preliminary experiment on automated judgment of the stages of eruptive activity using tiltmeter records at Sakurajima, Japan. In: Latter J.H. (ed), *Volcanic hazards*. IAVCEI Proc. Volcanol, vol. 1. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 585-598.
- Kasser, M., 1985. Appareils electroniques de mesures de distances. Institut Geographique National, Paris, pp. 29.
- Keller, J., Ryan, W.B.F., Ninkovich, D. & Alther, R., 1978. Explosive volcanic activity in the Mediterranean over the past 200.000 years as recorded in deep-sea sediments. *Geological Society of America Bulletin* 89, pp. 591-604.
- Kokelaar, B.P., 1983. The mechanism of Surtseyan volcanism. *J. Geol. Soc. London*, Vol. 140, pp. 939-944.
- Κολυβά-Μαχαίρα, Φ., Μπόρα-Σέντα, Ε., 1995. Στατιστική, Θεωρία, Εφαρμογές. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 495.
- Κοσματοπούλος, Κ., Νεοφώτιστος, Π., Λαόπουλος, Θ., Υφαντής, Β., Αλμπανάκης, Κ., 2001. Ανάπτυξη τηλεχειριζόμενου δικτύου σταθμών παρακολούθησης παραμέτρων της ηφαιστειακής δραστηριότητας στη Σαντορίνη. Έκθεση του Ινστιτούτου Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης (ΙΜΠΣ), Θεσσαλονίκη.
- Kinoshita, W.T., Swanson, D.A., and Jackson, D.B., 1974. The measurement of crustal deformation related to volcanic activity at Kilauea Volcano, Hawaii. In: *Physical Volcanology*, edited by L. Civetta, P. Gasparini, G. Luongo, and A. Rapolla, pp. 87-115, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands.
- Kirienko, A.P., Nikitenko V.P., 1990. Some features of horizontal and vertical displacements of the earth's surface observed at the Petropavlovsk Geodynamic Site (Kamtchatka). *Volc Seis* 8(3): pp. 350-365.
- Kleinman, J.W. and Otway, P.M., 1992. Lake-level monitoring as a tool for studies of crustal deformation. In: Ewert, J.W., Swanson DA (eds), *Monitoring volcanoes: techniques and strategies used by the staff of the Cascades Volcano Observatory 1980-1990*. US Geol. Surv. Bull 1666: pp. 159-174.

- Κτενάς, Κ., 1926-α. L' eruption du volcan des kamenis Santorin en 1925. I. Bull. Volcanol., Vol. 3, pp. 3-64.
- Κτενάς, Κ., 1926-β. Χαρακτηριστικά των εκρήξεων του ηφαιστείου των Καμμένων. Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών, τόμος 1, σελ. 75-83.
- Ktenas, K., 1927. L' eruption du volcan des Kammenis Santorin en 1925. II. Bull. Volcanol., Vol. 4, pp. 7-46.
- Κτενάς, Κ. & Κόκκορος, Π., 1928-α. Η παρασιτική έκρηξη του ηφαιστείου της Καμμένης την 23^η Ιανουαρίου 1928. Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών, τόμος 3, σελ. 134-140.
- Ktenas, K., Kokkoros, P., 1928-b. Sur la deuxieme phase de l' eruption parasitaire de Fouque Kammeni. Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών, τόμος 3, σελ. 316-322.
- Κυτίνο, Β., 1978. Ανόργανος Χημεία Συνοπτική. Εκδόσεις Γρηγόρη, Αθήνα.
- Laopoulos Th., Kosmatopoulos C. and Albanakis K., 1996. The remote monitoring system of the Santorini volcano: from sea-level monitoring to an Integrated Remote Volcanological Monitoring Network (IRVMN). In: Proceedings of 2nd Workshop on European Laboratory Volcanoes, Santorini, Greece.
- Latter, J. K., 1981. Tsunamis of Volcanic Origin: Summary of Causes with Particular Reference to Krakatoa, 1983. Bull. Volcanol., Vol. 44, pp. 468-490.
- Liatsikas, N., 1942. Uber den polyzentrischen Ausbruch des Santorini Volcanoes von 1939-41 mit einigen Bemerkungen ueber die Triton-Kuppe. 35eme anniversaire du travail scientifique du Prof. N. A. Kritikos, Athens, pp. 92-114.
- McGee, K., Sutton, A., Wieprecht, D. and Iven, M., 1966. Techniques for Continuous Monitoring of Surface Water at Active Volcanoes: Examples from Loowit Drainage, Mount St. Helens, and Kelut Crater Lake, Indonesia. U. S. Geological Survey Bulletin, pp. 175-179.
- Mc Kenzie, D. P., 1978. Active tectonics of the Alpine Himalayan Belt: The Aegean sea and Surrounding regions. Geoph. J. Royal Astr. Soc., Vol. 55, pp. 217-254.
- Mercier, J.L., 1979. Signification neotectonique de l' Arc Egeen. Une revue des idees. Revue de Geologie Dynamique et de Geographie Phisique, Vol. 21-1.
- Miklius, A., Okamura, A.T., Sako, M. K., Nakata, J. and Dvorak, J., 1993. Current status of geodetic monitoring of Mauna Loa Volcano [abs.]. Eos Trans. AGU, 74, pp. 629.
- Mogi, K., 1958. Relations between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them. Bull Earthq Res. Inst. 36: pp. 99-134.
- Mountrakis, D.M., Pavlides, S.B., Chatzipetros, A., Meletlidis, S., Tranos, M.D., Vougioukalakis, G. and Kiliass, A.A., 1996. Active deformation of Santorini. Proceedings of 2nd Workshop on Eyropean Laboratory Volcanoes, May 2-4 1996, Santorini, Greece, pp. 13-22.
- Namakura, K., 1977. Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation. Principle and Proposal. J. Volcanol. Geoth. Res., Vol. 2, pp. 1-16.
- Nichols, I.A., 1971. Petrology of the Santorini Volcano, Cyclades, Greece. J. of Petrology, Vol. 12, pp. 67-119.

- Ξυνογαλάς, Μ., Χαΐλας, Σ., 1987. Ηφαιστειακός κίνδυνος του ηφαιστείου της Σαντορίνης. Διπλωματική εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθήνας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας, Αθήνα, σελ. 136.
- Owen, S., Segall, P., Freymueller, J., Miklius, A., Denlinger, R., 1993. 1990-1993 Surface displacements on Kilauea volcano determined by GPS. AGU Fall Meet 1993, Abstr. Hawaii Center Volcanol. NewsI 1: 2.
- Papadopoulos, G.A., 1989. Deterministic and stochastic models of the seismic and volcanic events in the Santorini volcano. 3rd Int. Congress Thera and the Aegean World III., Vol. 2, Earth Sciences, pp. 151-159.
- Papageorgiou Ch., Kosmatopoulos C. and Laopoulos Th., 1998. Development of a remote environmental monitoring system (Re.Mo.S.). In: Proceedings of 10th International Symposium on Developments in Digital Measuring Instrumentation, Naples, Italy.
- Papazachos, B.C., 1989. Long and Short Term Prediction of Volcanic Eruptions in Santorini. In: Proceedings of 3rd Int. Congress Thera and the Aegean World III, Vol. 2, Earth Sciences, pp. 224-228.
- Papazachos, B.C., Papazachou, C.B., 1997. The Earthquakes of Greece. Ziti Publ., Thessaloniki, Greece, pp. 304.
- Pavlidis, S.B. and Valkaniotis, S., 2003. Tectonic regime of Santorini-Amorgos area. In: Proceedings of International Conference The South Aegean Active Volcanic Arc: Present Knowledge and Future Perspectives, September 17-20 2003, Milos Island, Greece. Book of abstracts, p. 76.
- Pawlowicz, R., Beardsley, B., Lentz, S., 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in Matlab using t_tide. Computers and Geosciences, Vol. 29, pp. 929-937.
- Pichler, H., Kussmaul, S., 1980. Comments on the Geological map of the Santorini islands. In: Doumas, C., ed., Thera and the Aegean World-II, pp. 413-426.
- Reck, H., 1936. Santorin. –Der Wendergang eines Insel- vulcans und sein Ausbruch 1925-1928. Dietrich Reimer, Berlin, 3 vols.
- Σεισμοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας, 1989. Δοκίμιο Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ).
- Shepherd, J.B., Sigurdsson, H., 1982. Mechanism of the 1979 explosive eruption of Soufriere volcano, St Vincent. J. Volcanol. Geoth. Res., Vol. 13, pp. 119-130.
- Στρατήης, Ι., Παπαδογιάννης, Ι., 1992. Εισαγωγή στην Αναλυτική Χημεία. Εκδόσεις Γραφικές Τέχνες, Θεσσαλονίκη.
- Stravo, 66 B.C. – 46 A.D. Geographica.
- Scarpa, R., Tilling, R.I., 1996. Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, pp.841.
- Swanson, D.A., Duffield, W.A. and Fiske, R.S., 1976. Displacement of the south flank of Kilauea Volcano: The result of forceful intrusion of magma into the rift zones. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 963, pp. 30.
- Swanson, D.A., Lipman, P.W., Moore, J.G., Heliker, C.C. and Yamashita, K.M., 1981. Geodetic monitoring after the May 18 eruption. In: The 1980 eruptions of Mount St.

- Helens, Washington, edited by P.W. Lipman and D.R. Mullineaux, U.S. Geol. Survey Prof. Paper. 1250, pp. 157-168.
- Swanson, D.A., Casadevall, T.J., Dzurisin, D., Malone, S.D., Newhall, C.G. and Weaver, C.S., 1983. Predicting eruptions at Mount St Helens, June 1980 through December 1982. *Science*, 221, pp. 1369-1376.
- Swanson, D.A., Casadevall, T.J., Dzurisin, D., Holcomb, R.T., Newhall, C.G., Malone, S.D., Weaver, C.S., 1985. Forecasts and predictions of eruptive activity at Mount St Helens. USA: 1975-1984. *Journal of Geodynamics* 3, pp. 397-423.
- Tilling, R.I., 1989a. Short courses in geology. Vol. 1: Volcanic hazards. Washington DC: American Geophysical Union (ed.).
- Tilling, R.I., 1989b. Volcanic hazards and their mitigation: Progress and problems. *Reviews of Geophysics* 27, pp. 237-69.
- Tilling, R.I., Topinka, L., Swanson, D.A., 1990. United States Geological Survey General Interest Publication, Eruptions of Mount St Helens: Past, present, and future (revised edition). Reston, Virginia: USGS.
- Tilling, R.I., 1992. Volcanic-hazards mitigation and population growth: *Volcano Quarterly* 1, pp. 13-6.
- Tilling, R.I., 1995. The role of monitoring in forecasting volcanic events. In: *Monitoring Active Volcanoes: Strategies, Procedures, and Techniques*, edited by McGuire, W.J., Kilburn, C.R.J., and Murray, J.B.: Ch. 14, pp. 369-401, University College London Press.
- Tryggvason, E., 1987. Myvatn lake level observations 1984-1986 and ground deformation during a Krafla eruption. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 31, pp. 131-138.
- Van der Laat, R., 1996. Ground-deformation methods and results. In: Scarpa, Tilling (eds), *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*, pp. 147-168.
- Washington, H.S., 1926. Santorini eruption of 1925. *Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol. 37, pp. 349-384.
- Yamashita, K.M., 1981. Dry tilt: a ground deformation monitor as applied to the active volcanoes of Hawaii. U.S. Geol. Surv. Open-File Report 81-523, pp. 21.
- Yamashita, K.M., 1982. El inclinometro seco: un vigilante de la deformación ligada al vulcanismo active en Hawaii. *Boletín de Vulcanología (Costa Rica)*, 12, pp. 11-17, [Spanish translation of Yamashita (1981) by R. Van der Laat V.].
- Υφαντής, Β., 2002. Παρακολούθηση των ηφαιστειών με τις μεθόδους μέτρησης της εδαφικής παραμόρφωσης. Σεμινάριο στα πλαίσια του πρώτου κύκλου Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη, σελ. 54.
- Yfantis, V., Kosmatopoulos, C., Albanakis, K., Laopoulos, Th., 2003. Monitoring of Ground Deformation Processes on Santorini Volcano Island Through the Sea-level Continuous Registration and Other Physicochemical Parameters. In: *Proceedings of International Conference The South Aegean Active Volcanic Arc: Present Knowledge and Future Perspectives*, September 17-20 2003, Milos Island, Greece. Book of abstracts, p.p. 99-100.

Χαριστός, Δ., Γιούρη-Τσοχατζή, Αικ., Μανουσάκης, Γ., 1993. Γενική και Ανόργανη Χημεία Γεωλόγων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Zachos N., Kosmatopoulos C. and Laopoulos Th., 1995. A wireless network of remote measuring stations: Application in water level monitoring. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE '95, Athens, Greece.

Διάφορες διευθύνσεις που χρησιμοποιήθηκαν από το internet:

<http://volcanoes.usgs.gov/About/What/Monitor/Deformation/GrndDefrm.html>

http://vulcan.fis.uniroma3.it/Campi_Flegrei/Campi_flegreitext.html

<http://www.bghrc.com/teach/C471.5.ppt>

<http://volcano.und.nodak.edu/vwdocs/vwlessons/monitors.html>

<http://www.geodesy.miami.edu/volcano.html>

<http://www.igeofcu.unam.mx/geomag/crusdi.html>

<http://www.cep.com.sg/instruments/soilstrainmeter.html>

http://wwwhvo.wr.usgs.gov/volcanowatch/1999/99_04_15.html

http://www.geosci.ipfw.edu/StHelens/ljt_slideset_old.html

<http://www.hanainstruments.com>

<http://www.globalwater.com>

<http://www.santonet.gr>

<http://lvo.wr.usgs.gov/FAQs.html>

<http://www.mathworks.com>