

Γ' ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ



ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΡΑΣΗΣ: «Συνεργασίες με χώρες εκτός-Ευρώπης» (ΔΙΑΚ)
ΕΠΑΝ – ΜΕΤΡΟ 4.3, ΔΡΑΣΗ 4.3.6.1β

ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΕΘΝΟΥΣ Ε&Τ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ Β' – ΔΙΑΚΡΑΤΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ

ΕΡΓΟ: GHPTRANS

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ/ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ**

από

ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

16/01/2007

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια του έργου GHPTRANS κατασκευάστηκε μία ερευνητική-επιδεικτική (πειραματική) εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στο Νέο Ρύσιο Θεσσαλονίκης. Η πειραματική αυτή εφαρμογή κατασκευάστηκε με σκοπό αφ' ενός μεν την απόκτηση εμπειρίας της ελληνικής πλευράς στην βέλτιστη σχεδίαση και κατασκευή οριζόντιων εναλλακτών θερμότητας, βάσει των τεχνικών στοιχείων που προέκυψαν από την μεταφορά τεχνογνωσίας (μέσω του GHPTRANS) για την τεχνολογία των ΓΑΘ από τις ΗΠΑ, αφ'ετέρου δε μέσω της δοκιμής και ελέγχου της απόδοσης κατά την λειτουργία των οριζοντίων εναλλακτών εδάφους διαφόρων διατάξεων, συνδεδεμένων με γεωθερμική αντλία θερμότητας, με μέτρηση διαφόρων παραμέτρων λειτουργίας την απόκτηση γνώσης για την καλύτερη βελτιστοποίηση της απόδοσης των ως άνω συστημάτων στο φυσικό περιβάλλον της Βορείου Ελλάδας.

Η ερευνητική-επιδεικτική εφαρμογή στο Νέο Ρύσιο εστιάζει στη θέρμανση/ψύξη χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με desuperheater με χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας νερού-νερού συνολικής θερμικής ισχύος 24kW_{th} . Οι οριζόντιοι εναλλάκτες εδάφους που τροφοδοτούν τις αντλίες θερμότητας αποτελούν τέσσερις διαφορετικές διατάξεις, όσον αφορά στη γεωμετρία και στην τοποθέτησή τους στο έδαφος. Παράλληλα, όπως προαναφέρθηκε, οι διατάξεις των οριζοντίων εναλλακτών εδάφους αξιολογούνται πειραματικά ως προς την επίδραση της γεωμετρίας τους, του βάθους και του φορτίου στην ενεργειακή τους συμπεριφορά, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη την εμπειρία που έχει αναπτυχθεί στις ΗΠΑ.

2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ-ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

2.1. Εναλλάκτης Εδάφους

Ο πειραματικός εναλλάκτης εδάφους τοποθετήθηκε κατά την κατασκευή του Έργου σύμφωνα με το σχήμα 1, όπου απεικονίζονται τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία που αφορούν στο είδος και τη γεωμετρία των εναλλακτών όσο και τα στοιχεία της χωροθέτησης.

Τα τεχνικά στοιχεία για τους εναλλάκτες εδάφους και τη χωροθέτησή τους, όπως αναφέρεται και στην έκθεση που αφορά στην *Κατασκευή Εναλλάκτη Θερμότητας εδάφους – «Έκθεση Εργασιών»*, συνοψίζονται στον πίνακα 1.

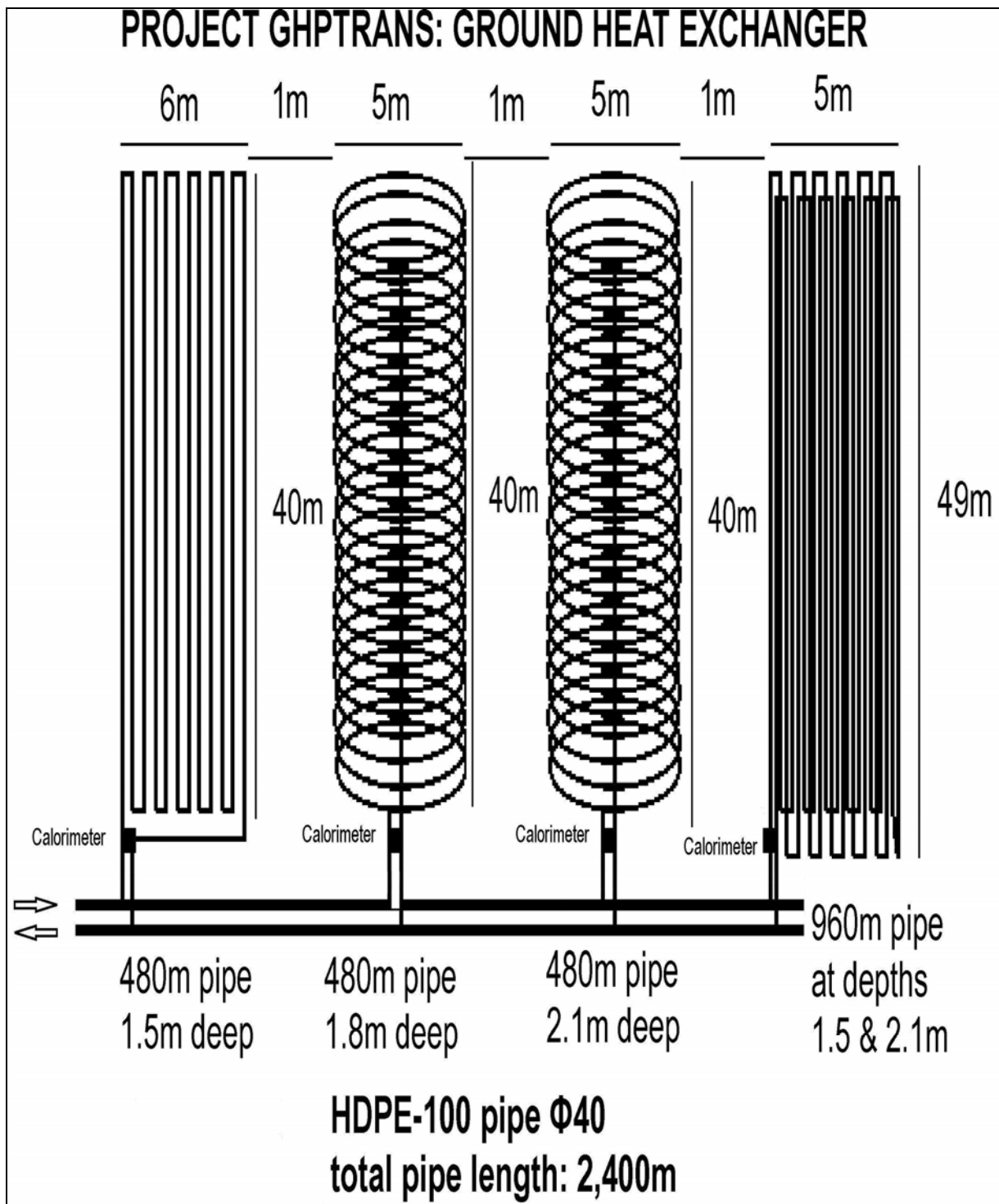
Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά των πέντε κλάδων του γεωεναλλάκτη

Εναλλάκτης εδάφους α/α	1	2	3	4-κάτω	4-άνω
μήκος:	40 m	40 m	40 m	49 m	49 m
πλάτος:	6 m	5 m	5 m	5 m	5 m
βάθος:	1,5 m	1,8 m	2,1 m	2,1 m	1,5 m
μήκος σωλήνας:	480 m	480 m	480 m	500 m	420 m
διάταξη σωλήνας:	παράλληλη σε 12 σειρές	σπирάλ σε 3 σειρές	σπирάλ σε 3 σειρές	παράλληλη σε 10 σειρές	παράλληλη σε 8 σειρές + 20 m
σύνδεση σωλήνας	5 ρακόρ στην επιφάνεια	4 ρακόρ στην επιφάνεια	4 ρακόρ στην επιφάνεια	4 ρακόρ στην επιφάνεια	4 ρακόρ στην επιφάνεια

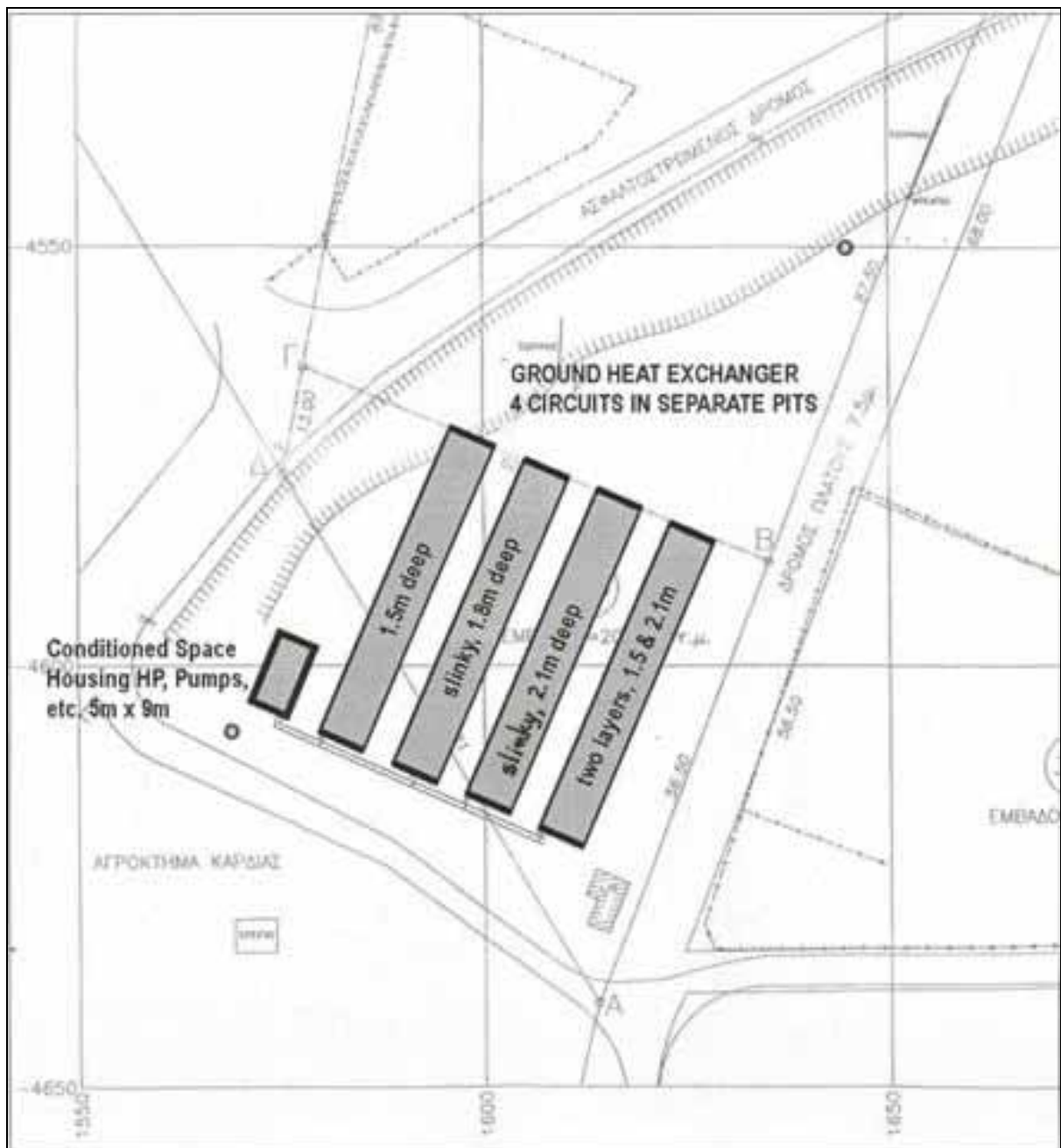
Η χωροθέτηση του εναλλάκτη εδάφους έγινε ύστερα από επιτόπου επισκέψεις και ανταλλαγή απόψεων με την ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ ΑΕ (σχ.2).

Ο μετρητικός εξοπλισμός για την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του εναλλάκτη, αλλά και της αντλίας θερμότητας περιλαμβάνει μετρητικά όργανα με ένδειξη θερμοκρασίας, παροχής και πίεσης καθώς και μετρητές ηλεκτρικών παραμέτρων, και περιγράφεται στο κεφάλαιο 3.

Στον εναλλάκτη εδάφους χρησιμοποιείται ένας (1) κυκλοφορητής GRUNDFOS UPS32-120F.



Σχήμα 1: Διάταξη του πειραματικού εναλλάκτη εδάφους όπως κατασκευάστηκε (όπου αναφέρεται “calorimeter” (καλορίμετρο) τελικά τοποθετήθηκε αισθητήρας μέτρησης παροχής και θερμοκρασίας)



Σχήμα 2: Ενδεικτική χωροθέτηση του πειραματικού εναλλάκτη εδάφους

2.2. Αντλίες θερμότητας

Το σύστημα παράγει θέρμανση/ψύξη με χρήση υδρόψυκτων αντλιών θερμότητας και ζεστό νερό με desuperheater.

Οι δύο (2) αντλίες θερμότητας της Waterfurnace είναι συνολικής θερμικής ισχύος 24kW_{th} (12kW_{th} έκαστη).

Ο βαθμός απόδοσης (COP) της αντλίας θερμότητας είναι 4,0 σύμφωνα με EN255-2 ($0^{\circ}\text{C EST}/35^{\circ}\text{C LLT}$).

Το ψυκτικό υγρό των αντλιών θερμότητας είναι R410a.

2.3. Δίκτυο παροχής θέρμανσης/ψύξης και ζεστού νερού

Δίκτυο θέρμανσης-ψύξης

Οι αντλίες θερμότητας παρέχουν θέρμανση/ψύξη μέσω 5 fan-coils (αερόθερμα νερού) δαπέδου εμφανή και 1 fan-coil οροφής. Τα fan-coils της εταιρίας Carrier έχουν ισχύ $4,04\text{ kW}_{\text{th}}$ το καθένα και οι ρυθμίσεις τους πραγματοποιούνται με ηλεκτρονικό τηλεχειριστήριο.

Στο δίκτυο θέρμανσης/ψύξης τοποθετήθηκαν δύο (2) κυκλοφορητές που είναι συνδεδεμένοι παράλληλα και είναι οι εξής: GRUNDFOS UPS32-80 και GRUNDFOS UPS25-55.

Δίκτυο παροχής ζεστού νερού χρήσης

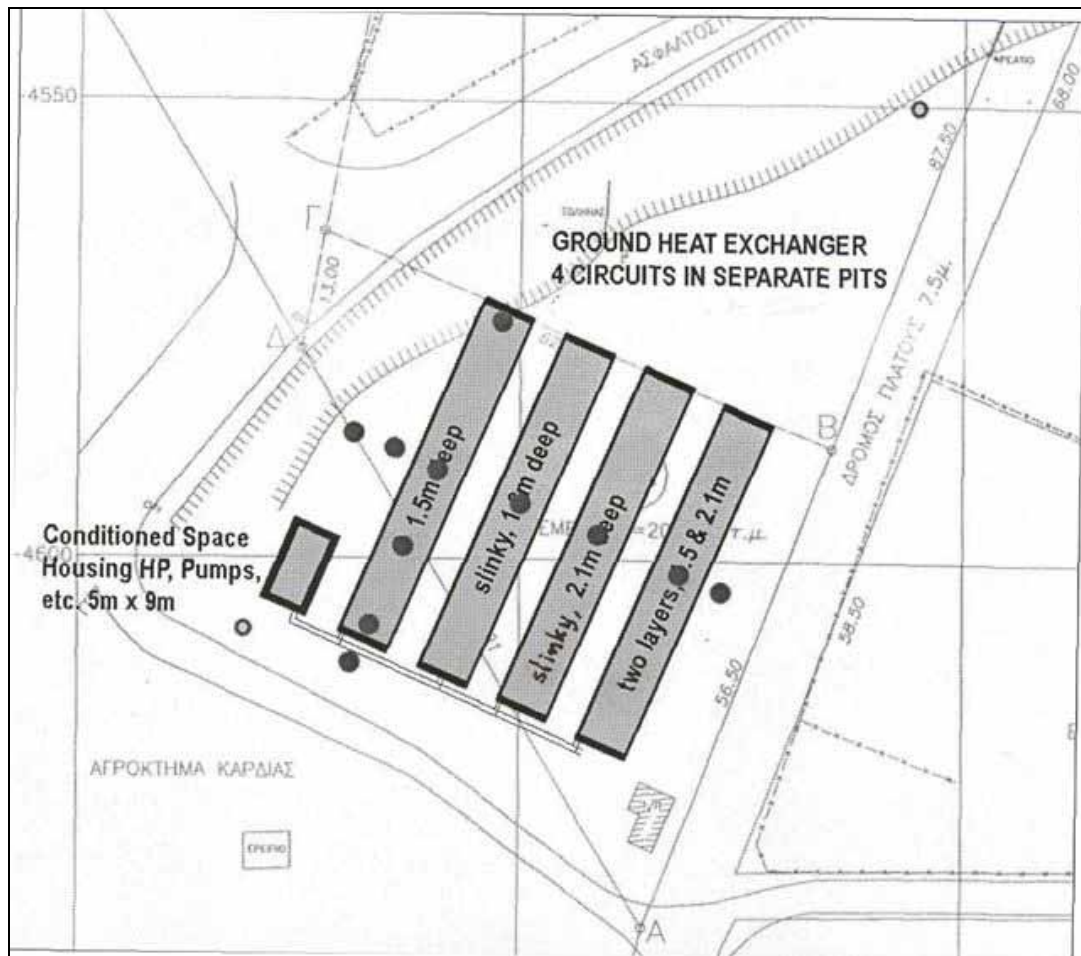
Η αντλία θερμότητας παρέχει θέρμανση σε ζεστό νερό χρήσης ισχύος $2,5\text{ kW}_{\text{th}}$, το οποίο θερμαίνεται εντός δοχείου (μπόιλερ) τοποθετημένο στη θέση κατανάλωσης (σε γειτονικό καταναλωτή). Η θερμική ενέργεια παρέχεται στο μπόιλερ με ζεστό νερό θερμοκρασίας 55°C από τον desuperheater της αντλίας θερμότητας.

Στον δίκτυο παροχής ζεστού νερού χρησιμοποιείται ένας (1) κυκλοφορητής GRUNDFOS UPS25-60.

3. ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

3.1. Μέτρηση θερμοκρασίας εδάφους

Τοποθετήθηκαν **συνολικά δέκα (10) αισθητήρια θερμοκρασίας εμβαπτίσεως με μήκος 465mm**. Οι θέσεις μέτρησης της θερμοκρασίας του εδάφους, περιγράφονται επίσης στο σχήμα 3. Κάθε αισθητήρας θερμοκρασίας συνδέεται με κεντρικό Η/Υ με καλώδια τοποθετημένα εντός προστατευτικών σωληνώσεων. Το εύρος των θερμοκρασιακών μετρήσεων ανέρχεται από -50°C έως $+180^{\circ}\text{C}$.



Σχήμα 3: Ενδεικτική διάταξη αισθητήρων μέτρησης θερμοκρασίας εδάφους

3.2. Μέτρηση θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Τοποθετήθηκε **ένας αισθητήρας θερμοκρασίας περιβάλλοντος (QAC22)** για μέτρηση και καταγραφή της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος, ο οποίος συνδέεται με τον κεντρικό Η/Υ. Το εύρος των θερμοκρασιακών μετρήσεων ανέρχεται από -50°C έως $+70^{\circ}\text{C}$.

3.3. Μέτρηση θερμοκρασίας χώρου

Τοποθετήθηκαν *τρεις (3) αισθητήρες θερμοκρασίας χώρου (QAA24)* για μέτρηση και καταγραφή της θερμοκρασίας του χώρου, οι οποίοι συνδέονται με τον κεντρικό Η/Υ.

3.4. Ενεργειακές-υδραυλικές μετρήσεις

Στους εναλλάκτες εδάφους τοποθετήθηκαν:

- *Δέκα (10) αισθητήρια θερμοκρασίας εμβαπτίσεως με κυάθιο 100mm (-30°C - 130°C)*
- *Οκτώ (5) μηχανικοί ογκομετρητές 2,5m³/h με παλμό, 90°C,*

τα οποία μετρούν θερμοκρασία και παροχή στην προσαγωγή και στην επιστροφή, οπότε και υπολογίζεται η διερχόμενη (παραγόμενη ή καταναλισκόμενη) θερμική ισχύς και ενέργεια (σχ.4). Παράλληλα, τα όργανα μέτρησης συνδέονται με τον κεντρικό Η/Υ μέσω καλωδίου τοποθετημένου εντός προστατευτικής σωληνώσεως.

Επίσης, στο χώρο του μηχανοστασίου όπου βρίσκεται η αντλία θερμότητας, τοποθετήθηκαν συνολικά έξι (6) αισθητήρια θερμοκρασίας και έξι (6) *αισθητήρια πίεσης 0-4bar* τόσο στην προσαγωγή, όσο και στην επιστροφή, όπως επίσης και τρεις (3) ογκομετρητές, σε κάθε ένα από τα ζεύγη των σωληνώσεων που συνδέουν την αντλία θερμότητας με α) τον υπόγειο εναλλάκτη, β) το δίκτυο θέρμανσης και γ) το δίκτυο παροχής ζεστού νερού χρήσης (σχ.5).

Τα όργανα που τοποθετήθηκαν στο μηχανοστάσιο, θερμόμετρα, παροχόμετρα και μανόμετρα, συνδέονται με τον κεντρικό Η/Υ.

Συνολικά για τις ενεργειακές-υδραυλικές μετρήσεις τοποθετήθηκαν δεκαέξι (16) αισθητήρια θερμοκρασίας, οκτώ (8) ογκομετρητές και τέσσερα (4) αισθητήρια πίεσης.

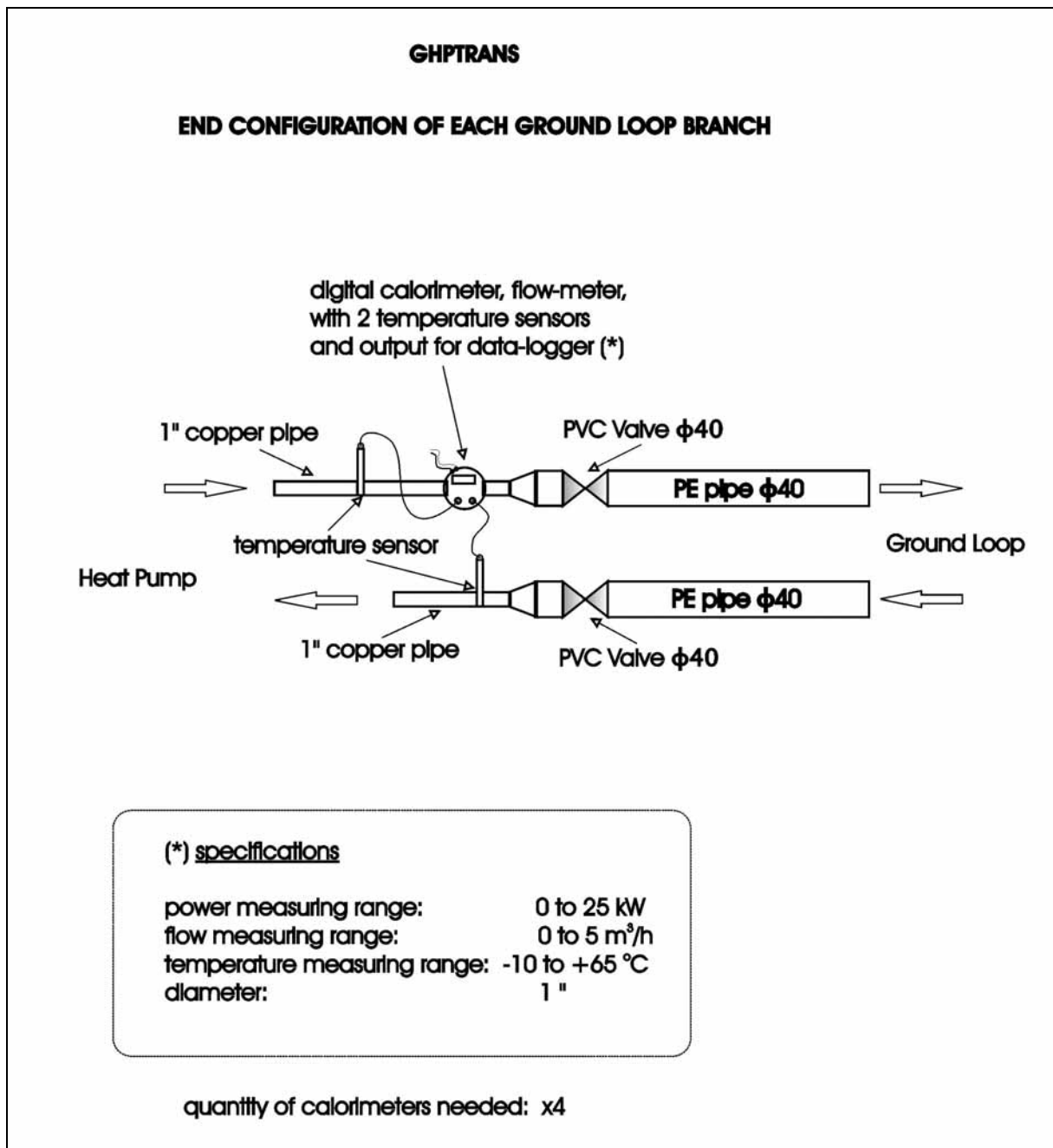
3.5. Ηλεκτρικές μετρήσεις

Στον ηλεκτρικό πίνακα της αντλίας θερμότητας, τοποθετήθηκαν *όργανα μέτρησης των ηλεκτρικών παραμέτρων* (ενεργός ένταση, ενεργός τάση, καταναλισκόμενη ισχύς, καταναλισκόμενη ενέργεια), τόσο στην αντλία θερμότητας, όσο και σε κάθε ένα από τους κυκλοφορητές (υπόγειου εναλλάκτη, δικτύου ζεστού νερού χρήσης, δικτύου θέρμανσης), όσο και συνολικά. Παράλληλα γίνεται συνεχής καταγραφή των μετρήσεων αυτών στον κεντρικό Η/Υ.

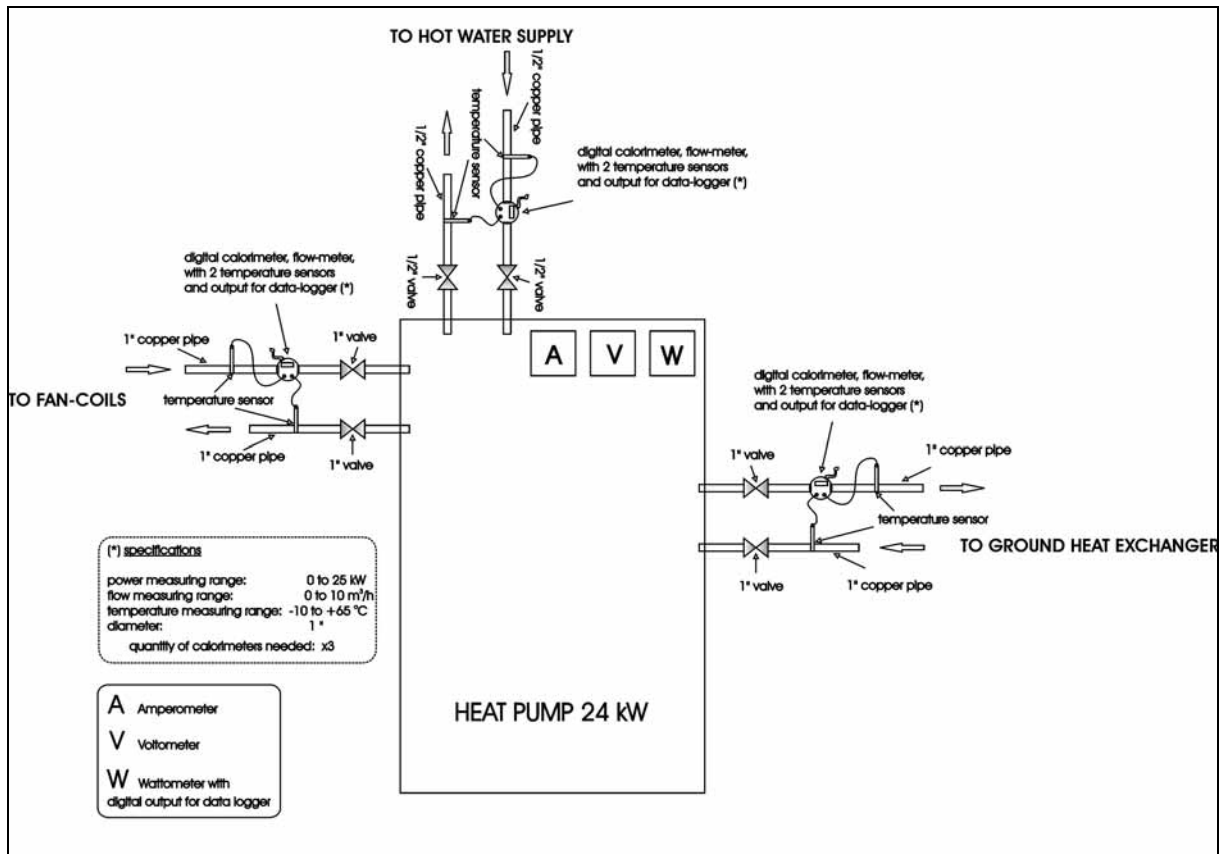
3.6. Ηλεκτρονικός Υπολογιστής καταγραφής και αποθήκευσης μετρήσεων

Εντός του μηχανοστασίου, εγκαταστάθηκε *κεντρικός Η/Υ*, όπου καταγράφονται σε συνεχή βάση και αποθηκεύονται όλες οι μετρήσεις από τα αισθητήρια θερμοκρασίας και παροχής νερού, από τα αισθητήρια θερμοκρασίας εδάφους, από το αισθητήριο θερμοκρασίας περιβάλλοντος, από το αισθητήριο θερμοκρασίας χώρου, καθώς και από τις ηλεκτρικές μετρήσεις (ενεργός τάση, ισχύς, κατανάλωση ηλεκτρικής

ενέργειας). Ο Η/Υ επεξεργάζεται επίσης τις μετρήσεις και υπολογίζει τον καθαρό και τον μικτό συντελεστή ενεργειακής απόδοσης (COP) του συστήματος.



Σχήμα 4: Ενδεικτική διάταξη μετρητικού εξοπλισμού στα άκρα των τμημάτων του πειραματικού εναλλάκτη εδάφους (όπου αναφέρεται "calorimeter" (καλορίμετρο) έχει τοποθετηθεί αισθητήρας μέτρησης παροχής και θερμοκρασίας)



Σχήμα 5: Ενδεικτική διάταξη μετρητικού εξοπλισμού στην υδρόψυκτη αντλία θερμότητας (όπου αναφέρεται “calorimeter” (καλορίμετρο) έχει τοποθετηθεί αισθητήρας μέτρησης παροχής και θερμοκρασίας)

4. ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ

Η αντλία θερμότητας περιλαμβάνει αυτοματισμούς ρύθμισης της θερμοκρασίας του νερού σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, ενώ η λειτουργία του όλου συστήματος ρυθμίζεται από θερμοστάτες τοποθετημένους σε τρεις εσωτερικούς χώρους (συμπεριλαμβανομένου του μηχανοστασίου), καθώς και από τον θερμοστάτη ρύθμισης της θερμοκρασίας του ζεστού νερού χρήσης.

5. ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΛΙΚΩΝ & ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Πίνακας 2: Τεχνική περιγραφή εξοπλισμού πειραματικών γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στο Ν. Ρύσιο.

Υλικά - εργασίες	Ποσότητα
WaterFurnace. Δύο (2) αντλίες θερμότητας της Water-Furnace ισχύος 12 kW εκάστη, δηλαδή συνολικά 24 kW. Παρέχουν θέρμανση/ψύξη και ζεστό νερό χρήσης με desuperheater. Ψυκτικό υγρό R410a. Ο βαθμός απόδοσης COP σύμφωνα με EN255-2@0°C EST/35°C LLT ανέρχεται σε 4,0.	2
Carrier. Fan Coil Units (F.C.U.) δαπέδου ή οροφής εμφανές 4,04 kW (7-12°C) με ηλεκτρονικό χειριστήριο.	6
Siemens. Πλήρης αυτοματισμός καταγραφής δεδομένων	1
PXG80-N Κεντρικός σταθμός ελέγχου με software DESIGO	1
QAE26.95 Αισθητήριο θερμοκρασίας εμβαπτίσεως με μήκος 465 mm (-50°C..+180°C)	10
QAE2120.010 Αισθητήριο θερμοκρασίας εμβαπτίσεως με κυάθιο 100 mm (-30°C..+130°C) για θερμομέτρηση	16
QAC22 Αισθητήριο θερμοκρασίας περιβάλλοντος (-50°C..+70°C)	1
QAA24 Αισθητήριο θερμοκρασίας χώρου	3
QBE2000-P4 Αισθητήριο πίεσης 0-4 bar	6
WFW13.E130 Ογκομετρητής μηχανικός 2,5 m ³ /h με παλμό, 90°C	8
M600-WM9 Μετρητής kWh 3-phase με έξοδο παλμό	2
M600-WM1 Μετρητής kWh 1-phase με έξοδο παλμό	4
Ηλεκτρονικός υπολογιστής (INTEL P4 3.0GHz) με οθόνη. Λειτουργικό XP Pro Αγγλικό.	1
Μονάδα αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS).	1
Κυκλοφορητές Grundfos	
UPS25-60	1
UPS25-55	1
UPS32-80	1
UPS32-120F	1
Δοχείο αδράνειας 200lt	1
Δοχείο ζεστού νερού χρήσης-Μπόιλερ 150lt	1

Πίνακας 2: Τεχνική περιγραφή εξοπλισμού πειραματικών γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στο Ν. Ρύσιο. (συνέχεια)

Υλικά - εργασίες	Ποσότητα
Δοχείο διαστολής 5lt	1
Δοχείο διαστολής 50lt	1
Μόνωση για Φ20	80 m
Μόνωση για Φ25	100 m
Μόνωση για Φ32	50 m
Μόνωση για Φ63	110 m
Σωλήνωση Φ20	80 m
Σωλήνωση Φ25	100 m
Σωλήνωση Φ32	20 m
Σωλήνωση Φ63	110 m
Προστατευτικό Φ100 από PVC	150 m
Βάνες και παρελκόμενα υδραυλικών	1
Αντιψυκτικό 300lt	1
Υδραυλικές εργασίες	1
Ηλεκτρολογικές εργασίες	1

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

6.1. Σκοπός

Σκοπός της παρούσας ανάλυσης είναι η αποτίμηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης, με έμφαση στην απόδοση των αντλιών θερμότητας (συντελεστής COP) και την αξιολόγηση των εναλλακτών εδάφους.

Η αξιολόγηση γίνεται με βάση τις καταγραφές των παραμέτρων λειτουργίας της εγκατάστασης από τον μετρητικό εξοπλισμό, ο οποίος λεπτομερώς περιγράφεται στην τεχνική έκθεση του παρόντος έργου (κεφάλαια 2 έως 5 ανωτέρω).

6.2. Πειραματικά δεδομένα

Τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα συμπεριλαμβάνουν:

- Μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος στους θερμαινόμενους χώρους του κεραμοποιείου και μετρήσεις θερμοκρασίας εδάφους.
- Ενεργειακές-υδραυλικές μετρήσεις με ηλεκτρονικά θερμιδόμετρα και μανόμετρα στα δύο άκρα (προσαγωγή-επιστροφή) κάθε ενός από τους 4 κλάδους του εναλλάκτη εδάφους, και σε κάθε ζεύγος σωληνώσεων (προσαγωγή-επιστροφή) που συνδέουν την αντλία θερμότητας με α) τον υπόγειο εναλλάκτη, β) το δίκτυο θέρμανσης και γ) το δίκτυο παροχής ζεστού νερού χρήσης.
- Ηλεκτρικές μετρήσεις - όργανα μέτρησης των ηλεκτρικών παραμέτρων (ενεργός ένταση, ενεργός τάση, καταναλισκόμενη ισχύς, καταναλισκόμενη ενέργεια), σε κάθε ένα από τους κυκλοφορητές (υπόγειου εναλλάκτη, δικτύου ζεστού νερού χρήσης, δικτύου θέρμανσης).

Λόγω διαρροών δεν λειτούργησαν ο 1^{ος} κλάδος του υπεδάφου εναλλάκτη και ο κλάδος α του 4^{ου} υπεδάφου εναλλάκτη (βλέπε πίνακα 1) και άρα δεν συνεισέφεραν στην λειτουργία της εγκατάστασης. Επίσης τα θερμόμετρα εδάφους δεν τοποθετήθηκαν από τον υπεργολάβο στις προβλεπόμενες θέσεις τους (κοντά στους εναλλάκτες) αλλά στην επιφάνεια του εδάφους, και έτσι τα δεδομένα τους δεν μπορούν να συναξιολογηθούν.

Η καταγραφή των δεδομένων έχει γίνει με συχνότητα 1 δείγμα/5'. Η αξιολόγηση των δεδομένων γίνεται σε ημερήσια βάση. Για λειτουργία σε ψύξη χρησιμοποιούνται δεδομένα από τις ημ/νίες 11-12/9/2006, 18-21/9/2006, και 30/9-1/10/2006, για λειτουργία σε θέρμανση χρησιμοποιούνται δεδομένα από τις ημερομηνίες 10-11/11/2006.

Τα γραφήματα Α.1-Α.6 δείχνουν χρονοσειρές των σημαντικότερων παραμέτρων για τις ανωτέρω περιόδους. Οι συμβολισμοί των παραμέτρων παρουσιάζονται στον πίνακα 3 που ακολουθεί.

Πίνακας 3: Συμβολισμοί παραμέτρων λειτουργίας (Παράρτημα Α, Διαγρ. Α.1-Α.6)

Σύμβολο	Παράμετρος	Μονάδα
T _{in_Z2}	Θερμοκρασία εισόδου υπεδάφιου εναλλάκτη #2	°C
T _{out_Z2}	Θερμοκρασία εξόδου υπεδάφιου εναλλάκτη #2	°C
dt _{Z2}	Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου-εξόδου εναλλάκτη #2	°C
Power _{Z2}	Θερμική ισχύς εναλλάκτη #2	kW _{th}
T _{in_Z3}	Θερμοκρασία εισόδου υπεδάφιου εναλλάκτη #3	°C
T _{out_Z3}	Θερμοκρασία εξόδου υπεδάφιου εναλλάκτη #3	°C
dt _{Z3}	Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου-εξόδου εναλλάκτη #3	°C
Power _{Z3}	Θερμική ισχύς εναλλάκτη #3	kW _{th}
T _{in_Z5}	Θερμοκρασία εισόδου υπεδάφιου εναλλάκτη #5	°C
T _{out_Z5}	Θερμοκρασία εξόδου υπεδάφιου εναλλάκτη #5	°C
dt _{Z5}	Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου-εξόδου εναλλάκτη #5	°C
Power _{Z5}	Θερμική ισχύς εναλλάκτη #5	kW _{th}
ΣPower _Z	Άθροισμα θερμικής ισχύος εναλλακτών #2-#3-#5	kW _{th}
T _{in_HPU1}	Θερμοκρασία εισόδου Α.Θ. #1	°C
T _{out_HPU1}	Θερμοκρασία εισόδου Α.Θ. #1	°C
dt _{HPU1}	Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου-εξόδου Α.Θ. #1	°C
Power _{HPU1}	Θερμική ισχύς Α.Θ. #1	kW _{th}
T _{in_HPU2}	Θερμοκρασία εισόδου Α.Θ. #2	°C
T _{out_HPU2}	Θερμοκρασία εισόδου Α.Θ. #2	°C
dt _{HPU2}	Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου-εξόδου Α.Θ. #2	°C
Power _{HPU2}	Θερμική ισχύς Α.Θ. #2	kW _{th}
T _{in_DHW}	Θερμοκρασία εισόδου μπόυλερ νερού χρήσης	°C
T _{out_DHW}	Θερμοκρασία εισόδου μπόυλερ νερού χρήσης	°C
dt _{DHW}	Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου-εξόδου μπόυλερ	°C
Power _{DHW}	Θερμική ισχύς μπόυλερ νερού χρήσης	kW _{th}
COP	Συντελεστής COP (θέρμανση)	-
COP _{Total}	Συνολικός ωφέλιμος συντελεστής COP (ψύξη + ζεστό νερό)	-
COP _{HP}	Ονομαστικός συντελεστής COP ζεύγους Α.Θ.	-
T _{ROOM1}	Θερμοκρασία περιβάλλοντος κλιματιζόμενου χώρου #1	°C
T _{ROOM2}	Θερμοκρασία περιβάλλοντος κλιματιζόμενου χώρου #2	°C
T _{CTRLROOM}	Θερμοκρασία περιβάλλοντος κέντρου ελέγχου	°C
T _{GROUND_1-10}	Θερμοκρασία εδάφους, θέσεις 1-10	°C

6.3. Συντελεστής ενεργειακής απόδοσης COP

Ο συντελεστής απόδοσης (coefficient of performance) COP αντλίας θερμότητας ορίζεται ως

$$COP = \frac{\text{Παραγόμενη θερμική ισχύς [Btu/hr ή kW}_{th}]}{\text{Ηλεκτρική κατανάλωση [kW}_e]}$$

Στην παρούσα εγκατάσταση, όταν αυτή λειτουργεί σε θέρμανση, η παραγόμενη θερμική ισχύς P_{th} ισούται με το άθροισμα της θερμικής ισχύος των δύο Α.Θ. και της θερμικής ισχύος του μπόυλερ νερού χρήσης:

$$P_{th} = \text{Power_HPU1} + \text{Power_HPU2} + \text{Power_DHW}$$

Η ηλεκτρική κατανάλωση ισούται με

$$P_{el} = \text{Power_HPU1} + \text{Power_HPU2} + \text{Power_DHW} - \Sigma \text{Power_Z}$$

οπότε

$$COP = \frac{\text{Power_HPU1} + \text{Power_HPU2} + \text{Power_DHW}}{\text{Power_HPU1} + \text{Power_HPU2} + \text{Power_DHW} - \Sigma \text{Power_Z}}$$

Για λειτουργία σε ψύξη διακρίνουμε μεταξύ συνολικού συντελεστή απόδοσης COP_{total} και συντελεστή απόδοσης COP_{HP} των Α.Θ.:

$$COP_{total} = \frac{\text{Power_HPU1} + \text{Power_HPU2} + \text{Power_DHW}}{\Sigma \text{Power_Z} + \text{Power_DHW} - \text{Power_HPU1} - \text{Power_HPU2}}$$

και

$$COP_{HP} = \frac{\Sigma \text{Power_Z} + \text{Power_DHW}}{\Sigma \text{Power_Z} + \text{Power_DHW} - \text{Power_HPU1} - \text{Power_HPU2}}$$

Ο υπολογισμός COP γίνεται ανά δείγμα, δηλ. ανά πεντάλεπτο, με χρήση των καταγεγραμμένων τιμών ισχύος. Ο υπολογισμός γίνεται επιλεκτικά, όπου απορρίπτονται καταρχήν δείγματα στα οποία δεν λειτουργούσε η Α.Θ. #1 ($\text{Power_HPU1}=0$). Περαιτέρω απορρίπτονται δείγματα με αρνητικές ή πολύ υψηλές τιμές (>9) COP. Τα δείγματα αυτά προέρχονται κυρίως από τις φάσεις έναρξης και τερματισμού λειτουργίας της εγκατάστασης, και οφείλονται στο ότι το σύστημα καταγραφής υπολογίζει το COP χρησιμοποιώντας αφενός τη μέση τιμή της παροχής του τελευταίου πεντάλεπτου, και αφετέρου στιγμιαίες τιμές της θερμοκρασίας. Από τα επιλεγμένα δείγματα υπολογίζεται ημερήσια μέση τιμή

$$\overline{COP}_{day} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n COP$$

όπου n το πλήθος των επιλεγμένων δειγμάτων.

Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στα διαγράμματα A1-A6 στο Παράρτημα Α. Οι μέσες ημερήσιες τιμές COP αναφέρονται και στον κατωτέρω πίνακα 4.

Πίνακας 4: Συντελεστής ενεργειακής απόδοσης των αντλιών θερμότητας.

Ημ/νία	Λειτουργία	\overline{COP}_{day}	$\overline{COP}_{total_{day}}$	$\overline{COP}_{HP_{day}}$
11/9/2006	Ψύξη		3,77	4,39
12/9/2006	>>		3,72	4,28
18/9/2006	>>		3,72	4,30
19/9/2006	>>		3,26	3,90
20/9/2006	>>		3,03	3,64
21/9/2006	>>		3,37	3,95
30/9/2006	>>		4,47	4,94
1/10/2006	>>		4,16	4,71
10/11/2006	Θέρμανση	4,92		
11/11/2006	>>	4,67		

Οι τιμές COP της παρούσας εγκατάστασης είναι ικανοποιητικές, και ανταποκρίνονται στις επιδόσεις αντλιών θερμότητας της παρούσας κλάσης. Η μείωση του COP από 4,39 σε 3,64 κατά τη χρονική περίοδο από 11 έως 20 Σεπτεμβρίου οφείλεται στην υπερθέρμανση του εναλλάκτη εδάφους λόγω του ότι λειτουργούσαν μόνο οι τρεις από τους πέντε κλάδους (ήτοι στο 60% της δυναμικότητας του). Η περεταίρω βελτίωση του COP από τις 21 Σεπτεμβρίου έως τις 1 Οκτωβρίου οφείλεται στη μείωση των αναγκών σε ψύξη και επαναφορά της θερμοκρασίας του γεωεναλλάκτη στα αρχικά επίπεδα.

6.4. Ενεργειακή απόδοση υπεδάφειων εναλλακτών

Τα κριτήρια εκτίμησης της ενεργειακής απόδοσης των υπεδάφειων εναλλακτών είναι τα εξής:

- Η διαφορά θερμοκρασίας ΔT εισόδου-εξόδου σε συνάρτηση της θερμοκρασίας εισόδου T_{in} του εναλλάκτη
- Η μέση ημερήσια διαφορά θερμοκρασίας εισόδου-εξόδου ΔT_{mean} του εναλλάκτη
- Η μέση θερμική ισχύς P_{mean} του εναλλάκτη
- Η ημερήσια παραγωγή ενέργειας E_{day} του εναλλάκτη

Ο υπολογισμός των παραπάνω μεγεθών έγινε σε ημερήσια βάση, όπου χρησιμοποιήθηκαν τα επιλεγμένα δείγματα για τον υπολογισμό COP. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο Παράρτημα Β – Δείκτες απόδοσης υπεδάφινων εναλλακτών.

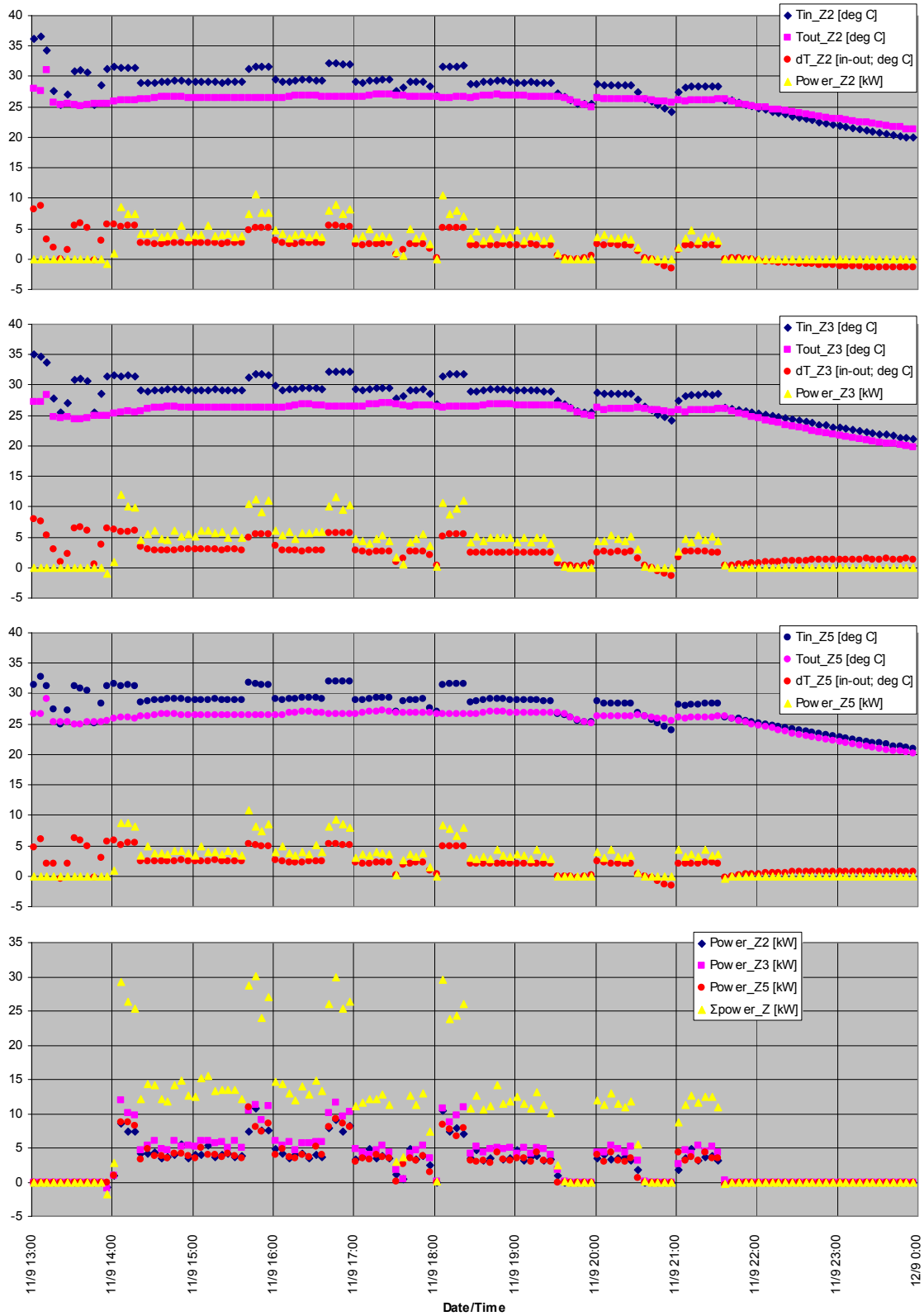
Σε λειτουργία ψύξης, ο εναλλάκτης #3 (Z3) δείχνει να έχει υψηλότερη απόδοση από τους εναλλάκτες #2 (Z2) και #5 (Z5). Η μέση θερμοκρασιακή διαφορά ΔT_{mean} του εναλλάκτη #3 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις υψηλότερη, ενώ στο σύνολο των περιπτώσεων τόσο η μέση θερμική ισχύς όσο και η ημερήσια παραγωγή ενέργειας του εναλλάκτη είναι σημαντικά υψηλότερες. Εξαίρεση αποτελεί το διήμερο 30/9-1/10/2006, όπου ο εναλλάκτης #5 είναι περισσότερο παραγωγικός.

Αντίθετα, σε λειτουργία θέρμανσης, ο εναλλάκτης #2 έχει σημαντικά υψηλότερη απόδοση από τους υπόλοιπους δύο, ενώ ο εναλλάκτης #3 έχει την χαμηλότερη απόδοση.

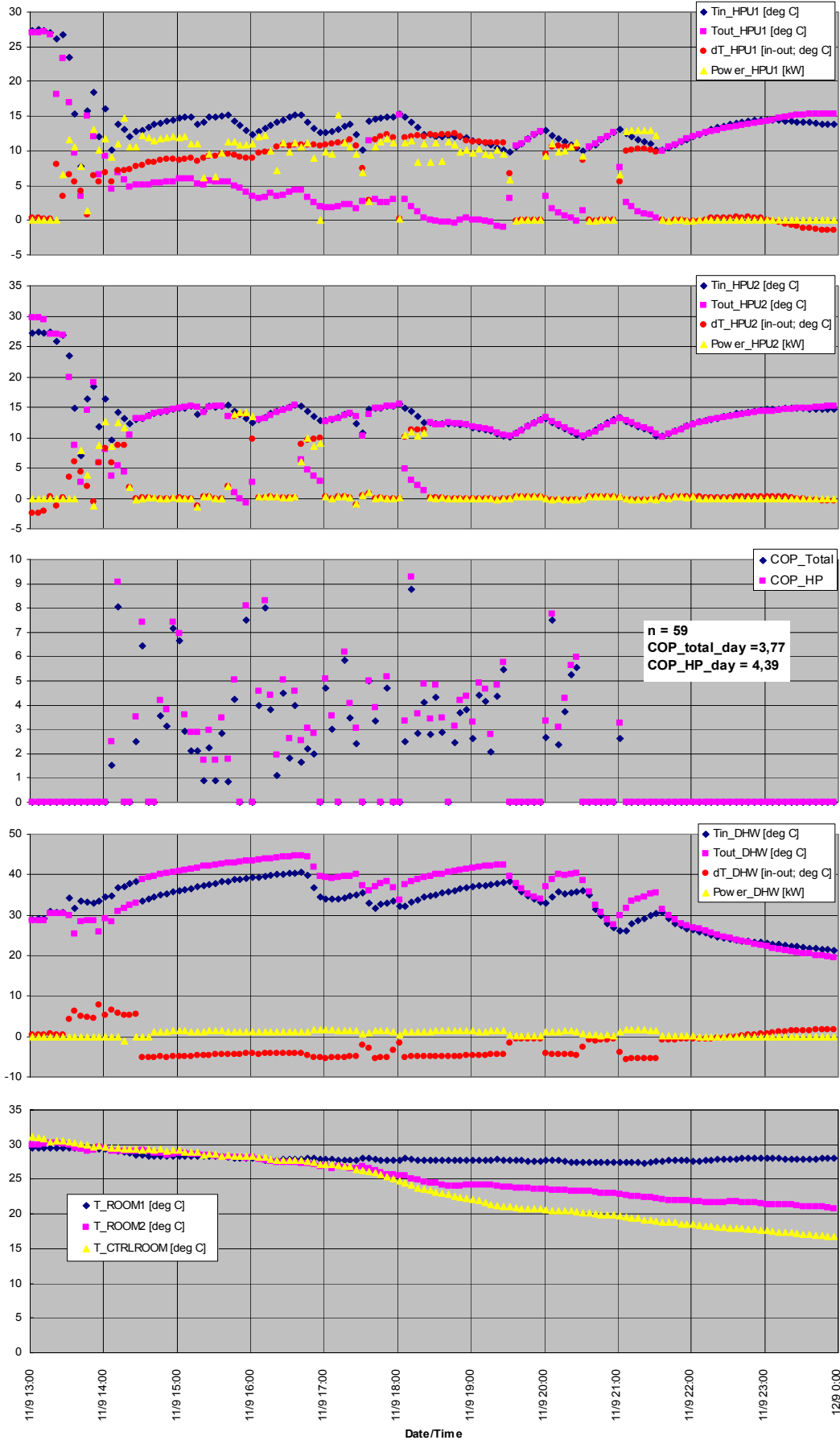
Σαφή συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση των υπεδάφινων εναλλακτών μπορούν να εξαχθούν μόνον ύστερα από μεγάλης διάρκειας λειτουργία, τουλάχιστον ενός έτους, με συναξιολόγηση θερμοκρασιών εδάφους και περιβάλλοντος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Γραφήματα Παραμέτρων Λειτουργίας

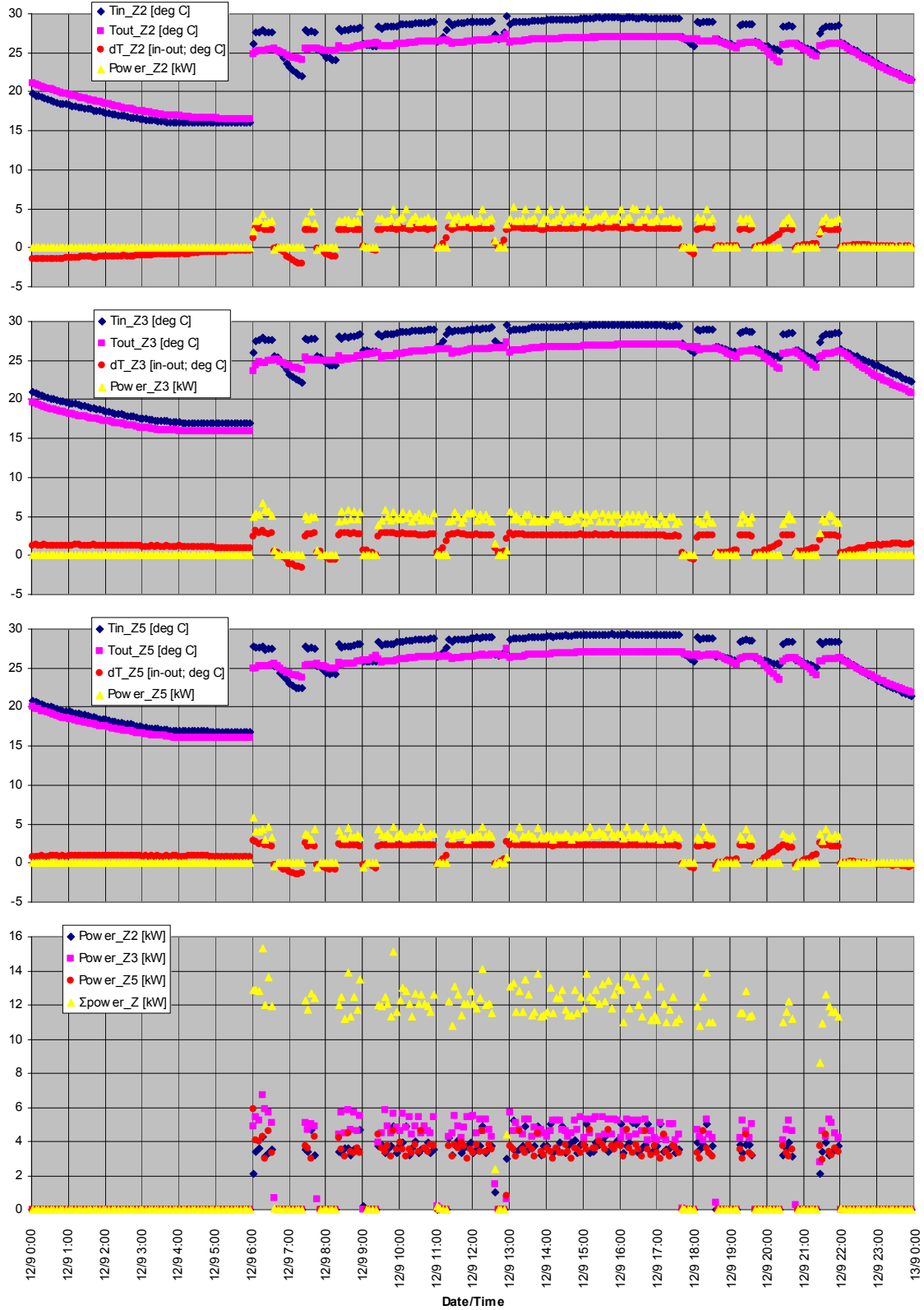
Διάγραμμα Α.1: ΨΥΞΗ - Παράμετροι λειτουργίας 11/9/2006 (Μέρος Α)



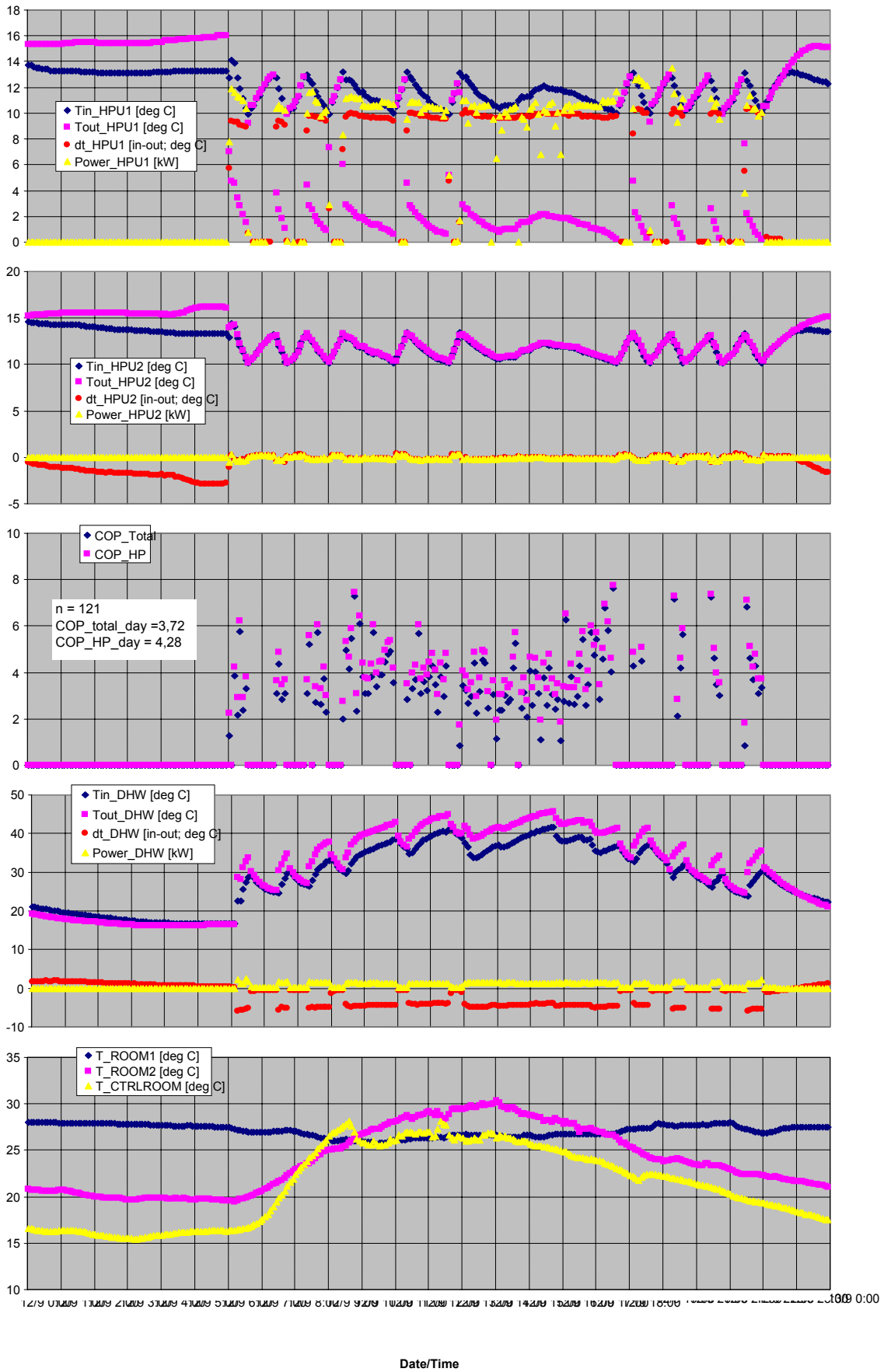
Διάγραμμα Α.1: ΨΥΞΗ - Παράμετροι λειτουργίας 11/9/2006 (Μέρος Β)



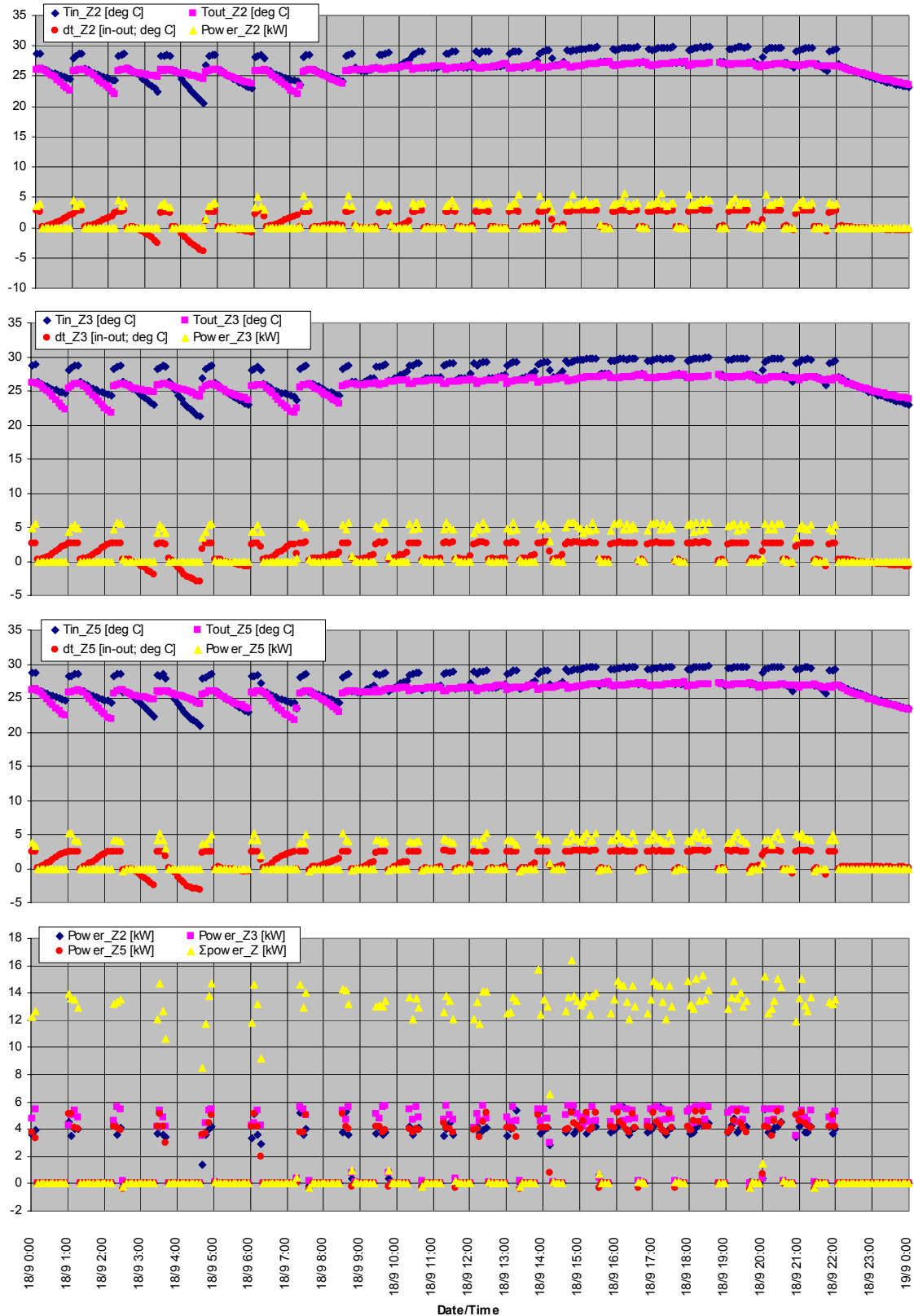
Διάγραμμα Α.2: ΨΥΞΗ - Παράμετροι λειτουργίας 12/9/2006 (Μέρος Α)



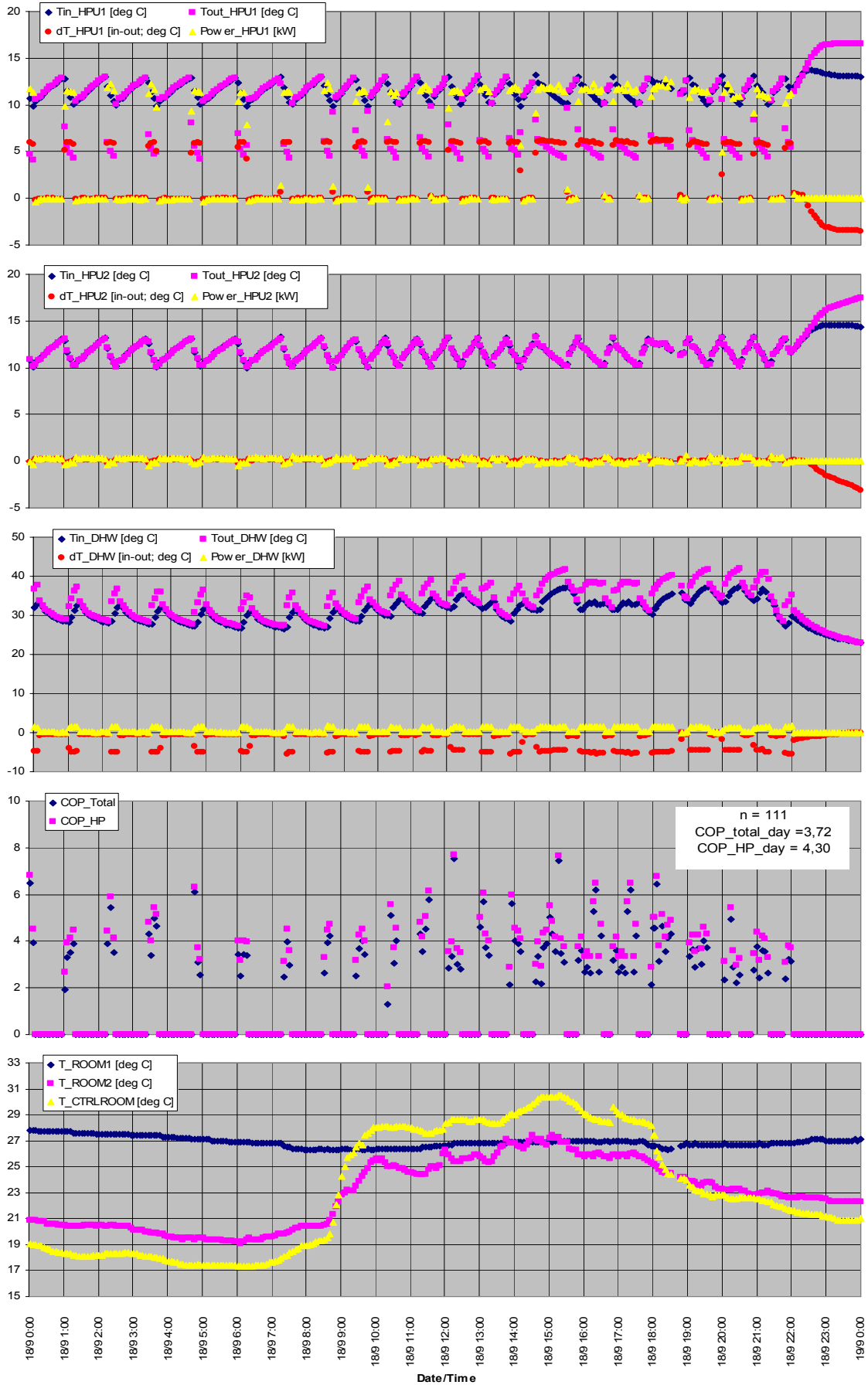
Διάγραμμα Α.2: ΨΥΞΗ - Παράμετροι λειτουργίας 12/9/2006 (Μέρος Β)



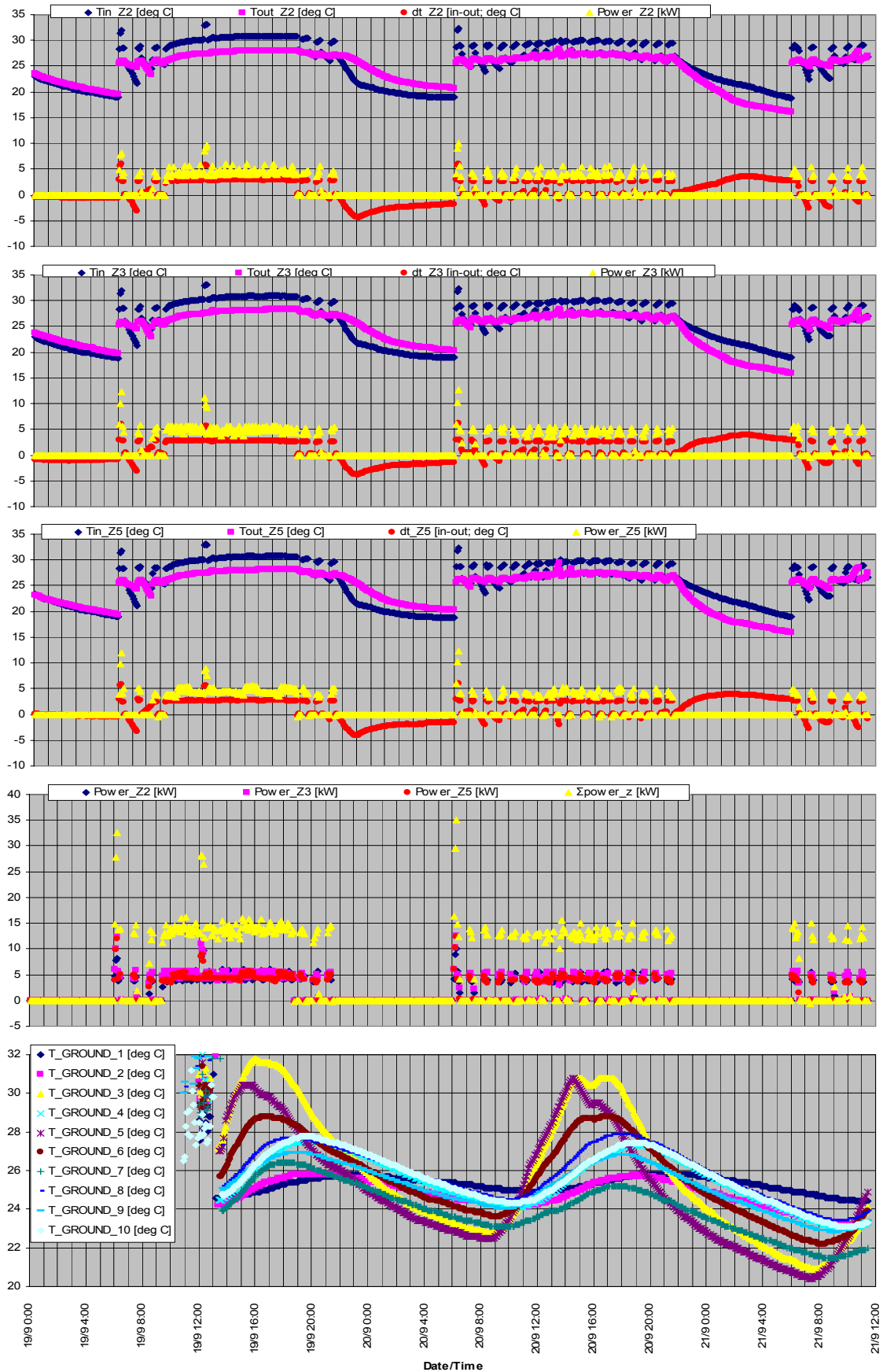
Διάγραμμα Α.3: ΨΥΞΗ - Παράμετροι λειτουργίας 18/9/2006 (Μέρος Α)



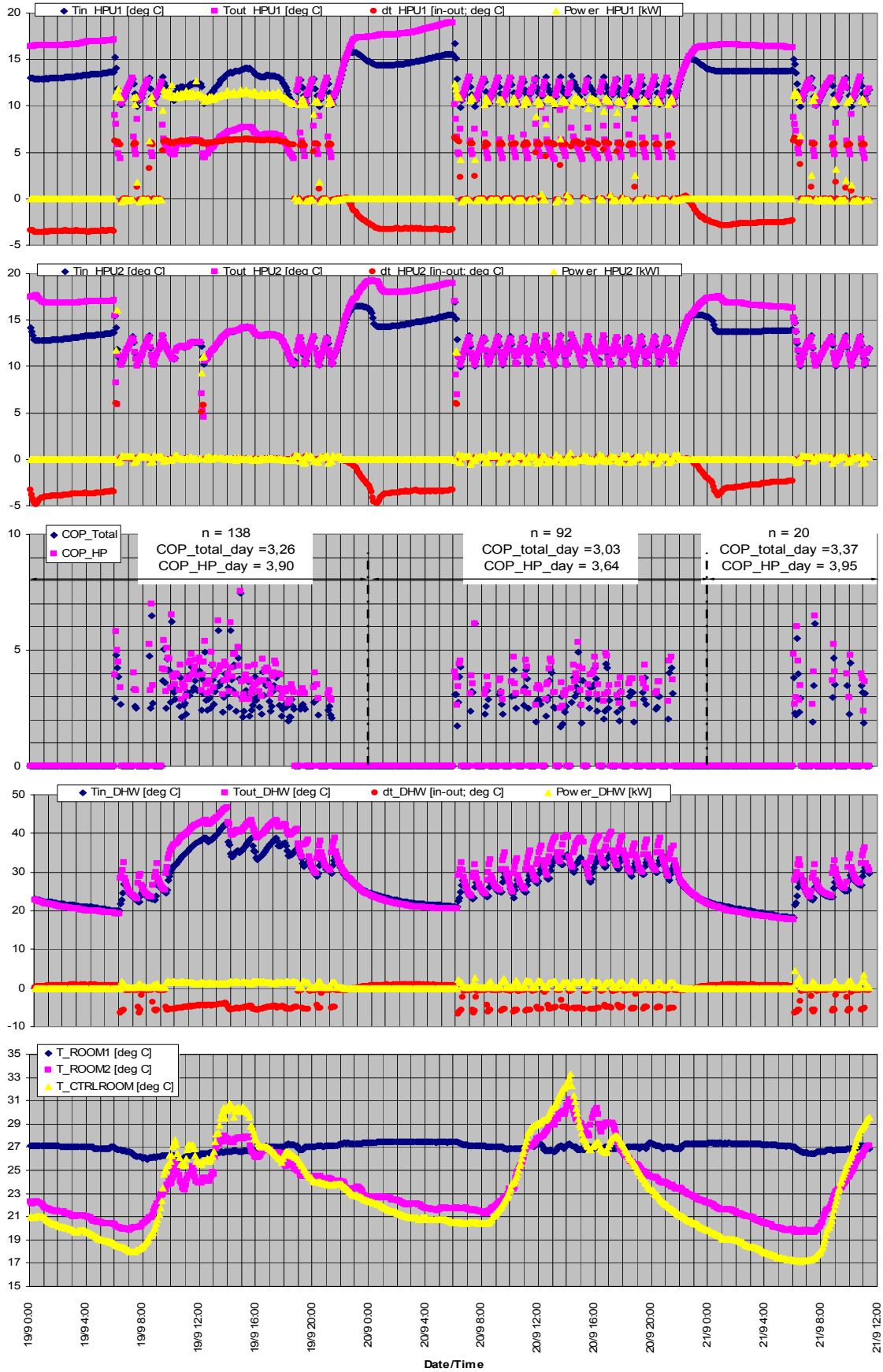
Διάγραμμα Α.3: ΨΥΞΗ - Παράμετροι λειτουργίας 18/9/2006 (Μέρος Β)



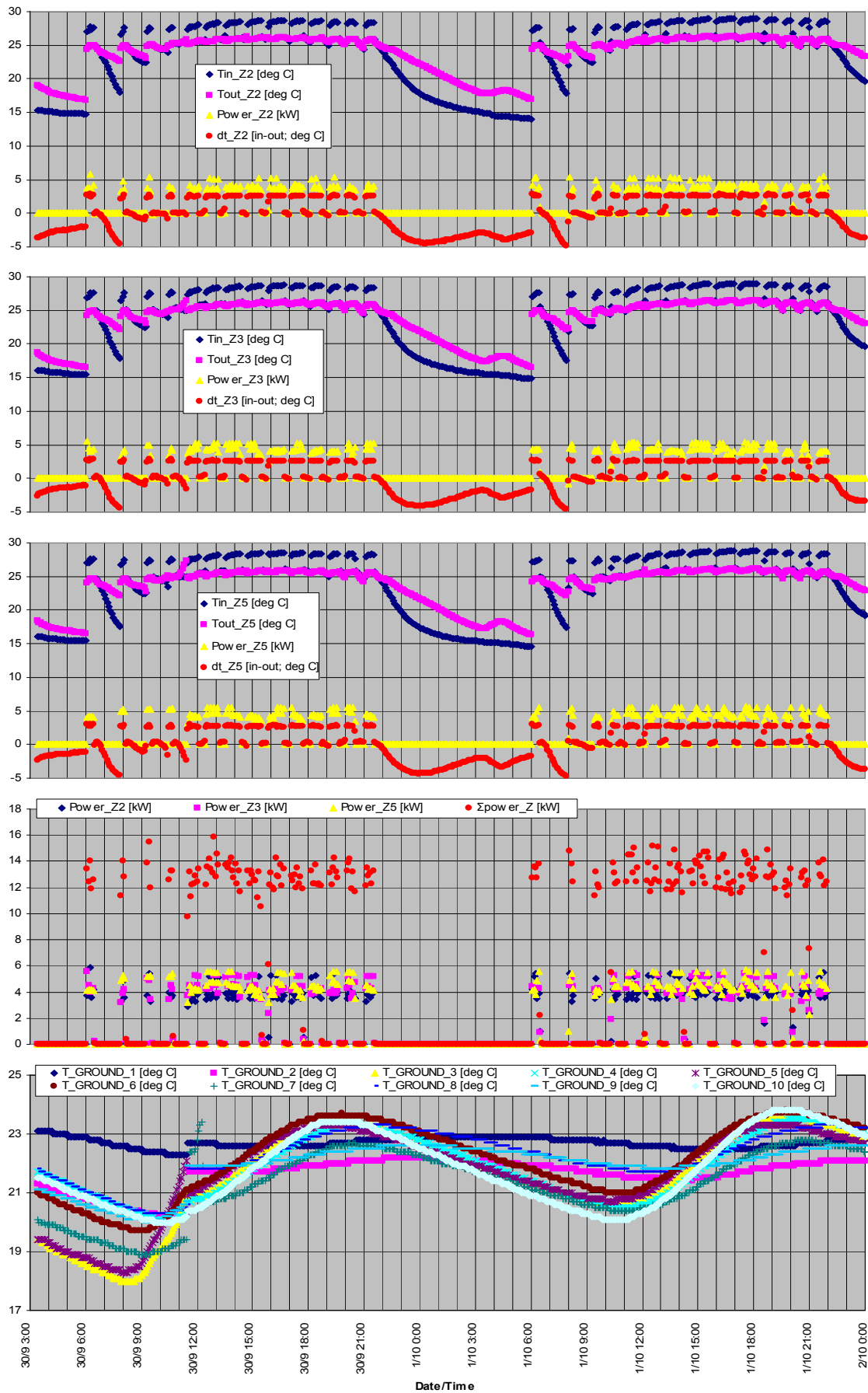
Διάγραμμα Α.4: ΨΥΞΗ - Παράμετροι λειτουργίας 19-21/9/2006 (Μέρος Α)



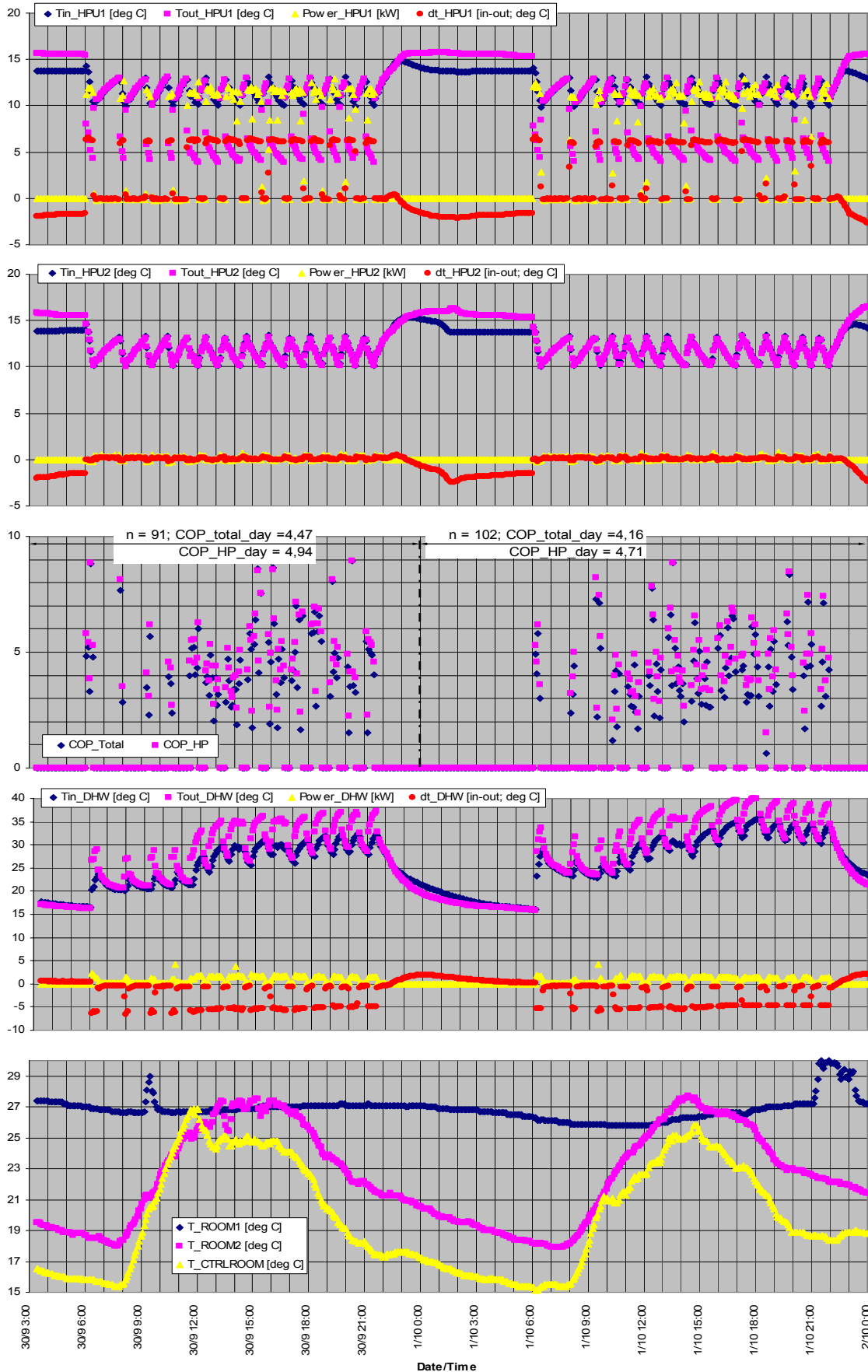
Διάγραμμα Α.4: ΨΥΞΗ - Παράμετροι λειτουργίας 19-21/9/2006 (Μέρος Β)



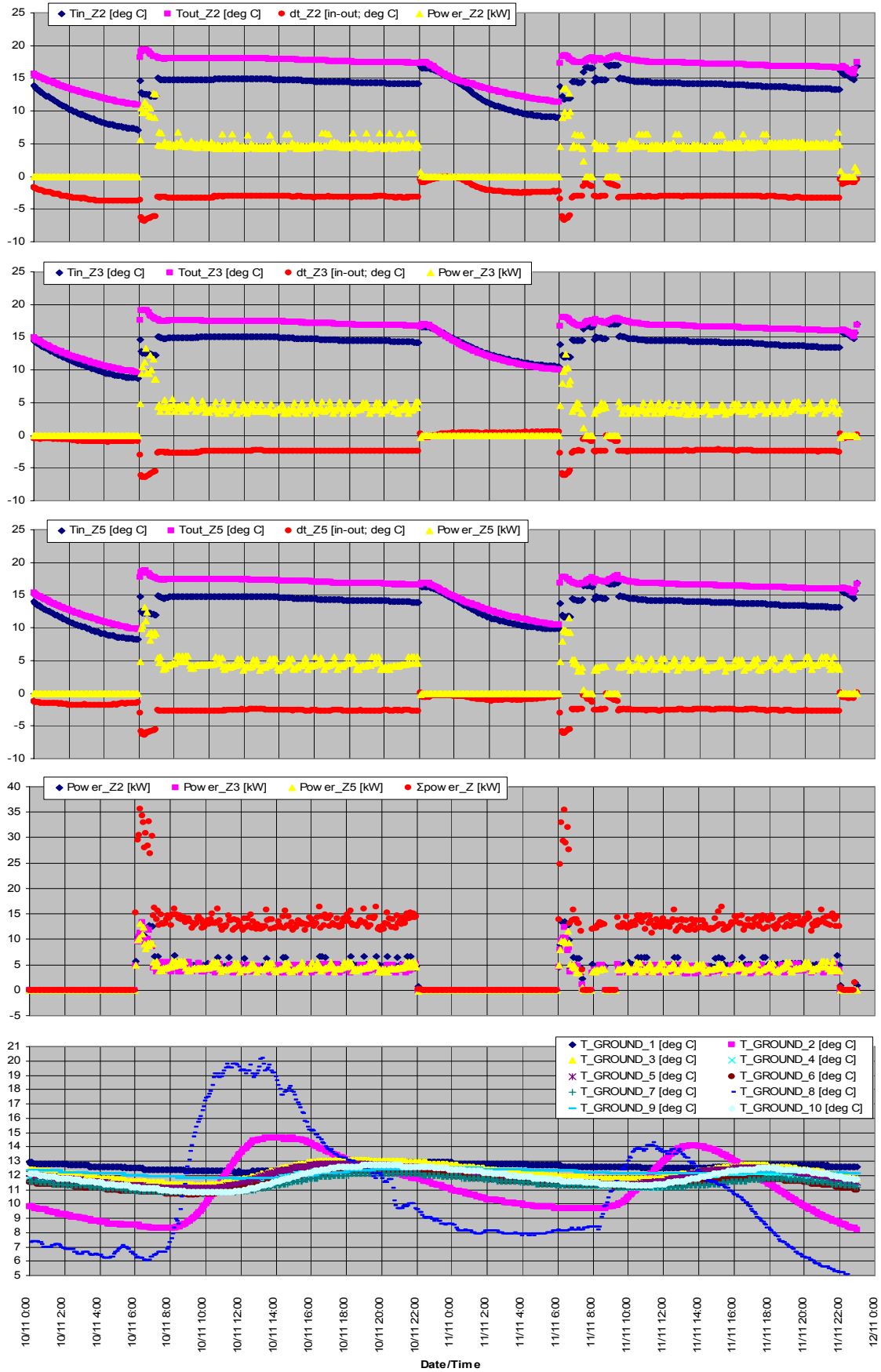
Διάγραμμα Α.5: ΨΥΞΗ - Παράμετροι λειτουργίας 30/9-1/10/2006 (Μέρος Α)



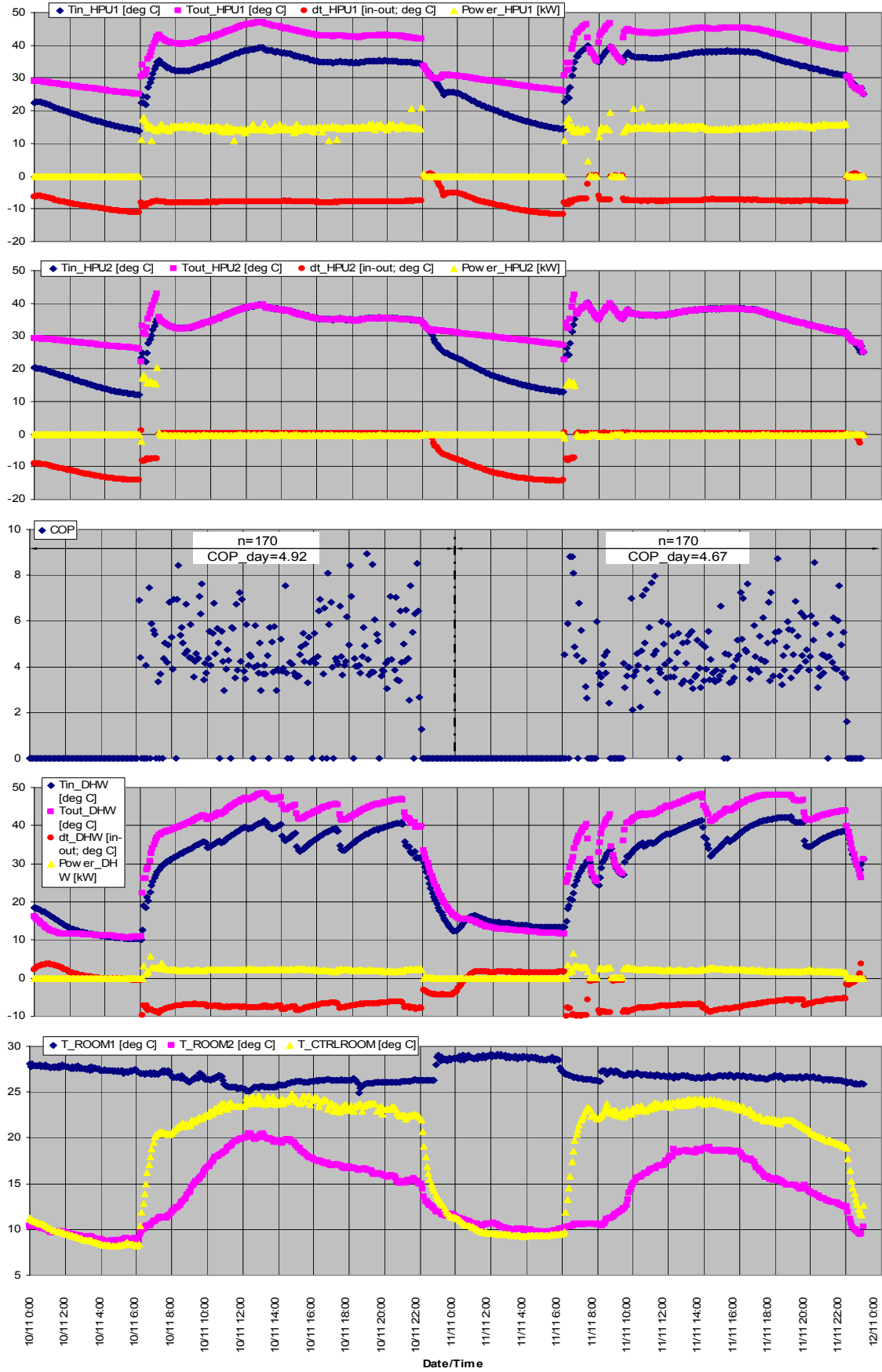
Διάγραμμα Α.5: ΨΥΞΗ - Παράμετροι λειτουργίας 30/9-1/10/2006 (Μέρος Β)



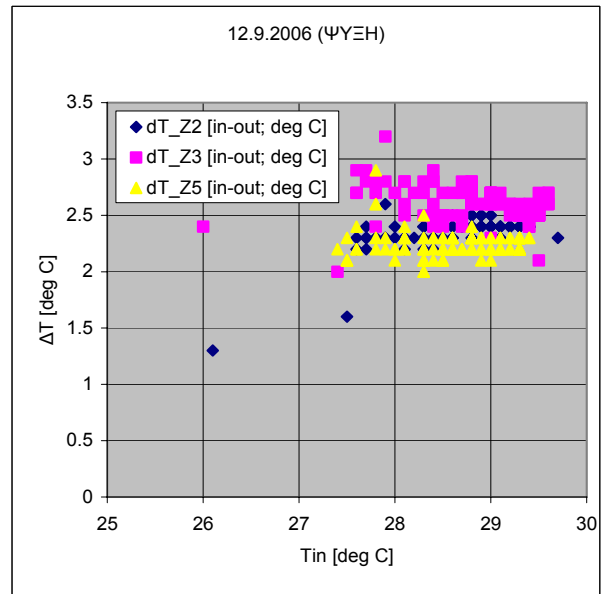
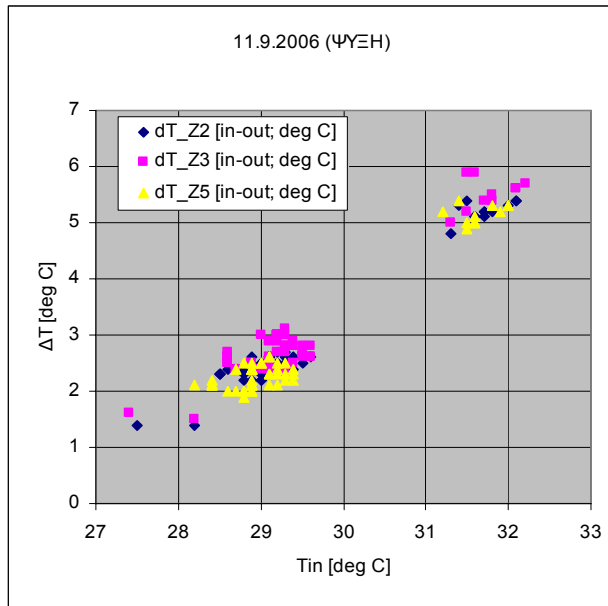
Διάγραμμα Α.6: ΘΕΡΜΑΝΣΗ - Παράμετροι λειτουργίας 10-11/10/2006 (Μέρος Α)



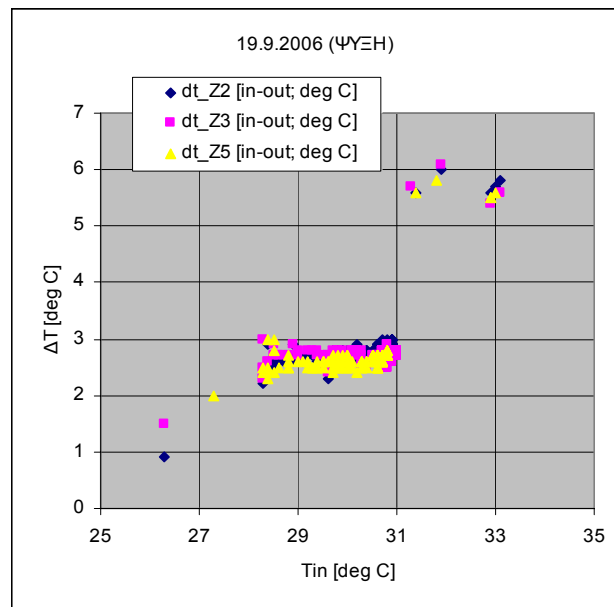
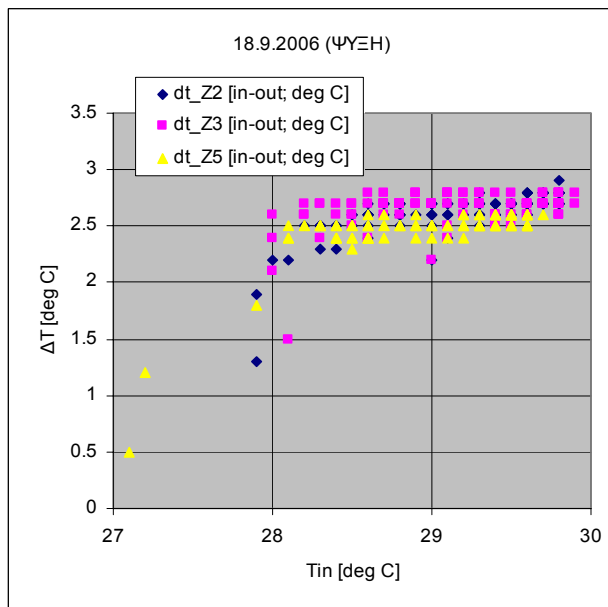
Διάγραμμα Α.6: ΘΕΡΜΑΝΣΗ - Παράμετροι λειτουργίας 10-11/10/2006 (Μέρος Β)



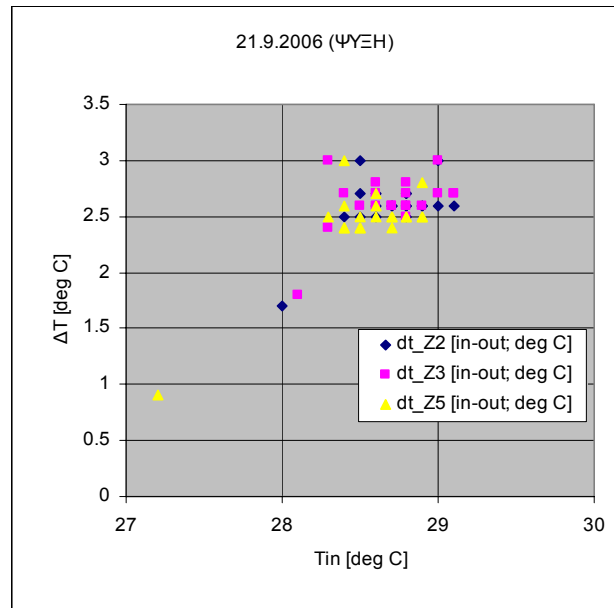
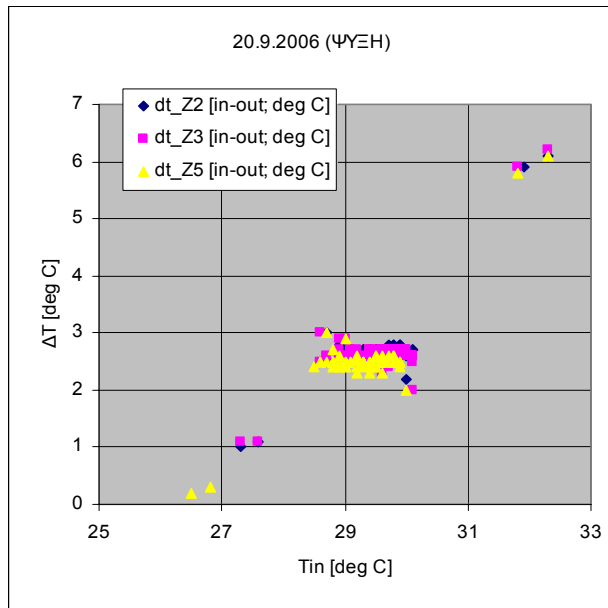
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Δείκτες απόδοσης υπεδάφιων εναλλακτών



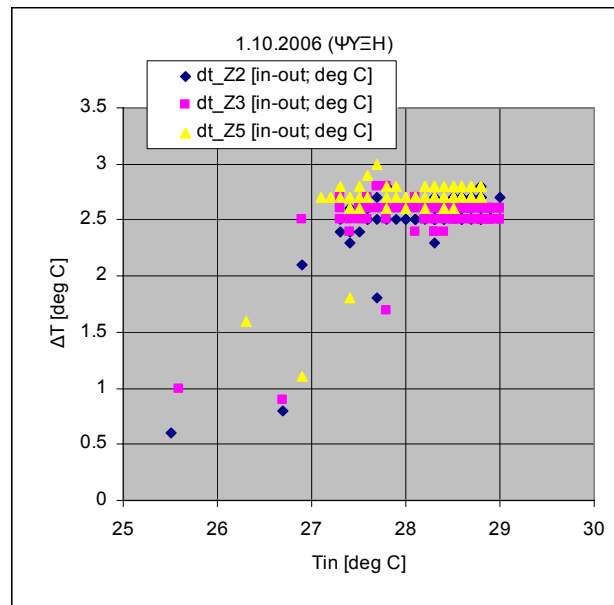
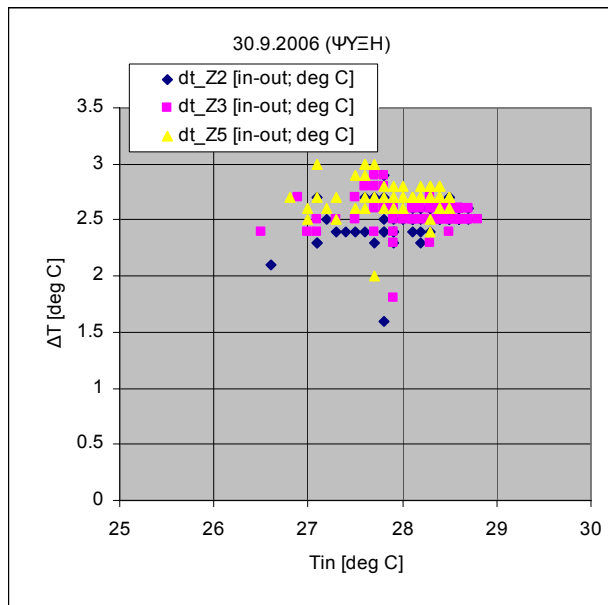
N=59	Zone 2	Zone 3	Zone 5	N=121	Zone 2	Zone 3	Zone 5
ΔT_{mean} [deg C]	2,97	3,23	2,84	ΔT_{mean} [deg C]	2,38	2,60	2,25
P_{mean} [kW] _{th}	4,63	6,07	4,67	P_{mean} [kW] _{th}	3,75	4,82	3,62
E_{day} [kWh] _{th}	22,78	29,85	22,96	E_{day} [kWh] _{th}	37,82	48,62	36,53



N=111	Zone 2	Zone 3	Zone 5	N=138	Zone 2	Zone 3	Zone 5
ΔT_{mean} [deg C]	2,62	2,66	2,47	ΔT_{mean} [deg C]	2,90	2,80	2,72
P_{mean} [kW] _{th}	4,07	5,05	4,25	P_{mean} [kW] _{th}	4,54	5,09	4,62
E_{day} [kWh] _{th}	37,69	46,68	39,31	E_{day} [kWh] _{th}	52,24	58,48	53,11



N=92	Zone 2	Zone 3	Zone 5	N=20	Zone 2	Zone 3	Zone 5
ΔT_{mean} [deg C]	2,69	2,65	2,52	ΔT_{mean} [deg C]	2,60	2,64	2,46
P_{mean} [kW] _{th}	4,22	4,74	4,22	P_{mean} [kW] _{th}	4,1	4,83	3,81
E_{day} [kWh] _{th}	32,37	36,32	32,36	E_{day} [kWh] _{th}	6,83	8,05	6,35



N=91	Zone 2	Zone 3	Zone 5	N=102	Zone 2	Zone 3	Zone 5
ΔT_{mean} [deg C]	2,52	2,55	2,70	ΔT_{mean} [deg C]	2,54	2,52	2,68
P_{mean} [kW] _{th}	3,92	4,37	4,59	P_{mean} [kW] _{th}	4,03	4,35	4,57
E_{day} [kWh] _{th}	29,76	33,16	34,79	E_{day} [kWh] _{th}	34,26	36,99	38,92

