



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ &
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Μανδραμπαζάκης Αντώνιος

Επιβλέπων καθηγητής: Παπαευθυμίου Σπυρίδων, Επίκουρος καθηγητής
Πολυτεχνείου Κρήτης

Χανιά 2016

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον επιβλέπων καθηγητή μου Παπαευθυμίου Σπυρίδων ο οποίος μου ανάθεσε την παρούσα εργασία και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα καθώς και για την πολύτιμη συνεισφορά και καθοδήγηση του στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ο.Α.Κ. Α.Ε. και ιδιαιτέρως τον κ. Πιπερίδη Παναγιώτη τόσο για την συνεργασία του όσο και για την παροχή των απαραίτητων στοιχείων και πληροφοριών που χρειάστηκαν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιαστούν και να αναλυθούν οι δυνατότητες βελτιστοποίησης ενός αντλιοστασίου προκειμένου να υπάρξει εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη λειτουργία του. Παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των αντλιών και οι αρχές λειτουργίας τους, δίνοντας έμφαση στην ευρέως διαδεδομένη φυγοκεντρική αντλία. Επίσης, γίνεται ανάλυση του τρόπου λειτουργίας της αντλητικής εγκατάστασης και των μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας σε αυτήν. Στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας γίνεται μια ανάλυση της λειτουργίας ενός αντλιοστασίου του Ο.Α.Κ. Α.Ε. στο Βλητέ και γίνονται προτάσεις για την πιθανή βελτίωση της διαχείρισης των αντλιών.

Πίνακας περιεχομένων

1.	Εισαγωγή	7
1.1	Περιγραφή του προβλήματος	7
2.	Η αντλία και τα χαρακτηριστικά της	9
2.1	Εισαγωγή	9
2.2	Ταξινόμηση αντλιών	10
2.3	Φυγοκεντρική αντλία	11
2.3.1	Βασική αρχή λειτουργίας	11
2.3.2	Κατηγορίες φυγοκεντρικών αντλιών	12
2.3.3	Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας	14
2.3.4	Καμπύλη Παροχής - Ύψους (QH)	14
2.3.5	Καμπύλη βαθμού απόδοσης (η)	15
2.3.6	Καμπύλη ισχύος (P ή N)	17
2.3.7	Σπηλαίωση και καμπύλη Καθαρής Θετικής Πίεσης Αναρρόφησης (NPSH)	18
2.3.8	Πραγματικά διαγράμματα χαρακτηριστικών της αντλίας	20
2.4	Πολυβάθμιες αντλίες	22
2.5	Μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής	23
3.	Η αντλητική εγκατάσταση	28
3.1	Εισαγωγή	28
3.2	Η χαρακτηριστική καμπύλη σωληνογραμμής	29
3.3	Σημείο λειτουργίας	32
3.4	Συνεργασία αντλιών	34
3.4.1	Παράλληλη σύνδεση	35
3.4.2	Σύνδεση σε σειρά	37
4.	Βελτιστοποίηση αντλιοστασίου	40
4.1	Εισαγωγή	40

4.2 Μέθοδος.....	41
4.3 Έλεγχος ροής	42
4.3.1 Βαλβίδα ελέγχου ροής (βάννα)	43
4.3.2 Αγωγός παράκαμψης (bypass)	44
4.3.3 Μείωση διαμέτρου περρωτής	46
4.3.4 Μεταβολή στροφών	48
4.4 Αντλία	50
4.5 Κινητήρας	52
4.5.1 Υπερμεγέθης κινητήρας.....	52
4.5.2 Κινητήρες υψηλής απόδοσης.....	53
4.6 Φθορές και συντήρηση	53
4.7 Σωληνώσεις.....	54
4.8 Πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας.....	56
4.9 Συγκεντρωτικά.....	56
5. ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	57
5.1 Σχετικά με τον Ο.Α.Κ. Α.Ε.	57
5.2 Δίκτυο ΟΑΚ.....	58
5.3 Αντλιοστάσιο Βλητέ	60
5.3.1 Τρόπος λειτουργίας	60
5.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά των αντλιών	61
5.3.4 SCADA	62
5.3.5 Στοιχεία από λογαριασμούς ΔΕΗ	65
5.3.6 Χρόνος λειτουργίας αντλιών (2013)	68
5.3.7 Λειτουργία αντλιών και στάθμη δεξαμενών (2015-2016)	72
5.3.8 Κατανάλωση ενέργειας και ισχύς (2015-2016)	79
5.3.9 Υπάρχοντα δεδομένα και προβλήματα	84
5.3.10 Παρατηρήσεις και προτάσεις	85
Βιβλιογραφία	88
6.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	89

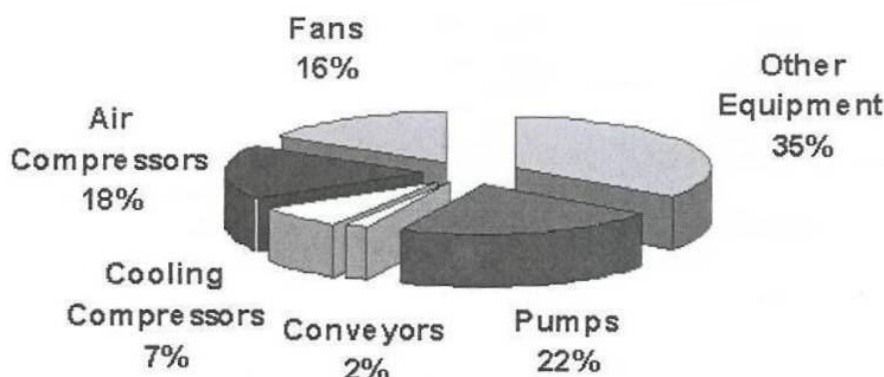
A. Χαρακτηριστικές καμπύλες των αντλιών στο ΒΛΗΤΕ.....	89
Β. Διαγράμματα με τις ώρες λειτουργίας αντλιών και ταξινόμηση αναλόγως την ζώνη χρέωσης (στοιχεία από 2013)	93
Γ. Διαγράμματα με λειτουργία αντλιών και στάθμη δεξαμενών	139
Δ. Διαγράμματα κατανάλωσης ενέργειας και απορροφούμενης ισχύς αντλιών (2015-2016).....	173

1. Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή του προβλήματος

Τη σημερινή εποχή γίνεται συνεχώς λόγος για την κατανάλωση ενέργειας. Τα αποθέματα των συμβατικών πηγών ενέργειας, όπως π.χ. το πετρέλαιο έχουν αρχίσει να εξαντλούνται και επιπλέον έχουν μεγάλες περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις. Έτσι γίνεται λόγος για την ανάπτυξη διαφόρων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αλλά και για την βέλτιστη διαχείριση όλων των συστημάτων που καταναλώνουν ενέργεια. Ακόμη στο σύγχρονο οικονομικό περιβάλλον γίνονται συνεχώς προσπάθειες για την ελαχιστοποίηση του κόστους κάθε εφαρμογής. Οι αντλίες και γενικότερα όλες οι αντλητικές εγκαταστάσεις ανήκουν στον τομέα όπου υπάρχουν μεγάλα περιθώρια βελτιστοποίησης της λειτουργίας τους, ώστε να καταναλώνονται μικρότερα ποσά ενέργειας.

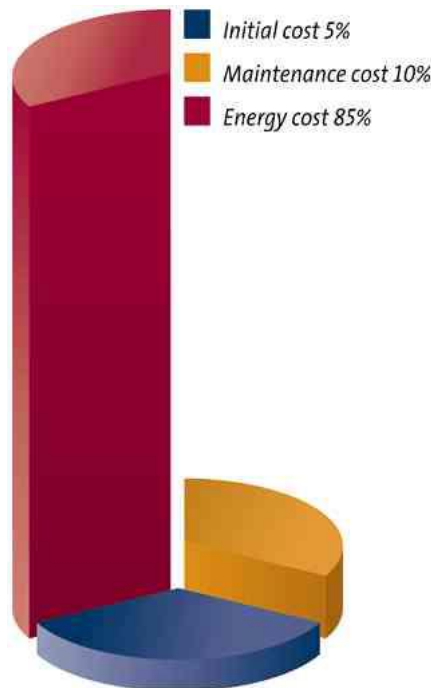
Ένα μεγάλο μέρος της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από τα αντλητικά συστήματα. Σύμφωνα με έρευνες το ποσοστό της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο καταναλώνεται σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές είναι της τάξεως του 40% με πάνω από τα 2/3 αυτού του ποσοστού να απορροφάται από τους ηλεκτρικούς κινητήρες, όπου μεταξύ αυτών το μεγαλύτερο ποσοστό αναφέρεται σε κινητήρες αντλητικών συστημάτων. Υπολογίζεται ότι οι αντλίες σε παγκόσμιο επίπεδο καταναλώνουν περίπου το 10% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμα το 22% της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία απορροφάται από κινητήρες οφείλεται στις αντλίες, ακολουθούν αεροσυμπιεστές με ποσοστό 18 %, ανεμιστήρες με 16%, συστήματα ψύξης με 7%, συστήματα μεταφοράς 2% και από άλλου είδους εξοπλισμό το υπόλοιπο 35%. [2],[4]



Εικόνα 1 : Κατανομή παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από κινητήρες. [4]

Πρόκειται για ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό και έτσι προκύπτει αναγκαία η βελτιστοποίηση τέτοιων συστημάτων ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά γίνεται.

Αρκετά από τα ήδη εγκατεστημένα αντλητικά συστήματα έχουν μεγάλα περιθώρια βελτιστοποίησης και αυτό γιατί έως τα τελευταία χρόνια, όπου δεν ήταν τόσο εμφανές το ενεργειακό πρόβλημα, δεν δινόταν ιδιαίτερη έμφαση στην ενεργειακή μελέτη ενός αντλιοστασίου αλλά ο κύριος στόχος ήταν να μπορεί να ανταποκριθεί στις ανάγκες που υπάρχουν, ασχέτως ενεργειακής κατανάλωσης. Ακόμη πολλές φορές ένας από τους κύριους στόχους είναι η ελαχιστοποίηση του αρχικού κεφαλαίου το οποίο απαιτείται για την κατασκευή ενός αντλιοστασίου, με αποτέλεσμα να παραμελούνται οι ενέργειες για την βέλτιστη ενεργειακή λειτουργία. Υπολογίζεται ότι η κατανάλωση ενέργειας στα περισσότερα αντλητικά συστήματα θα μπορούσε να μειωθεί κατά περίπου 25% μέσω κατάλληλων δράσεων για τον εκσυγχρονισμό του εξοπλισμού αλλά και μέσω της αναθεώρησης του τρόπου λειτουργίας τους. Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα είναι ότι τις περισσότερες φορές οι αντλίες δεν δουλεύουν στο σημείο για το οποίο έχουν σχεδιαστεί να δουλεύουν με αποτέλεσμα να έχουν αρκετά χαμηλότερο βαθμό απόδοσης. Κάτι τέτοιο αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας αλλά και τα έξοδα συντήρησης του αντλιοστασίου. Κατά τη διάρκεια ζωής ενός αντλιοστασίου τα μεγαλύτερα κόστη είναι τα κόστη κατανάλωσης ενέργειας. [1],[2],[5]



Εικόνα 2 : Κατανομή κόστους κατά την διάρκεια ζωής αντλιοστασίου. [4]

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα υπολογίζεται ότι κατά τη διάρκεια ζωής του αντλιοστασίου το 85% περίπου των εξόδων προέρχεται από την κατανάλωση ενέργειας, το 10% αφορά τα έξοδα συντήρησης και μόλις το 5% αφορά το αρχικό κεφάλαιο. Γίνεται λοιπόν σαφές η αναγκαιότητα οι αντλίες να δουλεύουν στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας τους έτσι ώστε να μειώνονται όσο δυνατόν περισσότερο τα έξοδα λειτουργίας και η κατανάλωση ενέργειας. [3],[4]

Ένας ακόμη λόγος για τον οποίο υπάρχουν μεγάλα περιθώρια βελτιστοποίησης των αντλητικών συστημάτων είναι η φθορά τόσο των αντλιών όσο και των αγωγών με την πάροδο του χρόνου. Εάν δεν υπάρχει κατάλληλη συντήρηση των αντλιών μπορεί να αυξηθεί αρκετά η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εφόσον οι αντλίες δεν θα μπορούν να λειτουργήσουν στο βέλτιστο σημείο. Αρκετές φορές η αποδοτικότητα μιας αντλίας μπορεί να μειωθεί από 10% έως και 25% πριν υπάρξει αντικατάστασή της. Αντλίες οι οποίες δουλεύουν με βαθμό απόδοσης 50%-60% είναι ένα αρκετά συχνό φαινόμενο. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχουν απώλειες από διαρροές στα δίκτυα οι οποίες μπορεί να φτάσουν σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι και το 50% για αναπτυσσόμενες περιοχές, ενώ σε ποσοστό μέχρι και 20% για ανεπτυγμένες περιοχές. Τέτοιου είδους προβλήματα συχνά δεν είναι άμεσα εμφανή, και έτσι οι δυνατότητες για την βελτίωση της απόδοσης και της εξοικονόμησης ενέργειας, μέσω της αντικατάστασης ή της επιδιόρθωσης διαφόρων εξαρτημάτων αλλά και τη βελτιστοποίηση του συστήματος, παραβλέπονται. [1]-[6]

2. Η αντλία και τα χαρακτηριστικά της

2.1 Εισαγωγή

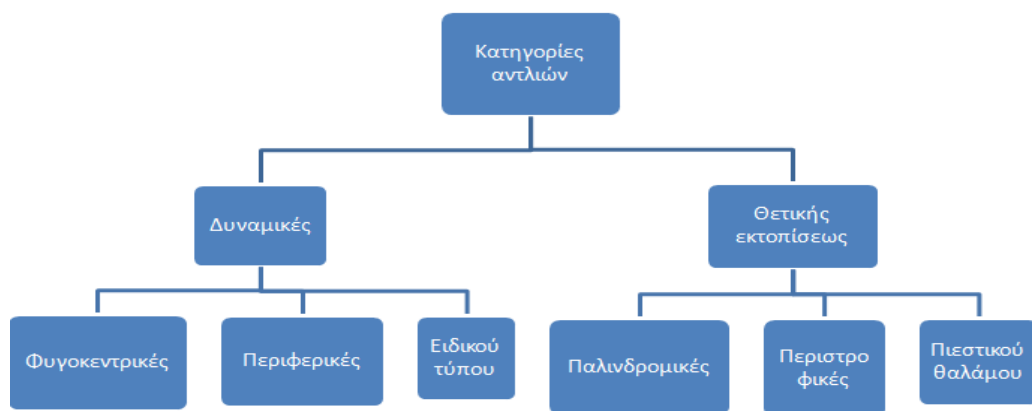
Ως αντλία εννοείται μια μηχανική διάταξη μέσω της οποίας προσδίδεται ενέργεια σε κάποιο υγρό προκειμένου να μεταφερθεί από μια δεξαμενή σε μια δεξαμενή υψηλότερης στάθμης ή και από μια πίεση σε υψηλότερη πίεση. Ως δεξαμενή μπορεί να θεωρηθεί και ένας ποταμός, υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας ή και δοχείο πίεσης. Η ενέργεια αυτή προσδίδεται στο υγρό προκειμένου κατά πρώτον να υπερνικηθούν οι υδραυλικές απώλειες εντός των σωληνώσεων που συνδέουν τις δεξαμενές και κατά δεύτερον να προσδοθεί στο υγρό η ενέργεια που αντιστοιχεί στην ενεργειακή διαβάθμισή του μεταξύ των δύο δεξαμενών λόγω της υψομετρικής διαφοράς των δεξαμενών ή και λόγω των διαφορετικών πιέσεων οι οποίες επικρατούν στις δεξαμενές. [9]

Κατά γενική περίπτωση η διακίνηση του υγρού μεταξύ δύο δεξαμενών γίνεται μέσω κάποιας σωλήνωσης στην οποία παρεμβάλλεται και η αντλία. Η διατομή εισόδου της αντλίας συνδέεται προς την πλευρά της δεξαμενής από την οποία γίνεται η αναρρόφηση, και συνήθως αναφέρεται ως αγωγός αναρρόφησης. Η διατομή εξόδου της αντλίας συνδέεται προς την πλευρά της δεξαμενής στην οποία καταθλίπεται το υγρό, και συνήθως αναφέρεται ως αγωγός κατάθλιψης. [1],[7],[10]

Η χρήση τους είναι αναγκαία τόσο σε βιομηχανικό όσο και σε οικιακό επίπεδο. Για παράδειγμα γίνεται χρήση αντλιών από διάφορες βιομηχανίες για τη διακίνηση υγρών όπως νερού, λαδιού, γάλακτος κτλ. Ακόμη είναι αναγκαία η χρήση τους στις υπηρεσίες ύδρευσης, άρδευσης και αποχέτευσης καθώς και σε πολλές άλλες εφαρμογές της καθημερινής ζωής. [8],[10]

2.2 Ταξινόμηση αντλιών

Η ταξινόμηση των αντλιών και η κατάταξή τους σε κατηγορίες μπορεί να γίνει με διάφορα κριτήρια όπως: η αρχή λειτουργίας τους, ο αριθμός των βαθμίδων τους, τις κατασκευαστικές τους λεπτομέρειες, το υγρό το οποίο διακινούν κτλ. Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος κατάταξης των αντλιών είναι βάση της λειτουργίας τους, δηλαδή τον μηχανισμό με τον οποίο προσδίδεται η ενέργεια στο υγρό. Με βάση αυτό το κριτήριο οι αντλίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Τις δυναμικές αντλίες (ή κινητού τύπου) και τις αντλίες θετικής εκτοπίσεως (ή στατικού τύπου). [10]



Εικόνα 3 : Κατηγοριοποίηση αντλιών βάση τρόπου λειτουργίας

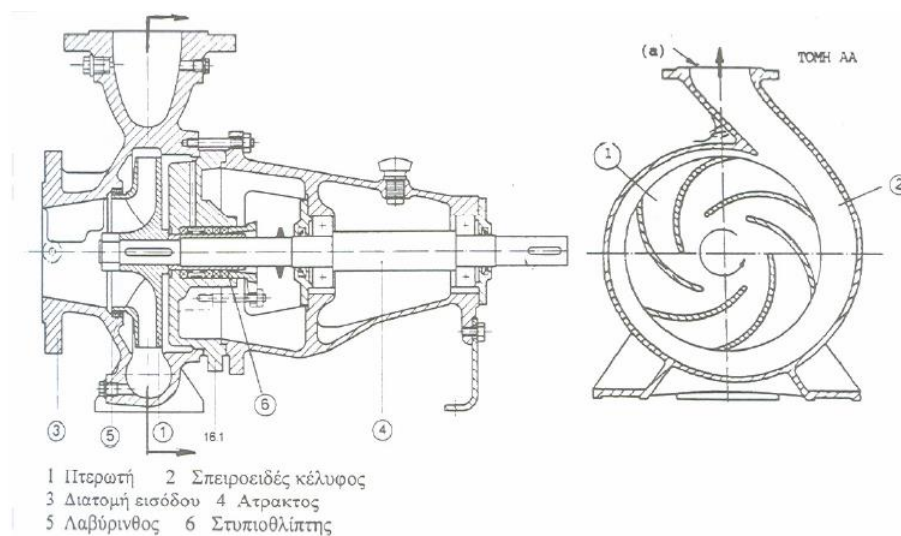
Στις δυναμικές αντλίες προσδίδεται στο υγρό κινητική ενέργεια με φυγοκεντρικές δυνάμεις, ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, μεταφορά ορμής ή μηχανική ώθηση. Οι δυναμικές αντλίες μπορούν επιπλέον να κατηγοριοποιηθούν σε φυγοκεντρικές αντλίες, περιφερικές αντλίες και δυναμικές αντλίες ειδικού τύπου. [11]

Στις αντλίες θετικής εκτοπίσεως το υγρό εκτοπίζεται από ένα χώρο και προωθείται προς έναν άλλο είτε με κάποιο μηχανικό μέσο είτε με κάποιο άλλο ρευστό (π.χ. αέρα). Οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως μπορούν επιπλέον να κατηγοριοποιηθούν σε παλινδρομικές, περιστροφικές και πιεστικού θαλάμου. [9]-[11]

2.3 Φυγοκεντρική αντλία

2.3.1 Βασική αρχή λειτουργίας

Το 1689 ο φυσικός Denis Papin ανέπτυξε την φυγοκεντρική αντλία η οποία αποτελεί σήμερα την πιο ευρέως χρησιμοποιημένη αντλία στον κόσμο. Όπως συμβαίνει και με τους περισσότερους άλλους τύπους αντλιών η φυγοκεντρική αντλία μετατρέπει την περιστροφική ενέργεια, συνήθως ενός ηλεκτρικού κινητήρα, σε κινητική ενέργεια στο ρευστό. Το ρευστό εισέρχεται κατά την αξονική διεύθυνση της αντλίας και στην συνέχεια περνάει στην πτερωτή όπου εκεί μέσω της φυγοκεντρικής δύναμης η οποία αναπτύσσεται οδηγείται προς την περιφέρεια της πτερωτής και έως ότου εξέλθει από την αντλία. Το ρευστό καθώς περνάει από την πτερωτή αυξάνει και την πίεση του καθώς και την ταχύτητά του. Στην έξοδο της αντλίας υπάρχει ένα σπειροειδές κέλυφος, μέσω του οποίου αφαιρείται η συστροφή η οποία έχει αποδοθεί προηγουμένως στο ρευστό και αυξάνεται επιπλέον η πίεσή του. [9],[10]



Εικόνα 4 : Μηχανολογικό σχέδιο φυγοκεντρικής αντλίας. [9]

Ο τρόπος κατασκευής και η αρχή λειτουργίας των φυγοκεντρικών αντλιών έχουν αρκετά πλεονεκτήματα και για αυτόν τον λόγο είναι οι πιο διαδεδομένες αντλίες αυτήν την στιγμή. Η κατασκευή μιας φυγοκεντρικής αντλίας μπορεί να θεωρηθεί σχετικά οικονομική, απλή και στιβαρή. Επίσης ο υψηλός αριθμός στροφών που μπορούν να αναπτύξουν κάνει εφικτή την απευθείας σύνδεσή τους σε έναν ασύγχρονο κινητήρα. Οι φυγοκεντρικές αντλίες έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν σε ένα ευρύ φάσμα παροχών και επιπλέον μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν βαλβίδες ελέγχου ροής (βάννα), χωρίς να προκαλείται ζημιά στην αντλία. Τέλος οι φυγοκεντρικές αντλίες μπορούν να δουλέψουν με πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης (στο κανονικό σημείο λειτουργίας τους ο βαθμός απόδοσης μπορεί να φτάσει και το ~85%). [1],[7],[9],[12]

2.3.2 Κατηγορίες φυγοκεντρικών αντλιών

Οι φυγοκεντρικές αντλίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν επιπλέον αναλόγως τα διάφορα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους. Ο πιο σύνηθες τρόπος κατηγοριοποίησης τους είναι αναλόγως τη ροή την οποία ακολουθεί το ρευστό. Οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται είναι οι εξής :

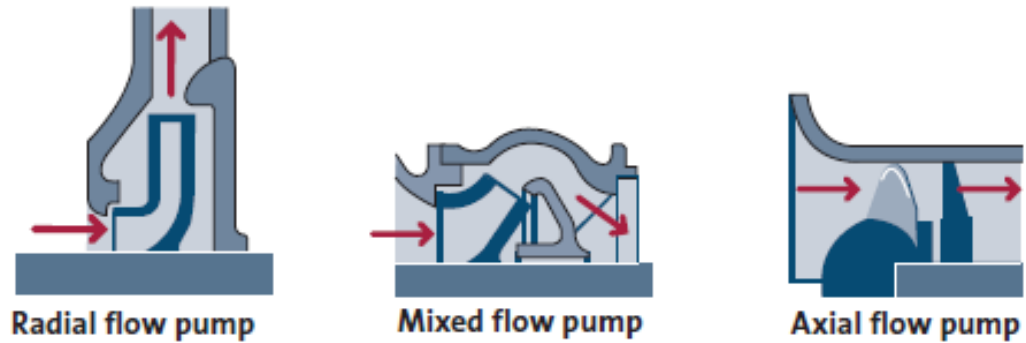
- Ακτινικής Ροής
- Αξονικής Ροής
- Μεικτής ροής

Ακτινικής ροής : Στις αντλίες ακτινικής ροής το ρευστό εισέρχεται στην αντλία κατά την διεύθυνση του άξονα και αφότου περάσει από την περωτή εξέρχεται κατά τη διεύθυνση της ακτίνας. Αυτό συμβαίνει όταν το πλάτος των περυγίων της περωτής είναι μικρό σε σχέση με τη διάμετρο.

Αξονικής ροής : Στις αντλίες αξονικής ροής το ρευστό εισέρχεται στην αντλία κατά την διεύθυνση του άξονα και αφότου περάσει από την περωτή εξέρχεται και πάλι κατά τη διεύθυνση του άξονα. Αυτό συμβαίνει όταν το πλάτος των περυγίων της περωτής είναι μεγάλο σε σχέση με τη διάμετρο.

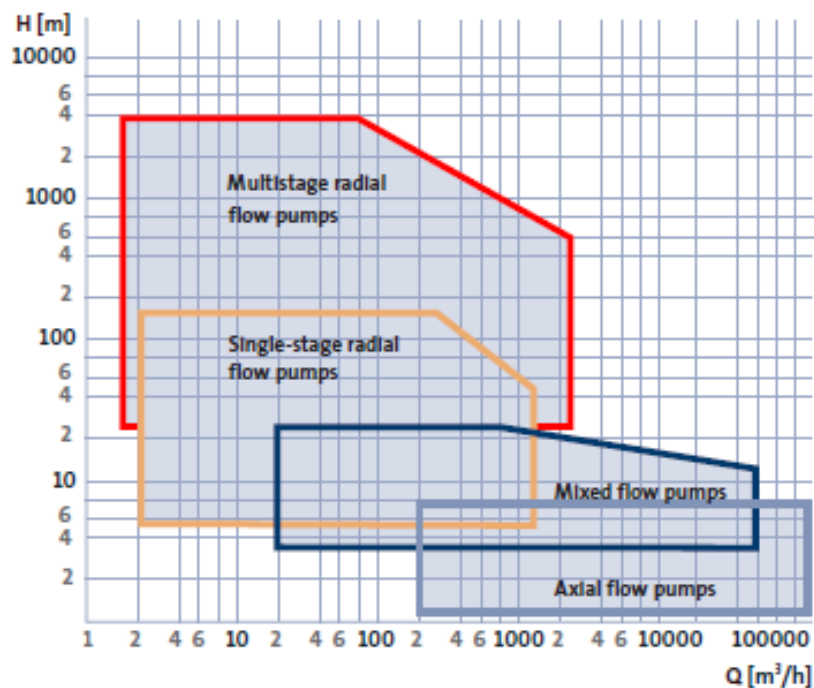
Μεικτής ροής : Στην ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ της πλήρως ακτινικής και της πλήρως αξονικής ροής διακρίνονται οι αντλίες μεικτής ροής.

Παρακάτω φαίνεται και σε σχήμα η ροή του ρευστού καθώς και η μορφή της περωτής κατά σειρά για αντλία ακτινικής ροής, αντλία μεικτής ροής, αντλία αξονικής ροής. [1],[9],[10]



Εικόνα 5 : Ροή ρευστού σε αντλία ακτινικής, μεικτής και αξονικής ροής. [1]

Οι εκάστοτε ανάγκες για την απόδοση της φυγοκεντρικής αντλίας, ειδικά σχετικά με την αναγκαία παροχή, μανομετρικό και τον τρόπο εγκατάστασης καθώς και τα εκάστοτε οικονομικά κριτήρια είναι μερικοί μόνο από τους λόγους για τους οποίους υπάρχουν διαφορετικά είδη φυγοκεντρικών αντλιών. Στο σχήμα παρακάτω φαίνονται τα διάφορα είδη φυγοκεντρικών αντλιών και οι περιοχές χρήσης τους αναλόγως την παροχή και το ολικό ύψος (Q και H) που απαιτούνται. [1]



Εικόνα 6 : Τύποι αντλιών και περιοχές χρήσης τους. [1]

Με το **κόκκινο** περίγραμμα αναφέρονται πολυβάθμιες ακτινικής ροής αντλίες (στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλυθούν οι πολυβάθμιες αντλίες), με το **πορτοκαλί** περίγραμμα αναφέρονται οι μονοβάθμιες αντλίες ακτινικής ροής, με το **μπλε** περίγραμμα οι αντλίες μεικτής ροής και τέλος με το **γαλάζιο** περίγραμμα οι αντλίες αξονικής ροής.

Όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα υπάρχουν περιοχές όπου μπορεί να καλύπτονται από δύο διαφορετικά είδη. Σε κάθε περίπτωση αναλόγως τη μελέτη που έχει προηγηθεί για το αντλητικό σύστημα, τις ανάγκες που υπάρχουν καθώς και βάση του οικονομικού παράγοντα επιλέγεται η καταλληλότερη.

2.3.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας

Οι κύριες χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας της αντλίας, για μια σταθερή ταχύτητα περιστροφής, είναι η καμπύλη του ολικού ύψους H συναρτήσει της παροχής Q , η καμπύλη του βαθμού απόδοσης της αντλίας συναρτήσει της παροχής, η καμπύλη της απορροφούμενης ισχύος συναρτήσει της παροχής καθώς και η καμπύλη της καθαρής θετικής πίεσης αναρρόφησης $NPSH$ (Net Positive Suction Head) συναρτήσει της παροχής.

Για την κατασκευή των αντλιών ακολουθούνται συχνώς τα πρότυπα ISO 9906 τα οποία θέτουν το αποδεκτό ποσοστό σφάλματος σε κάθε καμπύλη. Τα ποσοστά αυτά είναι τα εξής:

- Παροχή (Q) $\pm 9\%$
- Ύψος(H) $\pm 7\%$
- Ισχύς (P) $\pm 9\%$
- Βαθμός απόδοσης(η) $- 7\%$
[1],[7],[11]

2.3.4 Καμπύλη Παροχής - Ύψους (QH)

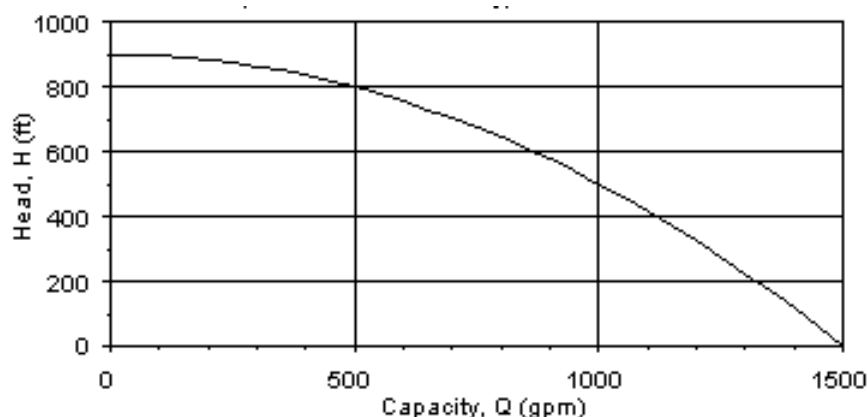
Η καμπύλη QH απεικονίζει το ύψος το οποίο είναι ικανή η αντλία να προσφέρει για μια συγκεκριμένη τιμή της παροχής. Η μονάδα μέτρησης του ύψους είναι τα «μέτρα στήλης υγρού». Γίνεται χρήση της συγκεκριμένης μονάδας μέτρησης γιατί έχει το πλεονέκτημα να είναι ανεξάρτητη του είδους του υγρού το οποίο διακινεί η αντλία. Το ύψος της αντλίας είναι μια έκφραση του πόσο ψηλά μπορεί να στείλει η αντλία το υγρό και είναι ανεξάρτητο της πυκνότητας του. Η σχέση του ύψους και της πίεσης δίνεται από τον εξής τύπο :

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g}$$

Όπου:

- H το ύψος (m)
- P η πίεση (Pa = N/ m²)
- ρ η πυκνότητα του υγρού (kg/m³)
- g επιτάχυνση λόγω βαρύτητας (m/s²)

Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο το ύψος το οποίο αποδίδει η αντλία αυξάνεται μειώνεται η παροχή. Ο ρυθμός μείωσης της παροχής εξαρτάται από την κατασκευή της αντλίας και είναι σημαντικό για την επιλογή της κατάλληλης αντλίας. Παρακάτω φαίνεται και σε διάγραμμα η καμπύλη ύψους – παροχής QH. [1],[7],[9],[11]



Εικόνα 7 : Καμπύλη παροχής - ύψους. [11]

2.3.5 Καμπύλη βαθμού απόδοσης (η)

Ο βαθμός απόδοσης είναι η σχέση μεταξύ της ενέργειας η οποία προσδίδεται στο ρευστό μέσω της αντλίας και της ενέργειας η οποία απορροφά η αντλία από τον κινητήρα. Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από το σημείο όπου λειτουργεί η αντλία. Ορίζεται ως **κανονικό σημείο λειτουργίας** ή BEP (Best efficiency point) το σημείο εκείνο όπου ο βαθμός απόδοσης παίρνει την μέγιστη τιμή. [1],[9]

Πρέπει να δίνεται προσοχή στην επιλογή της αντλίας, προκειμένου αυτή να λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στο κανονικό σημείο λειτουργίας, αφού αυτό εξασφαλίζει τον μέγιστο βαθμό απόδοσης και επιπλέον οι δυνάμεις οι οποίες ασκούνται στην αντλία είναι οι μικρότερες δυνατές. Κάτι τέτοιο έχει ως αποτέλεσμα και

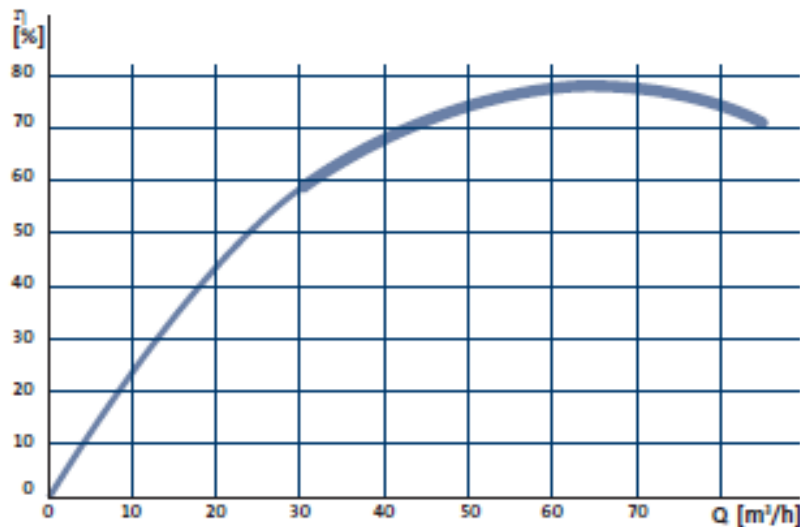
την πιο οικονομική λειτουργία της αντλίας αφού το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας η οποία απορροφάται από την αντλία προσδίδεται στο ρευστό αλλά και λόγω του γεγονότος ότι όταν η αντλία λειτουργεί κοντά στο κανονικό σημείο λειτουργίας το κόστος συντήρησης είναι μικρότερο.[1],[9],[13]

Σε πρακτικό επίπεδο είναι σχεδόν απίθανο μια αντλία να δουλεύει συνεχώς στο κανονικό σημείο λειτουργίας της γιατί συνήθως υπάρχουν μεταβλητές ανάγκες σε παροχή και ύψος του συστήματος. Ωστόσο όμως πρέπει να επιλέγεται αντλία της οποίας το κανονικό σημείο λειτουργίας είναι κοντά στις τιμές παροχής και ύψους που υπάρχουν συνήθως στο σύστημα.

Κάποιες από τις ενδείξεις ότι η αντλία δεν λειτουργεί κοντά στο κανονικό σημείο λειτουργίας είναι οι εξής :

- Θόρυβος
- Δονήσεις
- Συχνές ανάγκες συντήρησης
- Μεγάλες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας
- Σπηλαιώση (θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο)
- Υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας

Παρακάτω ακολουθεί διάγραμμα της καμπύλης του βαθμού απόδοσης. [1],[7]



Εικόνα 8 : Καμπύλη βαθμού απόδοσης. [1]

2.3.6 Καμπύλη ισχύος (P ή N)

Στην καμπύλη ισχύος φαίνεται η ισχύς που απορροφά η αντλία συναρτήσει της παροχής, σημειώνεται ότι όταν αυξάνεται η παροχή αυξάνεται και η ισχύς η οποία απορροφά η αντλία. Η ισχύς η οποία απορροφά η αντλία μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο :

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta \cdot 3600}$$

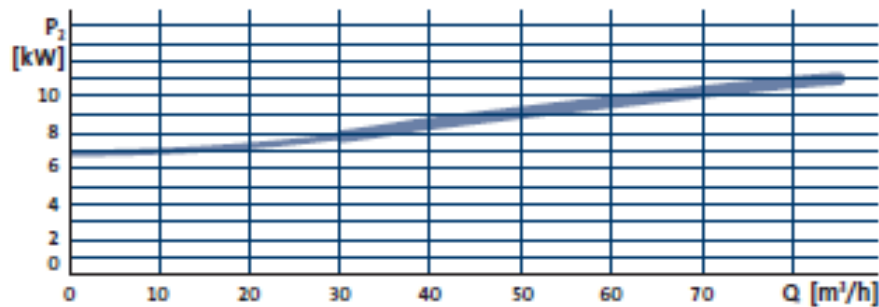
Όπου :

- ρ η πυκνότητα του υγρού (kg/m³)
- g επιτάχυνση λόγω βαρύτητας (m/s²)
- H το ύψος (m)
- Q η παροχή (m³/hr)
- η ο βαθμός απόδοσης

Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν επιλέγεται ο κινητήρας για την αντλία θα πρέπει να είναι μεγαλύτερης ισχύος από την ισχύ την οποία απορροφά η αντλία. Αυτό γιατί υπάρχουν απώλειες κατά την μεταφορά ενέργειας από τον κινητήρα στην αντλία (τυπικές τιμές βαθμού απόδοσης για κινητήρες υψηλής ισχύος είναι ~97%) καθώς επίσης πρέπει να υπάρχει περίσσεια ισχύος ώστε να μπορέσει ο κινητήρας να επιταχύνει γρήγορα την αντλία και να καλύψει τυχόν σφάλμα στον υπολογισμό του σημείου λειτουργίας της αντλίας. Έτσι επιλέγεται τυποποιημένος κινητήρας του οποίου η ονομαστική ισχύς είναι μεγαλύτερη από αυτήν που απορροφά η αντλία κατά ένα περιθώριο ασφαλείας. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται ενδεικτικές τιμές του περιθωρίου ασφαλείας συναρτήσει της ισχύς την οποία απορροφά η αντλία.
[1],[7],[9],[13],[14]

Απορροφούμενη ισχύς αντλίας (kW)	Περιθώριο ασφαλείας (%)
Έως 5,5	25
Έως 22	16
Έως 55	13
Άνω 55	10

Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα με την καμπύλη ισχύος της αντλίας.



Εικόνα 9 : Καμπύλη απορροφούμενης ισχύος από την αντλία. [1]

2.3.7 Σπηλαίωση και καμπύλη Καθαρής Θετικής Πίεσης Αναρρόφησης

(NPSH)

Το φαινόμενο της σπηλαίωσης αναπτύσσεται όταν σε μια περιοχή ροής του ρευστού η στατική πίεση τείνει να γίνει μικρότερη της πίεσης ατμοποίησης. Όταν συμβαίνει αυτό το υγρό ατμοποιείται και σχηματίζεται ένας θύλακας ατμοποιημένου υγρού δηλ. ατμού, στη συνέχεια όταν αυτός ο θύλακας βρεθεί σε μια περιοχή της ροής με αυξημένη στατική πίεση τείνει να υγροποιηθεί ξανά δημιουργώντας τοπικές υπερπίεσεις. Εφόσον μιλάμε για πίεση ατμοποίησης είναι εμφανές ότι αυτό το φαινόμενο αναπτύσσεται μόνο στην περίπτωση όπου το ρευστό είναι κάποιο υγρό. Το φαινόμενο της ατμοποίησης παρατηρείται κυρίως στις περιοχές του υγρού όπου αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες ροής και κατά συνέπεια μειώνεται η στατική πίεση του υγρού. [9]

Εφόσον το φαινόμενο της σπηλαίωσης ευνοείται από τις υψηλές ταχύτητες ροής είναι εμφανές ότι και οι αντλίες θα υποφέρουν από τέτοια φαινόμενα, εφόσον αυξάνουν την ταχύτητα του ρευστού. Πιο συγκεκριμένα στις φυγοκεντρικές αντλίες η περιοχή στην οποία είναι πιο πιθανό να παρατηρηθεί το φαινόμενο της σπηλαίωσης είναι στη διατομή εισόδου της πτερωτής, όπου η στατική πίεση είναι ακόμη χαμηλή και αυξάνεται η ταχύτητα του υγρού. [9]

Το φαινόμενο της σπηλαίωσης μπορεί να επιφέρει σημαντικά προβλήματα στην λειτουργία της αντλίας. Κάποια από αυτά είναι :

- Μείωση της καμπύλης QH
- Μείωση βαθμού απόδοσης
- Φθορές στην πτερωτή της αντλίας

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα παράδειγμα φθοράς της πτερωτής της αντλίας λόγω σπηλαιώσης. Φαίνεται σαν να έχουν σχηματιστεί μικροί πόροι πάνω στην πτερωτή. [1],[3],[7]

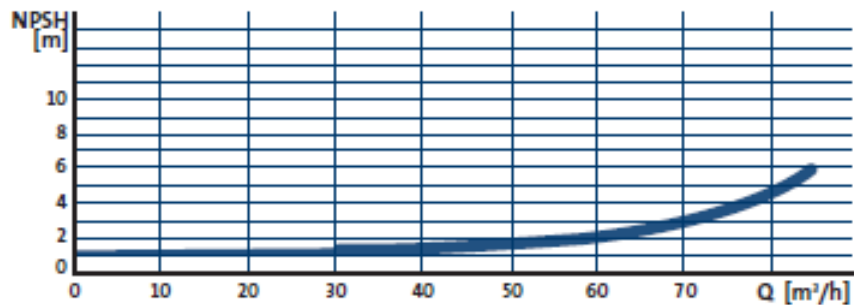


Εικόνα 10 : Μορφή σπηλαιώσης στην πτερωτή αντλίας. [7]

Όπως έγινε αντιληπτό από τα παραπάνω είναι σημαντικό να αποφεύγονται τέτοιου είδους φαινόμενα κατά τον χρόνο λειτουργίας της αντλίας. Για το λόγο αυτό γίνεται χρήση του **κρίσιμου ύψους σπηλαιώσης $NPSH_r$** (Net Positive Suction Head required), το οποίο εκφράζει τη διαφορά της ολικής πίεσης στη διατομή εισόδου της αντλίας από την πίεση ατμοποίησης του υγρού που πρέπει να έχει αντλία ώστε η λειτουργία της να είναι στο όριο εμφάνισης σπηλαιώσης. Το $NPSH$ έχει ως μονάδα μέτρησης το m και η τιμή του αυξάνεται όταν αυξάνεται και η παροχή της αντλίας. [1],[9]

Είναι προφανές ότι είναι επιθυμητό η αντλία να έχει όσο το δυνατόν χαμηλότερο $NPSH_r$ ώστε να είναι πιο εύκολη η ικανοποίηση της συνθήκης λειτουργίας δίχως σπηλαιώση. Το $NPSH_a$ (Net Positive Suction Head available) εκφράζει την διαθέσιμη πίεση η οποία υπάρχει από τον αγωγό αναρρόφησης υπό τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν στο σύστημα. Είναι απαραίτητο, προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα σπηλαιώσης, το $NPSH_a \geq NPSH_r + \text{συντελεστής ασφαλείας}$. Το μέγεθος του συντελεστή ασφαλείας καθορίζεται από τις εκάστοτε συνθήκες και τον σχεδιασμό του κάθε συστήματος και συνήθως η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 1m και 2,5m. [1]-[3],[8],[9]

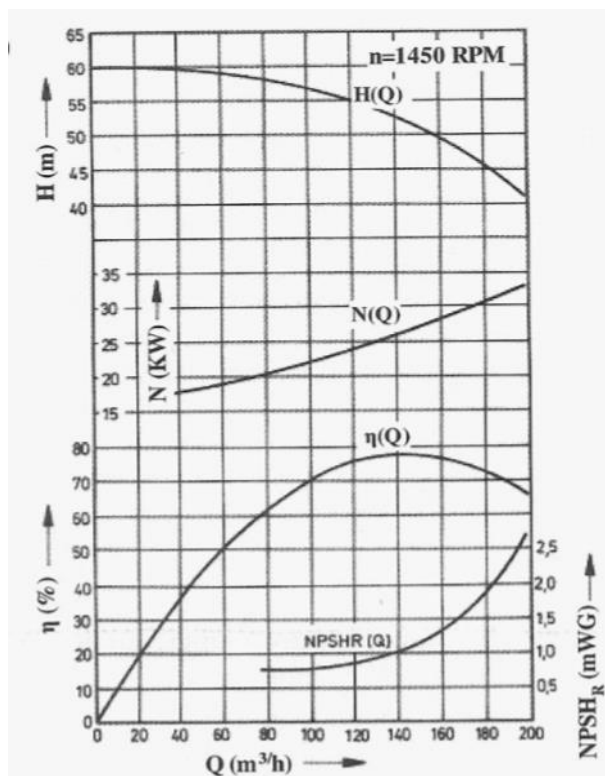
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το διάγραμμα μιας καμπύλης NPSH αντλίας.



Εικόνα 11 : Καμπύλη NPSH αντλίας. [1]

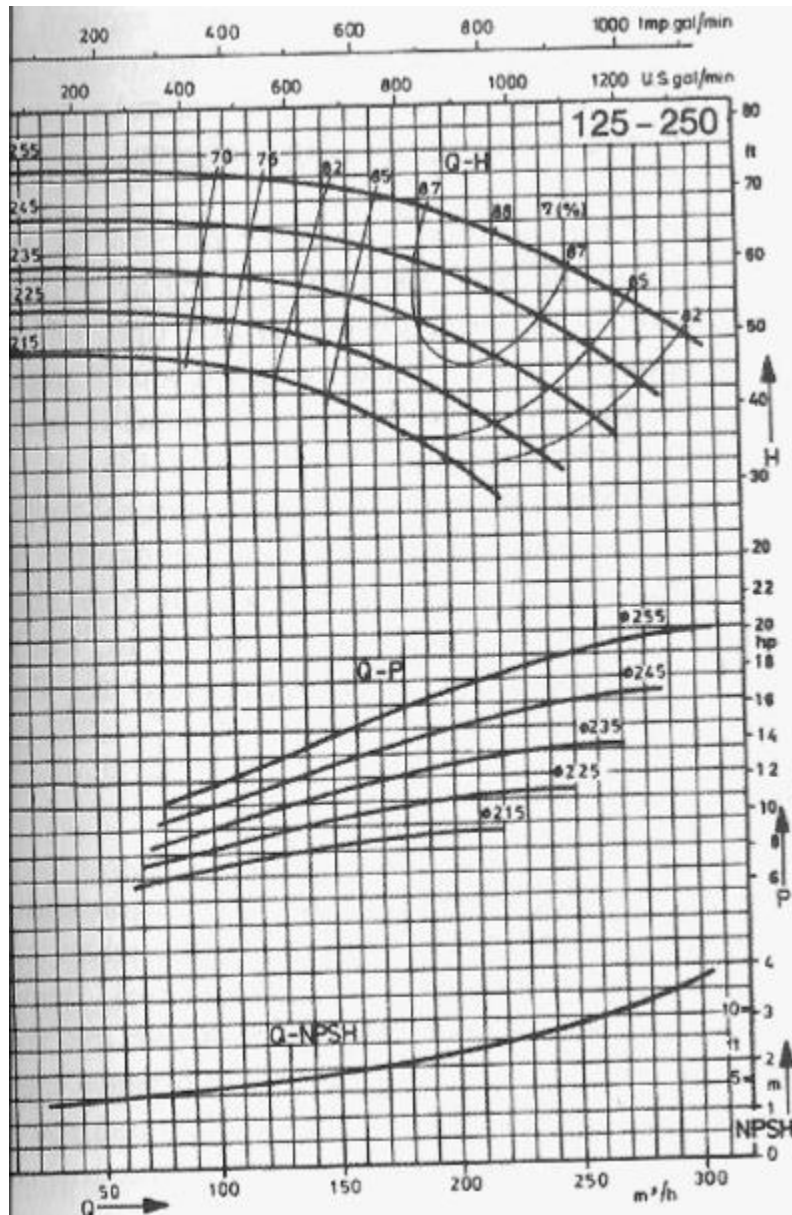
2.3.8 Πραγματικά διαγράμματα χαρακτηριστικών της αντλίας

Είδαμε στις προηγούμενες ενότητες ποιές είναι οι χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας, καθώς και το πως απεικονίζεται η καθεμία. Προφανώς για ευκολία χρήσης οι κατασκευαστές των αντλιών προμηθεύουν ένα διάγραμμα πάνω στο οποίο απεικονίζονται όλες οι χαρακτηριστικές καμπύλες οι οποίες έχουν ήδη αναφερθεί.



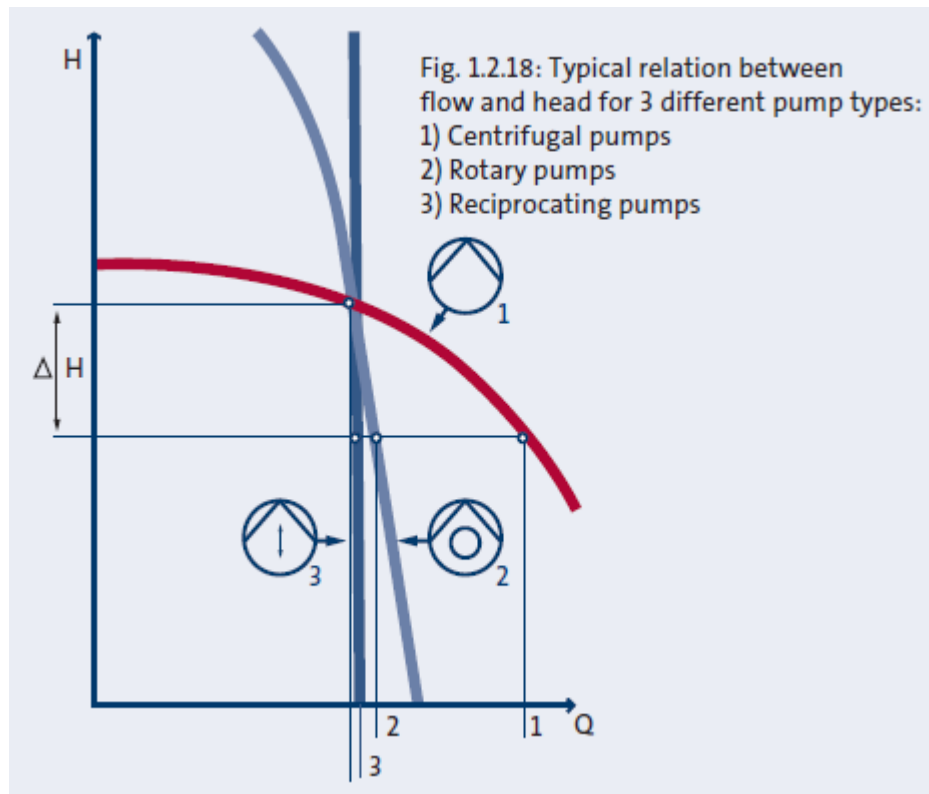
Εικόνα 12 : Τυπική μορφή διαγράμματος αντλίας. [9]

Υπάρχει όμως μια ακόμη διαδεδομένη μορφή του παραπάνω διαγράμματος, αναλόγως την διάμετρο της πτερωτής. Αυτό συμβαίνει γιατί αναλόγως την διάμετρο της πτερωτής, όπως θα αναλυθεί περαιτέρω και σε επόμενο κεφάλαιο, η οι χαρακτηριστικές καμπύλες μετακινούνται αναλόγως. Έτσι παρέχεται διάγραμμα με διάφορες τυπικές διαμέτρους κατασκευής όπως το παρακάτω. Ας σημειωθεί ότι πάνω σε αυτό το διάγραμμα υπάρχουν επίσης βρόγχοι ίσου βαθμού απόδοσης.



Εικόνα 13 : Μορφή διαγράμματος αντλίας για διάφορες διαμέτρους. [9]

Τελειώνοντας μπορεί να γίνει και γραφική αναπαράσταση της διαφοράς των καμπύλων παροχής – ύψους QH των φυγοκεντρικών αντλιών (1), περιστροφικών αντλιών (2) και παλινδρομικών αντλιών (3). Όπως φαίνεται στις φυγοκεντρικές αντλίες το ύψος μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλεται και η παροχή, αντίθετα με τις περιστροφικές αντλίες όπου υπάρχουν πολύ μεγάλες μεταβολές ύψους για μικρές σχετικά μεταβολές παροχής και τις παλινδρομικές αντλίες όπου το ύψος μεταβάλλεται και η παροχή παραμένει σχετικά σταθερή. [1],[9]



Εικόνα 14 : Τυπική σχέση μεταξύ παροχής και ύψους φυγοκεντρικών αντλιών(1), περιστροφικών αντλιών(2), παλινδρομικών αντλιών (3) . [1]

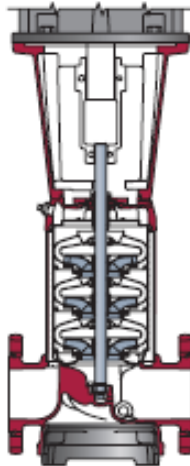
2.4 Πολυβάθμιες αντλίες

Είναι λογικό ότι η ενέργεια που είναι δυνατόν να εναλλαχθεί από την πτερωτή δεν είναι απεριόριστη και αυτό γιατί αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες του ρευστού και υπάρχουν προβλήματα σπηλαίωσης, τα οποία αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, αλλά επίσης αναπτύσσονται πολύ ισχυρές δυνάμεις. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με τις λεγόμενες πολυβάθμιες αντλίες. Πρόκειται για αντλίες με παραπάνω από μια πτερωτές εν σειρά, δηλαδή διέρχεται η ίδια παροχή από τις

διαδοχικές περρωτές και σε κάθε μια από αυτές λαμβάνει χώρα μια ενεργειακή μεταβολή. Το πλεονέκτημα των πολυβάθμιων αντλιών είναι ότι μπορούν να προσφέρουν υψηλό ύψος σε σχέση με την παροχή και για αυτόν τον λόγο η χρήση των πολυβάθμιων αντλιών είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλο ύψος από την αντλία. [9],[10]

Οι διαδοχικές περρωτές μιας πολυβάθμιας αντλίας είναι ταυτόσημες για το λόγο ότι το υγρό είναι ασυμπίεστο και υπάρχει η ίδια παροχή και ύψος σε κάθε βαθμίδα. Αυτό επίσης έχει ως αποτέλεσμα την απλότητα και οικονομικότητα της κατασκευής. Η κάθε περρωτή μαζί με τη στεφάνη οδηγητικών πτερυγίων αποτελεί μία βαθμίδα. Τα οδηγητικά πτερύγια υπάρχουν προκειμένου να αφαιρεθεί η συστροφή από το υγρό καθώς εισέρχεται στην επόμενη διαδοχική περρωτή. [1],[9]

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια πολυβάθμια αντλία με 3 βαθμίδες.



Εικόνα 15 : Πολυβάθμια αντλία 3 βαθμίδων. [1]

2.5 Μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής

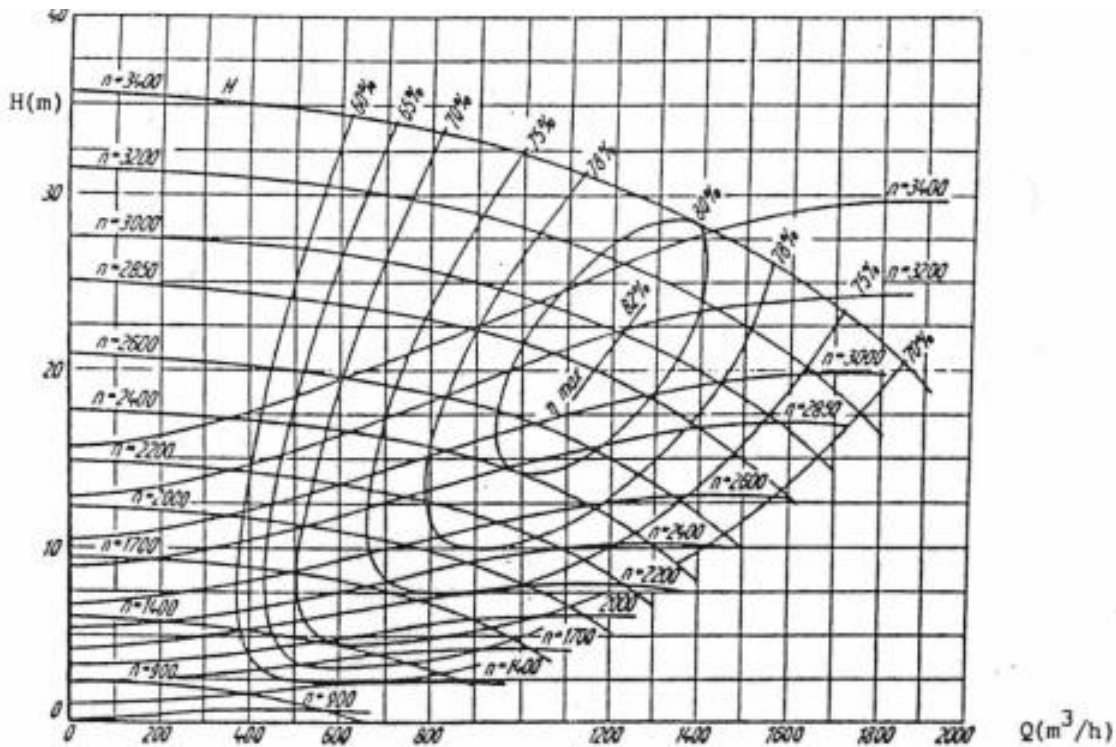
Σε πολλές εφαρμογές όπου υπάρχει χρήση αντλιών, δεν είναι απαραίτητη η λειτουργία της αντλίας στην ονομαστική της απόδοση συνεχώς λόγω του γεγονότος ότι οι ανάγκες σε παροχή μπορεί να είναι μικρότερες κατά διαστήματα. Για αυτόν τον λόγο μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό πλεονέκτημα η δυνατότητα μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής της αντλίας γιατί με αυτόν τον τρόπο μπορεί να μετακινηθεί η χαρακτηριστική της καμπύλη παροχής – ύψους QH (αλλά και των άλλων καμπύλων) αντίστοιχα. Καθώς η ταχύτητα περιστροφής της αντλίας μειώνεται τότε παρατηρείται

και μείωση της καμπύλης παροχής – ύψους QH της αντλίας ενώ με αύξηση της ταχύτητας περιστροφής αυξάνεται και η καμπύλη QH. [1],[2],[9],[10]

Τα πλεονεκτήματα των αντλιών με δυνατότητα μεταβολής των στροφών είναι πολλά και για αυτόν τον λόγο είναι και αρκετά διαδεδομένη η χρήση τους. Η δυνατότητα της μεταβολής της καμπύλης παροχής – ύψους μέσω της μεταβολής των στροφών μπορεί να καλύψει ένα ευρύ φάσμα αναγκών, δουλεύοντας αποδοτικά κάτω από συνθήκες όπου υπάρχουν μεγάλες μεταβολές σε ανάγκες παροχής. Έτσι λιγότερες αντλίες με δυνατότητα μεταβολής στροφών λειτουργίας μπορούν να αντικαταστήσουν περισσότερες αντλίες σταθερής ταχύτητας περιστροφής οι οποίες έχουν ένα πιο μικρό φάσμα λειτουργίας. Επίσης μπορούν να προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας και αυτό γιατί με την μεταβολή των στροφών μεταβάλλεται και η καμπύλη του βαθμού απόδοσης της αντλίας. Έτσι μπορεί να επιλεγεί εκείνη η τιμή στροφών όπου η αντλία θα δουλεύει με τον καλύτερο δυνατό βαθμό απόδοσης και εκτός αυτού αρκετές φορές η χρήση αντλίας μεταβλητών στροφών για την διαμόρφωση της παροχής μπορεί να εξοικονομήσει ενέργεια σε σχέση με άλλες μεθόδους όπως η χρήση βάνας, αγωγός bypass (θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο). Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι το χαμηλό κόστος λειτουργίας στον κύκλο ζωής τους αφού όπως προαναφέρθηκε μπορούν να λειτουργούν στις στροφές εκείνες όπου θα έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης και έτσι θα υπάρχει λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Μια αντλία με δυνατότητα μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας έως και 50% σε σχέση με μια αντλία σταθερής ταχύτητας περιστροφής. Τέλος από όλα τα προηγούμενα επίσης προκύπτει ότι είναι φιλικές προς το περιβάλλον αφού μπορούν να εξοικονομήσουν σημαντικά ποσά ενέργειας. [1],[4],[5],[9],[14]

Είναι σημαντικό να αναφερθεί επίσης ότι η απόδοση μιας αντλίας μεταβλητών στροφών είναι σε γενικές γραμμές χαμηλότερη από αυτή μιας αντλίας σταθερής ταχύτητας περιστροφής η οποία λειτουργεί στο κανονικό σημείο λειτουργίας ωστόσο όμως η ικανότητα των αντλιών μεταβλητών στροφών να καλύψουν αρκετές διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας βελτιώνει την συνολική επίδοση τους όταν είναι αναγκαία η συχνή μεταβολή της παροχής. [1]

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πώς μεταβάλλεται η καμπύλη παροχής – ύψους QH μιας αντλίας για διάφορες ταχύτητες περιστροφής καθώς επίσης και οι βρόγχοι ίσου βαθμού απόδοσης.



Εικόνα 16 : Διάγραμμα παροχής ύψους για διαφορετικές τιμές ταχύτητας περιστροφής. [1]

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα δημιουργούνται κάποιοι βρόγχοι όπου ο βαθμός απόδοσης παραμένει ο ίδιος για διάφορες ταχύτητες περιστροφής. Στην γενική περίπτωση τα σημεία λειτουργίας τα οποία έχουν τον ίδιο βαθμό απόδοσης ονομάζονται αντίστοιχα σημεία λειτουργίας. Τα αντίστοιχα σημεία λειτουργίας έχουν πολύ σημαντικό ρόλο κατά την μελέτη αντλιών μεταβλητών στροφών γιατί μπορεί να υπολογιστεί κάθε φορά το ύψος και η παροχή που αποδίδει η αντλία σε διαφορετικές στροφές, έχοντας όμως κάθε φορά τον ίδιο βαθμό απόδοσης. Στην πραγματικότητα υπάρχει μια μεταβολή του βαθμού απόδοσης αλλά αυτή μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα όταν ο αριθμός στροφών δεν μειώνεται κάτω από το 50% των αρχικών στροφών. Ο νέος βαθμός απόδοσης μπορεί να υπολογιστεί μέσω του τύπου :

$$\eta' = 1 - (1 - \eta) \cdot \left(\frac{n}{n'} \right)^{0.1}$$

Όπου :

- η ο βαθμός απόδοσης
- n αριθμός στροφών

Οι σχέσεις που ισχύουν για τα αντίστοιχα σημεία λειτουργίας είναι οι εξής:

$$1. \frac{n}{n'} = \frac{Q}{Q'}$$

$$2. \left(\frac{n}{n'}\right)^2 = \frac{H}{H'}$$

$$3. \left(\frac{n}{n'}\right)^3 = \frac{P}{P'}$$

Όπου

- n η ταχύτητα περιστροφής (στροφές)
- Q η παροχή
- H το ύψος
- P η ισχύς

Παρόλα τα πλεονεκτήματα των αντλιών μεταβλητών στροφών δεν σημαίνει ότι η επιλογή τους θα είναι πάντοτε η πιο αποδοτική και βέλτιστη λύση αφού υπάρχουν πολλοί παράγοντες που συμβάλλουν σε μια αντλητική εγκατάσταση. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου τείνουν να κάνουν την επιλογή μιας τέτοιας αντλίας την πιο αποτελεσματική. [1],[9],[14]-[16]

Κατ' αρχάς η θεώρηση τέτοιων αντλιών ως εναλλακτική επιλογή θεωρείται αποδεκτή εφόσον οι αντλίες δουλεύουν τουλάχιστον 2000 ώρες ετησίως και οι ανάγκες σε παροχή μπορεί να μεταβάλλονται κατά 30% ή και παραπάνω, σε διαφορετική περίπτωση το κόστος στον κύκλο ζωής μιας τέτοιας αντλίας θα είναι μάλλον μεγαλύτερο από το κόστος μιας αντλίας σταθερής ταχύτητας περιστροφής. Ακόμη η επιλογή αντλίας μεταβλητών στροφών δεν θεωρείται συμφέρουσα στην περίπτωση όπου η αντλία θα δουλεύει στο μέγιστο φορτίο τις περισσότερες φορές. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό αφού όπως έχει αναφερθεί οι αντλίες μεταβλητών στροφών έχουν χαμηλότερο βαθμό απόδοσης απ' ότι οι αντλίες σταθερής ταχύτητας όταν αυτές λειτουργούν στο κανονικό σημείο λειτουργίας και επίσης το κόστος των αντλιών μεταβλητών στροφών είναι σαφώς υψηλότερο. Επομένως η χρήση αντλίας σταθερής ταχύτητας περιστροφής είναι και πιο αποδοτική αλλά και πιο οικονομική σε τέτοιες περιπτώσεις. Επίσης η χρήση αντλιών μεταβλητών στροφών γίνεται πιο ανταγωνιστική

όσο μεγαλώνει η ισχύς της αντλίας αφού έτσι υπάρχουν μεγαλύτερα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα οι αντλίες μεταβλητών στροφών μπορούν να είναι οικονομικά ανταγωνιστικές όταν η ισχύς της αντλίας είναι άνω των 15 ίππων, διαφορετικά το μεγαλύτερο αρχικό κόστος τέτοιου τύπου αντλιών της καθιστά αρκετά πιο ακριβές σε σχέση με τις αντλίες σταθερών στροφών. Τέλος, η χρήση των αντλιών μεταβλητών στροφών είναι ευνοϊκή για αντλητικά συστήματα στα οποία το γεωδαιτικό ύψος (υψομετρική διαφορά των δεξαμενών) δεν είναι πάνω από το 40% του συνολικού μανομετρικού ύψους που είναι αναγκαίο για την αντλητική εγκατάσταση. Αυτό συμβαίνει γιατί καθώς μειώνονται οι στροφές η χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας μετακινείται προς τα κάτω και έτσι για μεγάλα γεωδαιτικά ύψη η καμπύλη της σωληνογραμμής θα βρίσκεται πάνω από την χαρακτηριστική της αντλίας (στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση της αντλητικής εγκατάστασης και της καμπύλης σωληνογραμμής). [1],[2],[4],[5]

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για την μεταβολή στροφών μιας αντλίας είναι η χρήση ενός μετατροπέα συχνότητας ή αλλιώς VFD (variable frequency drive). Το VFD έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει την αρχική τάση σε μία νέα τάση και συχνότητα, κάνοντας έτσι τον κινητήρα της αντλίας να στρέφεται με έναν διαφορετικό αριθμό στροφών. Σε γενικές γραμμές ένα σύστημα VFD αρχικά ανορθώνει και σταθεροποιεί την εναλλασσόμενη (AC) τάση του δικτύου μέσω ενός ανορθωτή και ενός σταθεροποιητή τάσης, και αποθηκεύει την ενέργεια σε έναν πυκνωτή. Στη συνέχεια η συνεχής (DC) τάση μετατρέπεται σε μια νέα εναλλασσόμενη τάση με διαφορετική συχνότητα και τιμή ηλεκτρικού ρεύματος. [1],[2],[4]

Τα πλεονεκτήματα ενός VFD είναι αρκετά. Αρχικά δεν έχει σημασία εάν η εισερχόμενη συχνότητα είναι 50 ή 60 Hz αφού ο ανορθωτής μπορεί να ανταποκριθεί και στις δύο περιπτώσεις και ακόμα εκτός αυτού η εισερχόμενη τάση δεν επηρεάζει την εξερχόμενη τάση του VFD. Επίσης, ένα σύστημα VFD μπορεί να αποδώσει συχνότητες υψηλότερες από αυτήν του δικτύου και έτσι η αντλία να δουλέψει σε υψηλότερες στροφές από τις ονομαστικές. [1]

Παρόλα τα πλεονεκτήματα των VFD έχουν και αυτά έναν βαθμό απόδοσης της λειτουργίας τους, ο οποίος κυμαίνεται γύρω στο 96% για την ονομαστική ισχύ. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που οι αντλίες μεταβλητών στροφών έχουν χαμηλότερο συνολικό βαθμό απόδοσης από τις αντλίες σταθερών στροφών για μια συγκεκριμένη παροχή, αφού υπάρχουν επιπλέον κάποιες απώλειες στο σύστημα VFD. Πιο συγκεκριμένα αναλόγως το φορτίο μεταβάλλεται και ο βαθμός απόδοσης και υπολογίζεται ότι η μείωση του βαθμού απόδοσης μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ περίπου 4% και 10%. Όταν υπάρχει χρήση στην ονομαστική ισχύ οι ηλεκτρικές

απώλειες είναι της τάξεως του 4% ενώ για λειτουργία στο 50% της ονομαστικής ισχύς οι απώλειες είναι της τάξεως του 10%. Επίσης αυτός ο βαθμός απόδοσης μπορεί να μειωθεί επιπλέον με την πάροδο των χρόνων και λόγω πιθανών φθορών που μπορεί να προκύψουν. Η μείωση του βαθμού απόδοσης των VFD με την πάροδο του χρόνου κυμαίνεται περίπου στο 4%. Είναι κατανοητό λοιπόν ότι για την επιλογή ενός VFD θα πρέπει το όφελος που υπάρχει από την εξοικονόμηση ενέργειας στο υδραυλικό κομμάτι της αντλητικής εγκατάστασης να είναι μεγαλύτερο από τις ηλεκτρικές απώλειες που προκύπτουν από την χρήση του VFD. [2], [14]-[16]

Λόγω των παραπάνω ο κινητήρας της αντλίας μπορεί να είναι πιο θορυβώδης, να αναπτύσσει υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας, να υπάρχουν περισσότερες δονήσεις στο σύστημα και να υπάρχουν μεγάλα μέγιστα (peaks) τάσης στον κινητήρα από την έξοδο του VFD. Όλα αυτά μπορούν να μειώσουν τη διάρκεια ζωής του κινητήρα καθώς επίσης καθιστούν αναγκαίες και πιο συχνές ενέργειες συντήρησης του κινητήρα. [1],[2]

3.Η αντλητική εγκατάσταση

3.1 Εισαγωγή

Κατά τη γενική περίπτωση η διακίνηση υγρών μέσω σωλήνωσης γίνεται από την δεξαμενή αναρρόφησης προς τη δεξαμενή κατάθλιψης, η οποία βρίσκεται συνήθως σε μεγαλύτερο υψόμετρο από την δεξαμενή αναρρόφησης ή και σε μεγαλύτερη στατική πίεση. Η αντλία είναι υπεύθυνη προκειμένου να προσδώσει στο υγρό αυτή την επιπλέον ενέργεια την οποία έχει το υγρό στη δεξαμενή κατάθλιψης και επίσης είναι υπεύθυνη να καλύψει τις ενεργειακές απώλειες οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά τη διακίνηση του υγρού μέσω των σωληνώσεων. Η εγκατάσταση που περιλαμβάνει τις δεξαμενές αναρρόφησης και κατάθλιψης, τις σωληνώσεις, την αντλία και όλα τα σχετικά εξαρτήματα ονομάζεται αντλητική εγκατάσταση.

Για την διακίνηση του υγρού υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις :

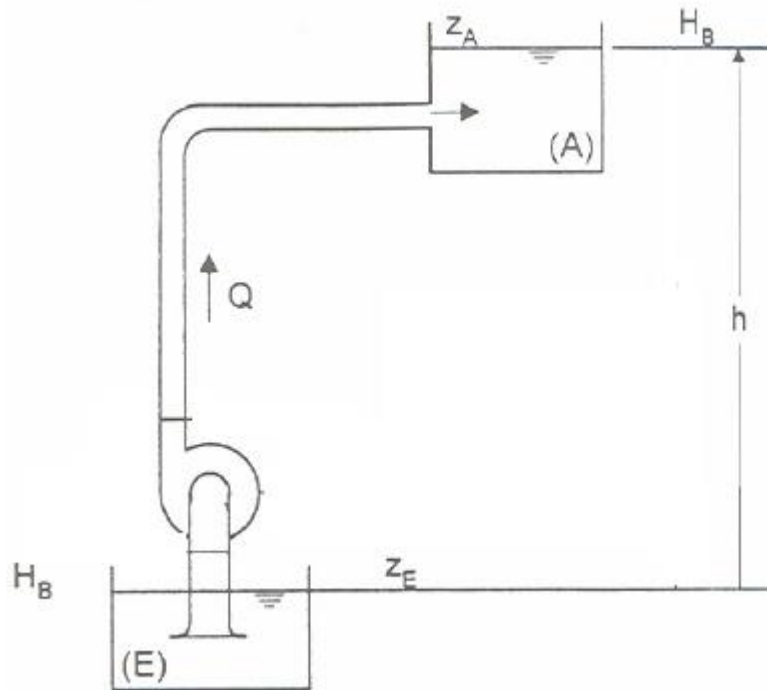
- Διακίνηση μεταξύ δεξαμενών ελεύθερης επιφάνειας
- Διακίνηση μεταξύ κλειστών δοχείων πίεσης
- Διακίνηση σε κλειστό κύκλωμα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η πρώτη μόνο περίπτωση, δηλαδή όταν το υγρό διακινείται μεταξύ δεξαμενών ελεύθερης επιφάνειας. [9],[10]

3.2 Η χαρακτηριστική καμπύλη σωληνογραμμής

Το μανομετρικό το οποίο προσφέρει η αντλία πρέπει να μπορεί να υπερνικήσει τα διάφορα είδη αντιστάσεων, τα οποία υπάρχουν στην σωληνογραμμή, προκειμένου να διακινηθεί το εκάστοτε υγρό. Ακόμη πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι το μανομετρικό το οποίο προσδίδεται στο υγρό μεταβάλλεται αναλόγως την παροχή.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια τυπική αντλητική εγκατάσταση.



Εικόνα 17 : Τυπική αντλητική εγκατάσταση. [9]

Η αντίθλιψη την οποία καλείται η αντλία να υπερνικήσει είναι συνιστάμενη τριών στοιχείων :

- Γεωδαιτικό ύψος
- Απώλειες σε επιμέρους εξαρτήματα
- Απώλειες τριβής στους σωλήνες

Η γραφική αναπαράσταση της σχέσης μεταξύ του ύψους (μανομετρικό) και της παροχής του υγρού ονομάζεται **χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνογραμμής**.

Γεωδαιτικό ύψος : Το γεωδαιτικό ύψος είναι ανεξάρτητο της παροχής και ορίζεται ως η υψομετρική διαφορά στάθμης μεταξύ της δεξαμενής αναρρόφησης και της δεξαμενής κατάθλιψης. Πρόκειται δηλαδή ουσιαστικά για το ύψος στο οποίο καλείται η αντλία να ανυψώσει το υγρό.

Απώλειες σε επιμέρους εξαρτήματα : Κάθε αντλητική εγκατάσταση εκτός από την αντλία, τις δεξαμενές και τις σωληνώσεις αποτελείται και από επιμέρους εξαρτήματα όπως βαλβίδες, γωνίες, στόμια κτλ. Καθώς το υγρό ρέει μέσα από αυτά τα εξαρτήματα υπάρχουν απώλειες ενέργειας. Οι απώλειες οι οποίες σημειώνονται εξαρτώνται από την ταχύτητα του υγρού, αρά κατά συνέπεια και από την παροχή αφού ο τύπος που συνδέει την ταχύτητα με παροχή είναι ο εξής:

$$Q = c \cdot A$$

Όπου :

- Q η παροχή (m³/s)
- C η ταχύτητα του υγρού (m/s)
- A το εμβαδόν της διατομής αγωγού (m²)

Οι απώλειες ύψους H οι οποίες εμφανίζονται στα επιμέρους εξαρτήματα μπορούν να υπολογιστούν και είναι της μορφής :

$$H = k_1 \cdot Q^2$$

Όπου :

- k₁ ο συντελεστής τοπικών απωλειών του εξαρτήματος
- Q παροχή

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω, εφόσον οι απώλειες εξαρτούνται από το τετράγωνο της παροχής, μικρές αυξήσεις στην παροχή μπορούν να επιφέρουν μεγάλες απώλειες.

Απώλειες τριβής στους σωλήνες : Η απώλεια τριβής στους σωλήνες εξαρτάται και αυτή από την παροχή, αλλά και από άλλα χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα η τραχύτητα στην σωλήνωση. Πρόκειται στην ουσία για την τριβή η οποία αναπτύσσεται μεταξύ του ρέοντος υγρού και των τοιχωμάτων της σωλήνωσης. Για αυτόν τον λόγο υπάρχουν απώλειες ύψους αφού μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα, λόγω τριβής. Οι απώλειες τριβής στους σωλήνες είναι και αυτές της ίδιας μορφής με της απώλειες στα επιμέρους εξαρτήματα δηλαδή :

$$H = k_2 \cdot Q^2$$

Όπου ο συντελεστής k_2 εξαρτάται από τα διάφορα χαρακτηριστικά της σωληνογραμμής όπως τραχύτητα, μήκος, διατομή του αγωγού, αριθμό Reynolds κτλ.

Προκύπτει λοιπόν από τα παραπάνω ότι η εξίσωση της σωληνογραμμής θα είναι της μορφής $H_2 = h + k_1 \cdot Q^2 + k_2 \cdot Q^2 = h + (k_1 + k_2) \cdot Q^2$. Δηλαδή

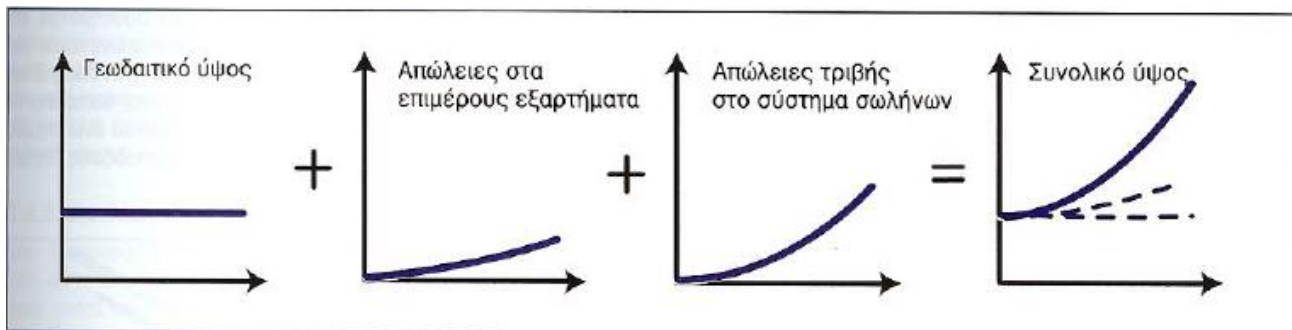
$$H_2 = h + k \cdot Q^2$$

Όπου :

- h το γεωδαιτικό ύψος
- k συντελεστής απωλειών

Η παραπάνω εξίσωση εκφράζει την χαρακτηριστική της σωλήνωσης, δηλαδή την ανά μονάδα μάζας ενέργεια H_2 που πρέπει να προσδίνεται στο υγρό ώστε να μπορέσει να διακινηθεί με παροχή Q μέσω της εξεταζόμενης σωλήνωσης.

Όπως είναι φανερό μειώνοντας την παροχή μπορεί να υπάρξει μεγάλη μείωση των απωλειών οι οποίες εμφανίζονται στο σύστημα λόγω του γεγονότος ότι οι απώλειες αυξάνονται ανάλογα με το τετράγωνο της παροχής, έτσι μικρές μειώσεις στην παροχή του συστήματος, όποτε αυτό είναι εφικτό, μπορούν να μειώσουν κατά ένα μεγάλο βαθμό τις απώλειες στο σύστημα.



Εικόνα 18 : Υπολογισμός μανομετρικού [8]

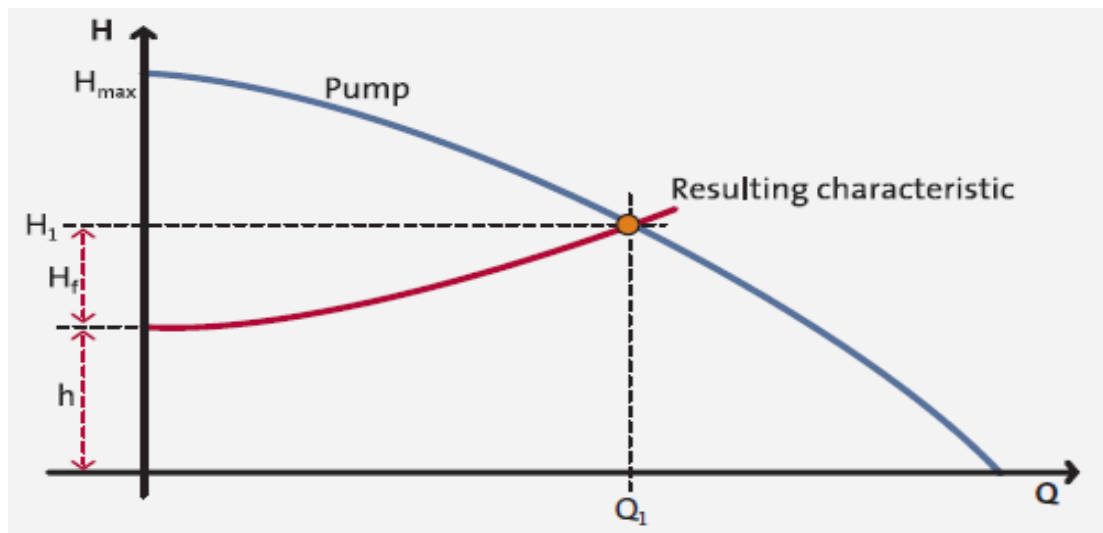
Παραπάνω φαίνονται και διαγραμματικά και οι καμπύλες με το πως μεταβάλλεται το μανομετρικό συναρτήσει της παροχής σε μία σωληνογραμμή. Όπως φαίνεται το μανομετρικό λόγω γεωδαιτικού ύψους παραμένει σταθερό και ανεξάρτητο της παροχής, σε αντίθεση με τις περιπτώσεις όπου υπάρχουν επιμέρους εξαρτήματα

και απώλειες τριβής στους σωλήνες. Η συνολική καμπύλη της σωληνογραμμής προέρχεται από το άθροισμα όλων των παραπάνω απωλειών και έτσι από το άθροισμα των επιμέρους καμπυλών. Ας σημειωθεί ότι το ελάχιστο μανομετρικό στην καμπύλη της σωληνογραμμής είναι το μανομετρικό το οποίο υπάρχει λόγω γεωδαιτικού ύψους και είναι για την περίπτωση όπου δεν παρέχεται υγρό στο σύστημα ($Q = 0$). [1],[7]-[9],[15]

3.3 Σημείο λειτουργίας

Εφόσον έχουν ήδη αναλυθεί οι χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας και η χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνογραμμής μπορεί πλέον να γίνει λόγος για το σημείο λειτουργίας της αντλητικής εγκατάστασης. Στο σημείο λειτουργίας της αντλητικής εγκατάστασης, με δεδομένη την καμπύλη παροχής – ύψους QH της αντλίας, η διακινούμενη παροχή Q θα είναι αυτή για την οποία η ενέργεια που προσδίδει η αντλία (δηλαδή το ύψος H) είναι ίση με την ενέργεια που απαιτείται για τη διακίνηση της παροχής στην αντλητική εγκατάσταση και περιγράφεται από την χαρακτηριστική εξίσωση σωληνογραμμής $H_s = h + k \cdot Q^2$. Έτσι σχεδιάζοντας την καμπύλη ύψους – παροχής HQ της αντλίας και την χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνογραμμής, μπορεί να βρεθεί το σημείο λειτουργίας ως η τομή των δύο αυτών καμπύλων. [1],[8],[17],[18]

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, το σημείο λειτουργίας της αντλητικής εγκατάστασης εξαρτάται τόσο από την διαμόρφωση της αντλητικής εγκατάστασης, δηλαδή τις σωληνώσεις, εξαρτήματα κτλ., όσο και από την αντλία την οποία επιλέγεται.



Εικόνα 19 : Σημείο λειτουργίας αντλίας. [1]

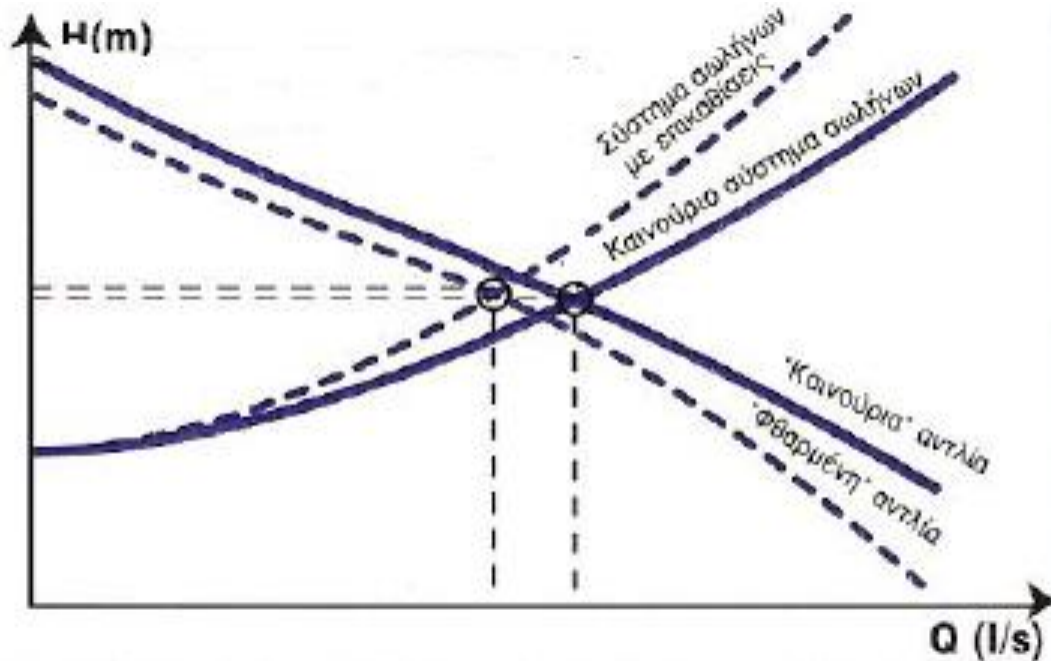
Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται διαγραμματικά και όλα όσα έχουν ήδη αναφερθεί. Με το **μπλε** χρώμα απεικονίζεται η καμπύλη παροχής – ύψους QH της αντλίας ενώ με το **κόκκινο** χρώμα απεικονίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνογραμμής. Όπως φαίνεται και από το σχήμα το σημείο λειτουργίας είναι το σημείο τομής των δύο αυτών καμπύλων και η παροχή στην αντλητική εγκατάσταση θα είναι Q_1 ενώ το μανομετρικό το οποίο μας δίνει η αντλία θα είναι H_1 το οποίο είναι ίσο με τις απώλειες ύψους που υπάρχουν στην σωληνογραμμή λόγω γεωδαιτικού ύψους h και λόγω των απωλειών τριβής στους σωλήνες και τα εξαρτήματα H_f της αντλητικής εγκατάστασης.[1]

Το πραγματικό όμως σημείο λειτουργίας θα είναι σχεδόν πάντοτε διαφορετικό από αυτό που έχει υπολογιστεί. Ο λόγος που συμβαίνει κάτι τέτοιο είναι τα αριθμητικά σφάλματα τα οποία υπάρχουν κατά την αριθμητική μελέτη της αντλητικής εγκατάστασης καθώς επίσης και τα πιθανόν σφάλματα τα οποία υπάρχουν στις χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας (επιτρεπτά ποσοστά σφάλματος στο κεφάλαιο 2.3.3). Επιπλέον με την πάροδο του χρόνου τα χαρακτηριστικά της αντλίας μπορούν να αλλοιωθούν λόγω γήρανσης και φθοράς. Επίσης πρέπει να ληφθούν υπόψιν τυχόν κακοτεχνίες στην κατασκευή της σωλήνωσης καθώς και η γήρανση της σωλήνωσης κάτι το οποίο θα μπορούσε για παράδειγμα να προκαλέσει τον σχηματισμό επικαθίσεων στα τοιχώματα. Προκύπτει λοιπόν έτσι μια πιθανή περιοχή του σημείου λειτουργίας. Μάλιστα εάν το σημείο λειτουργίας είναι κοντά στην περιοχή της χαμηλής παροχής της αντλίας και η χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνογραμμής είναι αρκετά απότομη, οι πιθανές αποχές, λόγω σφαλμάτων, της παροχής μπορεί να είναι αρκετά μεγάλες αναλογικά με το σημείο λειτουργίας το οποίο έχει υπολογισθεί. [8]

Εφόσον είναι γνωστή η καμπύλη της σωληνογραμμής πρέπει να γίνει και η επιλογή της κατάλληλης αντλίας, προκειμένου να υπάρχει η επιθυμητή παροχή στην αντλητική εγκατάσταση. Η βέλτιστη επιλογή αντλίας επιτυγχάνεται όταν το σημείο λειτουργίας συμπίπτει με το σημείο όπου η αντλία έχει το μεγαλύτερο δυνατό βαθμό απόδοσης. Κάτι τέτοιο είναι προφανές εφόσον σε αυτήν την περίπτωση δαπανάται άσκοπα το μικρότερο δυνατό ποσό ενέργειας και επίσης υπάρχουν λιγότερες ανάγκες συντήρησης της αντλίας. [1],[9]

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως μπορεί να επηρεαστεί η χαρακτηριστική καμπύλη παροχής – ύψους QH της αντλίας λόγω φθοράς καθώς επίσης πως μπορεί να επηρεαστεί η χαρακτηριστική καμπύλη της σωληνογραμμής λόγω επικαθίσεων. Φαίνεται πως μπορεί να μεταβληθεί το σημείο λειτουργίας στην περίπτωση μιας καινούριας αντλίας σε μια καινούρια αντλητική εγκατάσταση σε σχέση με την περίπτωση μιας πιο παλιάς αντλίας με φθορές και επικαθίσεις στις σωληνώσεις. Όπως

φαίνεται και στο σχήμα μπορεί να υπάρξει σημαντική μείωση της παροχής καθώς επίσης φαίνεται να υπάρχει και πιθανή αύξηση του μανομετρικού ύψους το οποίο είναι αναγκαίο, κάτι το οποίο προκαλεί αυξημένες ανάγκες σε ενέργεια. Ακόμη πολλές φορές το αρχικό σημείο λειτουργίας επιλέγεται να έχει το μέγιστο βαθμό απόδοσης και έτσι το σημείο λειτουργίας με την «φθαρμένη» αντλία έχει πιθανόν και χαμηλότερο βαθμό απόδοσης, κάτι το οποίο οδηγεί σε ενεργειακή σπατάλη. [8]



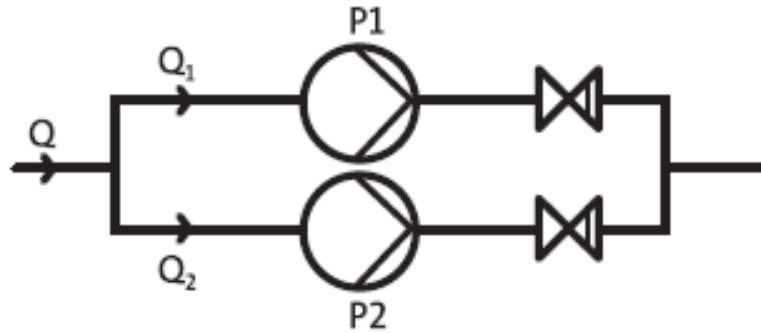
Εικόνα 20 : Μεταβολή καμπύλων μετά από χρήση. [8]

3.4 Συνεργασία αντλιών

Στην πράξη τα αντλητικά συστήματα συνήθως δεν είναι τόσο απλά διαμορφωμένα όσο αυτά που έχουν ήδη αναφερθεί αλλά έχουν μια πιο πολύπλοκη διάταξη. Αυτό συμβαίνει γιατί στην πραγματικότητα υπάρχουν πολλές φορές που οι ανάγκες σε παροχή αλλά και μανομετρικό μπορεί να μεταβάλλονται σε μεγάλο βαθμό. Ακόμα υπάρχει το θέμα της αξιοπιστίας και υπάρχει η ανάγκη τοποθέτησης μιας εφεδρικής αντλίας για την περίπτωση που η κύρια αντλία υποστεί κάποια βλάβη. Έτσι σε πάρα πολλές αντλητικές εγκαταστάσεις τοποθετούνται παραπάνω από μία αντλίες. Οι τρόποι με τον οποίο μπορούν να τοποθετηθούν οι αντλίες είναι με *παράλληλη* σύνδεση τους ή με *σύνδεσή τους σε σειρά*.

3.4.1 Παράλληλη σύνδεση

Σε πολλές πρακτικές εφαρμογές η παροχή στο αντλητικό σύστημα δεν είναι σταθερή σε όλη την περίοδο της λειτουργίας του, αλλά αντιθέτως υπάρχουν σημαντικές μεταβολές της διακινούμενης παροχής. Προκειμένου να μπορούν να καλυφθούν διαφορετικές ανάγκες παροχής γίνεται πολλές φορές χρήση, αναλόγως τις εκάστοτε ανάγκες, δύο, τριών ή και παραπάνω αντλιών συνδεδεμένες παράλληλα. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα κάλυψης των διαφορετικών αναγκών σε παροχή αναλόγως το πόσες αντλίες λειτουργούν. Χαρακτηρίζονται ως παράλληλα συνδεδεμένες οι αντλίες οι οποίες καταθλίπουν σε ένα κοινό αγωγό κατάθλιψης. Παρακάτω φαίνεται και σχηματικά η παράλληλη σύνδεση δύο αντλιών P1 και P2. [1]-[3],[9]

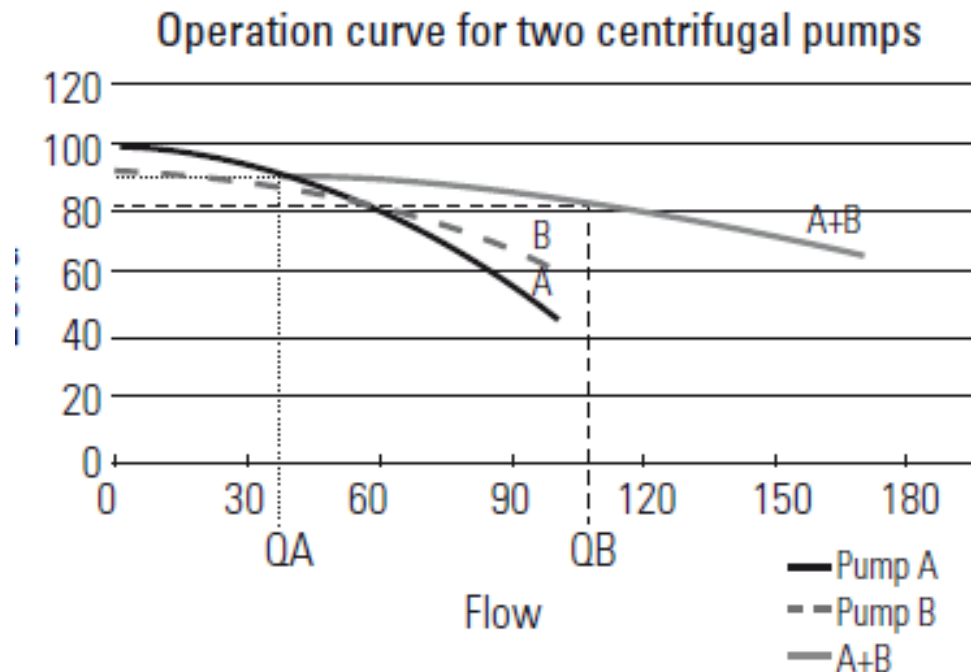


Εικόνα 21 : Παράλληλη διάταξη αντλιών. [1]

Οι παράλληλα συνδεδεμένες αντλίες δεν είναι κατ' ανάγκην ταυτόσημες, ωστόσο όμως τις περισσότερες φορές επιλέγονται αντλίες παρόμοιου μεγέθους και τύπου για παράλληλη σύνδεση λόγω της απλοποίησης του συστήματος. Στην περίπτωση που δεν λειτουργούν όλες οι αντλίες ταυτόχρονα για να αποφευχθεί η επιστροφή του νερού, από τους αγωγούς των αντλιών που δεν λειτουργούν, γίνεται χρήση *αντεπίστροφων βαλβίδων* συνδεδεμένων μετά την κάθε αντλία. Οι αντεπίστροφες βαλβίδες επιτρέπουν την ροή του υγρού μόνο προς τον αγωγό κατάθλιψης και δεν επιτρέπουν να υπάρχει ροή προς τα πίσω. [5],[7]-[9]

Στην περίπτωση της παράλληλης σύνδεσης των αντλιών είναι προφανές ότι η συνολική παροχή Q θα ισούται με το άθροισμα των επιμέρους παροχών της κάθε αντλίας, δηλαδή $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$. Το συνολικό μανομετρικό H θα ισούται με το μανομετρικό της κάθε αντλίας, δηλαδή $H = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_n$. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται και διαγραμματικά πως μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική παροχή και

ύψος δυο αντλιών. Όπως φαίνεται προσθέτουμε κατά Q τις καμπύλες ύψους – παροχής της κάθε αντλίας. [9]

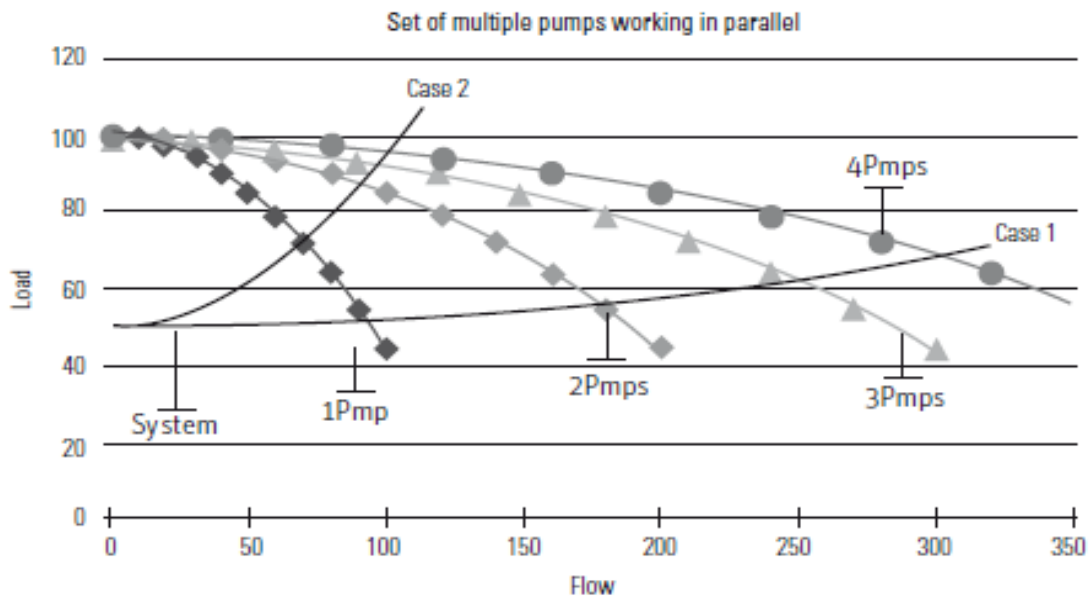


Εικόνα 22 : Υπολογισμός συνολικής καμπύλης παράλληλων αντλιών [11]

Είναι φανερό ότι για περιπτώσεις όπου είναι αναγκαίες μεγάλες παροχές η χρήση παράλληλων αντλιών είναι ευνοϊκή εφόσον κάθε φορά η συνολική παροχή προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους παροχών. Ωστόσο όμως πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι με την προσθήκη μιας δεύτερης όμοιας αντλίας η συνολική παροχή δεν θα διπλασιαστεί και αυτό λόγω της μορφής της χαρακτηριστικής καμπύλης της σωληνογραμμής. Παρότι που η συνολική παροχή μοιράζεται εξίσου στις δύο αντλίες, η κάθε αντλία έχει μικρότερη παροχή όταν λειτουργούν και οι δύο μαζί απ' ότι όταν λειτουργεί μόνη της η μία αντλία. Έτσι εάν λειτουργούν δύο αντλίες ταυτόχρονα με συνολική παροχή Q_2 , ενώ η μία αντλία μόνη λειτουργεί με παροχή Q_1 , τότε θα ισχύει ότι $Q_2 < 2 \cdot Q_1$, η συνολική παροχή δηλαδή αυξάνεται αλλά δεν διπλασιάζεται. [9],[13]

Κάτι τέτοιο μπορεί να ερμηνευθεί από το γεγονός ότι αυξάνοντας την παροχή σε έναν αγωγό τότε, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αυξάνονται και οι απώλειες μανομετρικού. Η πρόσθεση της κάθε αντλίας παράλληλα προκαλεί μείωση παροχής από την κάθε μεμονωμένη αντλία. Στο παρακάτω σχήμα γίνεται γραφική απεικόνιση δύο

διαφορετικών περιπτώσεων. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε μια χαρακτηριστική καμπύλη σωληνογραμμής αρκετά επίπεδη, χωρίς απότομη αύξηση ενώ στην δεύτερη περίπτωση η χαρακτηριστική της σωληνογραμμής είναι αρκετά πιο απότομη.



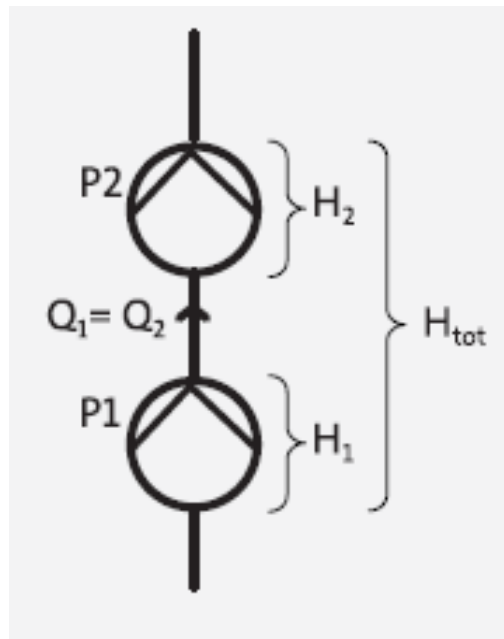
Εικόνα 23 : Παράλληλη σύνδεση αντιών για διαφορετικές περιπτώσεις. [11]

Όπως φαίνεται, στην πρώτη περίπτωση προσθέτοντας επιπλέον αντλίες αυξάνεται αρκετά η παροχή και αυτό γιατί δεν υπάρχουν μεγάλες αυξήσεις φορτίου (μανομετρικό). Στην δεύτερη περίπτωση όμως όπου αυξάνοντας λίγο την παροχή υπάρχουν μεγάλες αυξήσεις φορτίου, φαίνεται ότι καθώς προσθέτοντας αντλίες υπάρχει μικρή αύξηση της παροχής. Μάλιστα προσθέτοντας την τέταρτη αντλία δεν υπάρχει σχεδόν η καθόλου αύξηση παροχής αλλά απλώς η παροχή μοιράζεται σε τέσσερις αντλίες. [11]

3.4.2 Σύνδεση σε σειρά

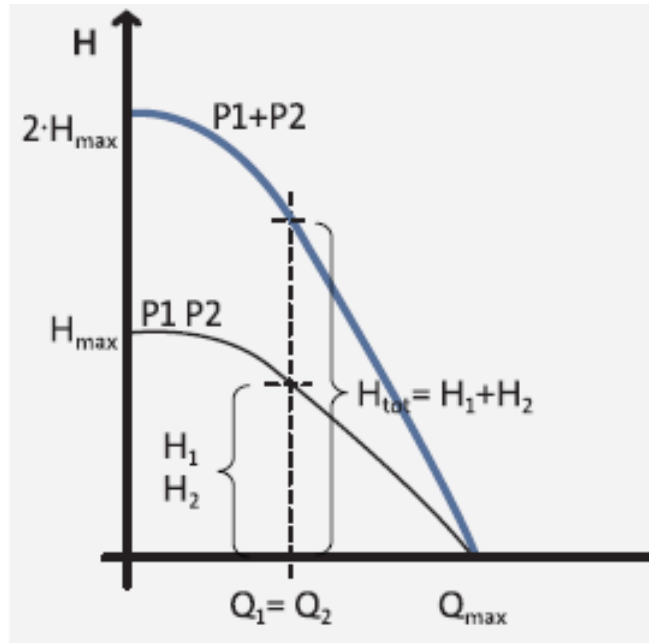
Ο δεύτερος τρόπος σύνδεσης αντλιών είναι η σύνδεσή τους σε σειρά. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει ένας κοινός αγωγός στον οποίο τοποθετούνται οι αντλίες. Η χρήση της εν σειρά σύνδεσης των αντλιών γίνεται σε αντλητικά συστήματα στα οποία απαιτούνται υψηλές πιέσεις. Σε αυτήν την αρχή λειτουργίας στηρίζονται και οι πολυβάθμιες αντλίες όπου κάθε βαθμίδα αποτελεί στην ουσία μια αντλία συνδεδεμένη σε σειρά με την επόμενη. Ένας ακόμη λόγος που γίνεται χρήση της εν σειρά σύνδεσης των αντλιών είναι ότι για μεγάλα ύψη ο βαθμός απόδοσης μιας αντλίας μπορεί να

υποστεί σημαντική μείωση, και έτσι είναι προτιμότερο να γίνει χρήση δύο ή περισσότερων αντλιών συνδεδεμένων σε σειρά αντί για μία μοναδική αντλία. Γενικώς η σύνδεση αντλιών σε σειρά πρόκειται για την περίπτωση όπου η έξοδος της μίας αντλίας (κατάθλιψη) αποτελεί την είσοδο για την επόμενη (αναρρόφηση). Παρακάτω φαίνεται και σχηματικά η εν σειρά σύνδεση δύο αντλιών P1 και P2. [1],[9],[10]



Εικόνα 24 : Σύνδεση αντλιών σε σειρά. [1]

Στην εν σειρά λειτουργία των αντλιών η διακινούμενη παροχή Q θα είναι ίση με τις επιμέρους παροχές της κάθε αντλίας, δηλαδή $Q=Q_1=Q_2=Q_3=\dots=Q_n$ ενώ το συνολικό μανομετρικό H θα είναι το άθροισμα των επιμέρους μανομετρικών κάθε αντλίας δηλαδή $H=H_1+H_2+H_3+\dots+H_n$. Όπως φαίνεται λοιπόν η τελική χαρακτηριστική των αντλιών θα αποτελείται από το καθ' ύψος άθροισμα των χαρακτηριστικών καμπύλων της κάθε αντλίας για συγκεκριμένη παροχή. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι και στην εν σειρά σύνδεση αντλιών, όπως συμβαίνει και στην παράλληλη σύνδεση, η συνολική παροχή Q θα είναι διαφορετική από την παροχή Q_1 η οποία θα υπήρχε εάν λειτουργούσε μία μόνο αντλία. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται και διαγραμματικά πώς προκύπτει η συνολική χαρακτηριστική καμπύλη δύο όμοιων εν σειρά συνδεδεμένων αντλιών. [1],[3],[9]



Εικόνα 25 : Συνολική καμπύλη αντλιών σε σειρά. [1]

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές όπου γίνεται χρήση της εν σειρά σύνδεσης αντλιών. Όπως ήδη αναφέρθηκε συνδέοντας εν σειρά τις αντλίες το ύψος μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά αναλόγως το πόσες αντλίες λειτουργούν. Έτσι για παράδειγμα γίνεται χρήση αντλιών συνδεδεμένες σε σειρά σε περιπτώσεις δικτύων άρδευσης όπου οι αρδευόμενες περιοχές βρίσκονται σε διαφορετικά υψόμετρα. Έτσι όταν αρδεύεται η περιοχή η οποία βρίσκεται στο χαμηλό υψόμετρο μπορεί να λειτουργήσει μόνο η μία αντλία εφόσον θα μπορεί να ανταπεξέλθει στις ανάγκες μανομετρικού που υπάρχουν, ενώ όταν γίνεται άρδευση της περιοχής στο μεγαλύτερο υψόμετρο γίνεται χρήση και της δεύτερης αντλίας προκειμένου να αυξηθεί επιπλέον το μανομετρικό και να μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες του συστήματος σε μανομετρικό. Σε τέτοιες περιπτώσεις συνήθως η εγκατάσταση των αντλιών δεν γίνεται αμέσως η μία μετά την άλλη γιατί κάτι τέτοιο θα είχε ως αποτέλεσμα την πολύ μεγάλη αύξηση της στατικής πίεσης στον αγωγό αμέσως μετά τις αντλίες, κάτι το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα. Έτσι συνηθέστερη είναι η εγκατάσταση της δεύτερης αντλίας μετά από κάποια απόσταση ώστε να μην υπάρχουν τόσο μεγάλες αυξήσεις στην στατική πίεση.[1],[3]

Μία ακόμη περίπτωση της εν σειρά σύνδεσης αντλιών είναι όταν υπάρχει ανάγκη αύξησης της παροχής σε ένα ήδη υπάρχουν σύστημα, αφού όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως η εν σειρά σύνδεση των αντλιών αυξάνει της συνολική

παροχή σε σχέση με το αν λειτουργούσε μία μόνο αντλία. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί λόγω αύξησης των αναγκών σε παροχή αλλά και συχνά λόγω του γεγονότος ότι με την πάροδο του χρόνου υπάρχουν απώλειες παροχής στους αγωγούς λόγω των υδραυλικών απωλειών (για παράδειγμα σχηματισμός επικαθίσεων και αύξηση τραχύτητας).

Τέλος η εφαρμογή της εν σειρά σύνδεσης αντλιών παρατηρείται και στην περίπτωση όπου είναι αναγκαία η αύξηση της στατικής πίεσης στον αγωγό αναρρόφησης της κύριας αντλίας προκειμένου να αποφευχθεί το φαινόμενο της σπηλαιώσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις εγκαθίσταται μία μικρότερου μεγέθους αντλία, στα αγγλικά *inducer*, πριν από την κύρια αντλία η οποία είναι υπεύθυνη και για την διακίνηση του υγρού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μικρότερη αντλία να αυξάνει την στατική πίεση στον αγωγό αναρρόφησης της κύριας αντλίας τόσο όσο είναι αναγκαίο προκειμένου να μην εμφανιστεί σπηλαιώση στην κύρια αντλία. Τέτοιες εφαρμογές υπάρχουν για παράδειγμα σε μεγάλους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς. [9],[10]

4.Βελτιστοποίηση αντλιοστασίου

4.1 Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι αντλίες ευθύνονται για την κατανάλωση αρκετά μεγάλων ποσών ενέργειας παγκοσμίως, και πιο συγκεκριμένα η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των αντλιών αντιστοιχεί στο περίπου 10% της παγκόσμιας κατανάλωσης. Γίνεται έτσι κατανοητή η ανάγκη για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας των αντλιοστασίων προκειμένου να εξοικονομηθούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας αλλά επίσης και να μειωθούν και τα έξοδα λειτουργίας του αντλιοστασίου μέσω αυτού του τρόπου. [1],[17]

Σύμφωνα με μελέτες αρκετές αντλητικές εγκαταστάσεις λειτουργούν με απόδοση κάτω του 40% και μάλιστα 10% των αντλιών υπολογίζεται ότι λειτουργούν με απόδοση 30% ή και λιγότερο. Μέσω των κατάλληλων ενεργειών για την βελτίωση της λειτουργίας, του εξοπλισμού καθώς και ολόκληρου του συστήματος είναι δυνατόν να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας της τάξεως του 30-50%, κάτι το οποίο θα είχε προφανώς ως αποτέλεσμα και λιγότερα έξοδα λειτουργίας. Ακόμα η απόδοση των αντλιών υπολογίζεται ότι μπορεί να μειωθεί κατά 10-25% πριν αυτές αντικατασταθούν ή επισκευαστούν, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα λειτουργία με απόδοση περίπου 60% και έτσι υπάρχουν δυνατότητες βελτιστοποίησης και σε αυτόν τον τομέα. [2],[14]

Τα κύρια πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τις βελτιώσεις στην λειτουργία ενός αντλητικού συστήματος μπορεί να είναι :

- Εξοικονόμηση ενέργειας και χαμηλότερα έξοδα λειτουργίας
- Λιγότερες ανάγκες σε συντήρηση
- Πιο κοντινή αντιστοίχιση της αντλητικής ικανότητας με τις εκάστοτε ανάγκες
- Προστασία περιβάλλοντος και λιγότεροι ρύποι λόγω μειωμένης κατανάλωσης ενέργειας.

4.2 Μέθοδος

Προκειμένου να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση ενός αντλιοστασίου πρέπει να γίνουν κάποια βήματα. Η διαδικασία η οποία μπορεί να ακολουθηθεί είναι η εξής:

1. Ανάλυση και εκτίμηση της αντλητικής εγκατάστασης
2. Να δοθεί προτεραιότητα στις πιο αποδοτικές πιθανές λύσεις
3. Έλεγχος της αντλίας
4. Έλεγχος των μεθόδων ελέγχου ροής
5. Βελτιστοποίηση σωληνώσεων
6. Έλεγχος του κινητήρα

Για την ανάλυση και εκτίμηση του συστήματος πρέπει να παρατηρηθεί ο τρόπος λειτουργίας καθώς επίσης να συγκεντρωθούν τα πιθανά δεδομένα που υπάρχουν από συστήματα καταγραφής της λειτουργίας της αντλητικής εγκατάστασης. Μέσω της παρατήρησης της λειτουργίας της αντλητικής εγκατάστασης ο παρατηρητής μπορεί να έχει μια εικόνα για το πως λειτουργεί στην πραγματικότητα η αντλητική εγκατάσταση κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Έτσι σύμφωνα με τα στοιχεία από την παρατήρηση της λειτουργίας αλλά και τα δεδομένα καταγραφής μπορούν να υπολογιστούν σημαντικά στοιχεία όπως ποια είναι η αναγκαία παροχή και ύψος καθώς και η πιθανές μεταβολές των δυο προηγούμενων μεγεθών κατά την διάρκεια της λειτουργίας. Επίσης μπορεί να γίνει μια εκτίμηση για τις πιθανές μελλοντικές ανάγκες της αντλητικής εγκατάστασης. Οι απαντήσεις στα προηγούμενα ερωτήματα θα δώσουν μια εικόνα για την χρήση των αντλιών, τις μεταβολές παροχής που υπάρχουν κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς και αν σπαταλάτε ενέργεια και υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης.

Θα πρέπει επίσης να γίνει μια μελέτη των αντλιών και των κινητήρων, ώστε να συγκεντρωθούν όλα τα απαραίτητα στοιχεία όπως τα διαγράμματα των αντλιών και να γίνει αντιληπτό αν η λειτουργία βρίσκεται κοντά στο κανονικό σημείο λειτουργίας. Επίσης άλλα στοιχεία είναι απαραίτητα όπως ο αριθμός στροφών, τύπος αντλίας και κινητήρα, αριθμός βαθμίδων για την περίπτωση πολυβάθμιας αντλίας.

Ακόμα θα πρέπει να δοθεί έμφαση και γίνει έλεγχος σε στοιχεία τα οποία σχετίζονται με την μη αποδοτική λειτουργία της αντλίας. Τέτοια στοιχεία είναι:

- Χρήση βαλβίδων ελέγχου ροής (βάνες).
- Αγωγοί παράκαμψης (bypass).
- Υπερμεγέθους αντλίες όπου γίνεται χρήση σχετικά κλειστών βανών αλλά και αγωγών παράκαμψης.
- Αντλητικά συστήματα όπου υπάρχουν μεγάλες μεταβολές στην παροχή και το ύψος.
- Θορυβώδη λειτουργία αντλίας και συχνή συντήρηση.

Εφόσον γίνει η ανάλυση και η εκτίμηση της αντλητικής εγκατάσταση θα πρέπει να αναγνωριστούν οι πιο αποδοτικές πιθανές λύσεις, προκειμένου να δοθεί σε αυτές προτεραιότητα. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται κάποιες από τις πιθανές ενέργειες που μπορεί να ακολουθηθούν προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το αντλιοστάσιο καθώς και τα αναμενόμενα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας που ενδέχεται να προκύψουν.

Μέθοδος	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας
Αντικατάσταση βαλβίδων ελέγχου ροής με αντλίες μεταβλητών στροφών	10-60%
Μείωση αριθμού στροφών για σταθερό φορτίο	5-40%
Εγκατάσταση αντλιών παράλληλα για μεγάλες μεταβολές παροχής	10-30%
Αντικατάσταση κινητήρα με πιο αποδοτικό μοντέλο	1-3%
Αντικατάσταση αντλίας με πιο αποδοτικό μοντέλο	1-2%

Στα επόμενα κεφάλαια θα γίνει μια πιο λεπτομερής αναφορά στις πιο συνηθισμένες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την βελτιστοποίηση και την εξοικονόμηση ενέργειας στα αντλιοστάσια. [2],[3],[5]

4.3 Έλεγχος ροής

Κατά την επιλογή της αντλίας για μία εφαρμογή είναι σημαντικό να επιλεγθεί μια αντλία της οποίας το σημείο λειτουργίας βρίσκεται στην περιοχή όπου υπάρχει υψηλός βαθμός απόδοσης. Αρκετές φορές όμως η επιλογή αυτή δεν είναι εύκολη λόγω του γεγονότος ότι οι απαιτήσεις του συστήματος μπορεί να μεταβάλλονται κατά την

διάρκεια της λειτουργίας ή και λόγω του γεγονότος ότι η χαρακτηριστική σωληνογραμμής αλλάζει με την πάροδο του χρόνου (κεφάλαιο 3.3). Για αυτούς τους λόγους είναι συχνά απαραίτητη η μεταβολή της περιοχής όπου λειτουργεί η αντλία.

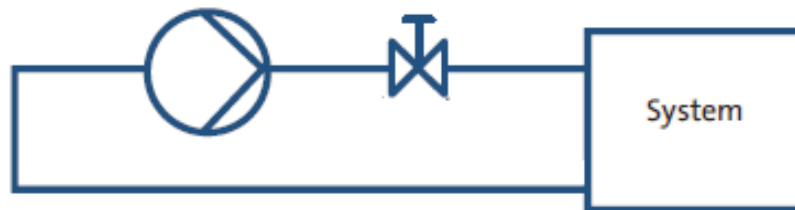
Οι πιο συνήθεις τρόποι για την μεταβολή της περιοχής όπου δουλεύει η αντλία είναι :

- Χρήση βαλβίδας ελέγχου ροής (βάννα)
- Χρήση αγωγού παράκαμψης (bypass)
- Μείωση διαμέτρου πτερωτής
- Λειτουργία με δυνατότητα μεταβολής στροφών

Η χρήση της πλέον βέλτιστης λύσης προκύπτει μετά από μελέτη του συστήματος. Παρακάτω ακολουθεί μια πιο λεπτομερής ανάλυση της κάθε μεθόδου.

4.3.1 Βαλβίδα ελέγχου ροής (βάννα)

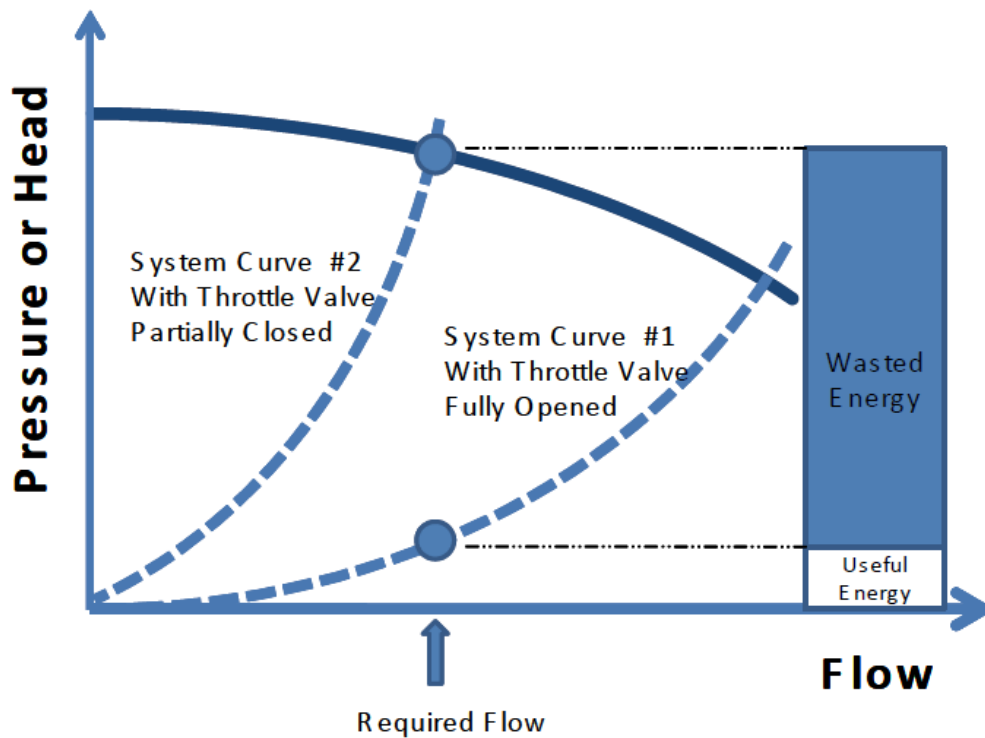
Η βαλβίδα ελέγχου ροής στραγγαλίζει την ροή δημιουργώντας μια πτώση πίεσης κατά μήκος της βαλβίδας και έτσι αυξάνεται κατά συνέπεια η πίεση την οποία πρέπει να αποδώσει η αντλία. Η τοποθέτηση της βάννας, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, γίνεται συνήθως μετά την αντλία γιατί η πτώση πίεσης που δημιουργεί πιθανόν να προκαλέσει σπηλαιώση στην περίπτωση που τοποθετηθεί πριν την αντλία. [1],[4]



Εικόνα 26 : Χρήση βαλβίδας ελέγχου ροής. [1]

Ο στραγγαλισμός της βάννας όπως αναφέρθηκε προκαλεί μια πτώση πίεσης, κάτι το οποίο μεταβάλλει την καμπύλη της σωληνογραμμής. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για μία αντίσταση η οποία μετακινεί την καμπύλη σωληνογραμμής προς τα πάνω. Με αυτόν τον τρόπο αλλάζει το σημείο λειτουργίας της αντλητικής εγκατάστασης και το νέο σημείο προκύπτει με μία μειωμένη παροχή. Το μειονέκτημα είναι ότι λόγω της αυξημένης αντίστασης στο σύστημα και της πιο απότομης καμπύλης της

σωληνογραμμής σπαταλούνται ποσά ενέργειας. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται και διαγραμματικά πως μεταβάλλεται η καμπύλη σωληνογραμμής στην περίπτωση της τελείως ανοικτής βάνας (#1) και στην περίπτωση του στραγγαλισμού της βάνας (#2), προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή παροχή. Ακόμα φαίνεται το μεγάλο ποσό ενέργειας το οποίο σπαταλάτε σε μια τέτοια περίπτωση.[2],[3]



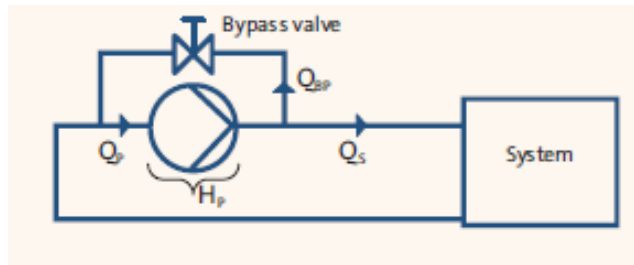
Εικόνα 27 : Μεταβολή καμπύλης σωληνογραμμής με χρήση βαλβίδας ελέγχου ροής. [3]

Η χρήση της βαλβίδας ελέγχου ροής είναι πολύ διαδεδομένη λόγω της επίτευξης του επιθυμητού αποτελέσματος, της ευκολίας τοποθέτησης και του χαμηλού αρχικού κόστους. Ωστόσο δεν είναι ενεργειακά αποδοτική καθώς σπαταλάτε επιπλέον ενέργεια από την αντλία για να υπερνικηθεί η πτώση πίεσης που δημιουργεί η βάνα καθώς στραγγαλίζεται. Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου, παρόλο της ευκολίας που προσφέρει, μπορεί να μειώσει αρκετά την ενεργειακή απόδοση του συστήματος. [1]-[4],[19]

4.3.2 Αγωγός παράκαμψης (bypass)

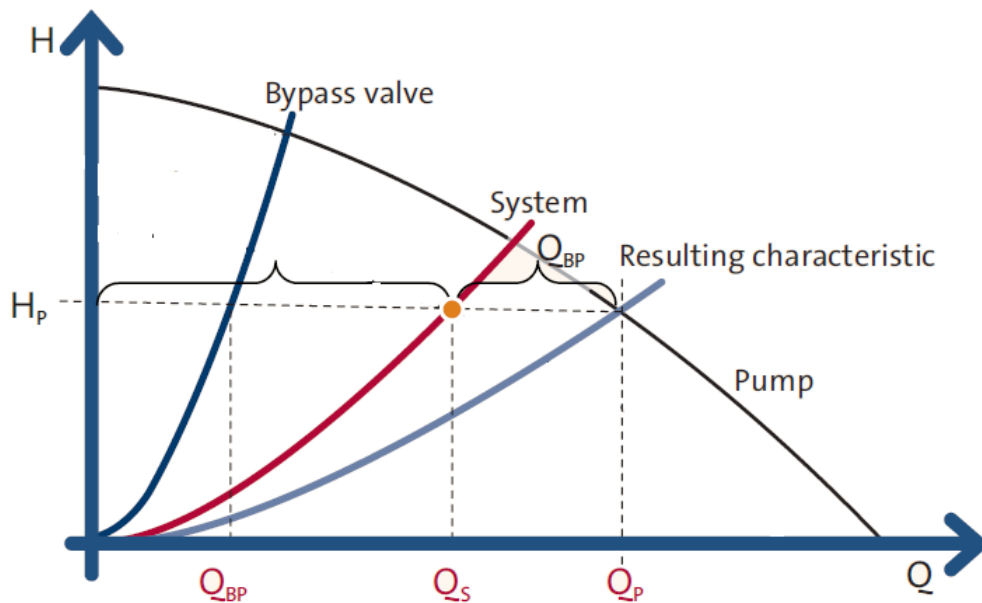
Ένας άλλος τρόπος ελέγχου της ροής είναι η εγκατάσταση ενός αγωγού παράκαμψης (bypass). Αυτός ο αγωγός επιτρέπει σε ένα μέρος της ροής, καθώς αυτή καταθλίπεται στον αγωγό κατάθλιψης, να επιστρέψει στην είσοδο της αντλίας δηλαδή στον αγωγό αναρρόφησης. Το πόση ροή θα επιστρέψει μέσω του αγωγού παράκαμψης

μπορεί να ελεγχθεί μέσω της βαλβίδας παράκαμψης. Παρακάτω φαίνεται και γραφικά η απεικόνιση μιας τέτοιας διάταξης. [1]



Εικόνα 28 : Χρήση αγωγού παράκαμψης. [1]

Όπως φαίνεται η συνολική παροχή η οποία διακινείται από την αντλία είναι Q_P και ένα μέρος αυτής Q_S συνεχίζει προς το υπόλοιπο σύστημα ενώ ένα μέρος Q_{BP} επιστρέφει στον αγωγό αναρρόφησης. Προφανώς $Q_P = Q_S + Q_{BP}$.



Εικόνα 29 : Μεταβολή καμπύλης σωληνογραμμής με χρήση αγωγού παράκαμψης. [1]

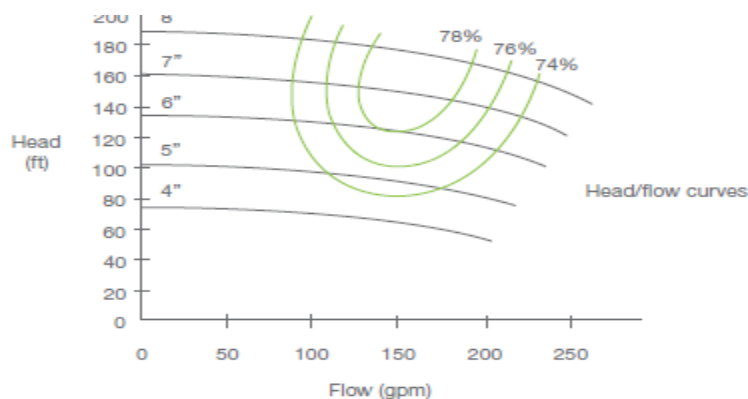
Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται πως μεταβάλλεται η χαρακτηριστική σωληνογραμμής με την διάταξη αγωγού παράκαμψης. Με **μπλε** φαίνεται η καμπύλη από τον αγωγό παράκαμψης, με **κόκκινο** η καμπύλη του υπόλοιπου συστήματος και με **γαλάζιο** η συνολική καμπύλη που προκύπτει από τις δύο προηγούμενες. Όπως φαίνεται η συνολική παροχή αυξάνεται αλλά δεν μεταφέρεται όλη στο υπόλοιπο σύστημα αλλά μόνο ένα μέρος της.

Όπως μπορεί να γίνει κατανοητό και σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει σπατάλη ενέργειας. Αυτό συμβαίνει γιατί η αντλία καταναλώνει ενέργεια, την οποία μεν αποδίδει στο ρευστό, αλλά η ενέργεια που καταναλώνεται για το ρευστό που περνά από τον αγωγό παράκαμψης στην ουσία σπαταλάται. Συνήθως η χρήση αγωγού παράκαμψης είναι η λιγότερο αποδοτική μέθοδος, από άποψη κατανάλωσης ενέργειας, ελέγχου της ροής. Ωστόσο σε εφαρμογές όπου το γεωδαιτικό ύψος είναι αρκετά μεγάλο μπορεί να φανούν πιο αποδοτικές από τις άλλες μεθόδους. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι ότι αποφεύγεται ο κίνδυνος λειτουργίας της αντλίας χωρίς να υπάρχει αγωγός διαφυγής του ρευστού όπως για παράδειγμα στην περίπτωση όπου υπάρχει βάννα μετά τον αγωγό κατάθλιψης αλλά για κάποιον λόγο είναι πλήρως κλειστή. Σε αυτήν την περίπτωση το ρευστό θα διακινείται εξ' ολοκλήρου μέσω του αγωγού παράκαμψης. [1],[3]

4.3.3 Μείωση διαμέτρου πτερωτής

Η μείωση της διαμέτρου της πτερωτής είναι ακόμη ένας τρόπος ελέγχου της ροής στην αντλητική εγκατάσταση. Η μείωση της διαμέτρου αποτελεί ένα μόνιμο μέτρο, καθώς γίνεται κόψιμο της πτερωτής κάτι το οποίο καθιστά αδύνατο να επανέλθει στην αρχική της μορφή. Προφανώς γίνεται κατανοητό ότι σε αντίθεση με τις προηγούμενες μέθοδοι όπου μπορεί να γίνεται συνεχώς αλλαγή της ροής με το άνοιγμα και το κλείσιμο της βάννας, η ροή στην περίπτωση της μείωσης διαμέτρου της πτερωτής δεν μπορεί να ελέγχεται. [1]

Η μείωση της διαμέτρου της πτερωτής προκαλεί την μετακίνηση της χαρακτηριστικής καμπύλης παροχής – ύψους QH της αντλίας χαμηλότερα. Αυτό είναι λογικό εφόσον με τη μείωση της διαμέτρου μεταφέρεται λιγότερη ενέργεια στο ρευστό και έτσι μειώνεται η παροχή και το ύψος της αντλίας.



Εικόνα 30 : Καμπύλες αντλίας για διαφορετικές διαμέτρους πτερωτής. [2]

Οι σχέσεις που ισχύουν για τις διαφορετικές διαμέτρους πτερωτής είναι :

$$1. \frac{D}{D'} = \frac{Q}{Q'}$$

$$2. \left(\frac{D}{D'}\right)^2 = \frac{H}{H'}$$

$$3. \left(\frac{D}{D'}\right)^3 = \frac{P}{P'}$$

Όπου

- D η διάμετρος της πτερωτής
- Q η παροχή
- H το ύψος
- P η ισχύς

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διάμετρος της πτερωτής δεν θα πρέπει να μειώνεται παραπάνω από το 75% της αρχικής διαμέτρου γιατί μπορεί να προκληθούν προβλήματα με την σωστή τοποθέτηση της πτερωτής στην αντλία. Επίσης, η διάμετρος δεν θα πρέπει να μειώνεται περαιτέρω από την ελάχιστη διάμετρο η οποία φαίνεται στο διάγραμμα του κατασκευαστή. Ακόμα αξίζει να σημειωθεί ότι με την μείωση της διαμέτρου της πτερωτής προκαλείται και μια ελαφριά μείωση του βαθμού απόδοσης.

Η μείωση της διαμέτρου της πτερωτής μπορεί να ληφθεί υπόψιν εάν:

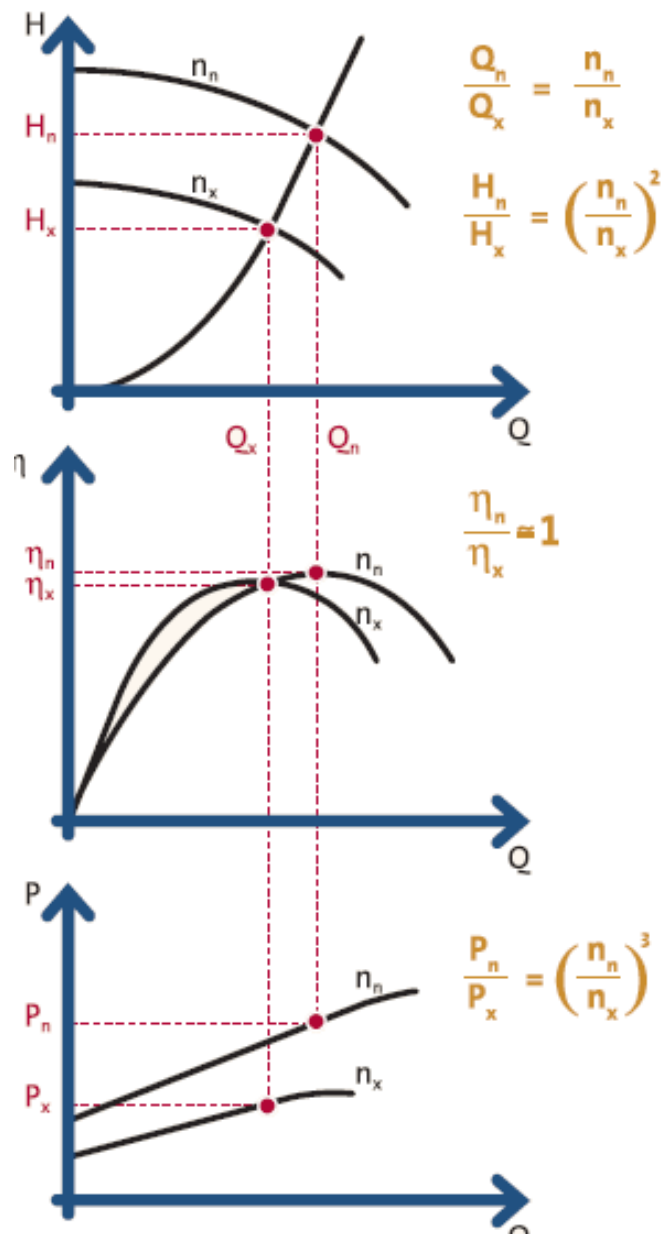
- Υπάρχουν αρκετοί ανοιχτοί αγωγοί παράκαμψης, κάτι το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει παραπάνω παροχή από την αντλία από την αναγκαία
- Χρήση βαλβίδων ελέγχου ροής σε αρκετά κλειστή θέση
- Υπάρχουν υψηλά επίπεδα θορύβου και δονήσεων
- Η αντλία λειτουργεί σε σημείο μακριά από το κανονικό σημείο λειτουργίας της, προκαλώντας μείωση του βαθμού απόδοσης [1]-[3]

4.3.4 Μεταβολή στροφών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η δυνατότητα μεταβολής στροφών σε μια αντλία μπορεί να μετακινήσει τις χαρακτηριστικές τις καμπύλες. Έτσι είναι εφικτό να αποδώσει μεταβλητές παροχές, συνήθως χωρίς σημαντικές απώλειες ενέργειας. Στις περισσότερες περιπτώσεις η χρήση αντλιών μεταβλητών στροφών είναι ο πιο αποδοτικός ενεργειακά τρόπος για τη μεταβολή της ροής. Παρόλο που ενεργειακά μπορεί να αποτελεί τη βέλτιστη λύση αρκετές φορές δεν προτιμάται λόγω του αρκετά υψηλότερου κόστους μιας αντλίας με VFD (Variable Frequency Drive) σε σχέση με τις άλλες μεθόδους ελέγχου ροής. [2],[3],[14],[16]

Σύμφωνα με τις σχέσεις οι οποίες έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2.5 για την σχέση του αριθμού των στροφών n και της παροχής Q , ύψους H και της ισχύς P φαίνεται ότι η ισχύς που απορροφάται είναι ανάλογη του αριθμού των στροφών στην τρίτη δύναμη ενώ η παροχή ανάλογη του αριθμού των στροφών στην πρώτη δύναμη. Έτσι με μια μικρή μείωση του αριθμού των στροφών υπάρχει μικρή μείωση της παροχής αλλά πολύ μεγαλύτερη μείωση της ισχύος που απορροφάται άρα και μεγάλες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας. [1],[2],[4],[5]

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως επηρεάζονται οι καμπύλες της αντλίας με την μεταβολή των στροφών σε χαμηλότερη ταχύτητα. Στο πρώτο διάγραμμα φαίνεται πως επιτυγχάνεται η μικρότερη ροή, στο δεύτερο διάγραμμα φαίνεται το πόσο μικρή μεταβολή υπάρχει στον βαθμό απόδοσης και στο τρίτο διάγραμμα η σημαντική μείωση της ισχύος που απορροφά η αντλία. Επίσης φαίνονται οι σχέσεις που ισχύουν. [1]



Εικόνα 31 : Μετατόπιση καμπλών με την μεταβολή στροφών. [1]

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται και συγκεντρωτικά οι μέθοδοι ελέγχου ροής με τα κύρια χαρακτηριστικά τους. [1]

Μέθοδος	Δυνατότητα συνεχούς προσαρμογής	Τελική καμπύλη συστήματος	Συνολική ενεργειακή απόδοση συστήματος
Βαλβίδα ελέγχου ροής	ΝΑΙ	Μείωση Q	Αρκετά χαμηλότερη
Αγωγός παράκαμψης	ΝΑΙ	Μείωση Q,H	Αρκετά χαμηλότερη
Μείωση διαμέτρου πτερωτής	ΟΧΙ	Μείωση Q,H	Ελαφρώς χαμηλότερη
Μεταβολή στροφών	ΝΑΙ	Μείωση Q,H	Ελαφρώς χαμηλότερη

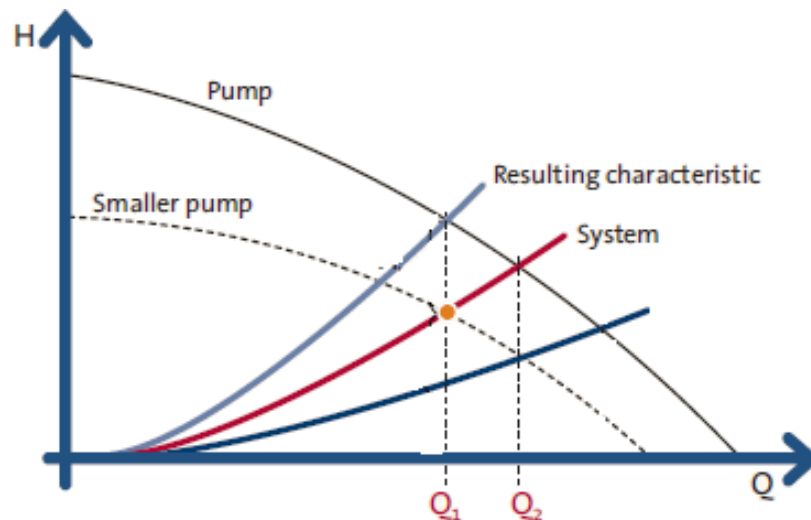
4.4 Αντλία

Η αντλία αποτελεί ένα από τα πιο βασικά κομμάτια μιας αντλητικής εγκατάστασης, αρκετές φορές όμως η λειτουργία της δεν είναι η βέλτιστη. Ένα πολύ σύνθηες φαινόμενο σε μία αντλητική εγκατάσταση είναι η χρήση υπερμεγεθών αντλιών κάτι το οποίο μπορεί να μειώσει σημαντικά τον βαθμό απόδοσης της λειτουργίας της αντλίας προκαλώντας μεγάλες ενεργειακές ανάγκες. [1]

Οι λόγοι όπου συναντώνται τόσες πολλές εφαρμογές με υπερμεγέθους αντλίες είναι πολλοί. Αρκετές φορές επιλέγονται μεγαλύτερες αντλίες απ' ότι χρειάζονται επειδή κατά την διάρκεια της μελέτης δεν έχει γίνει πλήρης κατανόηση των αντλητικών αναγκών καθώς επίσης μπορεί να προστεθεί ένας μεγάλος συντελεστής ασφαλείας από τον σχεδιαστή της αντλητικής εγκατάστασης λόγω φόβου αποτυχίας της αντλίας. Επίσης συχνό φαινόμενο είναι και η επιλογή μιας μεγαλύτερης αντλίας επειδή μπορεί να αναμένεται στο μέλλον μεγέθυνση της αντλητικής εγκατάστασης και έτσι να μην χρειαστεί να αγοραστεί μια καινούρια, μεγαλύτερη αντλία. Ακόμα με το πέρασμα του χρόνου και λόγω φθορών μπορεί να μειωθεί ο βαθμός απόδοσης της αντλίας αλλά και μπορεί να υπάρξουν μεγαλύτερες υδραυλικές απώλειες στους αγωγούς λόγω γήρανσης, για αυτόν τον λόγο επιλέγεται μια μεγαλύτερη αντλία ώστε να μπορέσει να καλύψει τις πιθανές αυξημένες ανάγκες του συστήματος. Τέλος, δεν υπάρχουν πάντα διαθέσιμες αντλίες με εκείνα ακριβώς τα χαρακτηριστικά τα οποία απαιτούνται και έτσι είναι αναγκαία η επιλογή του πιο κοντινού μοντέλου, το οποίο συνήθως είναι και μεγαλύτερο. [1]-[3]

Όλα τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα συνήθως η αντλία να λειτουργεί σε ένα σημείο με μεγαλύτερη παροχή από την αναμενόμενη και μικρότερο ύψος. Κάτι τέτοιο μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σπηλαίωσης αλλά και κατανάλωσης ενέργειας αφού η περίσσεια παροχή πρέπει συνήθως να ελέγχεται μέσω μιας βάνας ή αγωγού παράκαμψης. [1],[2]

Παρακάτω φαίνεται το αποτέλεσμα μιας υπερμεγέθους αντλίας όπου η τομή με την καμπύλη της σωληνογραμμής (κόκκινο χρώμα) δίνει μια παροχή Q_2 μεγαλύτερη από την επιθυμητή Q_1 και για αυτόν τον λόγο γίνεται χρήση βάνας (καμπύλη με γαλάζιο χρώμα) προκειμένου η παροχή να μειωθεί στην Q_1 . Κάτι τέτοιο όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 4.3.1 έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη ενεργειακή σπατάλη. Αντιθέτως, θα μπορούσε να γίνει χρήση μιας μικρότερης αντλίας (διακεκομμένη καμπύλη) προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή παροχή Q_1 με αρκετά μικρότερες ενεργειακές ανάγκες.



Εικόνα 32 : Απεικόνιση σημείου λειτουργίας με χρήση μικρότερης αντλίας ή με μεγαλύτερη αντλία και βαλβίδα ελέγχου ροής . [1]

Τα στοιχεία τα οποία μπορεί να προμηνύουν μια υπερμεγέθη αντλία μπορεί να είναι κάποια από τα παρακάτω:

- Μεγάλη χρήση βαλβίδων ελέγχου ροής
- Ένα μεγάλο μέρος της παροχής παρακάμπτεται μέσω αγωγού παράκαμψης

- Η παροχή είναι διαφορετική από την παροχή του κανονικού σημείου λειτουργίας BEP(best efficiency point) κατά τουλάχιστον 10-20%
- Συχνές ανάγκες συντήρησης της αντλίας. [1]-[3]

4.5 Κινητήρας

4.5.1 Υπερμεγέθης κινητήρας

Ένα ακόμη κομμάτι της αντλητικής εγκατάστασης στο οποίο πιθανόν να υπάρχουν περιθώρια βελτιστοποίησης και εξοικονόμησης ενέργειας είναι οι κινητήρες των αντλιών. Οι κινητήρες είναι υπεύθυνοι για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια της πτερωτής και ως μηχανολογικά μέσα έχουν έναν βαθμό απόδοσης με τον οποίο λειτουργούν. [2]

Μια συνήθης πρακτική που ακολουθείται είναι η επιλογή κινητήρα μεγαλύτερου μεγέθους από αυτόν που απαιτείται από την αντλία προκειμένου να μην υπάρξουν προβλήματα αστοχίας του κινητήρα και λόγω της υποψίας ότι οι αντλητικές ανάγκες ίσως αυξηθούν κατά ένα μεγάλο βαθμό στο μέλλον και έτσι η απορροφούμενη ισχύς από την αντλία αυξηθεί επίσης. Τέτοιες περιπτώσεις όμως σπάνια συναντώνται στην πραγματικότητα και έτσι προκύπτουν , όπως και στην περίπτωση των αντλιών, υπερμεγέθης κινητήρες. Κάτι τέτοιο έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερα κόστη αφού όσο αυξάνεται το μέγεθος του κινητήρα αυξάνεται και το αρχικό κόστος καθώς επίσης και αυξημένο κόστος ενέργειας εφόσον όταν ο κινητήρας υπολειτουργεί μειώνεται και ο βαθμός απόδοσης. Προφανώς οι κινητήρες παράγονται σε συγκεκριμένα μεγέθη και έτσι πάντα πρέπει να επιλέγεται αυτός ο οποίος θα λειτουργεί στο 100% της ονομαστικής ισχύς του, ωστόσο όμως μπορούν να επιτευχθούν ικανοποιητικές αποδόσεις και όταν ο κινητήρας δουλεύει στο 75-100% της ονομαστικής ισχύς. [2],[3][17]

Αρκετοί κατασκευαστές κινητήρων διαθέτουν κινητήρες οι οποίοι μπορούν να δουλέψουν, για σύντομα χρονικά διαστήματα, και σε μεγαλύτερη ισχύ από την ονομαστική. Έτσι με την επιλογή ενός τέτοιου κινητήρα δεν υπάρχει ο φόβος αστοχίας και μπορεί να αποφευχθεί η υπερδιαστασιολόγηση του κινητήρα. Οι κινητήρες αυτού του τύπου έχουν επιγραφή όπου αναφέρεται σε τι ποσοστό παραπάνω μπορεί να λειτουργήσει ο κινητήρας χωρίς σημαντικές επιπτώσεις στον βαθμό απόδοσης. Για παράδειγμα ένας κινητήρας όπου έχει ως επιγραφή ότι μπορεί να λειτουργήσει με συντελεστή 1.10 σημαίνει ότι θα μπορέσει να αποδώσει ισχύ στο 110% της ονομαστικής με βαθμό απόδοσης κοντά στον βέλτιστο. [2],[17]

4.5.2 Κινητήρες υψηλής απόδοσης

Τα τελευταία 20 χρόνια έχουν αναπτυχθεί μέσω της προηγμένης τεχνολογίας κινητήρες υψηλής απόδοσης. Μέσω της βελτιωμένης κατασκευής του κινητήρα οι κινητήρες υψηλής απόδοσης μπορούν να έχουν βελτιωμένο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τους κοινούς κινητήρες κατά περίπου 2,5%. Κάποιες από τις κατασκευαστικές διαφορές των κινητήρων υψηλής απόδοσης είναι :

- Χρήση κορυφαίας ποιότητας μαγνητικού χάλυβα και μονωτικών υλικών
- Χρήση ανεμιστήρων και πιο αποδοτικών συστημάτων ψύξης
- Μείωση των εσωτερικών διακένων, κάτι που προκαλεί μείωση των απωλειών

Οι κινητήρες υψηλής απόδοσης προφανώς έχουν υψηλότερο αρχικό κόστος από τους κοινούς κινητήρες αλλά η εξοικονόμηση ενέργειας τους κάνει ανταγωνιστικούς. Κάποια ακόμη πλεονεκτήματα των κινητήρων υψηλής απόδοσης εκτός της εξοικονόμησης ενέργειας που προσφέρουν είναι οι λιγότερες φθορές και ανάγκες συντήρησης λόγω της προσεγγμένης κατασκευής και υλικών καθώς και ότι είναι λιγότεροι ευαίσθητοι στις διακυμάνσεις της τάσης που τυχόν υπάρχουν αλλά και στις διακυμάνσεις φορτίου. [2],[3],[17]

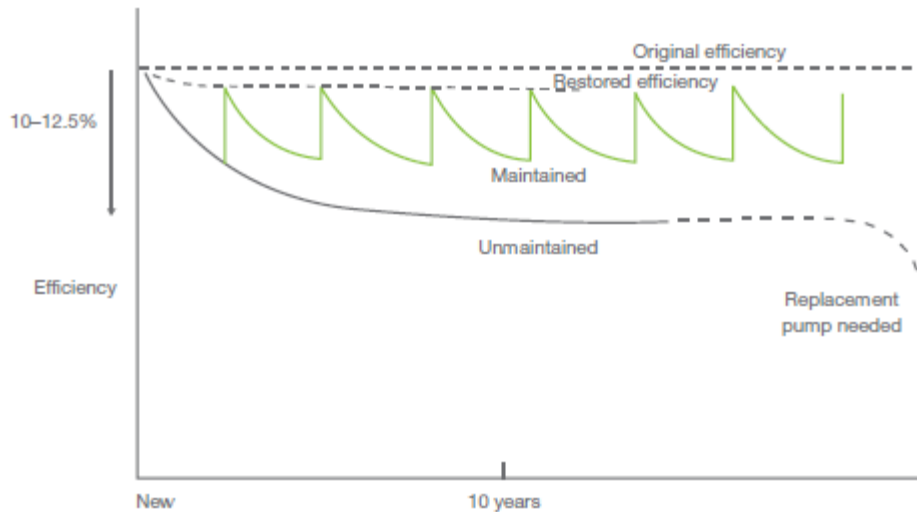
4.6 Φθορές και συντήρηση

Όπως είναι κατανοητό η κάθε αντλητική εγκατάσταση υπόκειται σε φθορές κατά τη διάρκεια ζωής της και έτσι είναι απαραίτητες οι ενέργειες συντήρησης. Η πρόβλεψη φθορών μαζί με την συχνή συντήρηση των μηχανικών κομματιών της αντλητικής εγκατάστασης μπορούν να προσφέρουν δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, αφού λόγω φθορών αλλάζει ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος και υπάρχουν επιπλέον απώλειες ενέργειας. Ακόμα η συχνή έλεγχος στις αντλίες μαζί με την συντήρηση τους καθιστούν δυνατή την αποφυγή απωλειών τόσο στον βαθμό απόδοσης της αντλίας αλλά και στην απόδοση της από άποψη παροχής και ύψους που προσφέρει.

Οι κύριοι λόγοι που προκαλούν φθορές και διαβρώσεις στις αντλίες είναι οι υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων στο ρευστό, χαμηλές τιμές του PH καθώς επίσης και η χαμηλή πίεση στον αγωγό αναρρόφησης η οποία προκαλεί σπηλαίωση. Οι παραπάνω φθορές, εάν δεν υπάρχει η σωστή συντήρηση, υπολογίζεται ότι μπορούν να προκαλέσουν μείωση του βαθμού απόδοσης της αντλίας κατά περίπου 10-12.5% καθώς και πιθανή μειωμένη παροχή και ύψος της αντλίας. Ακόμα ο ωφέλιμος χρόνος

ζωής της αντλίας υπολογίζεται στα 20 χρόνια, εάν δεν γίνονται οι κατάλληλες ενέργειες για την συντήρηση της.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται πως επηρεάζεται η απόδοση της αντλίας για την περίπτωση μιας αντλίας όπου γίνεται συχνή συντήρηση (**πράσινο** χρώμα) και για την περίπτωση μιας αντλίας όπου δεν γίνεται συντήρηση(**μαύρο** χρώμα). [2],[17]



Εικόνα 33 : Μεταβολή απόδοσης αντλίας μετά από χρήση με συντήρηση και χωρίς. [2]

4.7 Σωληνώσεις

Ένα άλλο σημείο όπου πρέπει να δοθεί προσοχή προκειμένου να υπάρχει εξοικονόμηση ενέργειας είναι οι σωληνώσεις του συστήματος και ιδιαιτέρως στην διάμετρο αυτών. Όπως γίνεται κατανοητό αυτό το κομμάτι πρέπει να γίνεται κατά την σχεδίαση της αντλητικής εγκατάστασης γιατί οι αλλαγές για την βελτιστοποίηση μετά την λειτουργία είναι αρκετά δυσκολότερο να υλοποιηθούν. Λόγω του υψηλότερου αρχικού κόστους οι ενέργειες για την βελτιστοποίηση των σωληνώσεων συχνά παραμελούνται παρόλη την εξοικονόμηση ενέργειας την οποία μπορούν να προσφέρουν κατά την διάρκεια ζωής της αντλητικής εγκατάστασης. [2],[3]

Τα στοιχεία τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψιν είναι τα εξής :

- Επιλογή κατάλληλης διαμέτρου για την μεγιστοποίηση της παροχής και ελαχιστοποίησης των απωλειών ενέργειας λόγω τριβής

- Σχεδιασμός ενός συστήματος με όσο το δυνατόν λιγότερες πτώσεις πίεσης λόγω εξαρτημάτων όπως για παράδειγμα γωνίες, αυξομειώσεις της διαμέτρου κτλ.
- Επιλογή εξαρτημάτων με χαμηλές απώλειες ενέργειας όπως για παράδειγμα πιο αποδοτικούς τύπους βαλβίδων ελέγχου ροής
- Επιλογή αγωγών με μικρή τραχύτητα

Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία στο οποίο πρέπει να δοθεί βάση είναι η διάμετρος των σωληνώσεων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί για μια δεδομένη παροχή η διάμετρος της σωλήνωσης και η ταχύτητα του υγρού είναι μεγέθη ανταγωνιστικά, δηλαδή όταν αυξάνεται η διάμετρος της σωλήνωσης μειώνεται η ταχύτητα του υγρού (και αυξάνεται η στατική του πίεση). Αυτό φαίνεται και από τον τύπο $Q = c \cdot A$ ο οποίος έχει αναλυθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 3.2) και όπως επίσης έχει ήδη αναφερθεί μεγάλες ταχύτητες του υγρού μπορούν να αυξήσουν κατά πολύ τις απώλειες ενέργειας στο σύστημα. [2]

Η διάμετρος της σωλήνωσης έχει σημαντικό ρόλο στην οικονομοτεχνική πλευρά του προβλήματος αφού σωληνώσεις με μεγάλη διάμετρο έχουν υψηλό αρχικό κόστος αλλά μικρότερο κόστος ενέργειας, εφόσον υπάρχει μικρή ταχύτητα του υγρού και κατά συνέπεια μικρές υδραυλικές απώλειες. Τα αντίθετα συμβαίνουν για σωληνώσεις μικρής διαμέτρου (χαμηλό αρχικό κόστος και υψηλό κόστος ενέργειας). Γενικά ισχύει ότι όσο περισσότερο λειτουργεί η αντλητική εγκατάσταση τόσο περισσότερο συμφέρει η επιλογή μεγάλης διαμέτρου και το αντίστροφο. [2],[3]

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο είναι ότι μπορούν να υπάρξουν απώλειες ενέργειας της τάξεως μέχρι και του 30% σε κάποιες περιπτώσεις λόγω τριβής του υγρού στα τοιχώματα των σωληνώσεων, ειδικά στην περίπτωση σωληνώσεων όπου υπάρχει μεγάλη ταχύτητα του υγρού. Η ταχύτητα του υγρού στις σωληνώσεις θα πρέπει να είναι λιγότερη των 2m/s για να αποφευχθούν μεγάλοι μεγέθους απώλειες. Όταν η ταχύτητα είναι πάνω από 2m/s θα πρέπει να γίνουν ενέργειες για την μείωση της ταχύτητας αυτής. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να γίνει με την αντικατάσταση της σωλήνωσης από μια καινούρια σωλήνωση μεγαλύτερης διαμέτρου προκειμένου να μειωθεί η ταχύτητα του υγρού. Θα πρέπει να δοθεί προσοχή όμως η νέα διάμετρος να μην είναι πάρα πολύ μεγάλη γιατί ταχύτητες του υγρού κάτω από 0,7 m/s ευνοούν την δημιουργία επικαθίσεων στα τοιχώματα. Οι βέλτιστη ταχύτητα του υγρού στη σωλήνωση θεωρείται περίπου 1-1,5 m/s. [3],[17]

4.8 Πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας

Τέλος για την βελτιστοποίηση του αντλιοστασίου, από άποψη ελαχιστοποίησης των εξόδων λειτουργίας, πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας. Θα πρέπει να γίνεται μια έρευνα αγοράς προκειμένου να επιλέγεται ο καταλληλότερος πάροχος σε σχέση με την ανάγκες που υπάρχουν. Επίσης θα πρέπει να γίνει μια μελέτη για το αν η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι ενδεχομένως χαμηλής ή μεσαίας τάσης και το κόστος που προκύπτει. Τέλος, θα πρέπει να γίνει μια έρευνα για τους διαφορετικούς τύπους τιμολογίων που πιθανώς προσφέρονται από τον εκάστοτε πάροχο ώστε να επιλεγεί το πιο οικονομικά συμφέρον. [17]

Ένα ακόμη στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι η πιθανή ξεχωριστή τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας αναλόγως την ώρα χρήσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα πρέπει να γίνεται έξυπνη χρήση των αντλιών προκειμένου να αποφεύγεται, όποτε είναι εφικτό, η λειτουργία τους κατά τις ώρες υψηλής χρέωσης και να λειτουργούν κατά τις ώρες χαμηλής χρέωσης προκειμένου να γεμίζουν οι δεξαμενές με το χαμηλότερο δυνατόν κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. [2],[17]

4.9 Συγκεντρωτικά

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ
Υπερμεγέθης αντλία	<ul style="list-style-type: none">• Αντικατάσταση με μικρότερη αντλία• Αλλαγή πτερωτής• Μείωση διαμέτρου υπάρχουσας πτερωτής• Χρήση αντλίας μεταβλητών στροφών
Φθορά αντλίας	<ul style="list-style-type: none">• Ενέργειες συντήρησης
Μη αποδοτική χρήση βαλβίδων ελέγχου ροής	<ul style="list-style-type: none">• Όμοια με υπερμεγέθη αντλία
Υπερμεγέθης κινητήρας	<ul style="list-style-type: none">• Αντικατάσταση με νέο κινητήρα υψηλής απόδοσης
Ανάγκες μεταβλητών παροχών	<ul style="list-style-type: none">• Χρήση αντλιών μεταβλητών στροφών• Εγκατάσταση αντλιών παράλληλα
Σωληνώσεις	<ul style="list-style-type: none">• Ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω τριβής• Αύξηση διαμέτρου• Επιλογή υλικού με χαμηλή τιμή τραχύτητας
Αντλία και κινητήρας	<ul style="list-style-type: none">• Χρήση αντλιών και κινητήρων με υψηλό βαθμό απόδοσης• Αποφυγή υπερδιαστασιολόγησης• Επιλογή κατάλληλου μεγέθους πτερωτής• Επιλογή κατάλληλου τύπου αντλίας (ακτινικής, μεικτής ή αξονικής ροής)

Στον παραπάνω πίνακα ακολουθούν συγκεντρωτικά κάποιες από τις πιο συνήθεις ενέργειες που ακολουθούνται για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης μιας αντλητικής εγκατάστασης. [1]-[3],[17]

5. ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

5.1 Σχετικά με τον Ο.Α.Κ. Α.Ε.

Ο ΟΑΚ ΑΕ (Οργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης) ιδρύθηκε το 2013 με τη συγχώνευση του ΟΑΔΥΚ (Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης), ΟΑΝΑΚ (Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης) και των δημόσιων αρχών ΕΥΔΕ ΒΟΑΚ και ΕΥΔΕ Αποσελέμη.

Ο ΟΑΚ ΑΕ είναι ένας κρατικός οργανισμός ο οποίος εποπτεύεται από το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων. Η έδρα του οργανισμού είναι στα Χανιά με τμήματα σε Ηράκλειο, Ρέθυμνο και Λασιθί.

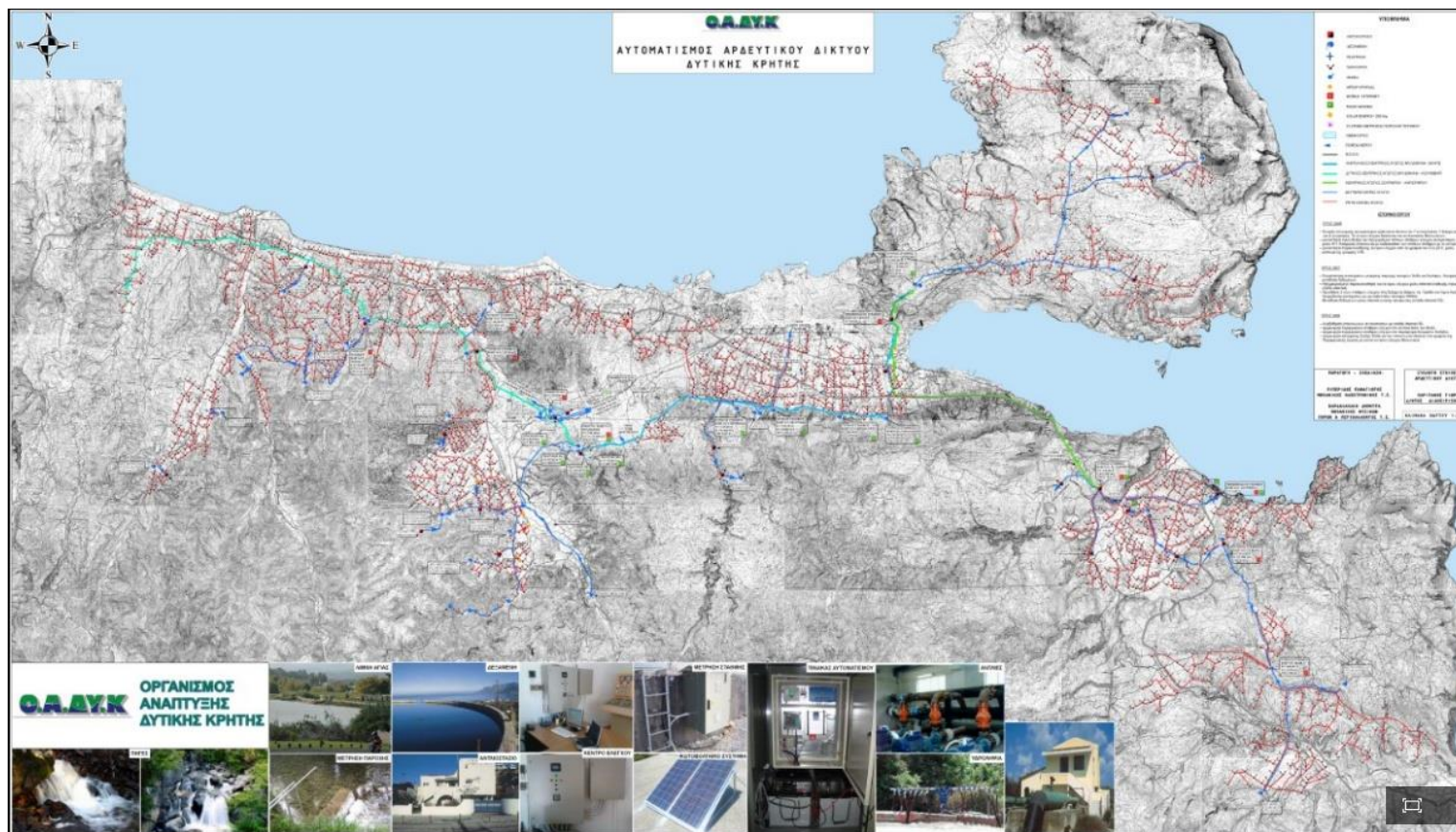
Οι αρμοδιότητες του οργανισμού είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η διαχείριση των :

- **Διευρωπαϊκό οδικό δίκτυο Κρήτης.** Ο ΟΑΚ ΑΕ έχει την ευθύνη της ανάπτυξης, συντήρησης και διαχείρισης του ΒΟΑΚ (Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης) και του ΝΟΑΚ (Νότιος Οδικός Άξονας Κρήτης)
- **Υδραυλικές Υποδομές (φράγματα, δεξαμενές και μονάδες επεξεργασίας νερού)** Υπάρχουν 3 φράγματα συνολικής χωρητικότητας περίπου 50.000.000 m³ (Αποσελέμι στο Ηράκλειο, Ποταμών στο Ρέθυμνο και Βαλσαμιώτη στα Χανιά) καθώς και πάνω από 15 μικρές δεξαμενές. Επίσης δύο μονάδες επεξεργασίας νερού (Δράμια και Ηράκλειο) έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν υπό την διαχείριση του οργανισμού.
- **Δίκτυα ύδρευσης-άρδευσης Κρήτης** ο ΟΑΚ ΑΕ διανέμει ετησίως 120.000.000 m³ νερού μέσω του δικτύου του, με περίπου 28 αντλιοστάσια και πολλές γεωτρήσεις νερού.

Επίσης υποστηρίζει τις ενέργειες ανάπτυξης της Κρήτης μέσω προγραμμάτων και κοινοτικών πρωτοβουλιών καθώς επίσης δίνεται έμφαση στα :

- Ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Σχέδια διαχείρισης υδάτων, ανάλυση κόστους, τιμή νερού, ανάκτηση κόστους
- Συστήματα αυτοματισμού των δικτύων νερού [20]

5.2 Δίκτυο ΟΑΚ



Εικόνα 34 : Δίκτυο Ο.Α.Κ. στα Χανιά

Όπως αναφέρθηκε το δίκτυο του ΟΑΚ επεκτείνεται σε όλη την Κρήτη, ωστόσο σε αυτήν την εργασία θα δοθεί έμφαση στο δίκτυο της περιοχής της Δυτικής Κρήτης. Παρακάτω φαίνεται το δίκτυο του ΟΑΚ για την περιοχή της Δυτικής Κρήτης.

Ο ΟΑΚ διαχειρίζεται συνολικά 29 αντλιοστάσια στην περιοχή της δυτικής Κρήτης. Τα αντλιοστάσια αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. [6]

	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ	ΕΠΩΝΥΜΙΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ
1	85800004	ΑΝΤΛΙΟΣ. ΜΥΛΩΝ.ΒΑΡΥΠΕΤΡΟΝ	ΜΥΛΩΝΙΑΝΑ ΒΑΡΥΠ/ΒΑΡΥΠΕΤΡΟΝ
2	85800012	ΟΑΔΥΚ 2Α3	ΠΑΤΕΛΑΡΙ/ΒΡΥΣΑΙ ΚΥΔΩΝΙΑΣ
3	85800015	ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΟΑΔΥΚ	ΒΛΗΤΕΣ ΣΟΥΔΑΣ/ΣΟΥΔΑ
4	85800016	ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΟΑΔΥΚ	ΓΕΡΑΝΙ ΚΥΔΩΝΙΑΣ
5	85800017	ΟΑΔΥΚ	ΛΙΜΝΗ ΚΟΥΡΝΑ/ΑΠΟΚΟΡΩΝΑΣ
6	85800036	ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΟΑΔΥΚ	ΚΑΛΥΒΕΣ ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ
7	85800045	ΟΑΔΥΚ ΚΑΛΥΒΩΝ	ΜΕΓ.ΧΩΡΑΦΙΑ ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ
8	85800049	ΟΑΔΥΚ ΜΕΓ.ΧΩΡΑΦΙΑ	ΤΖΙΒΑΡΑΣ ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ/ΚΑΛΥΒΑΙ
9	85800050	ΟΑΔΥΚ ΤΖΙΒΑΡΑΣ	ΣΤΥΛΟΣ/ΚΑΛΥΒΑΙ
10	85800152	ΟΑΔΥΚ	ΔΡΑΜΙΑ/ΒΡΥΣΑΙ ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ
11	53591239	ΟΑΔΥΚ	ΜΟΥΖΕΛΑ/ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ
12	53584794	ΟΑΔΥΚ [ΠΗΓΑΔΙ]	ΠΟΤΑΜΟΙ/ΒΩΛΕΩΝΕΣ
13	54055259	ΟΑΔΥΚ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	ΧΩΡΙΣ ΟΔΟ/ΠΕΡΙΒΟΛΙΑ ΚΥΔΩΝΙΑΣ
14	53565440	ΠΡΟΩΘ. ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ	
15	53585661	ΟΑΔΥΚ	ΚΑΛΟΡΟΥΜΑ/ΜΟΥΖΟΥΡΑΣ
16	95806615	ΟΑΔΥΚ [ΙΝΣΤ ΓΕΩΤΡ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ]	ΝΕΡΟΚΟΥΡΟΥ ΧΑΝΙΩΝ
17	95806630	ΚΟΙΝ.ΑΝΤΛΙΟΣ.ΝΕΟΥ ΧΩΡΙΟΝ ΑΠΟΚ	ΝΕΟ.ΧΩΡΙΟΝ ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ
18	53606773	ΟΑΔΥΚ [ΥΓΜ7]	ΜΥΛΩΝΙΑΝΑ ΒΑΡΥΠΕΤΡΟΥ
19	95806810	ΟΑΔΥΚ	ΚΟΝΤΟΜΑΡΙ/ΚΟΛΥΜΒΑΡΙΟΥ
20	54056873	ΟΑΔΥΚ	ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΡΑΣΣΩΝ 5,7/ΠΡΑΣΙΑΙ
21	54056874	ΟΑΔΥΚ	ΕΞ. ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΑΡΑΣΣΩΝ/ΠΡΑΣΙΑΙ
22	95806950	ΟΑΔΥΚ Γ8	ΚΑΤΣΙΦΑΡΙΑΝΑ ΝΕΡΟΚΟΥΡΟΥ
23	95806952	ΟΑΔΥΚ [ΑΣ ΑΝΑΒΑΛΟΝΤΑ]	ΠΕΡΙΒΟΛΙΑ ΚΥΔΩΝΙΑΣ
24	95807118	ΟΑΔΥΚ	ΚΡΥΑ ΒΡΥΣΗ ΚΑΣΤΕΛΙΟΥ/ΚΙΣΣΑΜΟΣ
25	95807131	ΔΕΥΑΒΑ	ΝΕΡΙΑΝΑ/ΒΟΥΚΟΛΙΕΣ
26	95807266	ΟΑΔΥΚ	ΦΑΡΑΓΓΙ ΘΕΡΙΣΣΟΥ/ΠΕΡΙΒΟΛΙΑ ΚΥΔ.
27	95807362	ΟΑΔΥΚ ΒΟΥΚΟΛΙΩΝ	ΒΟΥΚΟΛΙΕΣ ΚΥΔΩΝΙΑΣ
28	53587668	ΤΟΕΒ ΑΓ.ΜΑΡΙΝΑΣ	ΒΛΑΤΟΣ/ΠΛΑΤΙΑΝΙΑ
29	53599587	ΟΑΔΥΚ	ΜΥΛΩΝΙΑΝΑ/ΒΑΡΥΠΕΤΡΟΝ

5.3 Αντλιοστάσιο Βλητέ

5.3.1 Τρόπος λειτουργίας

Το αντλιοστάσιο το οποίο επιλέχθηκε προς μελέτη είναι το κεντρικό αντλιοστάσιο του Βλητέ. Το αντλιοστάσιο βρίσκεται στην περιοχή του Βλητέ Σούδας σε υψόμετρο 90m. Στο αντλιοστάσιο υπάρχουν συνολικά 9 αντλίες, κάποιες από τις οποίες εξυπηρετούν τις ανάγκες ύδρευσης και κάποιες τις ανάγκες άρδευσης. Πιο συγκεκριμένα οι αντλίες 1-6 βρίσκονται στον αγωγό ύδρευσης ενώ οι αντλίες 7-9 στον αγωγό άρδευσης. Το αντλιοστάσιο του Βλητέ προωθεί το νερό προς τις δεξαμενές στις Κορακίες, σε υψόμετρο 214m. Στις Κορακίες υπάρχει μια δεξαμενή η οποία εξυπηρετεί τις ανάγκες ύδρευσης και μία δεξαμενή η οποία εξυπηρετεί τις ανάγκες άρδευσης.

Για την ύδρευση όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιούνται οι αντλίες 1-6. Το νερό από τις γεωτρήσεις στα Μυλωνιανά και τις πηγές στα Μεσκλά καταθλίπτεται μέσω φυσικής ροής στο φρεάτιο του Βλητέ, από όπου στη συνέχεια αντλείται μέσω των αντλιών 1-6 και στέλνεται προς την δεξαμενή ύδρευσης στις Κορακίες. Οι αντλίες 1-4 αποτελούν τα κύρια προωθητικά αντλητικά συγκροτήματα και είναι τύπου πομώνας. Οι αντλίες 5-6 αποτελούν τα άλλα δύο προωθητικά οριζόντια συγκροτήματα. Να σημειωθεί ακόμα ότι κατά την λειτουργία του αντλιοστασίου το πολύ δύο από τις κύριες αντλίες 1-4 να βρίσκονται σε ταυτόχρονη λειτουργία.

Για τις ανάγκες άρδευσης γίνεται χρήση τριών υποβρυχίων αντλητικών συστημάτων τύπου booster τα οποία βρίσκονται επί του αγωγού άρδευσης Μ.Χωράφια – Βλητέ τα οποία αντλούν νερό από τις πηγές Ζούρμπου. Γίνεται χρήση τους μόνο κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Μια ιδιαιτερότητα του αντλιοστασίου του Βλητέ είναι ο τρόπος λειτουργίας και κάλυψης των αναγκών άρδευσης κατά την χειμερινή περίοδο. Όπως αναφέρθηκε οι αντλίες 7-9 οι οποίες στέλνουν νερό προς την δεξαμενή άρδευσης στις Κορακίες λειτουργούν μόνο κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Κατά την χειμερινή περίοδο όπου οι ανάγκες τόσο της άρδευσης αλλά και της ύδρευσης (αυξημένες ανάγκες ύδρευσης κατά την καλοκαιρινή περίοδο λόγω τουριστών και λειτουργίας τουριστικών καταλυμάτων) είναι μειωμένες οι αντλίες 1-6 καλύπτουν τις ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό στην δεξαμενή ύδρευσης έχει τοποθετηθεί ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει την υπερχειλίση της δεξαμενής και έτσι μέρος του νερού να υπερχειλίζει προς την δεξαμενή άρδευσης, με συνέπεια το γέμισμα και αυτής της δεξαμενής. Επιπλέον επί του αγωγού ύδρευσης, και πριν την δεξαμενή ύδρευσης έχει τοποθετηθεί ένας αγωγός με βάνα όπου επιτρέπει επίσης την μεταφορά νερού από τον αγωγό ύδρευσης προς την δεξαμενή άρδευσης. Έτσι λοιπόν η δεξαμενή ύδρευσης

τροφοδοτείται με νερό μόνο μέσω του αγωγού ύδρευσης από τον Βλητέ, ενώ η δεξαμενή άρδευσης τροφοδοτείται μέσω του αγωγού άρδευσης από τα Μ.Χωράφια – Βλητέ (καλοκαιρινή περίοδος) και μέσω αγωγού που συνδέει τον αγωγό ύδρευσης με τον αγωγό άρδευσης καθώς επίσης και το σύστημα υπερχείλισης.

Παρακάτω φαίνονται οι κύριες αντλίες 1-4 του αντλιοστασίου στο Βλητέ.



Εικόνα 35 : Αντλίες 1-4 στον Βλητέ Σούδας

5.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά των αντλιών

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΟΑΚ οι αντλίες 1-4 είναι αντλίες τύπου πομώννας. Πρόκειται για πολυβάθμιες αντλίες και πιο συγκεκριμένα 15 βαθμίδων εκάστη, της εταιρίας TORRENT TAMESIS PUMPS. Η παροχή της κάθε αντλίας είναι $350 \text{ m}^3/\text{hr}$ και φέρουν κινητήρα 335 ίππων (HP) και 1450 rpm. Οι αντλίες 5-6 αποτελούν οριζόντια προωθητικά συγκροτήματα. Η αντλία 5 φέρει κινητήρα 80 ίππων (HP) και παροχής $100 \text{ m}^3/\text{hr}$. Η αντλία 6 είναι οριζόντια πολυβάθμια φυγοκεντρική αντλία 3 βαθμίδων της εταιρίας Δράκος Πολέμης και έχει παροχή $180 \text{ m}^3/\text{hr}$. Φέρει κινητήρα 125 ίππων (HP) και 1450 rpm. Οι αντλίες 7-8 είναι τύπου booster πολυβάθμιες αντλίες, 4 βαθμίδων και

παροχής 300 m³/hr. Είναι εταιρίας ANAVALOS PUMPS και φέρουν κινητήρα 250 ίππων (HP). Τέλος η αντλία 9 είναι εταιρίας TORRENT TAMESIS PUMPS πολυβάθμια, 4 βαθμίδων και παροχής 300 m³/hr ενώ φέρει κινητήρα 260 ίππων (HP).

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται όλα τα στοιχεία τα οποία έχουν δοθεί από τον ΟΑΚ για τις αντλίες συγκεντρωτικά.

Αντλία	Παροχή (m ³ /hr)	Πολυβάθμια	Εταιρία	Τύπος	Κινητήρας (HP)	Στροφές
1	350	15 βαθμίδες	TORRENT TAMESIS	12KHN/15	335	1450
2	350	15 βαθμίδες	TORRENT TAMESIS	12KHN/15	335	1450
3	350	15 βαθμίδες	TORRENT TAMESIS	12KHN/15	335	1450
4	350	15 βαθμίδες	TORRENT TAMESIS	12KHN/15	335	1450
5	100	-	-	-	80	-
6	180	3 βαθμίδες	Δράκος Πολέμης	MS125/3	125	1450
7	300	4 βαθμίδες	ANAVALOS PUMPS	10MD/4	250 (εταιρίας Franklin)	2900
8	300	4 βαθμίδες	ANAVALOS PUMPS	10MD/4	250 (εταιρίας Franklin)	2900
9	300	4 βαθμίδες	TORRENT TAMESIS PUMPS	10KMM/4	260(εταιρίας ATURIA)	2900

Πίνακας 1 : Δεδομένα για τις αντλίες από Ο.Α.Κ.

Στο παράρτημα Α φαίνονται και οι χαρακτηριστικές καμπύλες της κάθε αντλίας.

5.3.4 SCADA

Όπως αναφέρθηκε ο Ο.Α.Κ. είναι αρμόδιος για τις λειτουργίες άρδευσης και ύδρευσης στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων. Είναι υπεύθυνος για την λειτουργία των αντλιοστασίων τα οποία αναφέρθηκαν προηγουμένως και βρίσκονται στα Χανιά. Προκειμένου να μπορεί να υπάρχει σωστός έλεγχος αυτών αντλιοστασίων γίνεται χρήση ενός συστήματος ελέγχου SCADA. Στον χώρο του αντλιοστασίου του Βλητέ υπάρχει ο κεντρικός σταθμός ελέγχου από όπου μπορεί να εποπτεύεται η λειτουργία των κεντρικών αντλιοστασίων καθώς και να γίνεται εκκίνηση και παύση των αντλιών

μέσω τηλεχειρισμού όποτε αυτό κρίνεται αναγκαίο. Επίσης υπάρχουν ενδείξεις με την στάθμη του νερού στις δεξαμενές προκειμένου να υπάρχει πιο σωστή διαχείριση του δικτύου. Μέσω αυτού του τρόπου συλλέγονται και αποθηκεύονται πληροφορίες για την λειτουργία των αντλιοστασίων. Το scada εγκαταστάθηκε αρχικά το 2004 από τον τότε Ο.Α.Δ.Υ.Κ και αργότερα το 2015 υπήρξε μια αναβάθμιση του.

Τα δεδομένα τα οποία έχουν δοθεί από τον Ο.Α.Κ αφορούν μετρήσεις για το 2013, όπου φαίνεται η ώρα εκκίνησης και η ώρα παύσης της κάθε αντλίας από όπου υπολογίζεται και ο συνολικός χρόνος λειτουργίας. Η μορφή των δεδομένων όπως δόθηκε από τον Ο.Α.Κ. φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

1-6-2013	7:02:44	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
1-6-2013	21:03:45	ΕΚΤΟΣ	0	14:01:01
1-6-2013	23:16:16	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
2-6-2013	4:34:17	ΕΚΤΟΣ	1	5:18:01
2-6-2013	7:11:17	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
2-6-2013	20:38:18	ΕΚΤΟΣ	0	13:27:01
2-6-2013	20:38:48	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
3-6-2013	3:27:49	ΕΚΤΟΣ	1	6:49:01
3-6-2013	7:08:49	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
3-6-2013	14:51:20	ΕΚΤΟΣ	0	7:42:31
3-6-2013	14:51:50	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
3-6-2013	15:04:50	ΕΚΤΟΣ	0	0:13:00
3-6-2013	15:05:20	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
3-6-2013	16:23:50	ΕΚΤΟΣ	0	1:18:30
3-6-2013	16:24:20	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
3-6-2013	20:14:20	ΕΚΤΟΣ	0	3:50:00
4-6-2013	6:37:50	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
5-6-2013	2:23:22	ΕΚΤΟΣ	1	19:45:32
5-6-2013	6:44:22	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
6-6-2013	6:09:53	ΕΚΤΟΣ	1	23:25:31
6-6-2013	9:28:23	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
7-6-2013	0:00:55	ΕΚΤΟΣ	1	14:32:32
7-6-2013	4:33:25	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
9-6-2013	5:51:27	ΕΚΤΟΣ	2	49:18:02

Πίνακας 2 : Μορφή δεδομένων από SCADA 2013 με χρόνο λειτουργίας αντλιών.

Ακόμη δόθηκαν δεδομένα από το scada του 2015-2016. Το 2015-2016 τα δεδομένα και η μορφή τους ήταν αρκετά πιο αναλυτική σε σχέση με το 2013. Δόθηκε και πάλι η ώρα εκκίνησης της κάθε αντλίας και ο χρόνος λειτουργίας με την μορφή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Ημερομηνία	Ώρες:Λεπτά
31/1/2016 8:01:34 πμ	5:52:42
30/1/2016 7:28:59 πμ	3:24:13
29/1/2016 7:59:55 πμ	3:25:49
28/1/2016 7:47:22 πμ	5:14:06
27/1/2016 9:46:53 πμ	2:57:10
26/1/2016 7:52:40 πμ	6:57:45
24/1/2016 7:50:35 μμ	8:29:23
24/1/2016 9:22:58 πμ	3:42:25
24/1/2016 7:26:10 πμ	1:53:16
23/1/2016 10:07:14 πμ	5:06:34
22/1/2016 7:25:42 πμ	3:41:28
21/1/2016 7:24:18 πμ	7:55:39

Πίνακας 3 : Μορφή δεδομένων από SCADA με χρόνο λειτουργίας αντλιών (2015-2016)

Επίσης δόθηκαν στοιχεία με τα αμπέρ της κάθε αντλίας για κάθε λεπτό της ημέρας με την παρακάτω μορφή.

31/1/2016 11:58:50 μμ	2.529
31/1/2016 11:57:50 μμ	2.529
31/1/2016 11:56:50 μμ	2.519
31/1/2016 11:55:50 μμ	2.529
31/1/2016 11:54:50 μμ	2.529
31/1/2016 11:53:50 μμ	2.529
31/1/2016 11:52:50 μμ	2.529
31/1/2016 11:51:50 μμ	2.519
31/1/2016 11:50:50 μμ	2.519
31/1/2016 11:49:50 μμ	2.529
31/1/2016 11:48:50 μμ	2.529
31/1/2016 11:47:50 μμ	2.529
31/1/2016 11:46:50 μμ	2.519
31/1/2016 11:45:50 μμ	2.529

Πίνακας 4 : Μορφή δεδομένων από SCADA με αμπέρ αντλιών (2015-2016)

Τέλος, δόθηκαν στοιχεία και για την στάθμη της δεξαμενής ύδρευσης και άρδευσης στις Κορακιές, τα οποία επίσης ήταν ανά λεπτό της ημέρας με την παρακάτω μορφή.

31/1/2016 11:22:49 μμ	4.745
31/1/2016 11:21:49 μμ	4.743
31/1/2016 11:20:49 μμ	4.741
31/1/2016 11:19:49 μμ	4.736
31/1/2016 11:18:49 μμ	4.731
31/1/2016 11:17:49 μμ	4.728
31/1/2016 11:16:49 μμ	4.723
31/1/2016 11:15:49 μμ	4.717
31/1/2016 11:14:49 μμ	4.714
31/1/2016 11:13:49 μμ	4.706
31/1/2016 11:12:49 μμ	4.715
31/1/2016 11:11:49 μμ	4.696
31/1/2016 11:10:49 μμ	4.682
31/1/2016 11:09:49 μμ	4.677

Πίνακας 4 : Μορφή δεδομένων από SCADA με τη στάθμη δεξαμενής (2015-2016)

Παρακάτω θα γίνει αναφορά για το πως αξιοποιήθηκαν τα παραπάνω δεδομένα.

5.3.5 Στοιχεία από λογαριασμούς ΔΕΗ

Κατά την περίοδο λειτουργίας του 2013 και του 2015-2016 έχουν δοθεί από τον Ο.Α.Κ τα τιμολόγια της ΔΕΗ από όπου φαίνονται και μπορούν να αξιολογηθούν σημαντικά στοιχεία για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος λειτουργίας.

Για την περίοδο του 2013 από ότι φαίνεται γινόταν χρήση του τιμολογίου Β1 της ΔΕΗ. Σύμφωνα με αυτό το τιμολόγιο υπάρχουν δύο ζώνες χρέωσης, υψηλή και χαμηλή, αναλόγως την ώρα. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει υψηλή ζώνη χρέωσης κατά τις εργάσιμες ημέρες όλου του έτους από τις 7:00 έως τις 23:00 ενώ η χαμηλή ζώνης χρέωσης υπάρχει από τις 23:00 έως τις 7:00 τις εργάσιμες ημέρες του έτους καθώς επίσης και όλες τις ώρες του Σαββατοκύριακου και των αργιών του έτους.

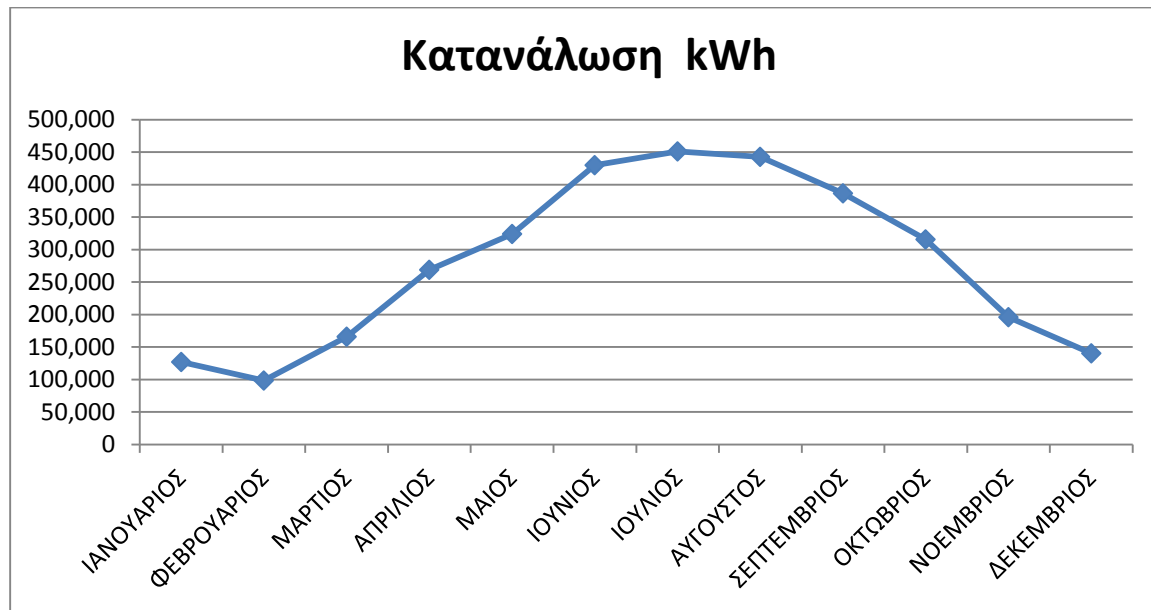
Ύστερα από επεξεργασία των δεδομένων από τα τιμολόγια της ΔΕΗ καθώς και των στοιχείων από SCADA μπόρεσε να δημιουργηθεί ο παρακάτω πίνακας όπου

φαίνεται η κατανάλωση kWh για κάθε μήνα, το cosφ και οι ώρες λειτουργίας των αντλιών.

	kWh (ΔΕΗ)	cos φ	Ώρες λειτουργίας
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	127.000	0,979	1296:05:28
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	98.400	0,989	1092:33:14
ΜΑΡΤΙΟΣ	165.600	0,944	1357:47:24
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	268.800	0,913	1791:06:03
ΜΑΙΟΣ	324.000	0,881	1917:42:18
ΙΟΥΝΙΟΣ	429.600	0,863	1735:17:00
ΙΟΥΛΙΟΣ	451.200	0,857	2199:29:54
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	442.800	0,858	2588:42:11
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	386.400	0,868	2268:09:53
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	315.600	0,906	1723:20:11
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	195.600	0,938	1462:18:39
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	140.400	0,976	1320:14:42

Πίνακας 6 : Στοιχεία από τιμολόγια Δ.Ε.Η και δεδομένα (2013)

Ακόμα φαίνεται και με διάγραμμα πως μεταβάλλεται η κατανάλωση kWh για κάθε μήνα το 2013.



Διάγραμμα 1 : Κατανάλωση kWh 2013

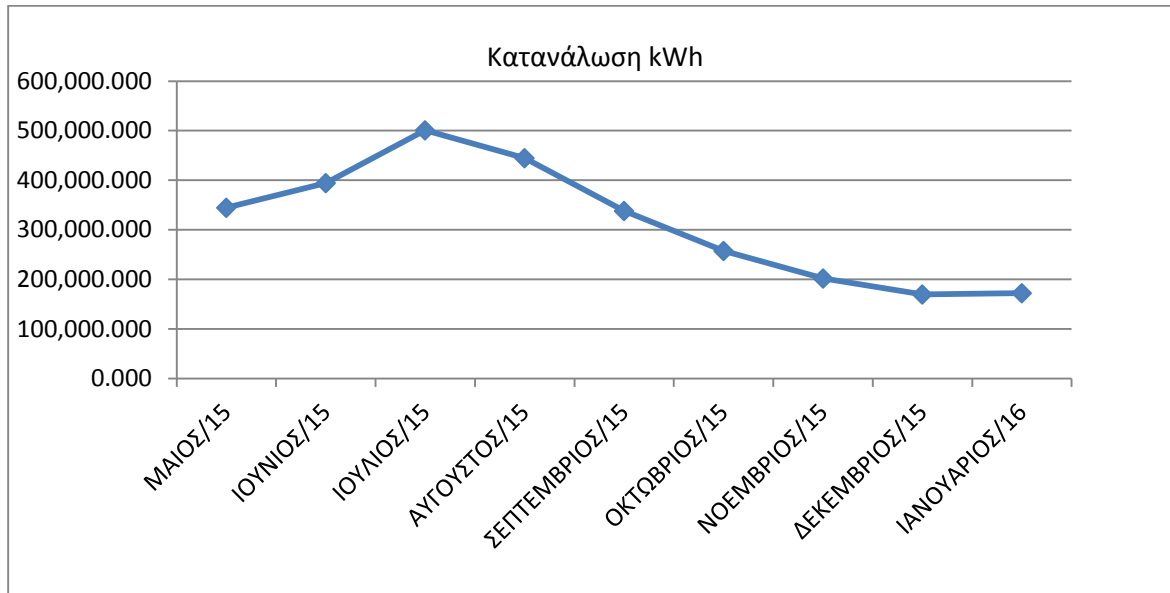
Όπως παρατηρείται οι μήνες με τις πιο υψηλές καταναλώσεις είναι οι μήνες του καλοκαιριού ενώ η χαμηλότερη κατανάλωση παρατηρείται για τους μήνες του χειμώνα.

Από τα τιμολόγια της ΔΕΗ φαίνεται ότι κατά την περίοδο του 2015-2016 το τιμολόγιο χρήσης έχει αλλάξει σε ΒΥ (εμπορικής χρήσης). Τα αντίστοιχα στοιχεία για την περίοδο 2015-2016 είναι τα ακόλουθα.

	kWh	kVarh	συν φ
ΜΑΙΟΣ/15	344.357,880	228.046,890	0,834
ΙΟΥΝΙΟΣ/15	394.682,850	263.053,140	0,832
ΙΟΥΛΙΟΣ/15	500.583,180	342.650,760	0,825
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ/15	444.601,290	306.672,690	0,823
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ/15	338.023,380	230.857,920	0,826
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ/15	257.414,250	171.778,500	0,832
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ/15	202.087,950	131.073,660	0,839
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ/15	169.950,000	110.678,040	0,838
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ/16	172.330,140	112.078,560	0,838

Πίνακας 7 : Στοιχεία από τιμολόγια Δ.Ε.Η. και δεδομένα (2015-2016)

Παρατηρείται μια σχετική μείωση του συνφ σε σχέση με τα στοιχεία του 2013.



Διάγραμμα 2 : Κατανάλωση kWh 2015

Και πάλι η μεγαλύτερη κατανάλωση παρατηρείται για τους μήνες του καλοκαιριού ενώ η χαμηλότερη για τους μήνες του χειμώνα.

5.3.6 Χρόνος λειτουργίας αντλιών (2013)

Για την ανάλυση του τρόπου λειτουργίας του αντλιοστασίου δημιουργήθηκαν διαγράμματα με τον χρόνο λειτουργίας της κάθε αντλίας για κάθε μήνα του έτους 2013. Επειδή όπως αναφέρθηκε υπάρχει διαφορετική χρέωση αναλόγως την ζώνη χρέωσης έγινε και διαφοροποίηση για το εάν η κάθε αντλία δουλεύει κατά την υψηλή ζώνη χρέωσης ή την χαμηλή ζώνη χρέωσης. Επειδή, στα δεδομένα από SCADA φαίνεται η ώρα εκκίνησης της αντλίας και ο χρόνος λειτουργίας αλλά δεν διαχωρίζεται αναλόγως την ζώνη χρέωσης δημιουργήθηκε ένας νέος πίνακας σε περιβάλλον excel όπου «έσπαγε» η ώρα όταν πήγαινε από υψηλή ζώνη χρέωσης σε χαμηλή ή το αντίθετο. Επίσης, γίνεται ανάλυση για το εάν υπάρχει χαμηλή ζώνη χρέωσης λόγω νυκτερινής λειτουργίας ή λόγω Σαββατοκύριακου/αργίας. Τέλος, υπολογίζονται οι ώρες λειτουργίας για την κάθε περίπτωση. Τμήμα αυτού του πίνακα που δημιουργήθηκε φαίνεται παρακάτω.

ημέρα	START	χρόνος λειτουργίας	νυκτερινό	ΣΚ/αργία	χαμηλή ζώνη	ώρες χαμηλής ζώνης	ώρες νυκτερινό	ώρες ΣΚ/αργία
1	7:03:13	3:11:30	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
2	7:46:48	0:27:30	0	1	1	0:27:30	0:00:00	0:27:30
3	6:58:20	0:01:40	1	1	1	0:01:40	0:01:40	0:00:00
3	7:00:00	0:21:20	0	1	1	0:21:20	0:00:00	0:21:20
3	12:04:21	0:06:30	0	1	1	0:06:30	0:00:00	0:06:30
4	9:04:55	0:33:00	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
4	9:42:55	3:21:31	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
4	15:11:26	2:41:30	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
5	8:12:29	0:03:00	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
5	8:48:59	2:12:30	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
5	16:31:30	0:07:30	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
6	7:19:02	0:18:00	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
6	11:55:03	0:07:01	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
7	7:03:07	3:57:01	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
7	12:21:08	0:08:00	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
8	7:36:42	0:20:00	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
8	11:28:42	0:14:30	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
8	16:32:43	0:52:00	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
9	7:48:46	0:12:30	0	1	1	0:12:30	0:00:00	0:12:30
10	8:52:01	0:13:00	0	1	1	0:13:00	0:00:00	0:13:00
10	9:12:31	0:06:30	0	1	1	0:06:30	0:00:00	0:06:30
10	2:19:17	3:00:35	1	1	1	3:00:35	3:00:35	0:00:00
10	7:22:55	0:14:01	0	1	1	0:14:01	0:00:00	0:14:01
11	20:03:20	2:56:40	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
11	23:00:00	2:09:59	1	0	1	2:09:59	2:09:59	0:00:00
12	20:19:01	0:02:30	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
13	22:07:12	0:50:31	0	0	0	0:00:00	0:00:00	0:00:00
13	23:12:13	1:43:32	1	0	1	1:43:32	1:43:32	0:00:00
14	3:55:48	1:44:05	1	0	1	1:44:05	1:44:05	0:00:00
14	6:16:54	0:06:30	1	0	1	0:06:30	0:06:30	0:00:00
14	6:28:54	0:03:00	1	0	1	0:03:00	0:03:00	0:00:00

Πίνακας 8 : Πίνακας σε excel για την επεξεργασία δεδομένων

Στη συνέχεια μέσω ανάλυσης των παραπάνω στοιχείων δημιουργήθηκε ένας συγκεντρωτικός πίνακας για κάθε αντλία όπου αναγράφονται οι ώρες λειτουργίας και πως κατανέμονται αυτές αναλόγως την ζώνη χρέωσης για κάθε μήνα. Ο πίνακας αυτός για την αντλία 1 φαίνεται παρακάτω.

	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΥΨΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ(ΧΑΜΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ-ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ- ΣΚ/ΑΡΓΙΕΣ)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	151:20:28	108:54:28	42:26:00	0:59:24	41:26:36
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	91:58:16	34:17:12	57:41:04	49:07:45	8:33:19
ΜΑΡΤΙΟΣ	199:29:45	120:26:08	79:03:37	5:17:45	73:45:52
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	281:41:04	195:38:27	86:02:37	5:45:05	80:17:32
ΜΑΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΙΟΥΝΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΙΟΥΛΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΣΥΝΟΛΟ	724:29:33	459:16:15	265:13:18	61:09:59	204:03:19

Πίνακας 9 : Χρόνος λειτουργίας ανά μήνα

Οι ανάλογοι πίνακες και για τις υπόλοιπες αντλίες βρίσκονται στο Παράρτημα Β.

Χρόνος λειτουργίας

ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΧΡΕΩΣΗΣ

PUMP 3 - ΜΑΡΤΙΟΣ 2013

Μπλέ - Υψηλή ζώνη
Πορτοκαλί - Χαμηλή ζώνη (ΣΚ/αργία)
Κόκκινο - Χαμηλή ζώνη (νυκτερινό)

* Όταν συμπίπτει ΣΚ/αργία και νυκτερινό ωράριο χρησιμοποιείται το κόκκινο χρώμα

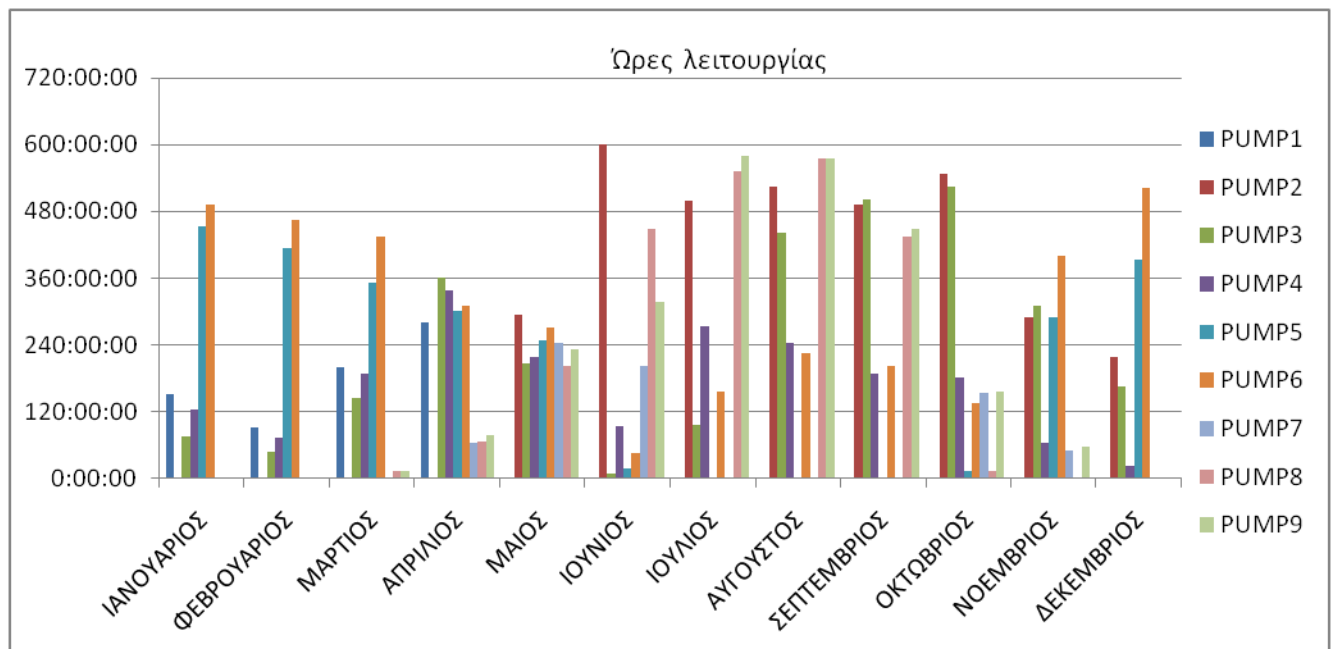
Ημέρα	Χρόνος λειτουργίας (HH:MM:SS)	Χρόνος λειτουργίας (HH:MM:SS)	Χρόνος λειτουργίας (HH:MM:SS)
1	0:00:00		
1	19:36:22		
2	2:45:02		
2	19:06:57		
3	3:07:10		
3	18:48:34		
5	7:11:33		
7	7:32:17		
8	10:06:12		
10	7:24:53		
11	15:18:45		
12	10:55:15		
12	14:59:50		
14	19:25:37		
15	10:58:29		
15	18:31:40		
19	16:27:27		
20	13:25:29		
20	15:40:32		
21	16:35:15		
22	9:59:39		
22	10:50:11		
22	16:25:50		
23	16:32:52		
24	16:23:26		
25	7:49:49		
25	13:05:55		
26	7:46:53		
26	13:05:32		
26	14:16:03		
27	7:47:30		
27	21:19:48		
28	8:14:03		
28	20:13:21		
28	20:58:22		
28	21:17:23		
29	8:08:39		
29	18:34:25		
29	20:54:27		
29	22:07:29		
30	7:54:46		
31	11:42:29		
31	13:11:01		
31	23:00:00		

Ωρα εκκίνησης

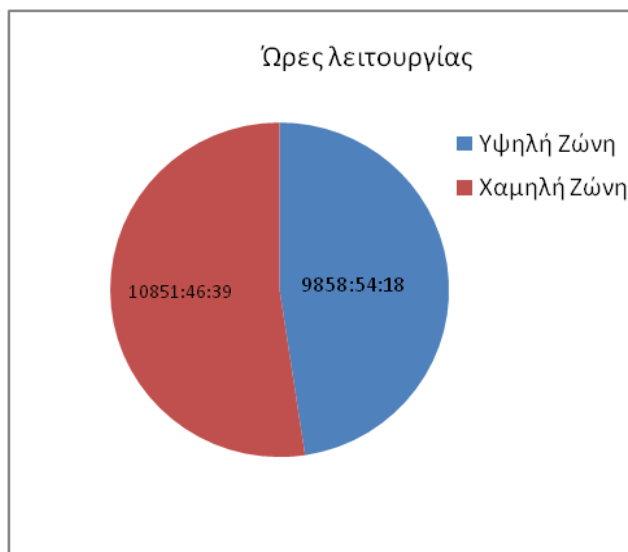
Ημέρα 03/13

Τα υπόλοιπα διαγράμματα για τους υπόλοιπους μήνες και τις υπόλοιπες αντλίες μπορούν να βρεθούν στο Παράρτημα Β.

Τέλος, από την επεξεργασία όλων των προηγούμενων διαγραμμάτων δημιουργήθηκε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα με τις ώρες λειτουργίας των αντλιών για κάθε μήνα καθώς και η διάκριση της λειτουργίας αναλόγως την ζώνη χρέωσης. Αυτά τα διαγράμματα φαίνονται παρακάτω.



Διάγραμμα 4 : Ώρες λειτουργίας αντλιών ανά μήνα



Διάγραμμα 5 : Ώρες λειτουργίας υψηλής και χαμηλής ζώνης χρέωσης



Διάγραμμα 6 : Κατανομή ωρών σε νυκτερινή λειτουργία και ΣΚ/αργία

Όπως φαίνεται οι ώρες λειτουργίας κατά την χαμηλή ζώνη χρέωσης είναι περισσότερες με ένα μεγάλο ποσοστό (41%) αυτών των ωρών προέρχεται κατά την λειτουργία Σαββατοκύριακο/αργία και το υπόλοιπο (59%) λόγω νυκτερινής λειτουργίας.

5.3.7 Λειτουργία αντλιών και στάθμη δεξαμενών (2015-2016)

Με τα στοιχεία SCADA τα οποία δόθηκαν από τον ΟΑΚ για το 2015-2016 δημιουργήθηκαν διαγράμματα όπου φαίνεται πως μεταβάλλεται η στάθμη των δεξαμενών ύδρευσης και άρδευσης καθώς επίσης και ποιες αντλίες λειτουργούν ανά λεπτό.

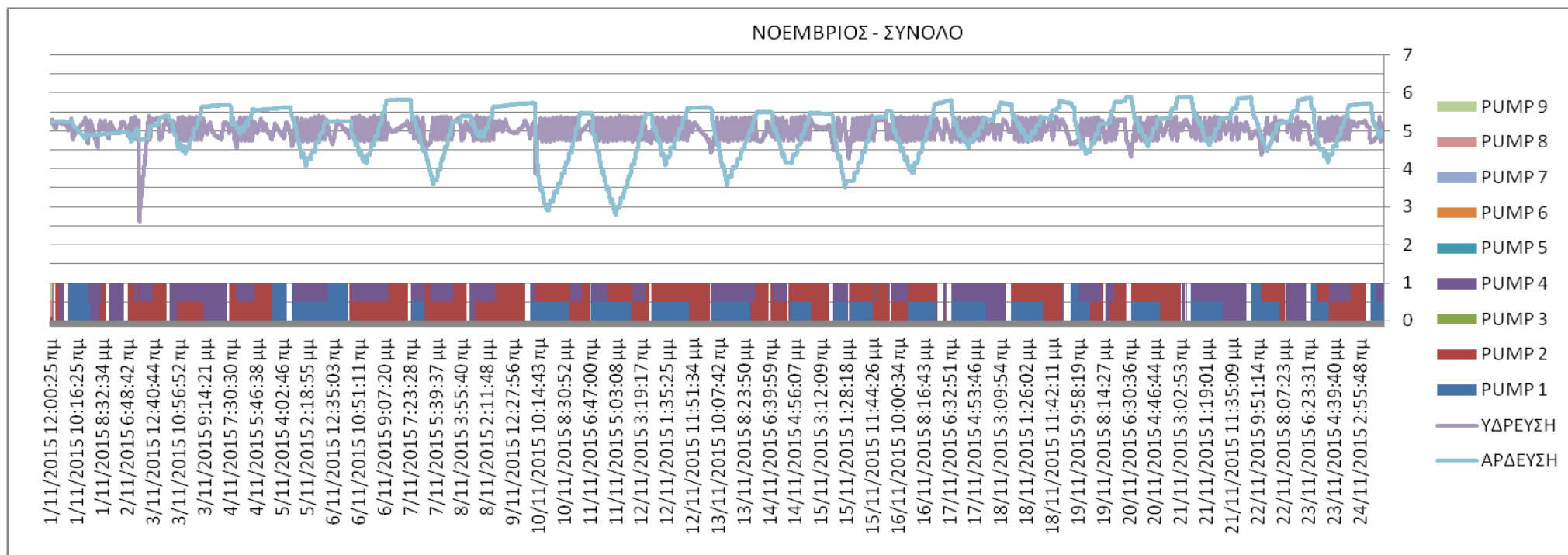
Για να γίνει αυτό δημιουργήθηκε σε περιβάλλον excel ένας πίνακας όπου φαινόταν ποια αντλία λειτουργεί κάθε λεπτό. Μέσω των στοιχείων από τα αμπέρ κάθε αντλίας δίνεται τιμή μονάδας (1) όταν η αντλία βρίσκεται σε λειτουργία ενώ μηδέν (0) όταν βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Ακόμα σε αυτόν τον πίνακα φαίνεται και η στάθμη της δεξαμενής ύδρευσης και άρδευσης κάθε λεπτό. Τμήμα του πίνακα αυτού φαίνεται παρακάτω.

Ημερομηνία	PUMP 1	PUMP 2	PUMP 3	PUMP 4	PUMP 7	PUMP 8	PUMP 9	ύδρευση	άρδευση
1/11/2015 12:00:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,079	5,235
1/11/2015 12:01:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,065	5,232
1/11/2015 12:02:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,075	5,227
1/11/2015 12:03:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,077	5,227
1/11/2015 12:04:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,087	5,222
1/11/2015 12:05:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,093	5,234
1/11/2015 12:06:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,124	5,24
1/11/2015 12:07:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,106	5,231
1/11/2015 12:08:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,136	5,228
1/11/2015 12:09:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,127	5,227
1/11/2015 12:10:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,147	5,232
1/11/2015 12:11:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,147	5,239
1/11/2015 12:12:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,141	5,239
1/11/2015 12:13:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,147	5,228
1/11/2015 12:14:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,16	5,24
1/11/2015 12:15:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,162	5,234
1/11/2015 12:16:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,179	5,225
1/11/2015 12:17:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,189	5,238
1/11/2015 12:18:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,188	5,234
1/11/2015 12:19:25 πμ	0	1	0	0	0	0	0	5,184	5,23

Πίνακας 10 : Πίνακας σε περιβάλλον excel για την επεξεργασία δεδομένων.

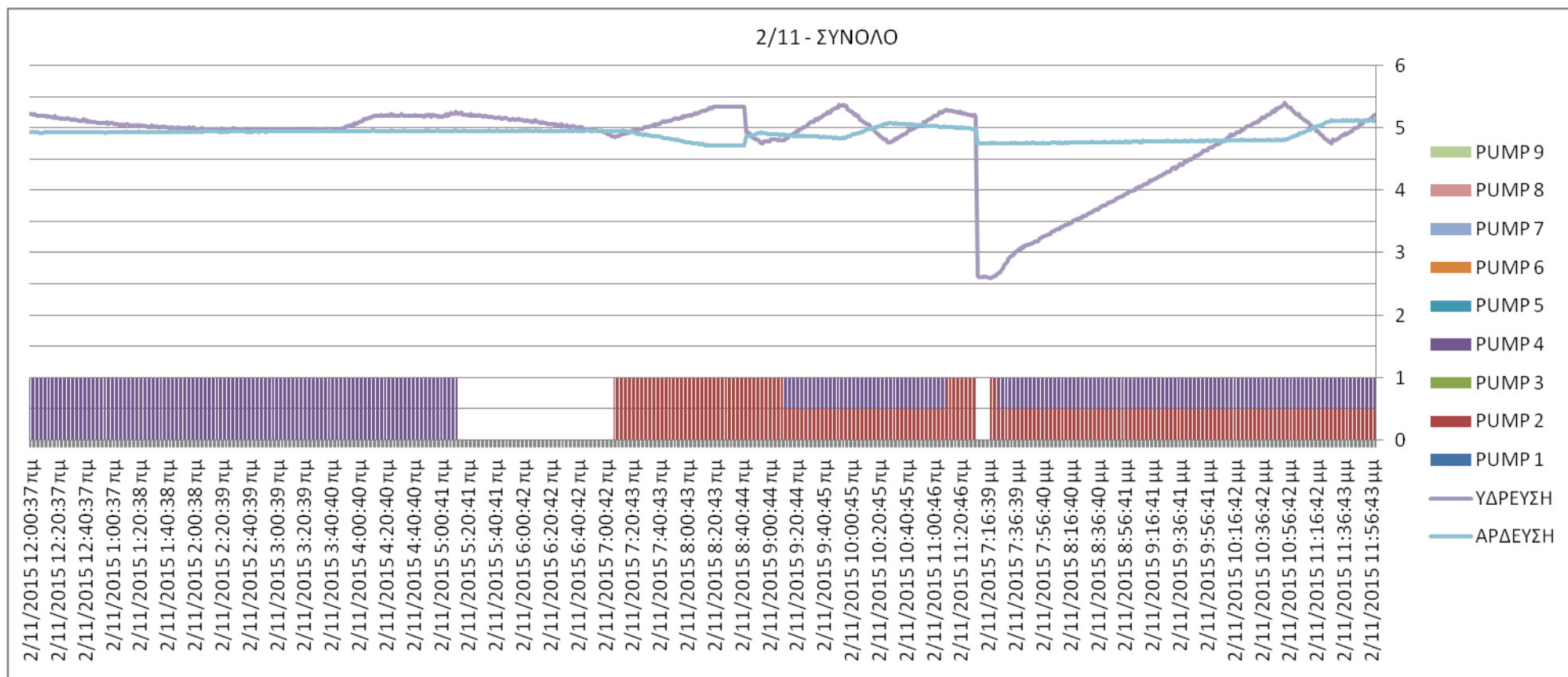
Σημειώνεται ότι καθ' όλη την περίοδο, λόγω βλάβης στα αμπερόμετρα των αντλιών 5 και 6, δεν είναι γνωστό πότε οι αντλίες αυτές λειτουργούν και πότε όχι.

Στη συνέχεια μέσω των στοιχείων του παραπάνω πίνακα δημιουργήθηκαν διαγράμματα για κάθε μήνα, κάθε εβδομάδα και κάποιων χαρακτηριστικών ημερών όπου φαίνεται πόσες και ποιες αντλίες λειτουργούν καθώς και η στάθμη της δεξαμενής άρδευσης (**γαλάζιο** χρώμα) και η στάθμη της δεξαμενής ύδρευσης (**μωβ** χρώμα). Επίσης δημιουργούνται ξεχωριστά διαγράμματα για τις αντλίες ύδρευσης και την στάθμη της δεξαμενής ύδρευσης και για τις αντλίες άρδευσης και την στάθμη της δεξαμενής άρδευσης. Το συνολικό διάγραμμα για τον μήνα Νοέμβριο φαίνεται παρακάτω.



Διάγραμμα 7 : Διάγραμμα λειτουργίας αντλιών και στάθμης δεξαμενών (μήνας)

Ακόμη το συνολικό διάγραμμα για την ημέρα 2/11 παρακάτω.



Διάγραμμα 8 : Διάγραμμα λειτουργίας αντλιών και στάθμης δεξαμενών (ημέρα)

Όλα τα υπόλοιπα διαγράμματα βρίσκονται στο Παράρτημα Γ.

Ύστερα από μελέτη όλων των διαγραμμάτων προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις για τον τρόπο λειτουργίας του αντλιοστασίου για κάθε μήνα.

ΙΟΥΝΙΟΣ

Για τον Ιούνιο φαίνεται να δουλεύουν κυρίως οι αντλίες 2 και 3 για την ύδρευση και φαίνεται ότι λειτουργούν σχεδόν διαρκώς. Η μέση τιμή της στάθμης της δεξαμενής είναι γύρω στα 5m (κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 4,85 και 5,30). Παρουσιάζονται ωστόσο κάποια ελάχιστα μεγαλύτερης κλίμακας στις 4/06 στα 3m και ακόμα κατά το διάστημα 14/06-17/06 στα 4m καθώς και 20/6 στα 4,1 m.

Για την άρδευση δουλεύουν κυρίως οι αντλίες 7,8,9. Φαίνεται ότι συνήθως εκκινούν τις αντλίες όταν η στάθμη της δεξαμενής πέσει στα 5,65-5,75m και τις λειτουργούν έως ότου επανέλθει η στάθμη στα περίπου 5,75m. Η στάθμη της δεξαμενής της άρδευσης έχει αρκετές φορές και μεγάλης κλίμακας διακυμάνσεις. Φτάνει αρκετές φορές σε ελάχιστο περίπου 3,6m και ακόμα φτάνει μια φορά σε ελάχιστο 1,1 m στις 18/06. Τα μέγιστα συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 5,8-5,9m.

ΙΟΥΛΙΟΣ

Για την ύδρευση λειτουργούν όλες οι αντλίες 1-4 σε ζευγάρια ανά δύο κάθε φορά καθώς επίσης βρίσκεται σχεδόν συνεχώς σε λειτουργία κάποιο ζευγάρι. Η μέση τιμή της στάθμης της δεξαμενής είναι περίπου 5m και πάλι (κυμαίνεται μεταξύ 4,85 και 5,30). Υπάρχουν κάποια ελάχιστα στις 4/07 στα 4,36 m επειδή όπως φαίνεται λειτουργούσε μόνο η αντλία 3, χωρίς κάποια άλλη μαζί. Ακόμα στις 11/07 στα 1,77 m καθώς επίσης κάποια ελάχιστα μετά από 13/07 στα 3,87-4,5m

Για την άρδευση δουλεύουν κυρίως οι αντλίες 7,8,9 και εδώ λειτουργούν συνήθως σε ζευγάρια. Κατά το μήνα Ιούλιο φαίνεται ότι και οι αντλίες για την άρδευση λειτουργούν σχεδόν συνεχώς, πιθανόν λόγω της αυξημένης ζήτησης. Εδώ υπάρχουν πολλές και μεγάλες διακυμάνσεις στη στάθμη της δεξαμενής. Τα μέγιστα φαίνονται να είναι συνήθως γύρω στα 5,75m ενώ για τα ελάχιστα υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις από 3,72m έως 1,27m.

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

Για την ύδρευση κατά το μήνα Αύγουστο δουλεύουν οι αντλίες 1,2,4 συνήθως σε ζευγάρια. Αρχικά υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις έως τις 8/08 και μετά φαίνεται να αρχίζει να σταθεροποιείται σχετικά η στάθμη της δεξαμενής ύδρευσης στα περίπου 5m (μεταξύ 4,88 και 5,27). Κατά τις πρώτες 4 ημέρες τα ελάχιστα φαίνονται να φτάνουν περίπου στα 2,55m ενώ τα μέγιστα στα περίπου 5m.

Για την άρδευση λειτουργούν οι αντλίες 7,8,9. Και για την άρδευση φαίνεται να υπάρχουν κατά τις 8 πρώτες ημέρες μεγάλες διακυμάνσεις όπως συμβαίνει και στην ύδρευση. Η στάθμη μπορεί να κυμαίνεται από 1,50m έως τα 5,8 περίπου. Φαίνεται ωστόσο να σταθεροποιείται μετά τις 15/08 με μέση τιμή περίπου στα 5,4 m (από 4,95m έως 5,65m). Να σημειωθεί ότι κατά τον Αύγουστο φαίνεται η στάθμη της δεξαμενής της ύδρευσης και άρδευσης να ακολουθούν το ίδιο μοτίβο, δηλαδή να υπάρχουν σχετικά ταυτόχρονα οι μειώσεις και οι αυξήσεις στη στάθμη.

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ

Για την ύδρευση γίνεται χρήση των αντλιών 1,2,4 οι οποίες δουλεύουν σε ζευγάρια και σχεδόν διαρκώς. Η στάθμη της δεξαμενής ύδρευσης φαίνεται να παραμένει σχετικά σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του μήνα με μέση τιμή περίπου τα 5m (κυμαίνεται από 4,75 έως 5,30). Πιο χαμηλές τιμές από τις προηγούμενες παρατηρούνται στις 6/09 με τιμές 3,99m και 4,29m καθώς και 10/09 με τιμή 4,04m

Για την άρδευση γίνεται χρήση των αντλιών 7,8,9 . Εδώ υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στη στάθμη της δεξαμενής ωστόσο μπορεί να θεωρηθεί μια μέση τιμή περίπου στα 5,6m . Τα μέγιστα φαίνονται να είναι περίπου στα 5,85 m ενώ η χαμηλότερη τιμή της στάθμης βρίσκεται στα 2,1m την τέταρτη ημέρα του μήνα. Απ' ότι φαίνεται συνήθως εκκινούν τις αντλίες όταν η στάθμη της δεξαμενής άρδευσης πέσει στα περίπου 5,1m

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ

Για την ύδρευση γίνεται χρήση και πάλι των αντλιών 1,2,4 . Η μέση τιμή της στάθμης στη δεξαμενή ύδρευσης είναι γύρω στα 5m (μεταξύ 4,80 και 5,30) ενώ δεν υπάρχουν ιδιαίτερες αποκλίσεις από αυτά τα νούμερα εκτός στις 20/10 με τιμή 3m. Και σε αυτόν τον μήνα οι αντλίες φαίνονται να λειτουργούν σχεδόν διαρκώς.

Για την άρδευση γίνεται χρήση των αντλιών 7,8,9. Και για την άρδευση, παρόλο που υπάρχουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις απ' ότι στην ύδρευση, μπορεί να θεωρηθεί ότι τα 5m αποτελούν μια μέση τιμή της στάθμης. Τα ελάχιστα βρίσκονται για τιμές περίπου στα 4m ενώ τα μέγιστα σε τιμές περίπου στα 5,85m. Σε αντίθεση με τους προηγούμενους μήνες οι αντλίες για την άρδευση φαίνονται να λειτουργούν λιγότερο, πιθανόν λόγω της μειωμένης ζήτησης και κατά συνέπεια και το σύστημα υπερχειλίσας από την δεξαμενή ύδρευσης προς την δεξαμενή άρδευσης είναι πιο επαρκές. Συνήθως εκκινούν τις αντλίες όταν η στάθμη πέσει περίπου στα 4m.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ

Για την ύδρευση γίνεται χρήση και πάλι των αντλιών 1,2,4 . Η μέση τιμή της στάθμης στη δεξαμενή ύδρευσης είναι γύρω στα 5m (μεταξύ 4,80 και 5,30) ενώ δεν υπάρχουν ιδιαίτερες αποκλίσεις από αυτά τα νούμερα εκτός στις 2/11 με τιμή 2,63m και 9/11 με τιμή 3,9m. Οι αντλίες λειτουργούν σχεδόν διαρκώς και σχεδόν πάντα σε ζευγάρια.

Από ότι φαίνεται δεν γίνεται χρήση κάποιων αντλιών για την άρδευση κατά το μήνα αυτόν. Ωστόσο υπάρχουν διακυμάνσεις στη στάθμη της δεξαμενής με ελάχιστο στα περίπου 3m και μέγιστο στα 5,7m. Δεν γίνεται χρήση αντλιών πιθανόν λόγω της μειωμένης ζήτησης για νερό άρδευσης κατά αυτήν την περίοδο και λογικά αρκούν οι αντλίες 1,2,4 οι οποίες στέλνουν νερό στην ύδρευση. Μέσω του συστήματος υπερχειλίσας από τη δεξαμενή ύδρευσης προς τη δεξαμενή άρδευσης καθώς και με βάνα προκειμένου να μεταφέρεται το νερό από τον αγωγό ύδρευσης προς τη δεξαμενή άρδευσης καλύπτονται οι ανάγκες.

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

Για την ύδρευση γίνεται χρήση και πάλι των αντλιών 1,2,4 . Η μέση τιμή της στάθμης στη δεξαμενή ύδρευσης είναι γύρω στα 5m (μεταξύ 4,80 και 5,30) ενώ δεν υπάρχουν ιδιαίτερες αποκλίσεις από αυτά τα νούμερα εκτός στις 18/12-19/12 όπου υπάρχει μια πιο παρατεταμένη χαμηλή στάθμη στα 4,5m. Οι αντλίες λειτουργούν σχεδόν διαρκώς ωστόσο σε αυτόν τον μήνα φαίνεται να υπάρχουν αρκετές χρονικές στιγμές όπου δουλεύει μία μόνο αντλία και όχι κάποιο ζευγάρι όπως στους προηγούμενους μήνες.

Και σε αυτόν τον μήνα φαίνεται να μην γίνεται χρήση αντλιών για τη δεξαμενή άρδευσης. Μπορεί να θεωρηθεί μια μέση τιμή της στάθμης περίπου στα 5,5m εφόσον δεν υπάρχουν μεγάλης κλίμακας διακυμάνσεις , εκτός από τις 7/12 όπου υπάρχει ελάχιστο στα 3,87m.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

Για την ύδρευση γίνεται χρήση των αντλιών 1,2,4. Σε αυτόν τον μήνα απ' ότι φαίνεται υπάρχουν αρκετές χρονικές στιγμές όπου οι αντλίες βρίσκονται εκτός λειτουργίας σε αντίθεση με τους προηγούμενους μήνες. Ακόμα φαίνεται να υπάρχουν αρκετές στιγμές όπου δουλεύει μία μόνο αντλία και όχι κάποιο ζευγάρι. Και πάλι η μέση τιμή της στάθμης είναι γύρω στα 5m (μεταξύ 4,80 και 5,30) και αποκλίσεις από αυτά υπάρχουν στις 10/1 με 3,43m στις 11/1 με 3,40m και 15/1 με 3,95m. Απ' ότι φαίνεται δεν εκκινούν κάποια αντλία εάν η στάθμη δεν πέσει τουλάχιστον στα 4,9m.

Για την άρδευση φαίνεται να μην γίνεται χρήση αντλιών κατά τον Ιανουάριο. Η στάθμη μπορεί να θεωρηθεί αρκετά σταθερή συγκριτικά με τους προηγούμενους μήνες με μέση τιμή περίπου στα 5,5m (4,35m έως 5,65m)

Φαίνεται ότι συνήθως βρίσκονται συνεχώς σε λειτουργία οι αντλίες για την ύδρευση και για αυτό το λόγο είναι περίπου σταθερή η στάθμη της δεξαμενής ύδρευσης , εκτός κάποιων εξαιρέσεων. Εφόσον βλέπουμε ότι κατά τις περιόδους που η στάθμη είναι σχετικά σταθερή κυμαίνεται μεταξύ περίπου 4,80 και 5,30 λόγω αυτού μπορεί ίσως να θεωρηθεί ότι το σύστημα με την υπερχείλιση από την δεξαμενή ύδρευσης προς τη δεξαμενή άρδευσης αρχίζει να λειτουργεί όταν η στάθμη της δεξαμενής ύδρευσης φτάσει γύρω στα 5,30 και για αυτό πιθανόν μετά από εκείνο το σημείο αρχίζει να ξαναπέφτει η στάθμη.

Επίσης παρατηρείται ότι δεν λειτουργούν πάνω από 2 κύριες αντλίες ταυτόχρονα για την ύδρευση.

Τέλος, ας υπενθυμίσουμε πάλι ότι δεν υπάρχουν στοιχεία για το πότε λειτουργούν οι αντλίες 5,6.

5.3.8 Κατανάλωση ενέργειας και ισχύς (2015-2016)

Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν διαγράμματα και πίνακες όπου φαίνεται η κατανάλωση kWh αλλά και η ισχύς των αντλιών ανά λεπτό για κάθε μήνα. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από SCADA όπου φαίνονται τα αμπέρ της κάθε αντλίας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια η πορροφούμενη ισχύς από την αντλία μπορεί να μεταβάλλεται αναλόγως την εξίσωση της σωληνογραμμής αλλά και εάν βρίσκεται και κάποια άλλη αντλία σε ταυτόχρονη λειτουργία, αφού υπάρχει μεταβολή της παροχής και του ύψους σε σχέση με το αν δουλεύει μεμονωμένη. Στο δίκτυο του Ο.Α.Κ. κατά διαστήματα και αναλόγως την ζήτηση μπορεί να υπάρχει και ταυτόχρονη λειτουργία αντλιών. Προκειμένου να μπορέσει να υπολογιστεί *προσεγγιστικά* η απορροφούμενη ισχύς από την κάθε αντλία κάθε λεπτό ακολουθήθηκε η εξής μέθοδος. Βρέθηκε από τα δεδομένα SCADA η μέγιστη τιμή ρεύματος για την κάθε αντλία (I_{max}) όπου για αυτό το ρεύμα θεωρήθηκε ότι η αντλία απορροφά ισχύ ίση με την ισχύ του σημείου λειτουργίας το οποίο έχει δοθεί από τον Ο.Α.Κ. (P_{OAK}). Στην συνέχεια υπολογίστηκε η ισχύς για κάθε λεπτό διαιρώντας τον ρεύμα το οποίο υπάρχει κάθε λεπτό (I) με το μέγιστο ρεύμα (I_{max}) και στην συνέχεια πολλαπλασιάζοντας με την ισχύ του σημείου λειτουργίας από τον Ο.Α.Κ. (P_{OAK}). Έτσι υπολογίζεται *προσεγγιστικά* και αναλογικά η απορροφούμενη ισχύς κάθε λεπτό. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο εξής:

$$P = \frac{I}{I_{max}} \cdot P_{OAK}$$

Έτσι δημιουργήθηκε ένας πίνακας σε περιβάλλον excel όπου φαίνεται το ρεύμα της κάθε αντλίας, η απορροφούμενη ισχύς και η κατανάλωση σε kWh για κάθε λεπτό. Τμήμα αυτού του πίνακα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

	PUMP 1			PUMP 2			PUMP 3		
Ημερομηνία	Ρεύμα(max 289,815)	Ισχύς	Κατανάλωση	Ρεύμα(max 335,987)	Ισχύς	Κατανάλωση	Ρεύμα(max 272,777)	Ισχύς	Κατανάλωση
1/6/2015 12:00:42 πμ	0,000	0,000	0,000	318,557	227,550	3,792	267,307	235,187	3,920
1/6/2015 12:01:42 πμ	0,000	0,000	0,000	320,939	229,251	3,821	269,278	236,921	3,949
1/6/2015 12:02:42 πμ	0,000	0,000	0,000	322,939	230,680	3,845	271,454	238,836	3,981
1/6/2015 12:03:42 πμ	0,000	0,000	0,000	322,076	230,063	3,834	271,297	238,698	3,978
1/6/2015 12:04:42 πμ	0,000	0,000	0,000	321,831	229,888	3,831	271,072	238,500	3,975
1/6/2015 12:05:42 πμ	0,000	0,000	0,000	321,704	229,797	3,830	270,885	238,335	3,972
1/6/2015 12:06:42 πμ	0,000	0,000	0,000	320,184	228,712	3,812	268,670	236,386	3,940
1/6/2015 12:07:42 πμ	0,000	0,000	0,000	320,812	229,160	3,819	268,836	236,533	3,942

PUMP 4			PUMP 7			PUMP 8			PUMP 9		
Ρεύμα(max 294,138)	Ισχύς	Κατανάλωση	Ρεύμα(max 317,998)	Ισχύς	Κατανάλωση	Ρεύμα(max 245,604)	Ισχύς	Κατανάλωση	Ρεύμα(max 246,872)	Ισχύς	Κατανάλωση
0,000	0,000	0,000	303,005	121,708	2,028	234,082	121,738	2,029	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	303,415	121,872	2,031	234,608	122,011	2,034	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	303,549	121,926	2,032	234,224	121,812	2,030	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	303,227	121,797	2,030	233,890	121,638	2,027	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	303,005	121,708	2,028	233,349	121,357	2,023	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	302,994	121,703	2,028	233,206	121,282	2,021	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	234,566	121,990	2,033	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	235,911	122,689	2,045	0,000	0,000	0,000

Πίνακας 11 : Πίνακας σε περιβάλλον excel για επεξεργασία δεδομένων

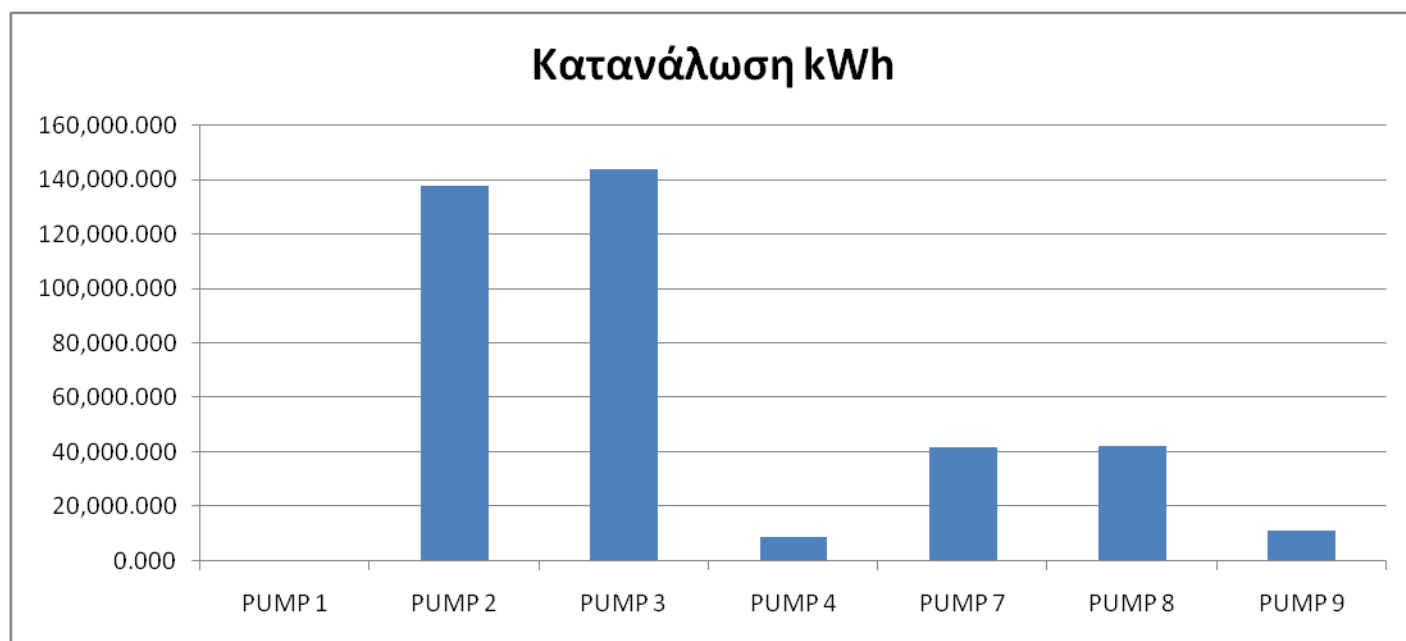
Στην συνέχεια όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα μπόρεσε να υπολογιστεί η συνολική κατανάλωση kWh από όλες τις αντλίες για κάθε λεπτό και να διαχωριστεί στην κατανάλωση λόγω ύδρευσης (κατανάλωση αντλιών ύδρευσης) και στην κατανάλωση λόγω άρδευσης (κατανάλωση αντλιών άρδευσης). Αντίστοιχα και για την απορροφούμενη ισχύ των αντλιών.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ kWh	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ kWh ΥΔΡΕΥΣΗΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ kWh ΑΡΔΕΥΣΗΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	ΙΣΧΥΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	ΙΣΧΥΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
11,770	7,712	4,057	706,182	462,737	243,446
11,834	7,770	4,065	710,056	466,172	243,884
11,888	7,825	4,062	713,254	469,516	243,738
11,870	7,813	4,057	712,196	468,761	243,435
11,858	7,806	4,051	711,452	468,388	243,064
11,852	7,802	4,050	711,118	468,133	242,986
9,785	7,752	2,033	587,088	465,098	121,990
9,806	7,762	2,045	588,382	465,693	122,689
9,813	7,769	2,044	588,787	466,127	122,659
9,875	7,823	2,052	592,483	469,380	123,104
9,839	7,790	2,050	590,355	467,381	122,974
9,785	7,745	2,040	587,106	464,695	122,411
9,768	7,730	2,038	586,107	463,822	122,285
9,745	7,712	2,033	584,693	462,700	121,993
9,736	7,705	2,031	584,177	462,309	121,867
9,717	7,690	2,028	583,045	461,374	121,671
9,727	7,699	2,028	583,628	461,957	121,671
9,732	7,704	2,028	583,935	462,226	121,708
9,741	7,711	2,030	584,444	462,644	121,801

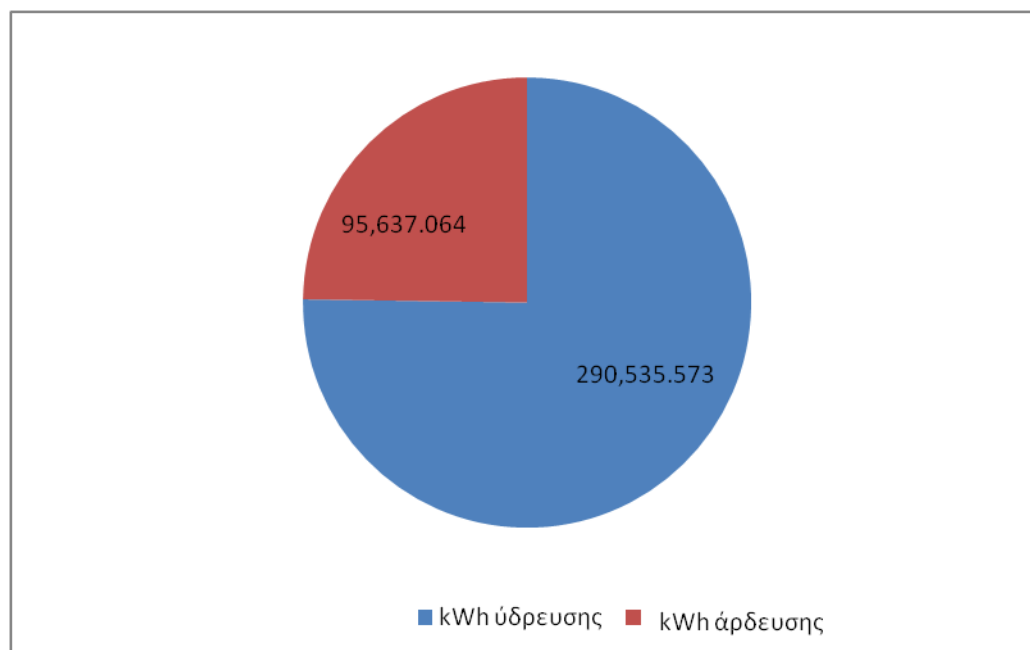
Πίνακας 12 : Πίνακας σε περιβάλλον excel για επεξεργασία δεδομένων

Τέλος, μέσω επεξεργασίας των παραπάνω δεδομένων δημιουργήθηκαν διαγράμματα όπου φαίνεται η συνολική κατανάλωση της κάθε αντλίας για κάθε μήνα, διαγράμματα όπου φαίνεται η απορροφούμενη ισχύς των αντλιών κάθε λεπτό για κάθε μήνα , καθώς επίσης και διαγράμματα για την συνολική κατανάλωση ενέργειας κάθε λεπτό. Τα παραπάνω διαγράμματα για τον μήνα Ιούνιο φαίνονται παρακάτω και τα διαγράμματα για όλους τους υπόλοιπους μήνες βρίσκονται στο Παράρτημα Δ.

(Σημείωση: Δεν υπάρχουν δεδομένα για τις αντλίες 5,6)

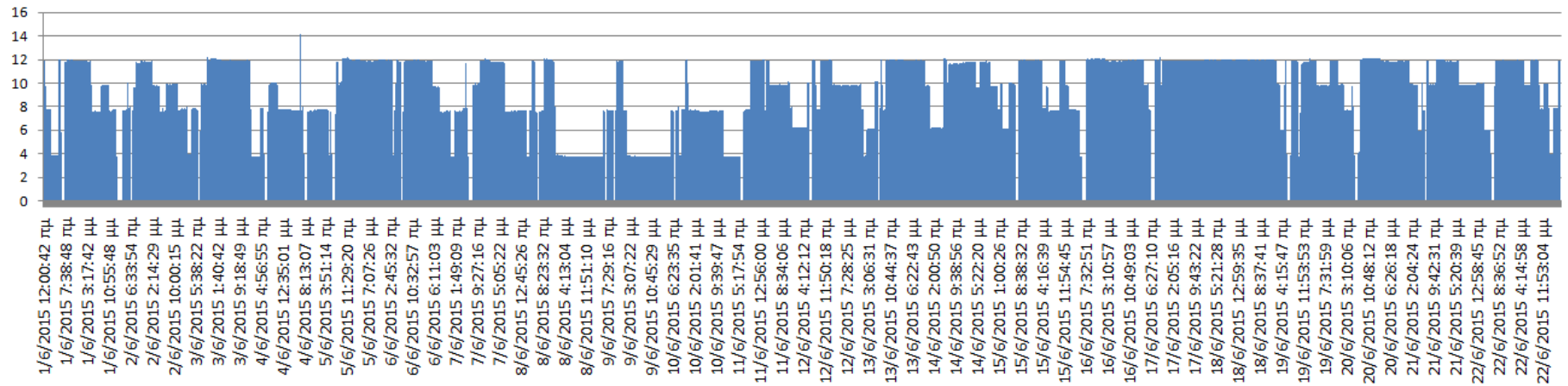


Διάγραμμα 9 : Συνολική κατανάλωση kWh αντλιών

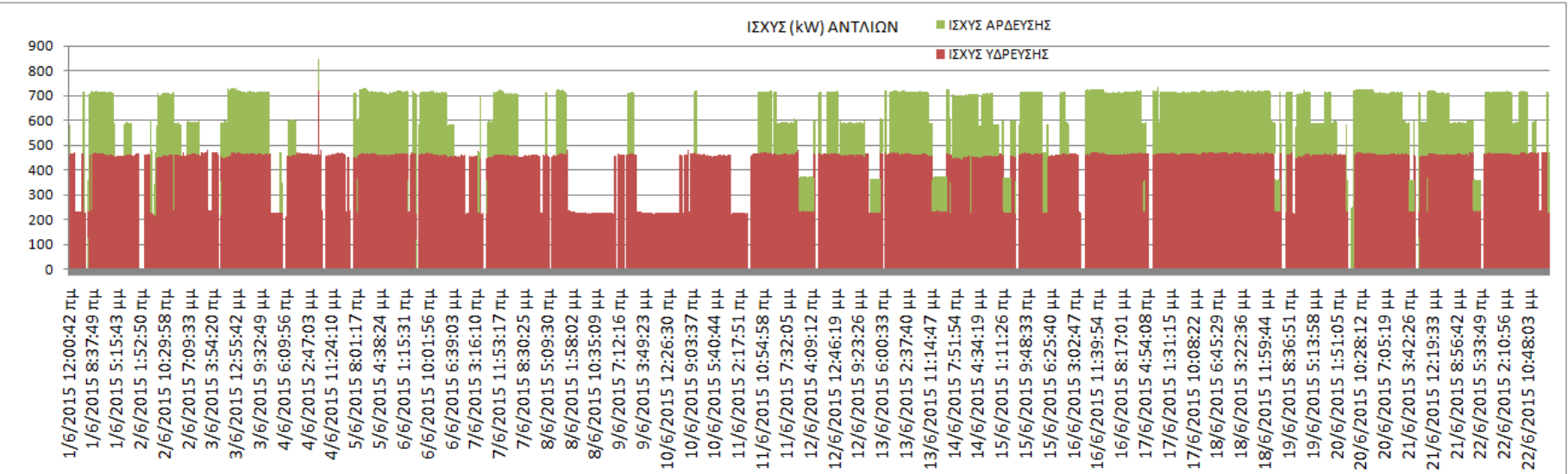


Διάγραμμα 1036 : Κατανάλωση kWh από αντλίες ύδρευσης και άρδευσης

Κατανάλωση kWh



Διάγραμμα 11 : Κατανάλωση kWh ανά λεπτό



Διάγραμμα 12 : Ισχύς αντλιών ανά λεπτό

5.3.9 Υπάρχοντα δεδομένα και προβλήματα

Κατά την διάρκεια της μελέτης του αντλιοστασίου του Βλητέ υπήρχαν κάποια σφάλματα και προβλήματα με τα δεδομένα. Αυτά τα προβλήματα τα οποία υπήρξαν αναφέρονται παρακάτω.

Στα δεδομένα από SCADA του 2013 υπήρχαν κάποιες ασυνέχειες στις ώρες όπου λειτουργούσαν και σταματούσαν οι αντλίες. Αυτές οι ασυνέχειες υπήρχαν σε κάποια σημεία στα δεδομένα για τις αντλίες 4,7,8,9. Όπως φαίνεται και παρακάτω σε τμήμα των δεδομένων από την αντλία 8, υπήρχαν σημεία όπου υπήρχε παύση της αντλίας για κάποια συγκεκριμένη ημερομηνία και ώρα και στην συνέχεια η επόμενη χρονικά μέτρηση είχε μια προγενέστερη ημερομηνία και ώρα.

29-7-2013	17:36:26	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
30-7-2013	7:38:57	ΕΚΤΟΣ	1	14:02:31
30-7-2013	7:39:27	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
31-7-2013	15:18:30	ΕΚΤΟΣ	1	31:39:03
30-7-2013	9:41:43	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
30-7-2013	16:07:37	ΕΚΤΟΣ	0	6:25:54
30-7-2013	22:59:38	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ		
31-7-2013	6:46:09	ΕΚΤΟΣ	1	7:46:31

Πίνακας 13 : Ασυνέχεια σε δεδομένα SCADA 2013

Όπου εντοπίστηκαν τέτοιου είδους ασυνέχειες έγινε προσπάθεια να κατανεμηθούν με την σωστή χρονολογική σειρά οι ώρες εκκίνησης και παύσης των αντλιών.

31/1/2016 11:54:50 μμ	-4.521
31/1/2016 11:53:50 μμ	-4.521
31/1/2016 11:52:50 μμ	-4.521
31/1/2016 11:51:50 μμ	-4.521
31/1/2016 11:50:50 μμ	-4.521
31/1/2016 11:49:50 μμ	-4.521
31/1/2016 11:48:50 μμ	-4.521
31/1/2016 11:47:50 μμ	-4.521
31/1/2016 11:46:50 μμ	-4.521
31/1/2016 11:45:50 μμ	-4.521

Πίνακας 14 : Μετρήσεις από αμπερόμετρο αντλίας 5

Ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα υπήρχε στα δεδομένα του SCADA για το 2015. Στα δεδομένα αυτά δεν υπάρχουν στοιχεία για το πότε λειτουργούν οι αντλίες 5 και 6. Αυτό συμβαίνει γιατί σύμφωνα με ενημέρωση από τον Ο.Α.Κ. τα αμπερόμετρα αυτών

των αντλιών έχουν υποστεί κάποια βλάβη και δεν λειτουργούν. Έτσι τα στοιχεία από SCADA έδιναν συνεχώς μια σταθερή αρνητική τιμή, όπως φαίνεται παραπάνω (αντλία 5).

Για αυτόν τον λόγο όπου υπάρχουν και διαγράμματα καταναλώσεων και στάθμης δεξαμενών για το 2015, αποτελούνται από στοιχεία τα οποία αφορούν όλες τις άλλες αντλίες και όχι τις αντλίες 5 και 6.

Τέλος, στις 1/04/2016 έγινε μια επίσκεψη στο αντλιοστάσιο του Βλητέ προκειμένου να μετρηθούν οι παροχές της κάθε αντλίας με παροχόμετρο. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τις μετρήσεις ωστόσο, διαφέρουν σημαντικά από τις παροχές τις οποίες είχαν δοθεί αρχικά από τον Ο.Α.Κ. κάτι το οποίο σημαίνει ότι αλλάζει το σημείο λειτουργίας των αντλιών καθώς και οι πιθανές καταναλώσεις. Παρακάτω υπάρχει πίνακας όπου φαίνεται για κάθε αντλία η παροχή σύμφωνα με το σημείο λειτουργίας το οποίο έχει δοθεί από τον Ο.Α.Κ. και η παροχή σύμφωνα με τις μετρήσεις στις 1/04/2016.

Αντλία	Παροχή (ΟΑΚ)	Παροχή (μέτρηση)
1	350	280
2	350	300
3	350	-
4	350	290
5	100	105
6	180	170
1+2	-	540
2+4	-	550
4+6	-	387
1+6	-	380
5+6	-	250
1+2+6	-	645
1+2+4	-	845

Πίνακας 15 : Στοιχεία από μετρήσεις στο αντλιοστάσιο του Βλητέ

Κατά την ημερομηνία επίσκεψης δεν υπάρχει μέτρηση για την αντλία 3, λόγω των ενεργειών επισκευής της εκείνη την περίοδο.

5.3.10 Παρατηρήσεις και προτάσεις

Όπως φαίνεται από όλα τα προηγούμενα και λόγω της συγκεκριμένης διάταξης του αντλιοστασίου του Βλητέ (οι αντλίες ύδρευσης μπορούν να στείλουν νερό και στην δεξαμενή άρδευσης, καθώς επίσης υπάρχει το σύστημα υπερχειλίσας από την δεξαμενή ύδρευσης προς τη δεξαμενή άρδευσης) καθίσταται δύσκολη η λεπτομερής

ανάλυση του συστήματος και βελτιστοποίηση του μέσω των μεθόδων του κεφαλαίου 4 λόγω των πολλών μεταβλητών. Υπάρχουν όμως κάποιες παρατηρήσεις οι οποίες θα μπορούσαν ενδεχομένως να μειώσουν τα έξοδα λειτουργίας τους αντλιοστάσιο. Ύστερα από μελέτη των διαγραμμάτων τα οποία αναπτύχθηκαν και αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια μπορούν να παρατηρηθούν κάποιες ενέργειες για την μείωση του κόστους λειτουργίας.

Αρχικά, μπορεί να προταθεί η παύση των αντλιών λίγο πριν την ζώνη χαμηλής χρέωσης (όταν αυτό είναι εφικτό και δεν υπάρχουν πολύ χαμηλά επίπεδα στάθμης στις δεξαμενές) και να εκκινούν αφότου υπάρχει ζώνη χαμηλής χρέωσης. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να εξοικονομηθούν χρήματα από την μειωμένη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας λόγω μετατόπισης του χρόνου λειτουργίας των αντλιών. Ακόμα, θα πρέπει κατά την ζώνη χαμηλής χρέωσης οι δεξαμενές άρδευσης και ύδρευσης να είναι βρίσκονται στην μέγιστη στάθμη, ακόμα και όταν δεν αναμένεται να υπάρξει άμεση ζήτηση, και πάλι λόγω του γεγονότος ότι θα γεμίζουν οι δεξαμενές με την χαμηλότερη δυνατή τιμή kWh από την ΔΕΗ.

Ακόμη, μετά από μελέτη των διαγραμμάτων τα οποία αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες ενότητες παρατηρείται ότι αρκετές φορές, ενώ δεν βρίσκεται καμία αντλία σε λειτουργία αρχικά, εκκινούν ταυτόχρονα δύο αντλίες προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση και να γεμίσουν οι δεξαμενές. Κάτι τέτοιο όμως προκαλεί αυξημένες απώλειες ενέργειας σε σχέση με το εάν λειτουργούσε αρχικά μία μόνο αντλία και όταν ήταν αναγκαίο να εκκινούσε και η δεύτερη αντλία. Οι αυξημένες απώλειες ενέργειας που υπάρχουν κατά την ταυτόχρονη εκκίνηση των αντλιών οφείλονται στο γεγονός ότι οι απώλειες ενέργειας σε έναν αγωγό είναι ανάλογες του τετραγώνου της παροχής (Κεφ 3.2) και έτσι η ταυτόχρονη εκκίνηση αντλιών έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες παροχές εντός τους αγωγού άρα και αυξημένες απώλειες. Κάποια μόνο από τα σημεία όπου παρατηρείται ταυτόχρονη εκκίνηση αντλιών (για τον μήνα Σεπτέμβριο) είναι τα εξής:

- 4/09 → από τις 3:40 – 8:45 υπάρχει σταδιακή πτώση στάθμης χωρίς να υπάρχει λειτουργία κάποιας αντλίας και στην συνέχεια σχεδόν ταυτόχρονη εκκίνηση 2 αντλιών (άρδευση)
- 4/09 → Ομοίως με προηγούμενα από 1:00 – 8:30 (άρδευση)
- 12/09 → Ομοίως με προηγούμενα από 6:00-7:50 (ύδρευση)
- 18/09 → Ομοίως με προηγούμενα από 5:51-7:25 (ύδρευση και άρδευση)
- 18/09 → Ομοίως με προηγούμενα από 5:30-7:26 (ύδρευση)

Για να αποφευχθούν οι αυξημένες απώλειες ενέργειας θα ήταν προτιμότερο κατά τα διαστήματα όπου δεν λειτουργεί καμία αντλία να βρισκόταν σε λειτουργία μία μόνο από τις δύο αντλίες και μόνο όταν κρίνεται αναγκαίο να εκκινεί και η δεύτερη

αντλία αντί να εκκινούν ταυτόχρονα δύο αντλίες όταν η στάθμη των δεξαμενών έχει ήδη μειωθεί αρκετά.

Τέλος, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5.3.9 υπάρχει διαφορά στις μετρήσεις παροχής των αντλιών και της παροχής σύμφωνα με τα στοιχεία από τον Ο.Α.Κ. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται στην μεγάλη χρήση βαλβίδων ελέγχου ροής, την γήρανση των σωληνώσεων και των αντλιών με αποτέλεσμα την μεταβολή της αρχικής εξίσωσης σωληνογραμμής ή και στην μείωση της διαμέτρου της πτερωτής κάποιων αντλιών. Λόγω της σχετικά μεγάλης διαφοράς στις μετρήσεις παροχής σε σχέση με τις παροχές από τα σημεία του Ο.Α.Κ. ίσως θα πρέπει να γίνει μια νέα μελέτη του συστήματος από όπου πιθανόν να προκύψουν νέα διαφορετικά στοιχεία.

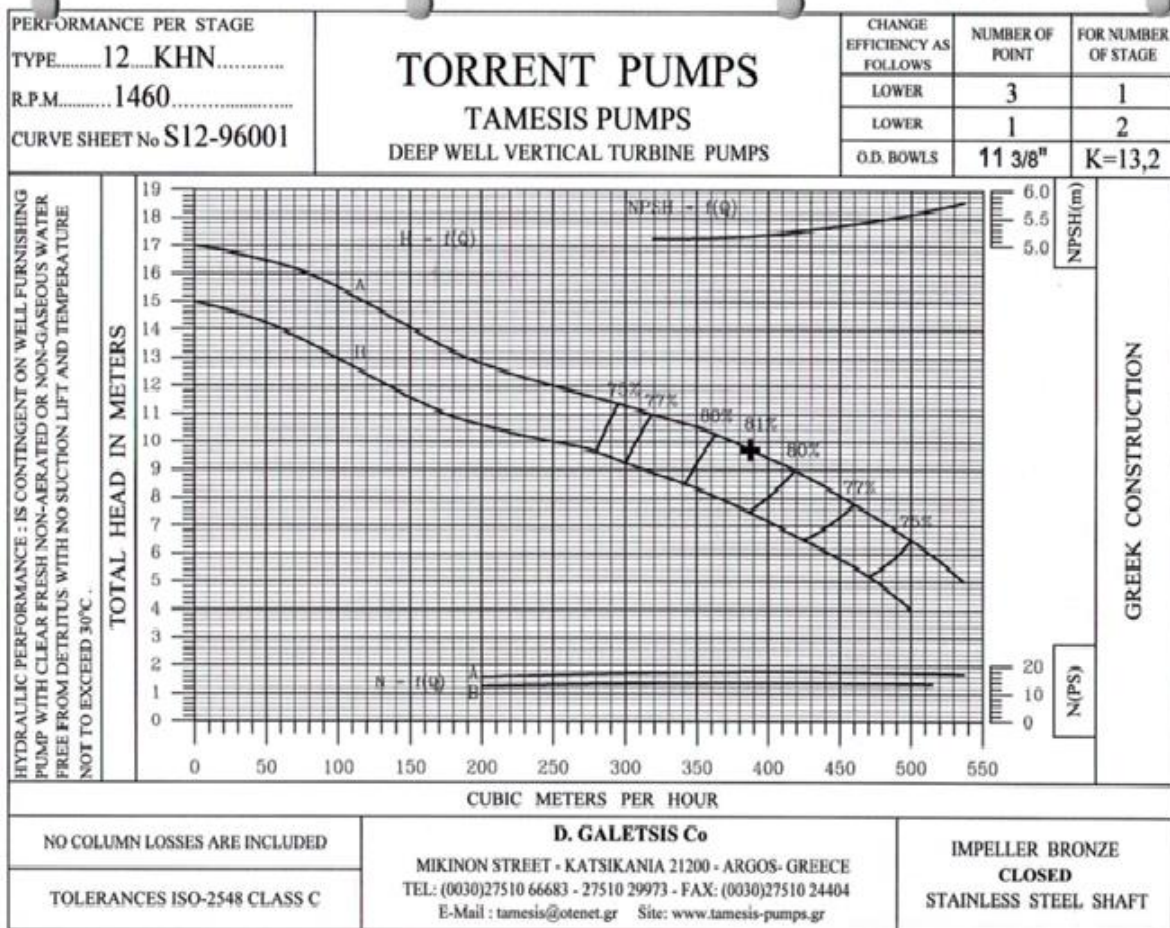
Βιβλιογραφία

1. **GRUNDFOS**.*PUMP HANDBOOK*.
2. **VictoriaSustainability**.*Energy Efficiency Best Practice Guide Pumping Systems*.
3. **Ivor da Cunha, Terry Strack, Saul Stricker**.*PUMP SYSTEMS Energy Efficiency Reference Guide* .
4. **Augustyn, Telez**.*ENERGY EFFICIENCY AND SAVINGS IN PUMPING SYSTEMS - THE HOLISTIC APPROACH*.
5. *The Search for Energy Savings: Optimization of Existing & New Pumping Stations*. **Chris Reinbold, Vincent Hart**. 2010. FSAWWA Fall Conference.
6. **ΛΙΒΑΝΙΟΥ, ΑΡΓΥΡΩ**. ΒΙΩΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΕ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. ΧΑΝΙΑ : ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ, 2015.
7. **GRUNDFOS**.*THE SEWAGE PUMPING HANDBOOK*.
8. *Αντλίες αποστράγγισης και λυμάτων*. s.l. : GRUNDFOS.
9. **ΠΑΠΑΝΤΩΝΗΣ, ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ε**.*ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ-ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ*. ΑΘΗΝΑ : s.n., 2009.
10. **ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ, ΝΕΣΙΑΔΗΣ**. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΑΔΟΧΙΚΗΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΑΝΤΛΙΩΝ - SIMULATION OF THE SEQUENTIAL START-UP OF PUMPS. ΑΘΗΝΑ : ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 2007.
11. **H.H., Anderson**.*Centrifugal Pumps*.
12. **Σακκάς, Αθανάσιος**. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΚΟΥΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΕ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΑ. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ ΩΣ ΕΥΕΛΙΚΤΑ ΦΟΡΤΙΑ. ΧΑΝΙΑ : ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ, 2012.
13. **Δημήτρης Κουτσογιάννης, Ανδρέας Ευστρατιάδης**. *Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια*.
14. **Ioan Sarbu, Emilian Stefan Valea**.*Energy Savings Potential for Pumping Water in District Heating Stations*. 2015.
15. **Csanyi, Edvard**. [Ηλεκτρονικό] 2014. <http://electrical-engineering-portal.com/14-energy-efficiency-improvement-opportunities-in-pumping-systems>.
16. *Efficient Pumping*. **Mark Hemeyer, Adam Mudge**.
17. *EVALUATION OF WATER PUMPING SYSTEMS - Energy Efficiency Assessment Manual*. s.l. : Inter-American Development Bank, 2011.
18. **Pemberton, Mike**.*Strategies to improve pump efficiency and life cycle performance*.
19. **Rita Patel, Sanjay Patel, Vijay K Matawala**.*THROTTLING IN PUMPS AND SCOPE OF ENERGY SAVING*.
20. **OAK**.<http://oakae.gr/index.php/english>. [Ηλεκτρονικό]

6.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

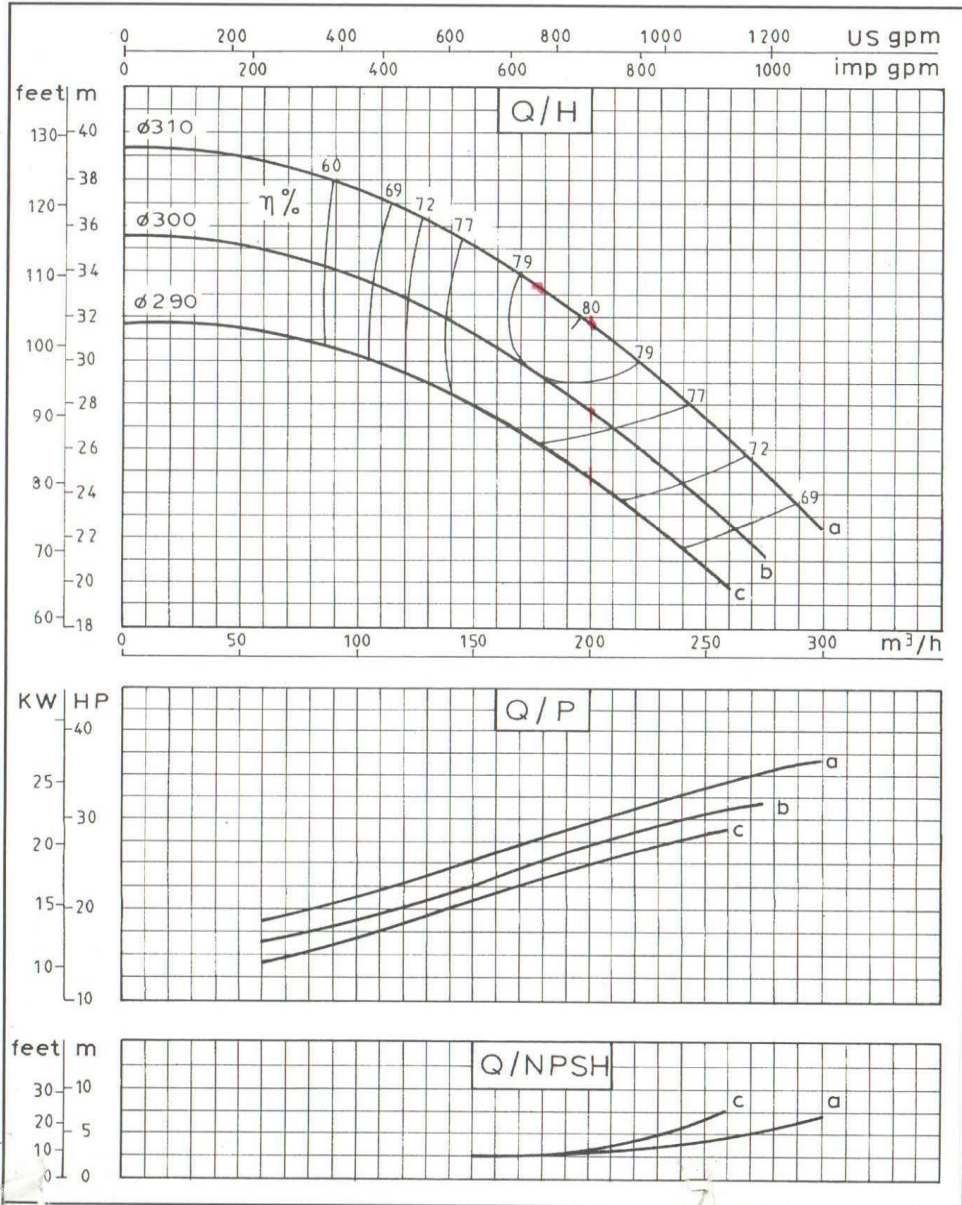
Α. Χαρακτηριστικές καμπύλες των αντλιών στο ΒΛΗΤΕ

ΑΝΤΛΙΕΣ 1-4



12

MS 125 / 1450 RPM



DP DRAKOS - POLEMIS INC
Pump Manufacturers

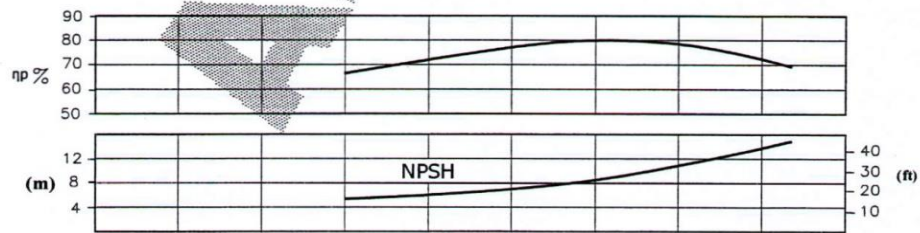
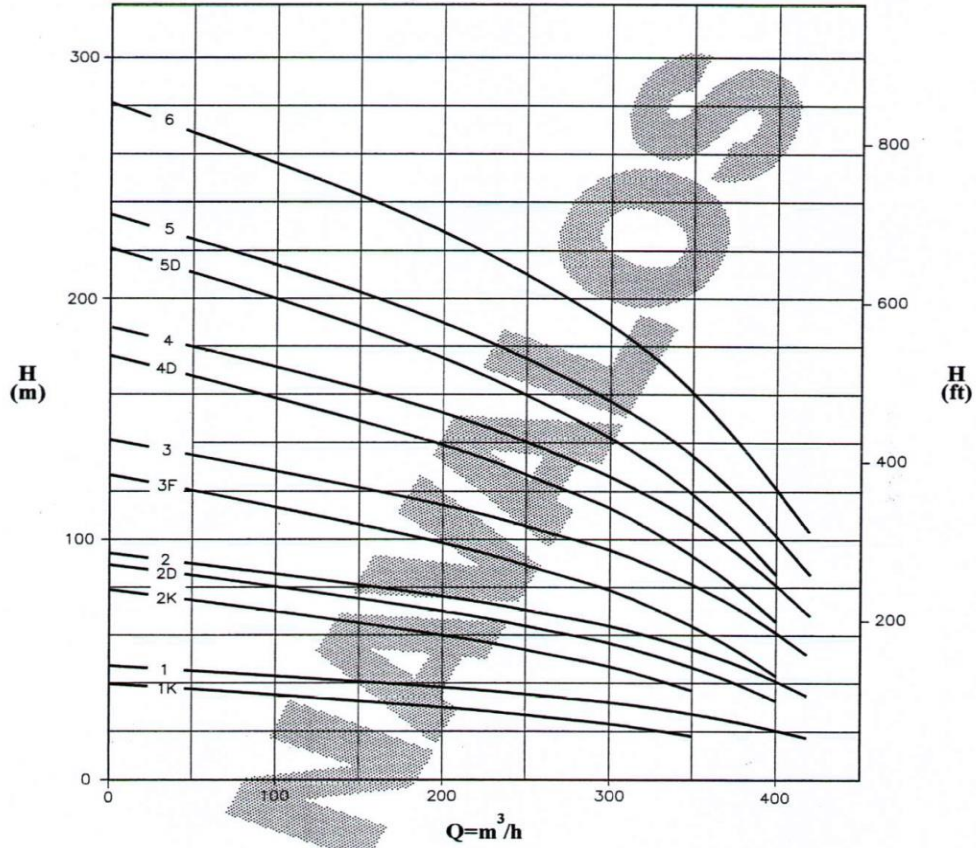
22010/2 & 22410/2 99 1000



Αποδόσεις σε 2900 στρ./min
Performances at 2900 r.p.m

50Hz **10MD**

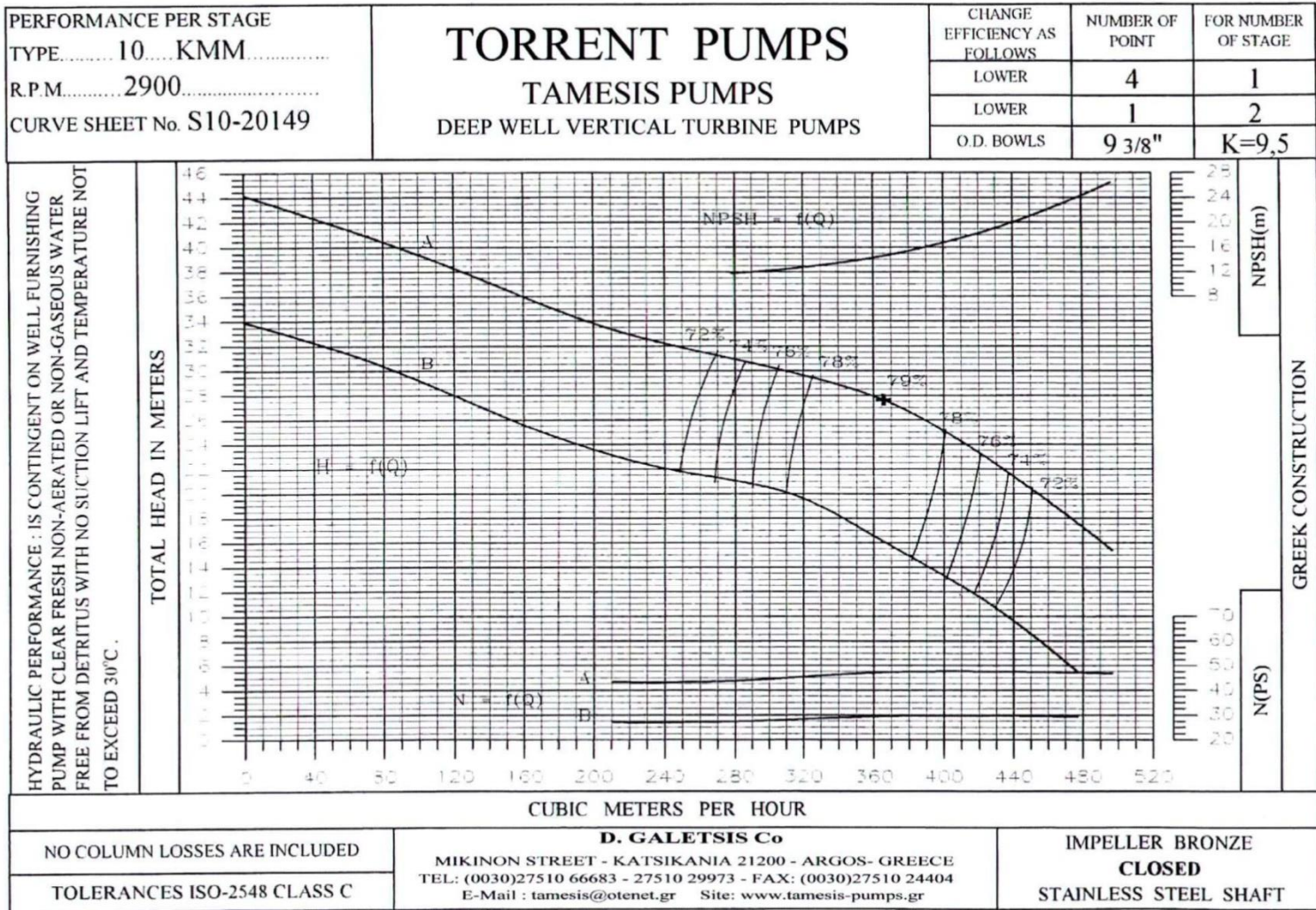
Imp.g.p.m 400 800 1200 1600
US.g.p.m 400 800 1200 1600



Q=l/min 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000
Q=l/s 20 40 60 80 100 120

CURVE No 2.5.10.031.1

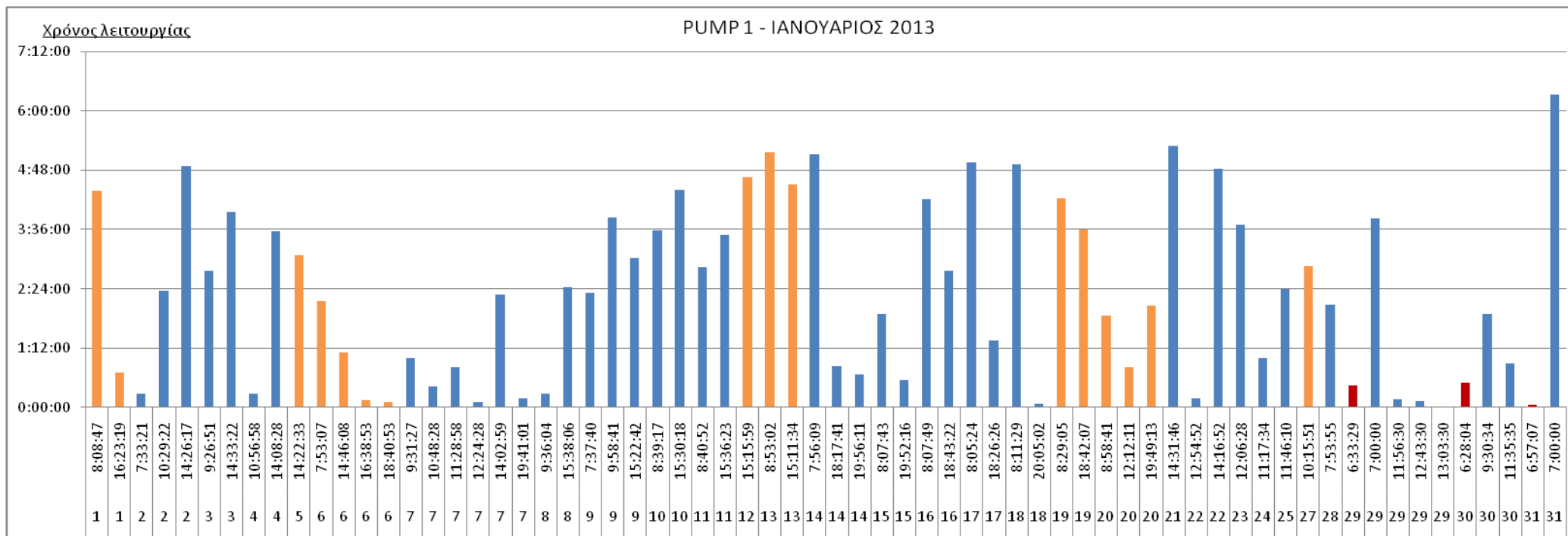
101

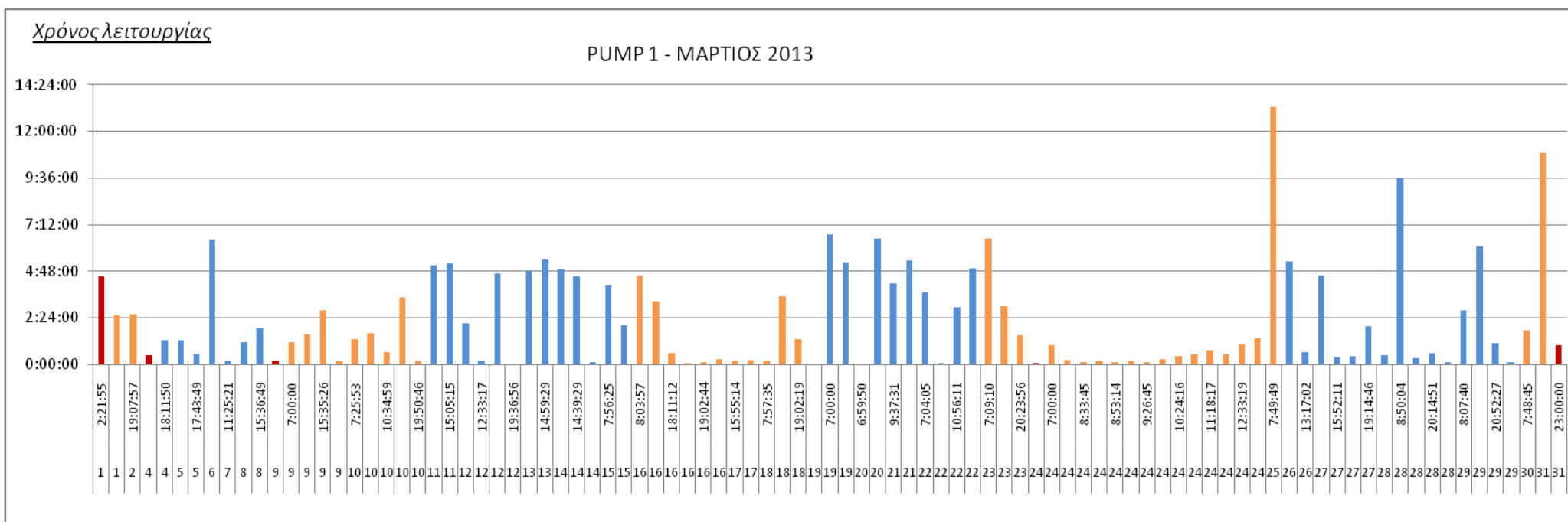
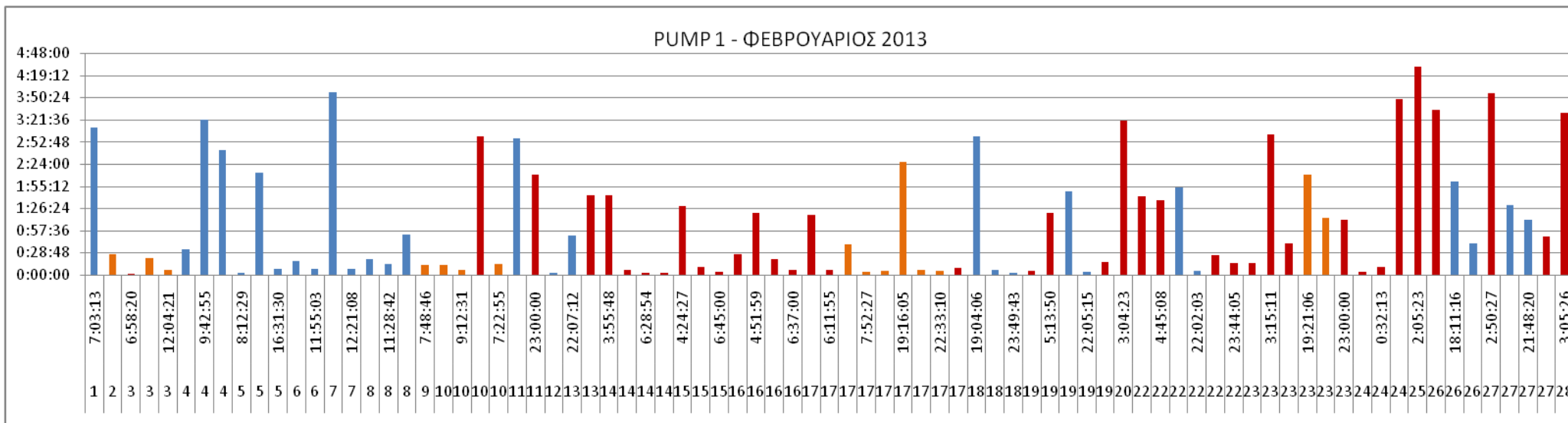


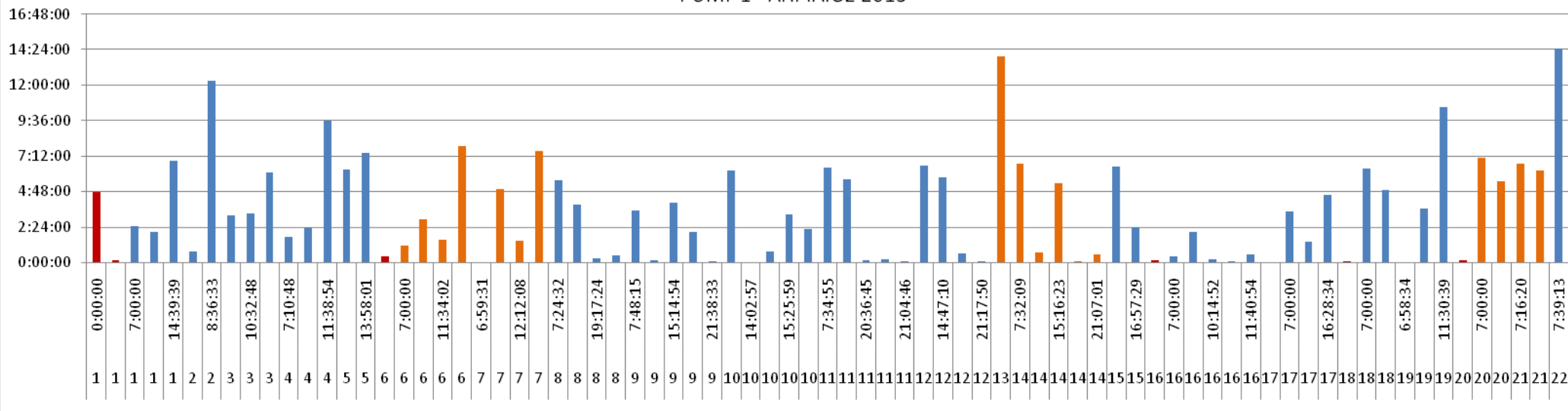
Β.Διαγράμματα με τις ώρες λειτουργίας αντλιών και ταξινόμηση αναλόγως την ζώνη χρέωσης (στοιχεία από 2013)

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η ώρα εκκίνησης και ο χρόνος λειτουργίας κάθε αντλίας για κάθε μήνα. Υπάρχει χρωματισμός ανάλογα εάν λειτουργεί κατά την υψηλή ζώνη χρέωσης (**μπλε** χρώμα), την χαμηλή ζώνη χρέωσης λόγω νυκτερινής χρήσης (**κόκκινο** χρώμα) ή την χαμηλή ζώνη χρέωσης λόγω Σαββατοκύριακου ή αργίας (**πορτοκαλί** χρώμα). Ακόμα υπάρχει ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα για κάθε αντλία όπου φαίνονται οι συνολικές ώρες λειτουργίας για κάθε μήνα και ο διαχωρισμός αναλόγως την ζώνη χρέωσης καθώς και διάγραμμα όπου φαίνεται πόσες ώρες από τις ώρες της χαμηλής ζώνης χρέωσης οφείλονται σε νυκτερινή χρήση ή χρήση κατά τη διάρκεια σαββατοκύριακων και αργιών. Ακόμα υπάρχουν πίνακες με τις ώρες λειτουργίας των αντλιών.

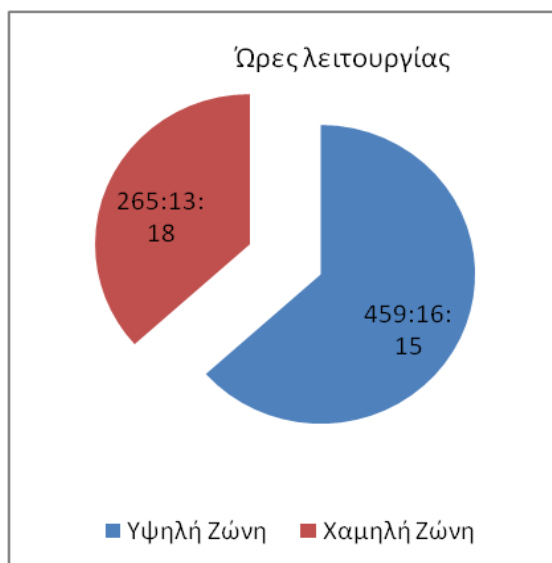
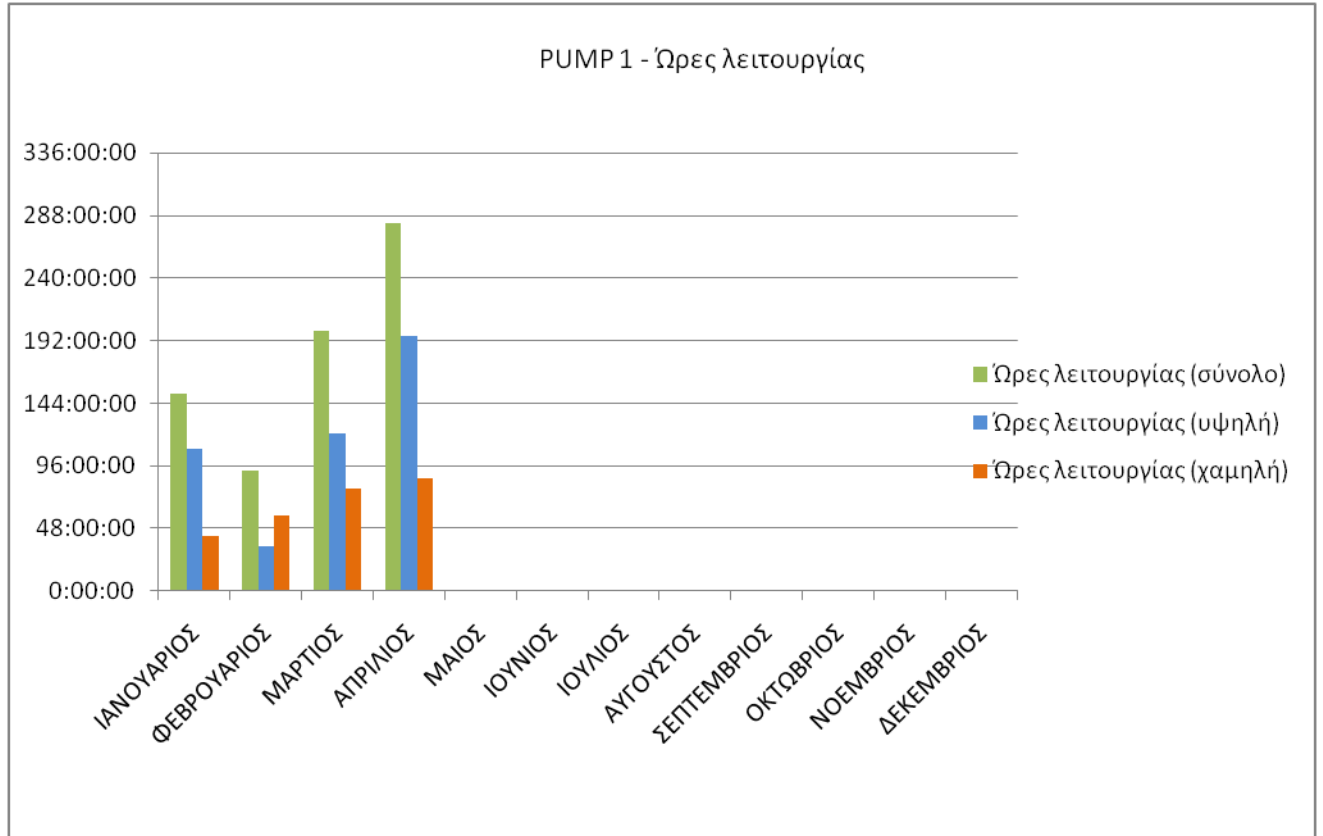
ΑΝΤΛΙΑ 1 – PUMP 1



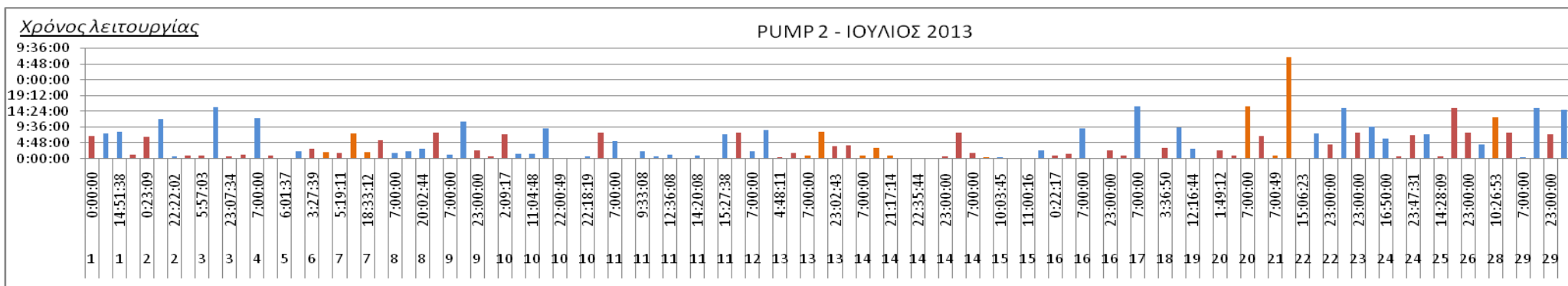
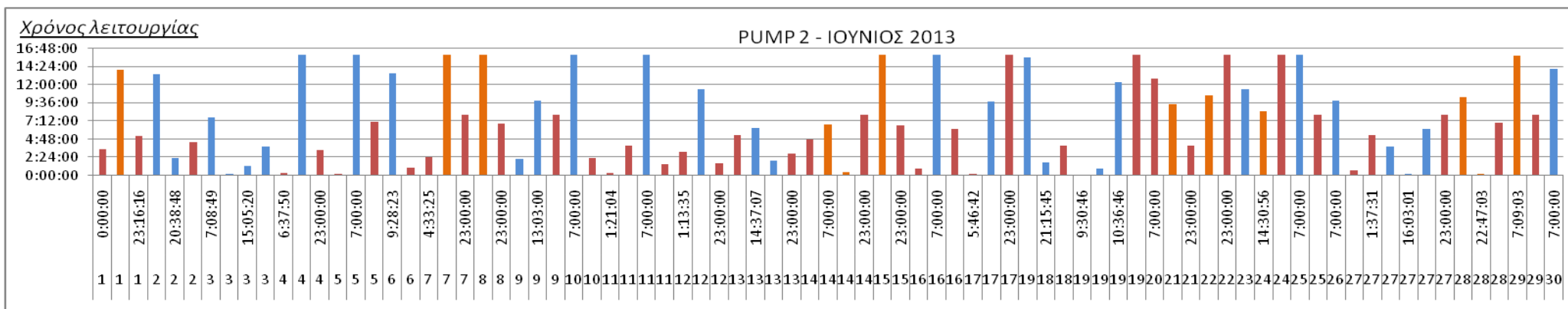
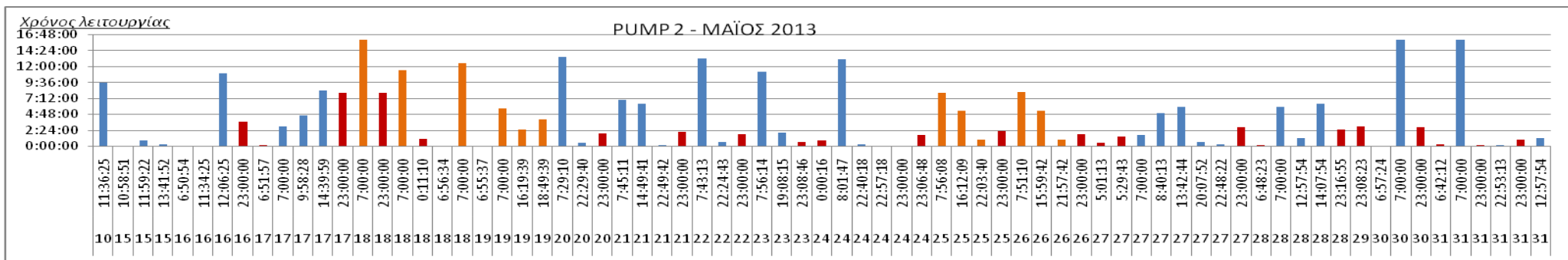




	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΥΨΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ(ΧΑΜΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ-ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ- ΣΚ/ΑΡΓΙΕΣ)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	151:20:28	108:54:28	42:26:00	0:59:24	41:26:36
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	91:58:16	34:17:12	57:41:04	49:07:45	8:33:19
ΜΑΡΤΙΟΣ	199:29:45	120:26:08	79:03:37	5:17:45	73:45:52
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	281:41:04	195:38:27	86:02:37	5:45:05	80:17:32
ΜΑΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΙΟΥΝΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΙΟΥΛΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΣΥΝΟΛΟ	724:29:33	459:16:15	265:13:18	61:09:59	204:03:19

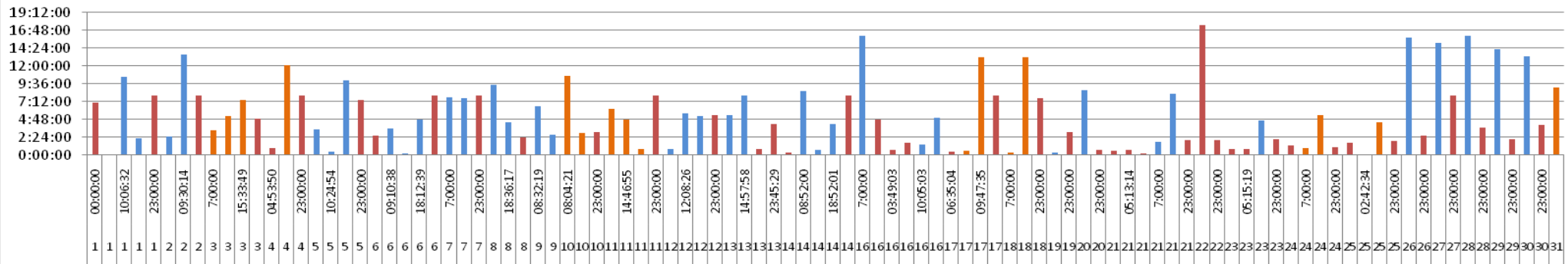


ΑΝΤΛΙΑ 2 – PUMP 2



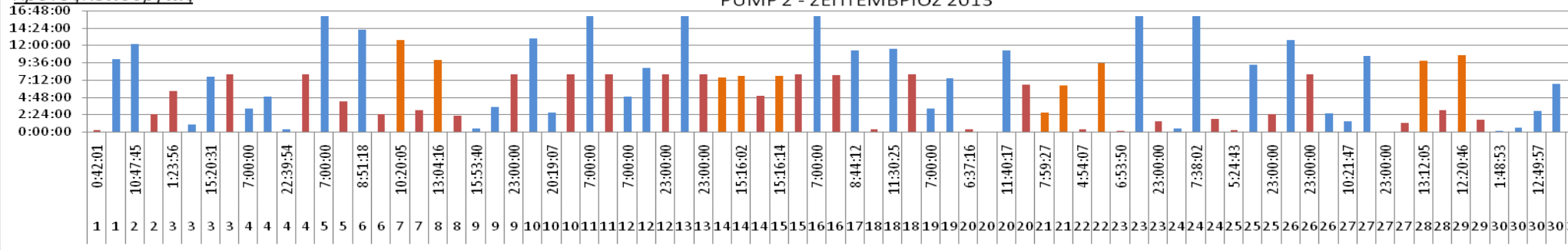
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 2 - ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2013



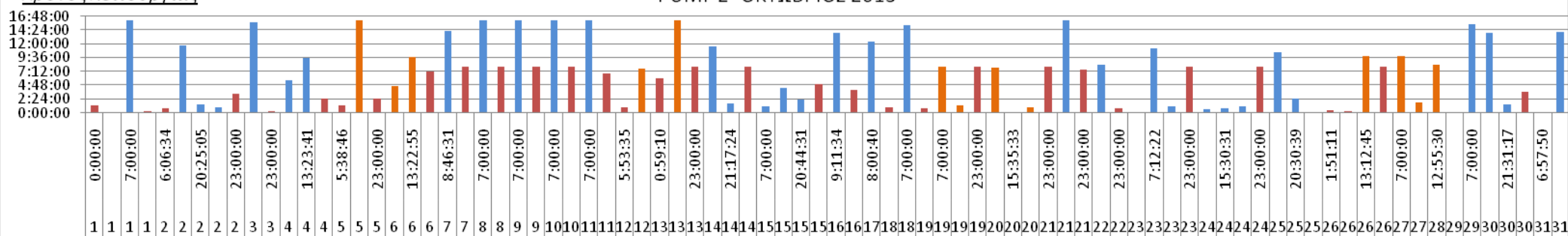
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 2 - ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013



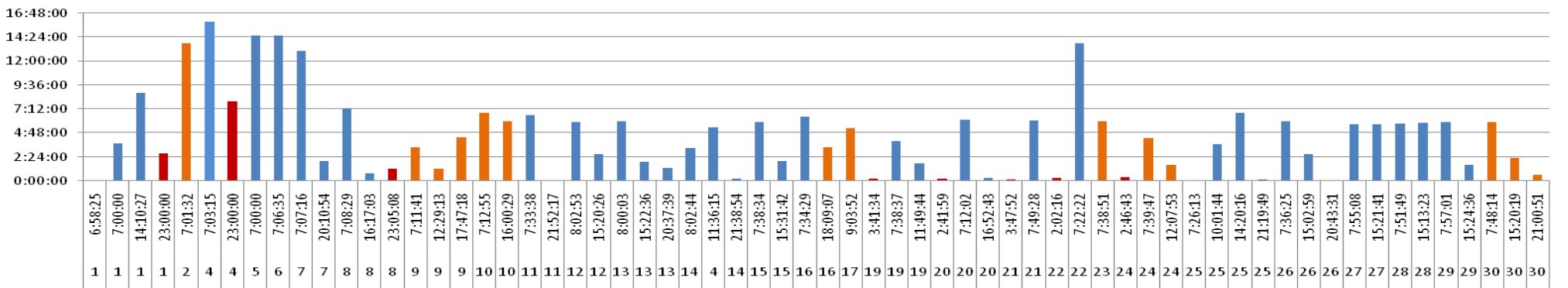
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 2- ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2013



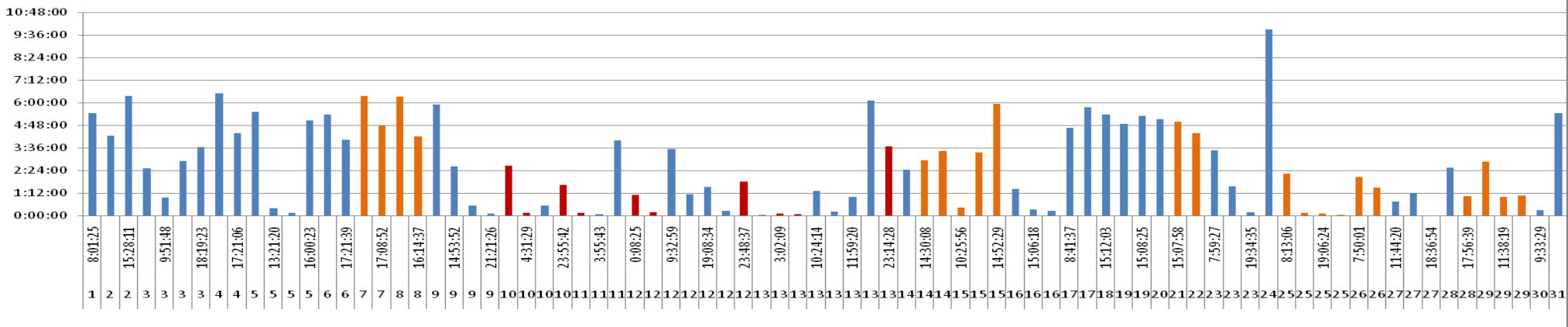
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 2 - ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013

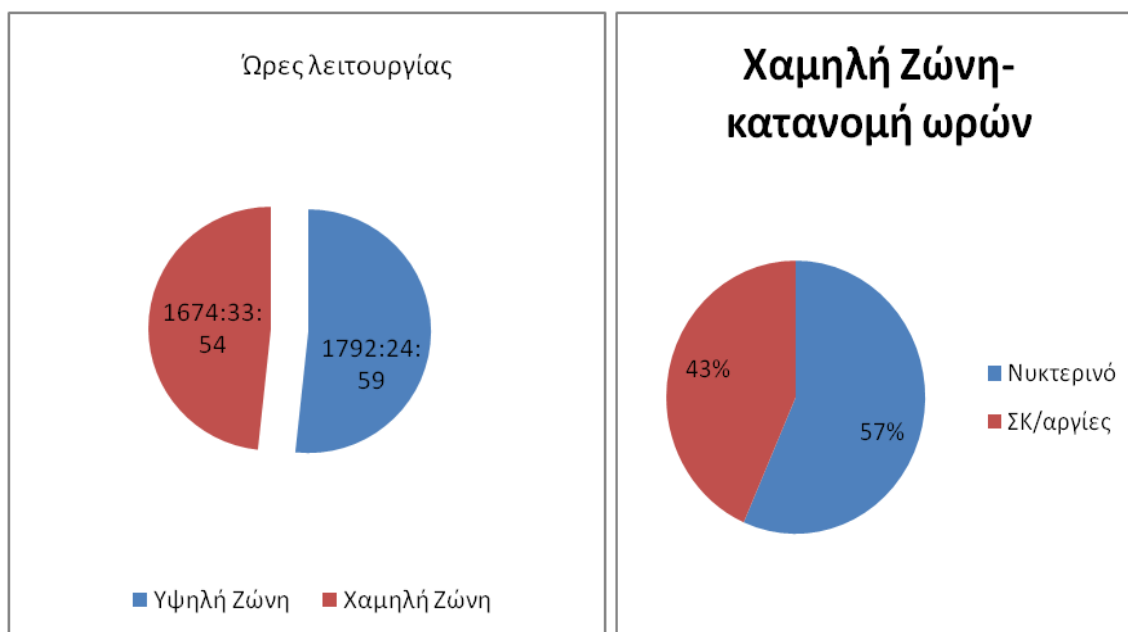
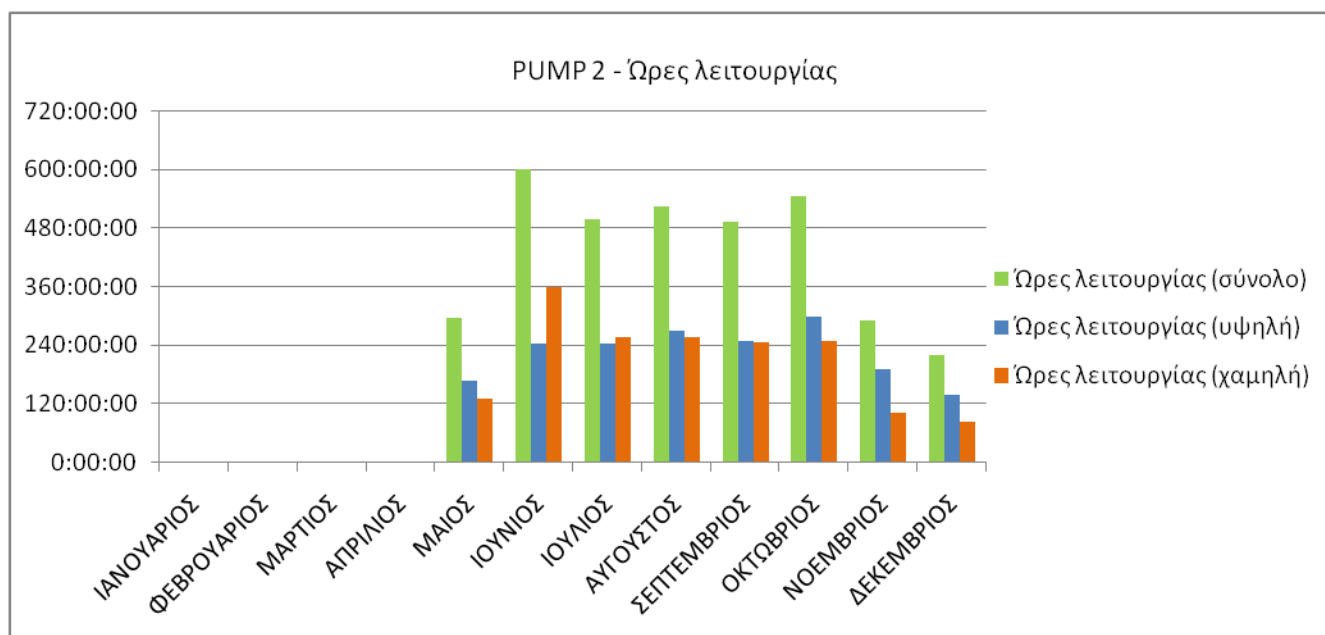


Χρόνος λειτουργίας

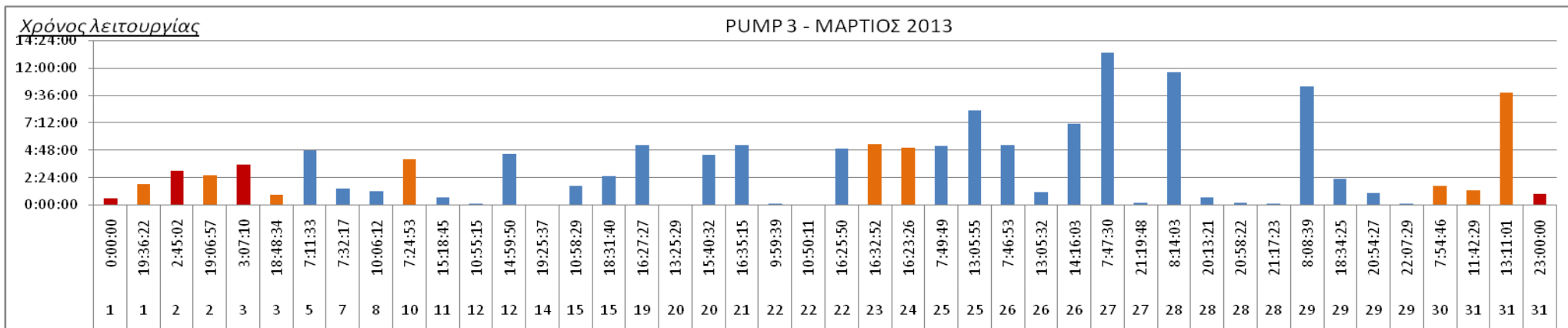
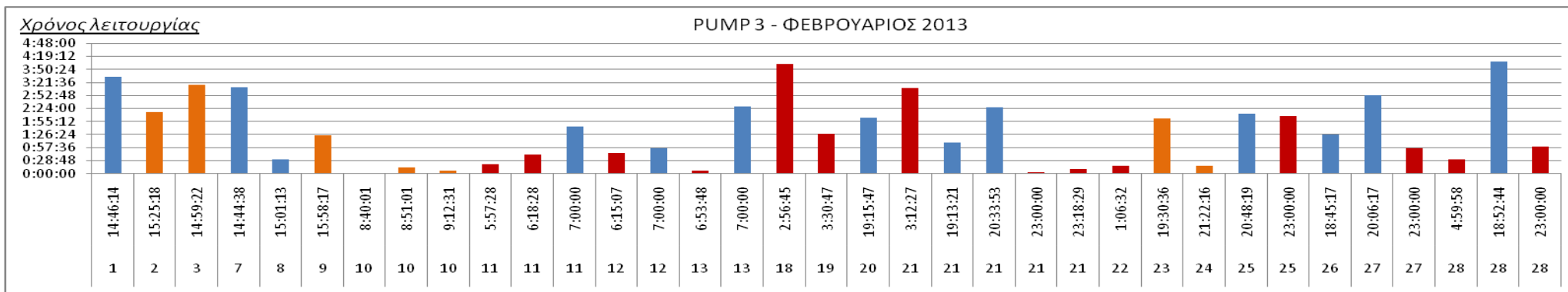
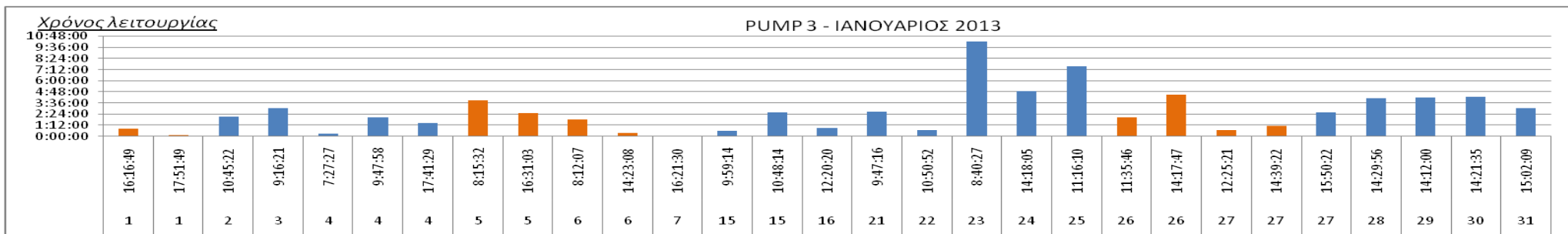
PUMP 2 - ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2013



	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΥΨΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ-ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ- ΣΚ/ΑΡΓΙΕΣ)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΜΑΡΤΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΜΑΙΟΣ	295:28:14	165:12:29	130:15:45	49:21:11	80:54:34
ΙΟΥΝΙΟΣ	601:14:35	242:52:43	358:21:52	207:52:32	150:29:20
ΙΟΥΛΙΟΣ	498:54:14	242:13:28	256:40:46	194:21:26	62:19:20
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	524:11:44	268:47:17	255:24:27	174:44:37	80:39:50
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	492:48:48	248:05:58	244:42:50	150:03:35	94:39:15
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	547:10:57	298:46:07	248:24:50	146:42:30	101:42:20
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	289:13:30	189:42:28	99:31:02	13:16:38	86:14:24
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	217:56:51	136:44:29	81:12:22	11:41:36	69:30:46
ΣΥΝΟΛΟ	3466:58:53	1792:24:59	1674:33:54	948:04:05	726:29:49

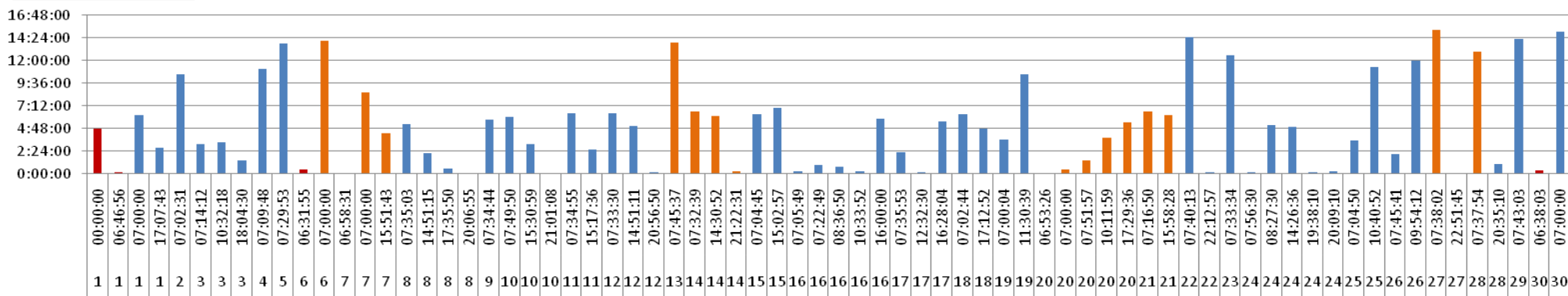


ΑΝΤΛΙΑ 3 -PUMP 3



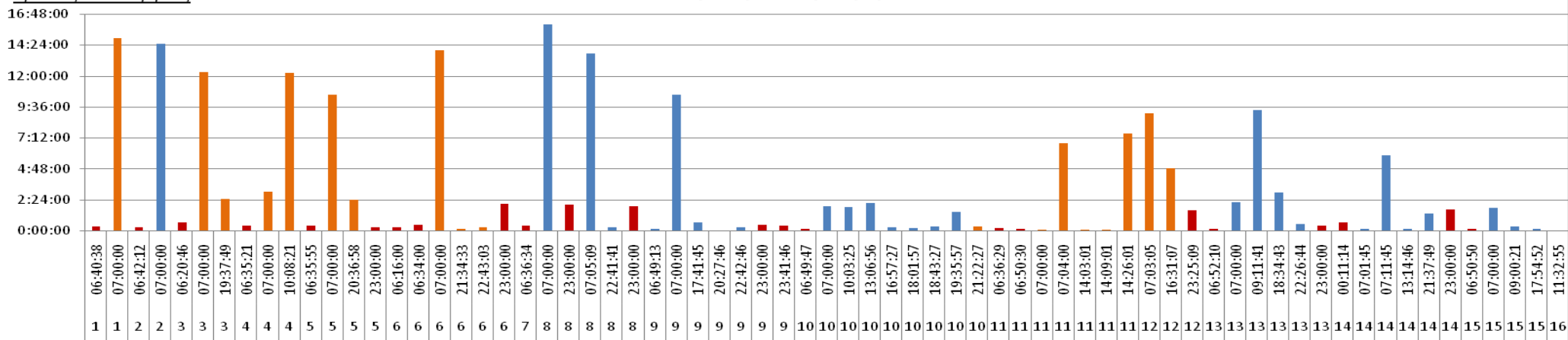
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 3 - ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2013



Χρόνος λειτουργίας

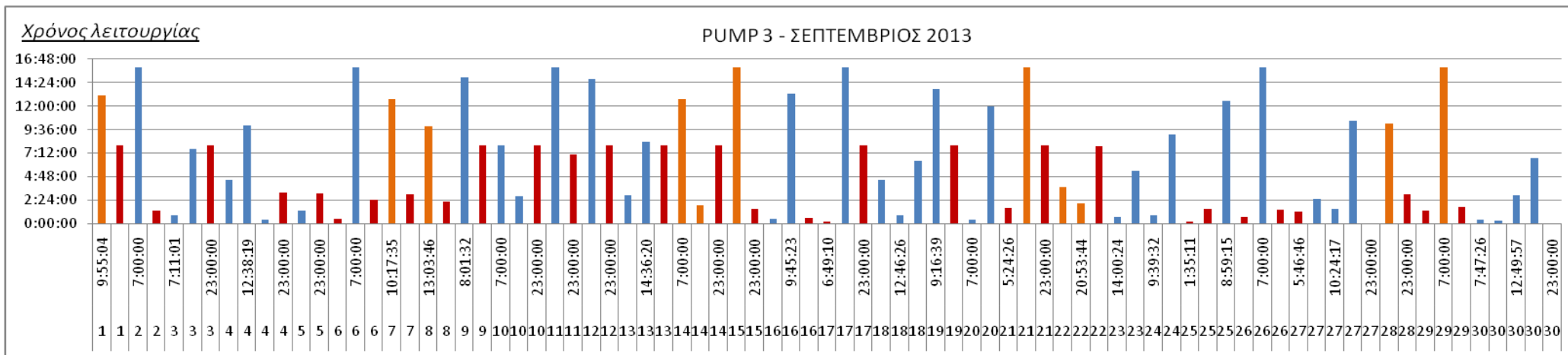
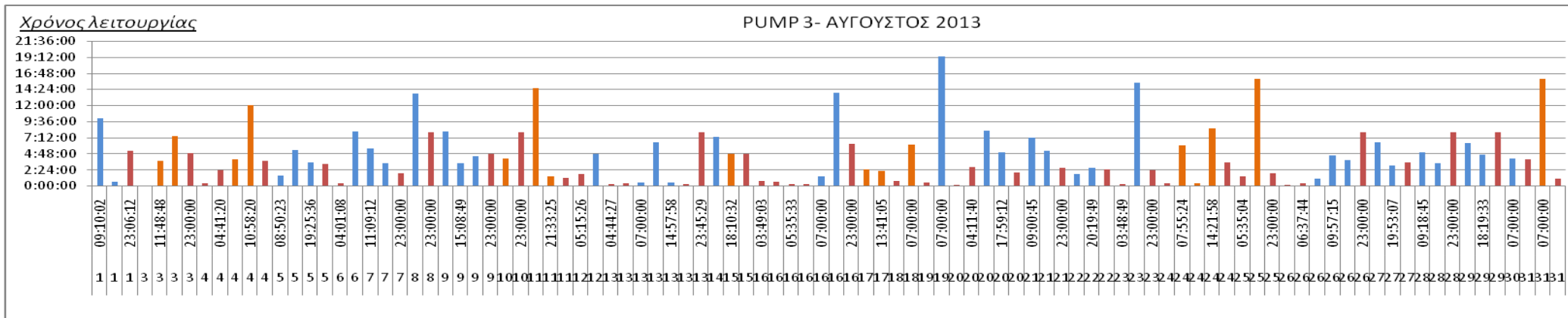
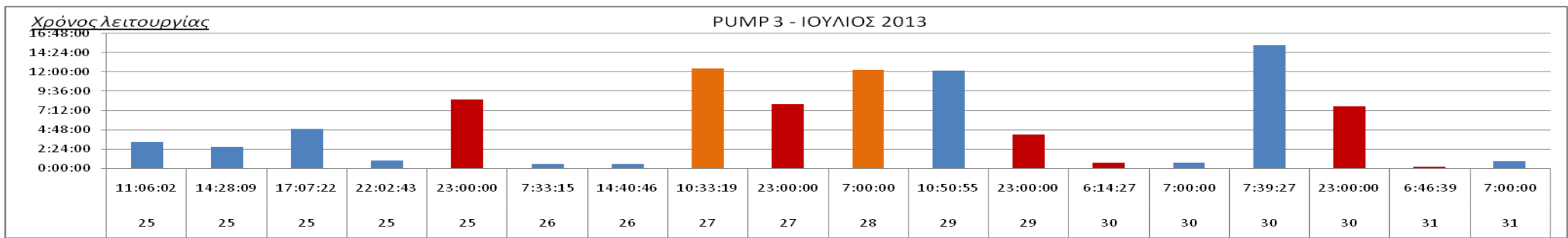
PUMP 3 - ΜΑΪΟΣ 2013



Χρόνος λειτουργίας

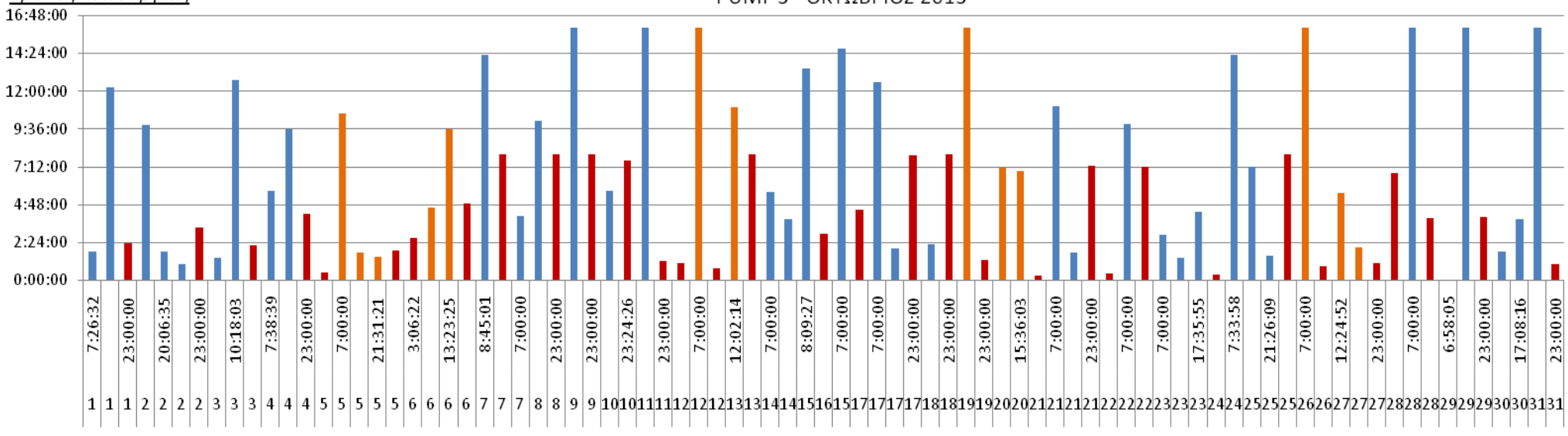
PUMP 3 - ΙΟΥΝΙΟΣ 2013





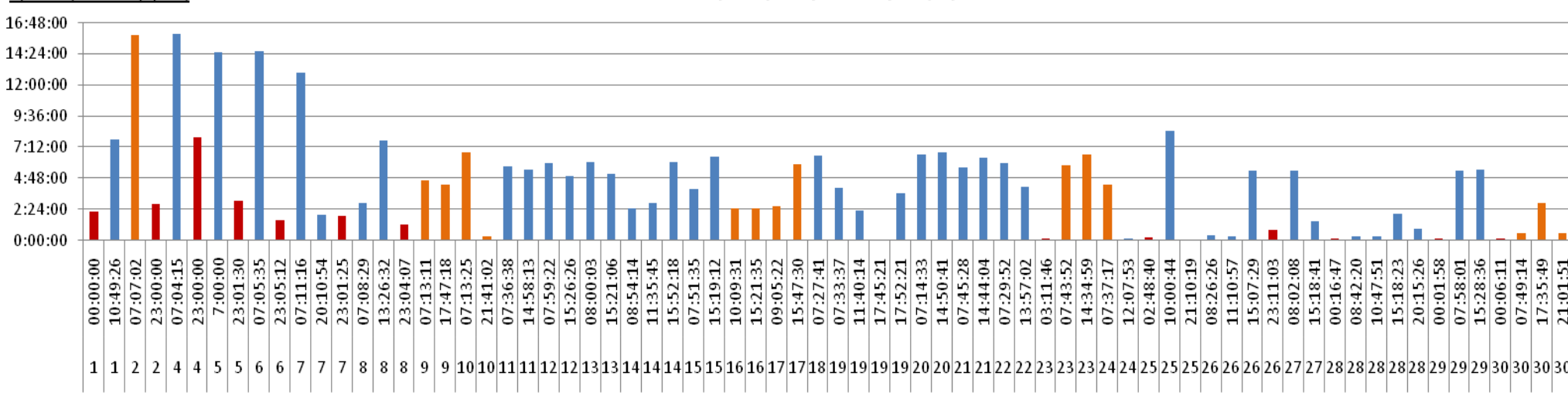
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 3 - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2013



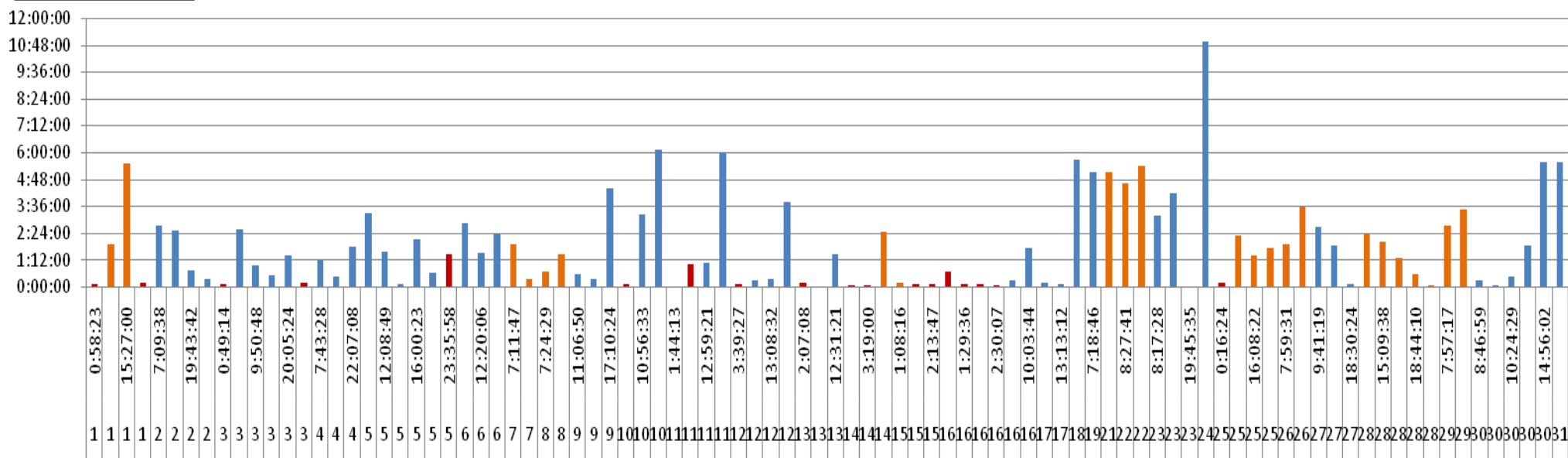
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 3 - ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013

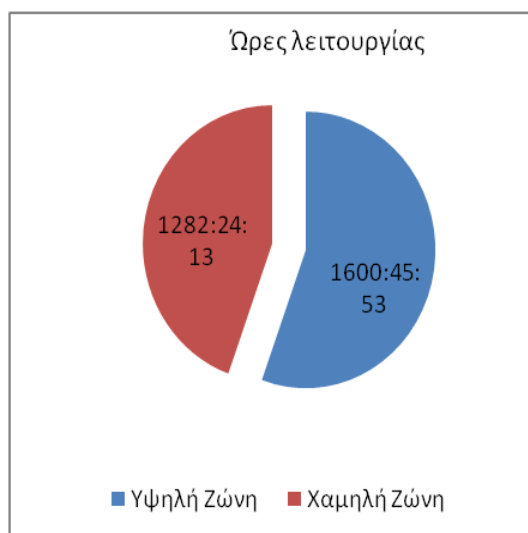
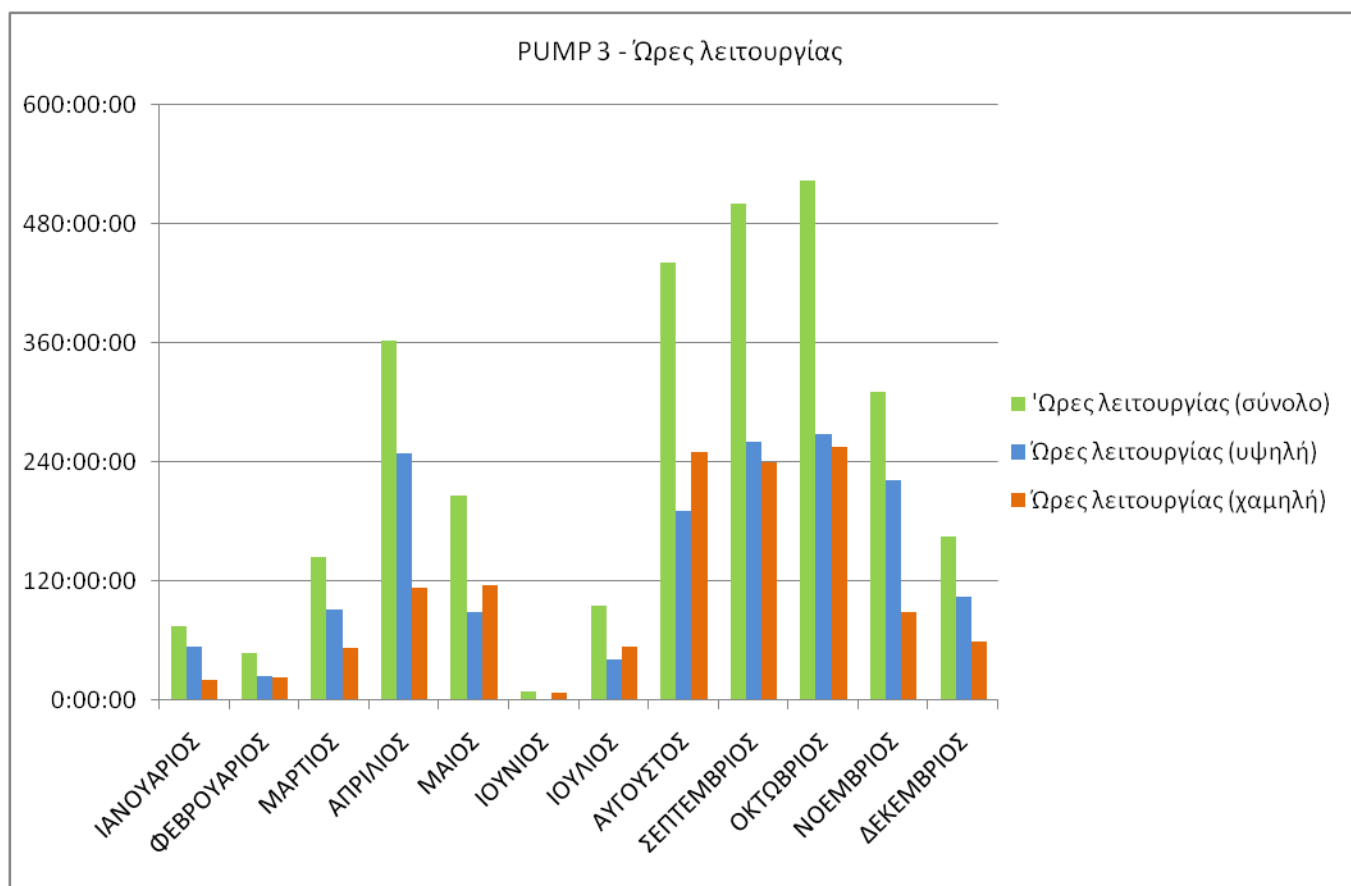


Χρόνος λειτουργίας

PUMP 3 - ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2013



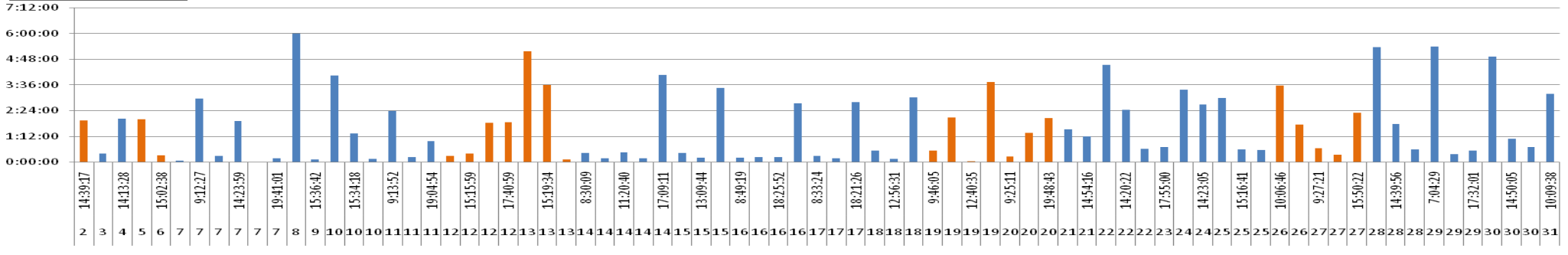
	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΥΨΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ(ΧΑΜΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ-ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ- ΣΚ/ΑΡΓΙΕΣ)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	74:49:11	54:17:37	20:31:34	0:00:00	20:31:34
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	48:10:39	25:08:28	23:02:11	15:41:06	7:21:05
ΜΑΡΤΙΟΣ	144:44:32	92:23:14	52:21:18	8:09:01	44:12:17
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	362:13:02	248:43:28	113:29:34	5:57:32	107:32:02
ΜΑΙΟΣ	205:55:05	89:27:25	116:27:40	15:38:44	100:48:56
ΙΟΥΝΙΟΣ	8:23:30	0:15:57	8:07:33	8:07:33	0:00:00
ΙΟΥΛΙΟΣ	95:55:33	41:41:14	54:14:19	29:30:15	24:44:04
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	441:45:02	191:39:33	250:05:29	140:07:29	109:58:00
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	501:13:50	261:07:15	240:06:35	125:42:10	114:24:25
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	523:48:35	268:31:03	255:17:32	130:41:59	124:35:33
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	311:15:24	222:33:04	88:42:20	22:20:37	66:21:43
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	164:55:43	104:57:35	59:58:08	7:07:04	52:51:04
ΣΥΝΟΛΟ	2883:10:06	1600:45:53	1282:24:13	509:03:30	773:20:43



ΑΝΤΛΙΑ 4 – PUMP 4

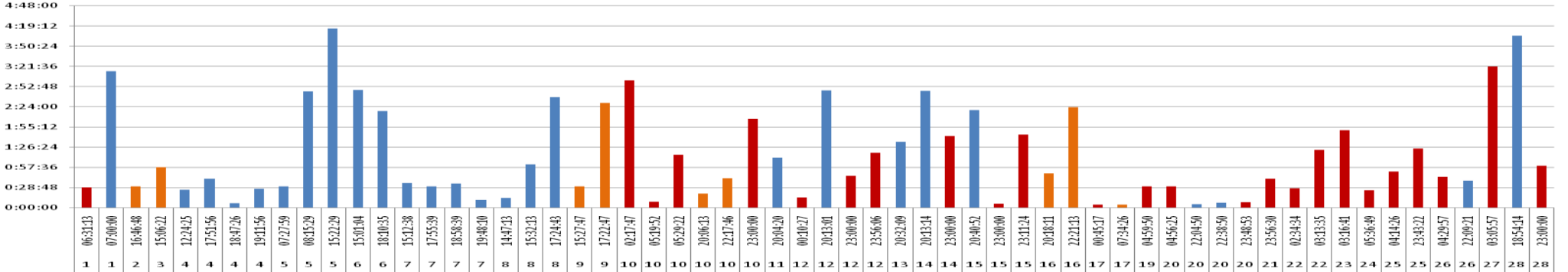
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 4 - ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2013



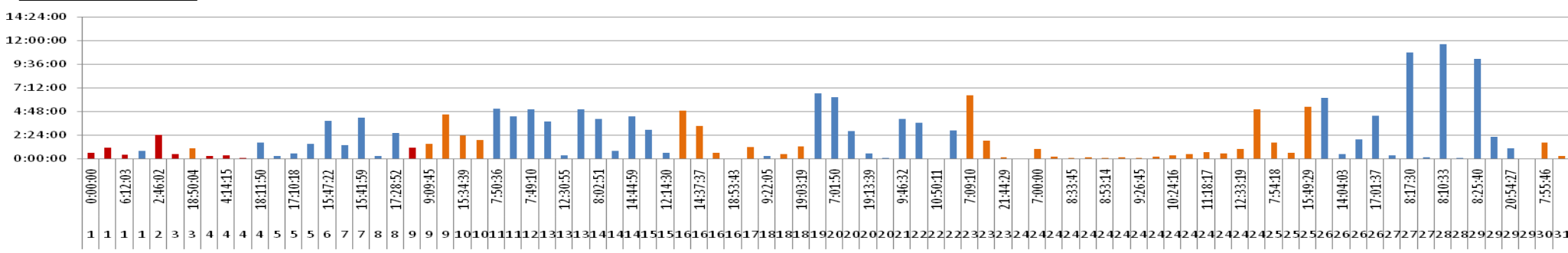
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 4 - ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013



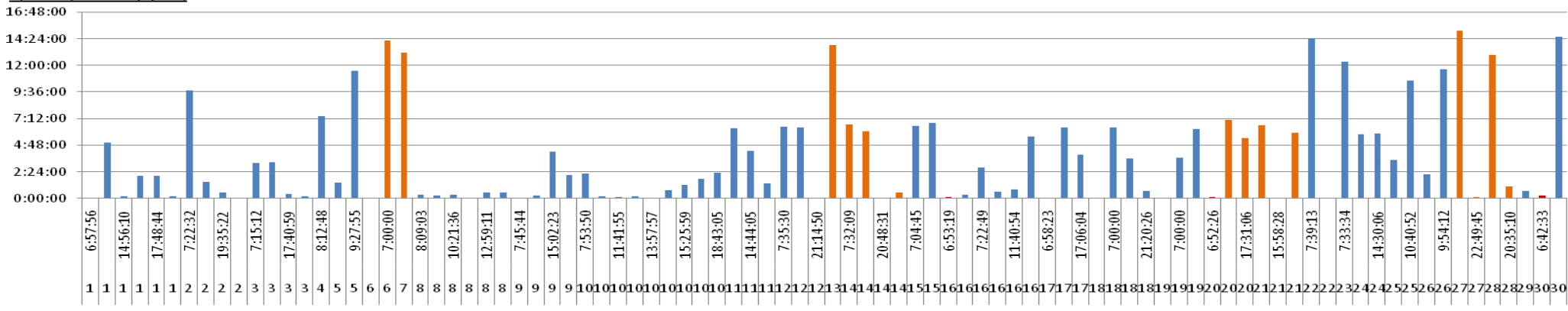
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 4- ΜΑΡΤΙΟΣ 2013



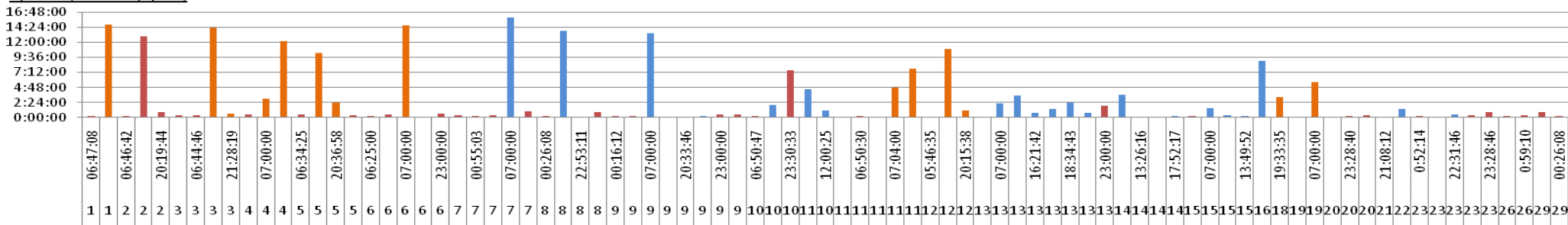
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 4 - ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2013



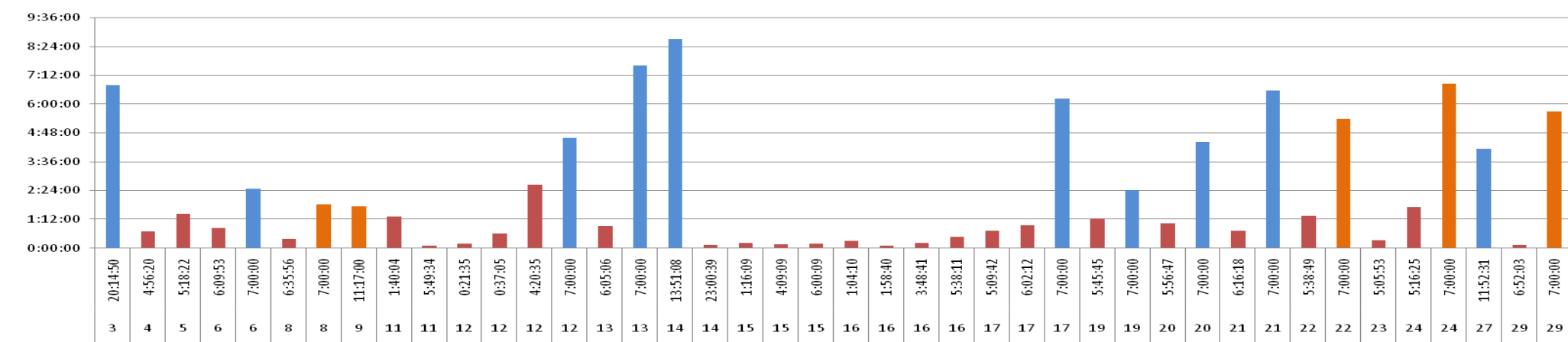
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 4 - ΜΑΪΟΣ 2013

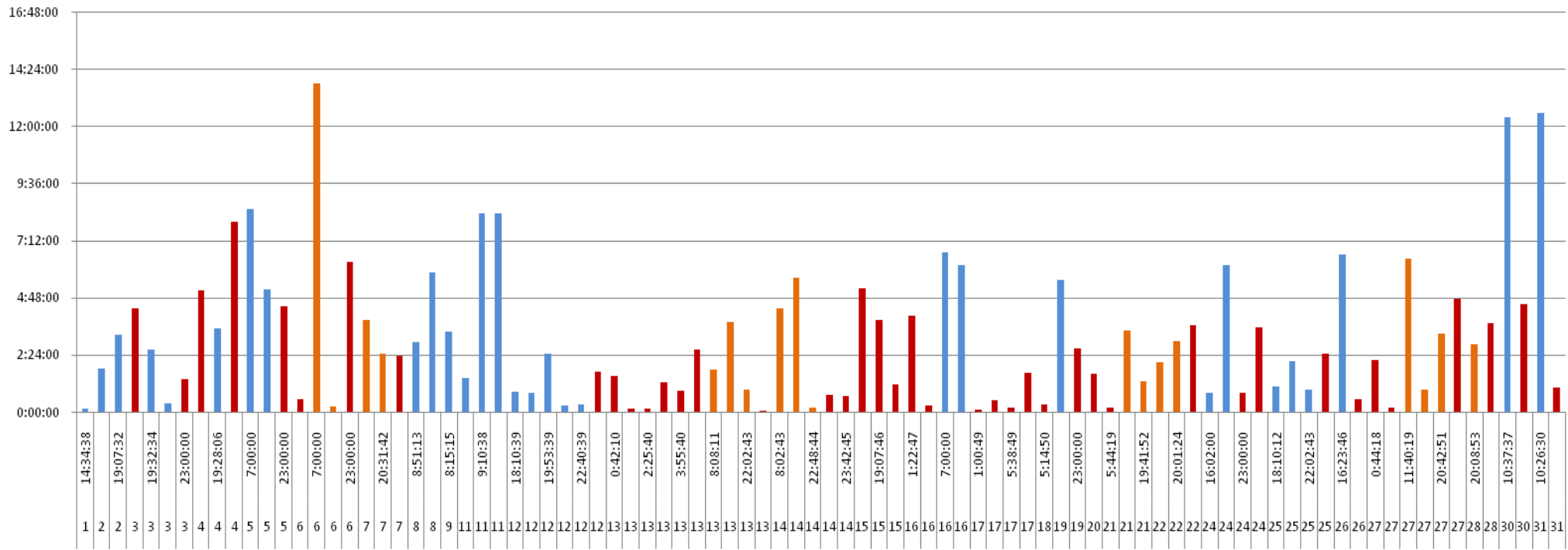


Χρόνος λειτουργίας

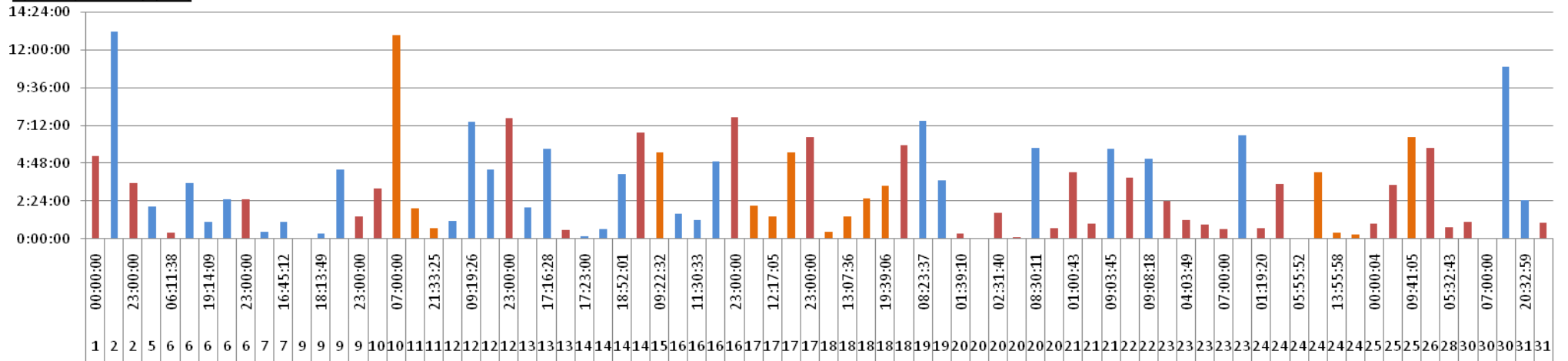
PUMP 4 - ΙΟΥΝΙΟΣ 2013



PUMP 4 - ΙΟΥΛΙΟΣ

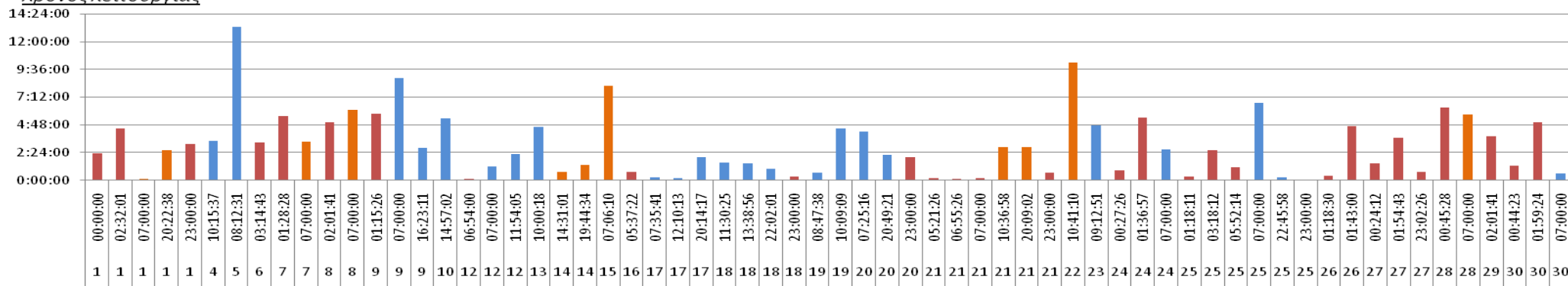
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 4 - ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2013



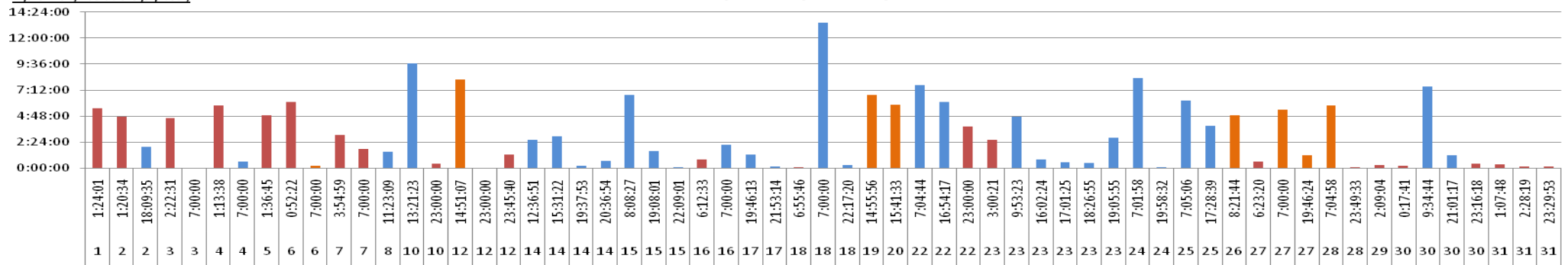
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 4 - ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013



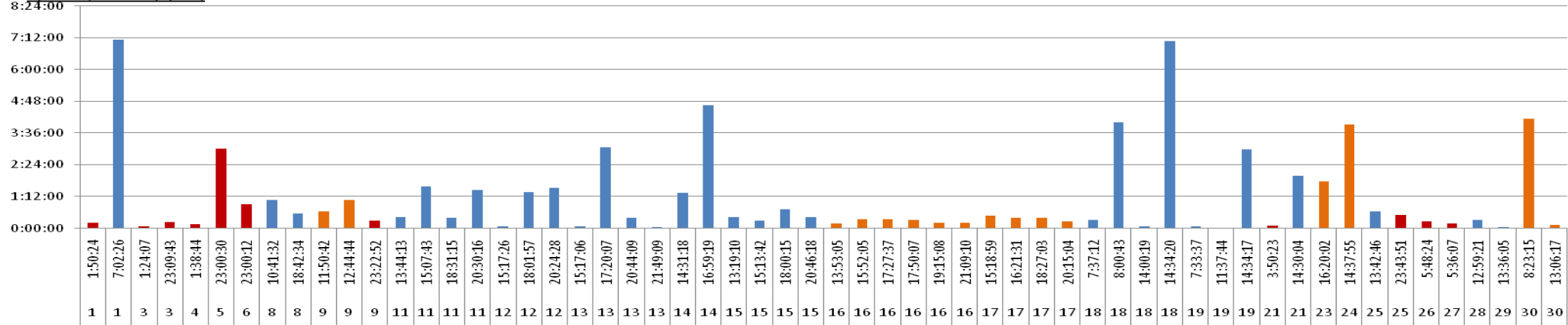
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 4 - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



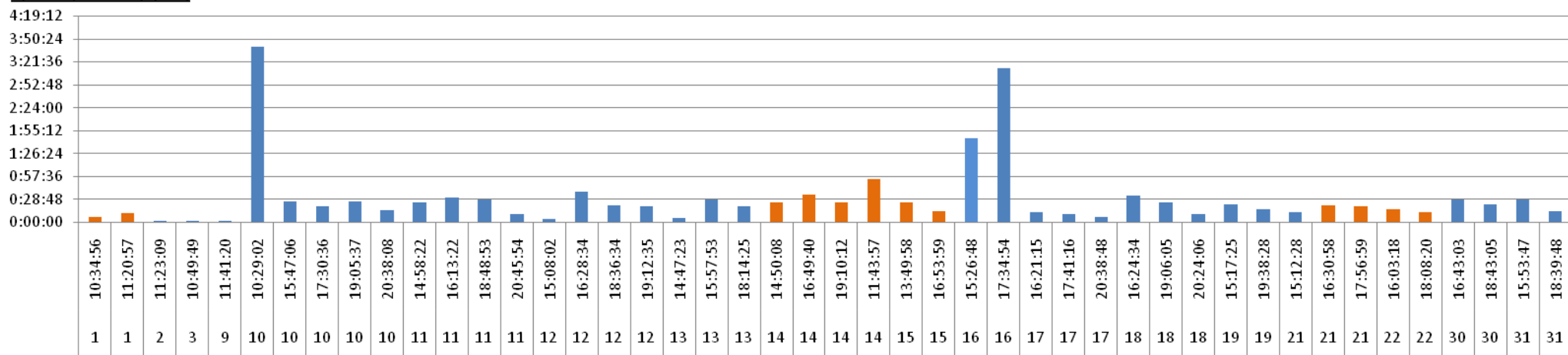
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 4 - ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013

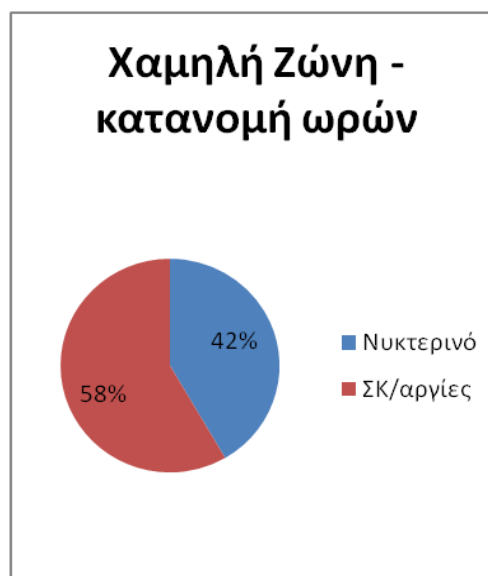
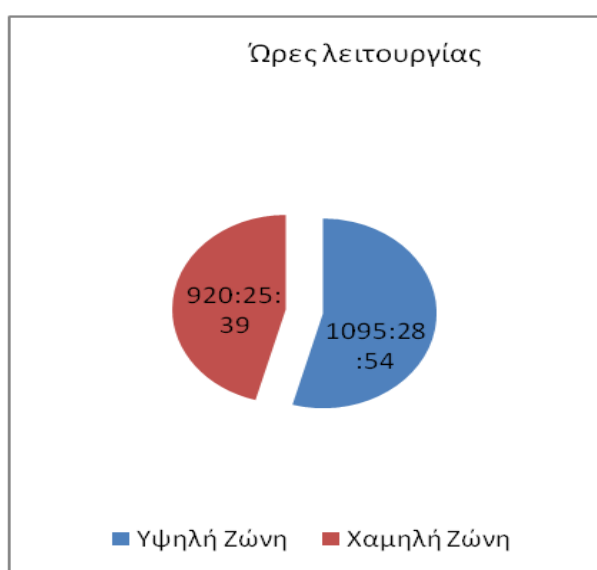
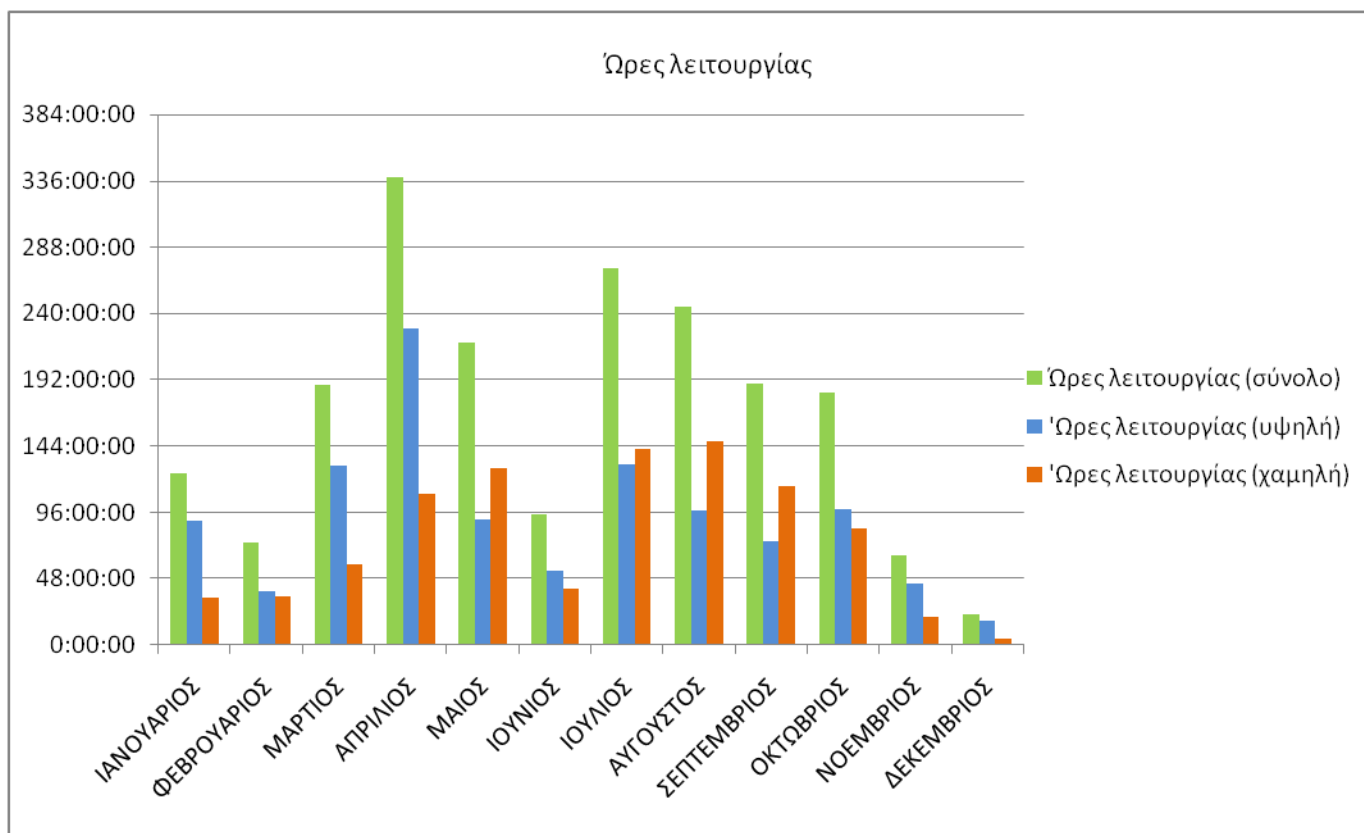


Χρόνος λειτουργίας

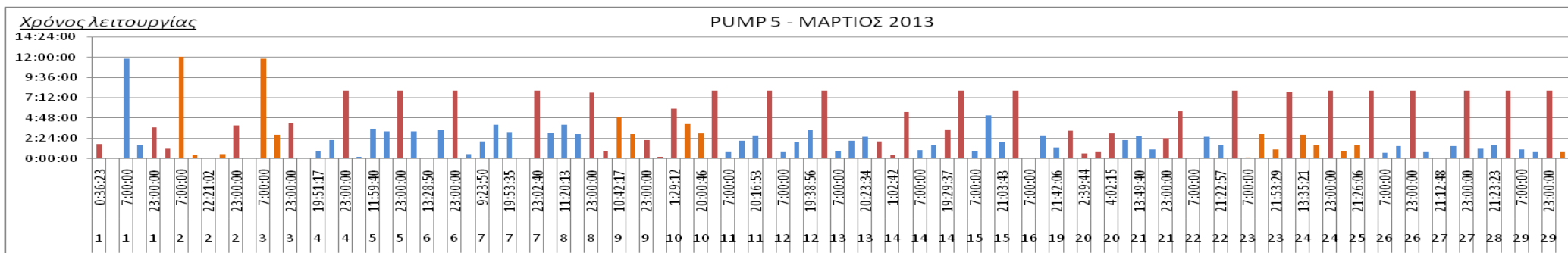
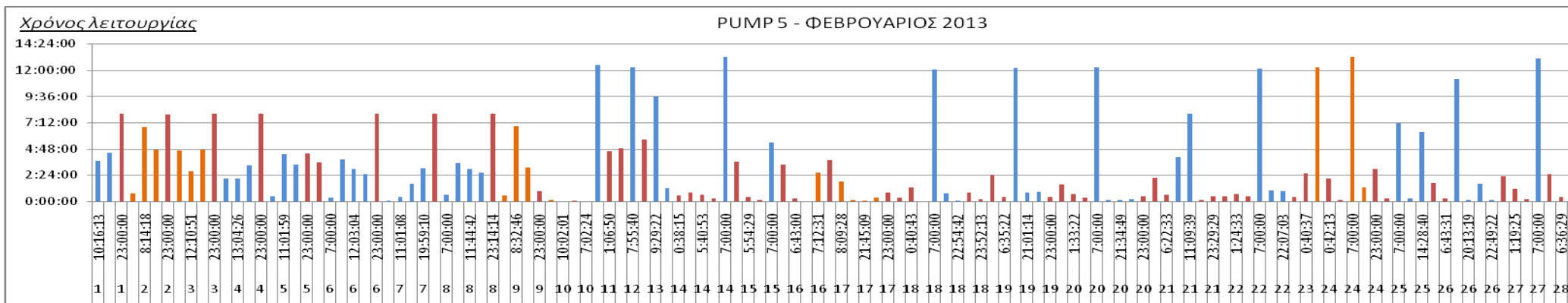
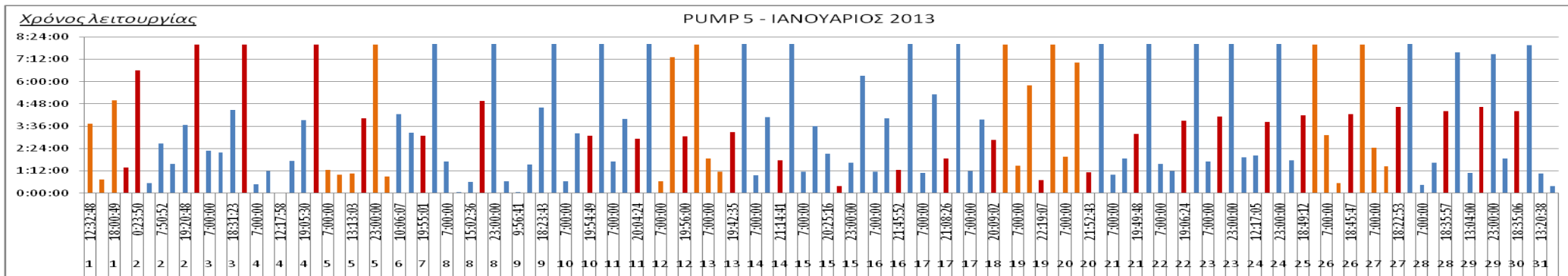
PUMP 4 - ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2013



	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΥΨΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ(ΧΑΜΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ-ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ- ΣΚ/ΑΡΓΙΕΣ)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	124:20:55	90:02:18	34:18:37	0:00:00	34:18:37
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	73:46:53	38:48:04	34:58:49	28:35:02	6:23:47
ΜΑΡΤΙΟΣ	188:32:53	129:48:37	58:44:16	6:58:49	51:45:27
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	338:29:07	228:50:58	109:38:09	0:39:39	108:58:30
ΜΑΙΟΣ	219:17:56	91:14:32	128:03:24	19:14:08	108:49:16
ΙΟΥΝΙΟΣ	94:40:06	53:55:10	40:44:56	19:16:41	21:28:15
ΙΟΥΛΙΟΣ	272:55:38	130:34:13	142:21:25	90:16:23	52:05:02
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	244:34:32	97:06:17	147:28:15	95:45:25	51:42:50
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	189:23:06	74:43:49	114:39:17	70:32:52	44:06:25
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	182:30:19	98:17:11	84:13:08	45:57:52	38:15:16
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	65:06:24	44:27:05	20:39:19	5:54:04	14:45:15
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	22:16:44	17:40:40	4:36:04	0:00:00	4:36:04
ΣΥΝΟΛΟ	2015:54:33	1095:28:54	920:25:39	383:10:55	537:14:44

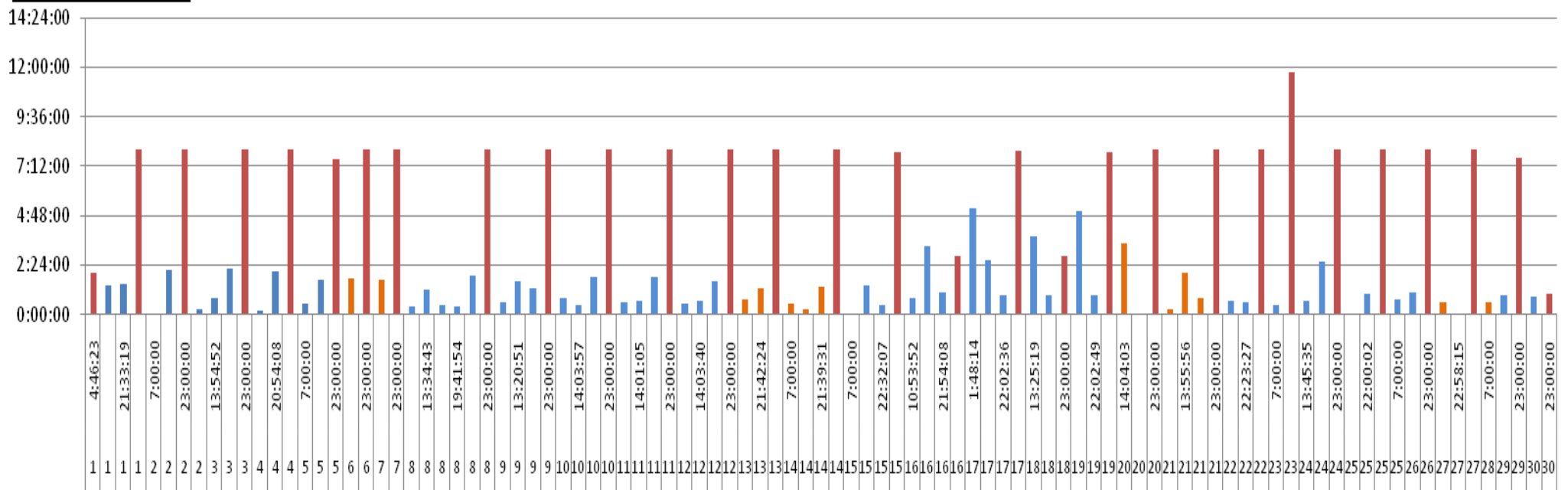


ΑΝΤΑΙΑ 5 – PUMP 5



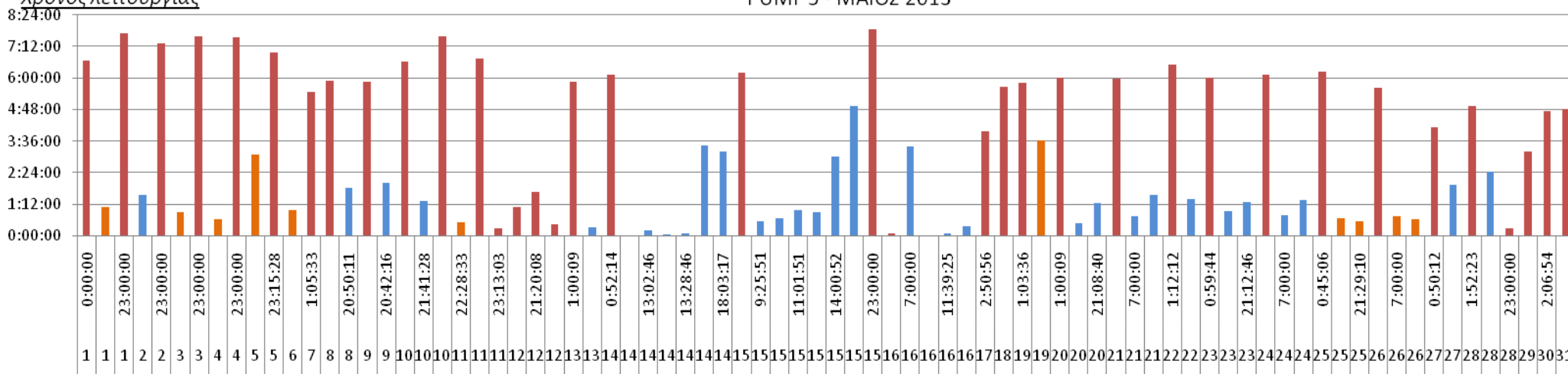
Χρόνος λειτουργίας

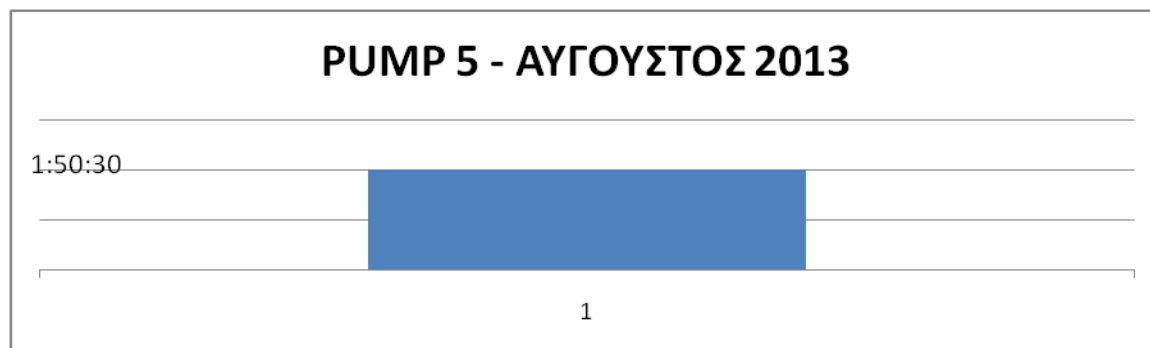
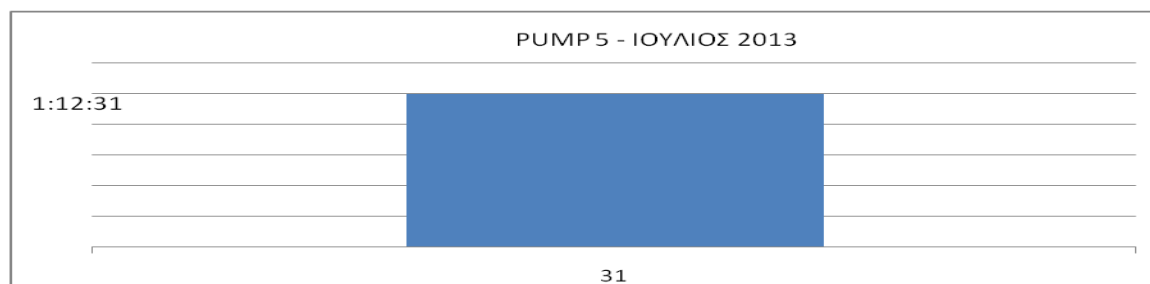
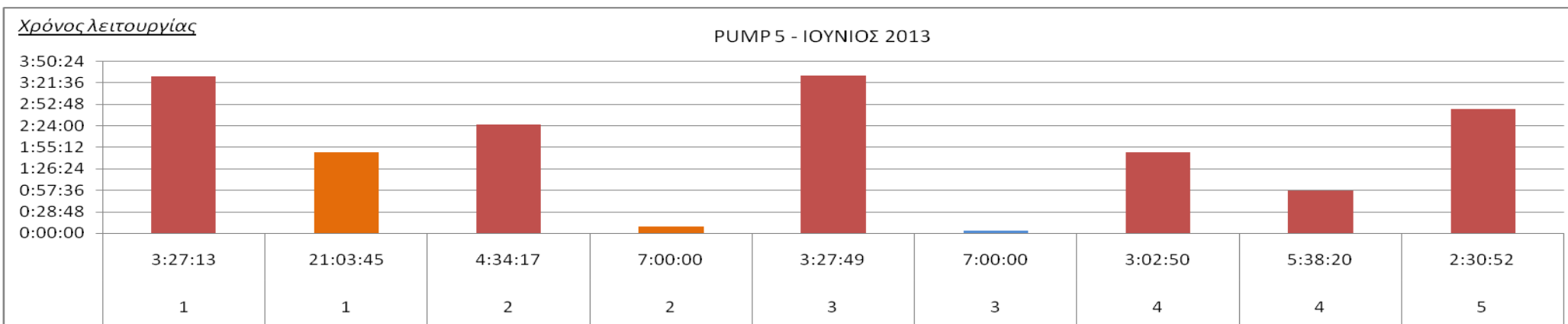
PUMP 5 - ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2013



Χρόνος λειτουργίας

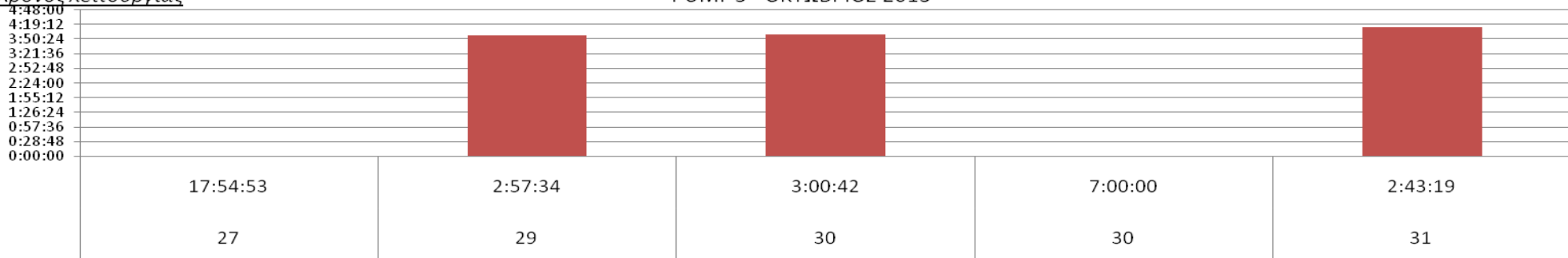
PUMP 5 - ΜΑΪΟΣ 2013





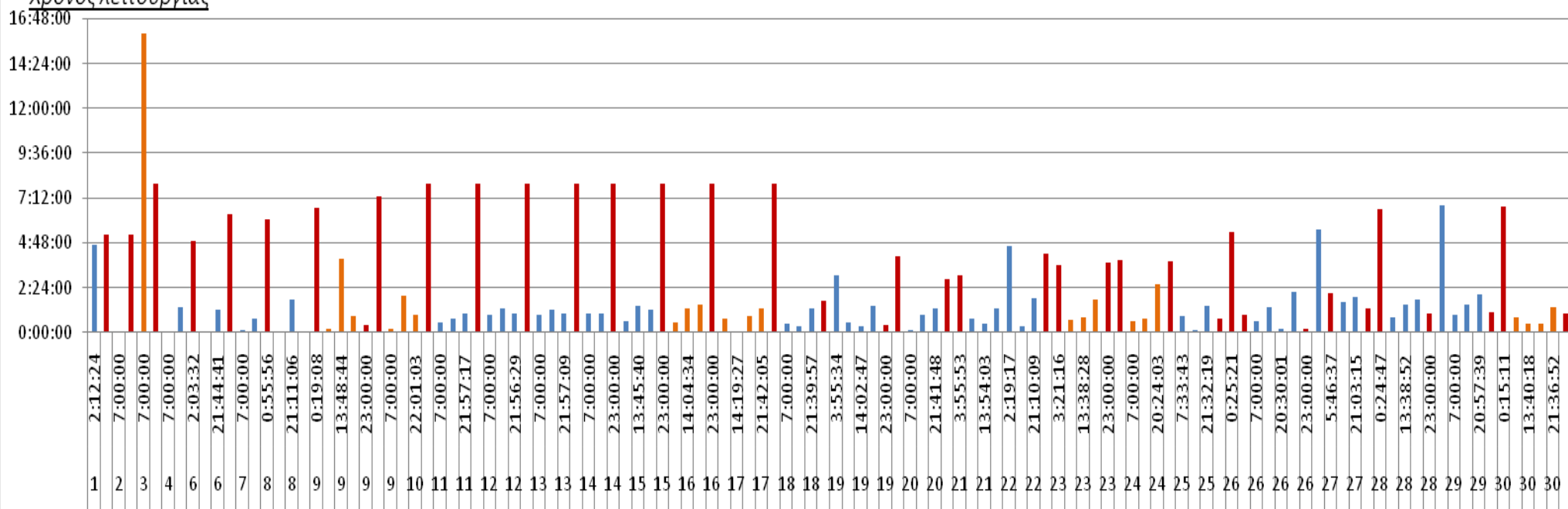
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 5 - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2013



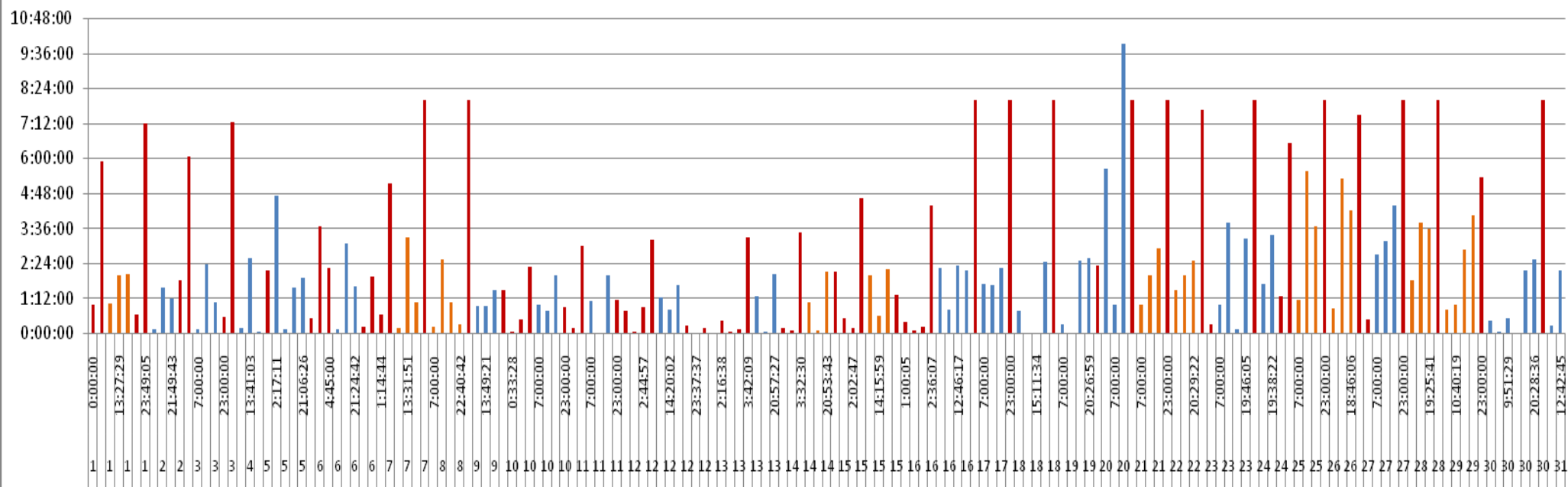
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 5 - ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013

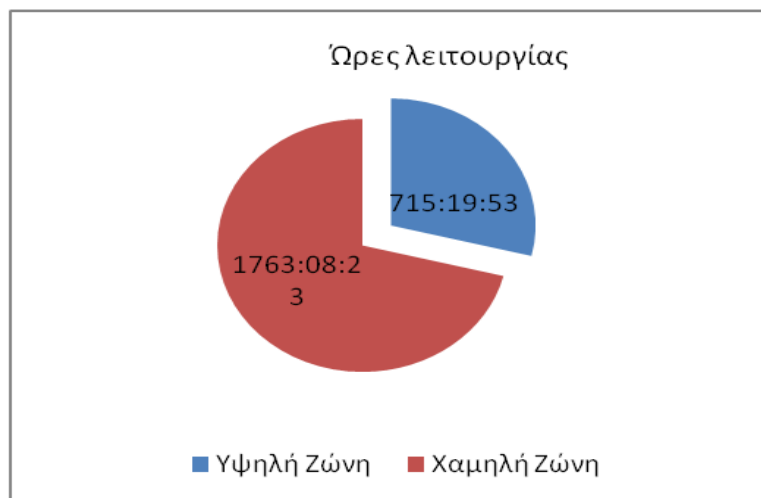
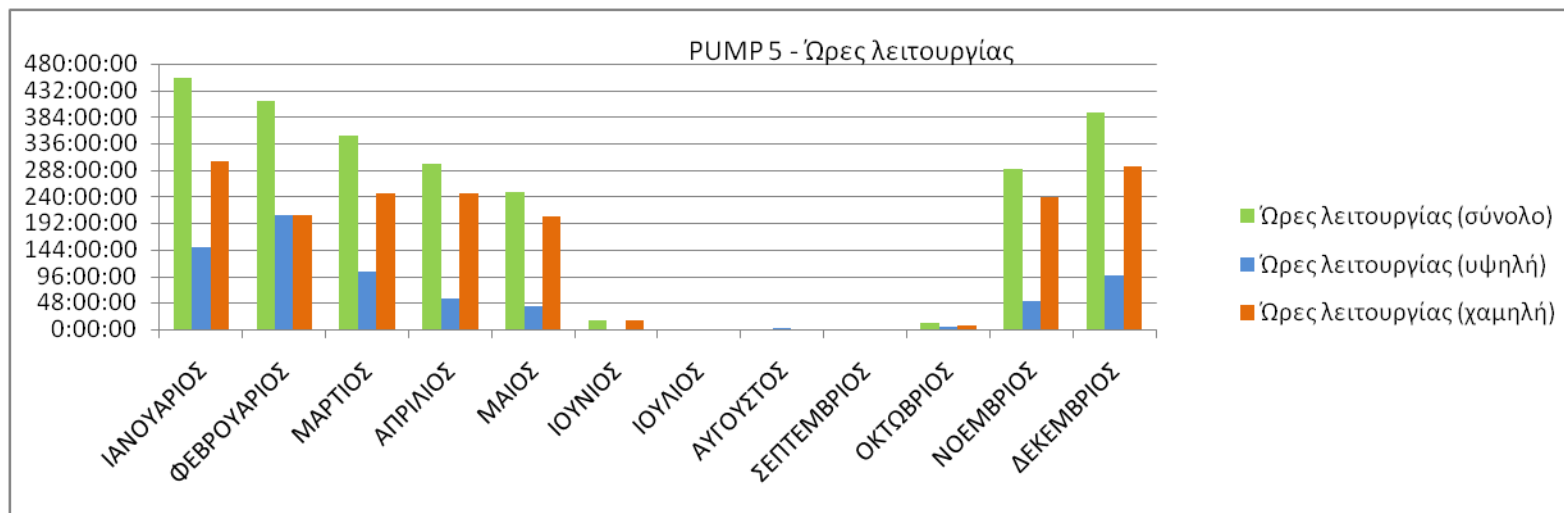


Χρόνος λειτουργίας

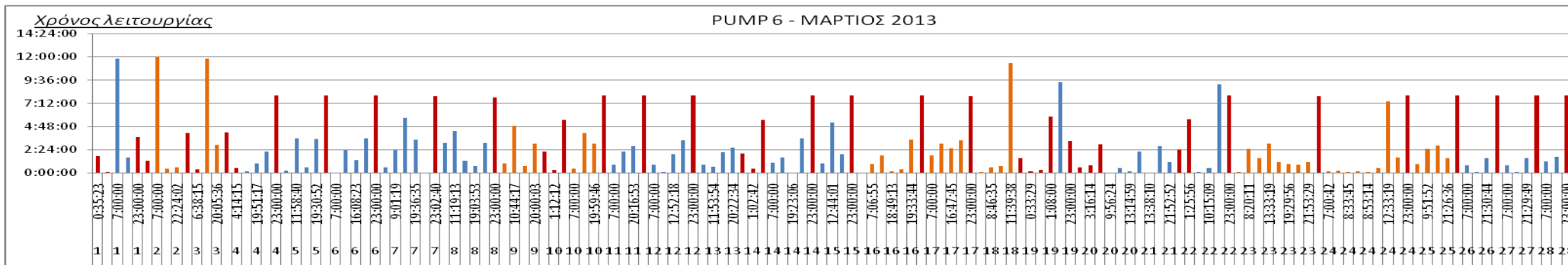
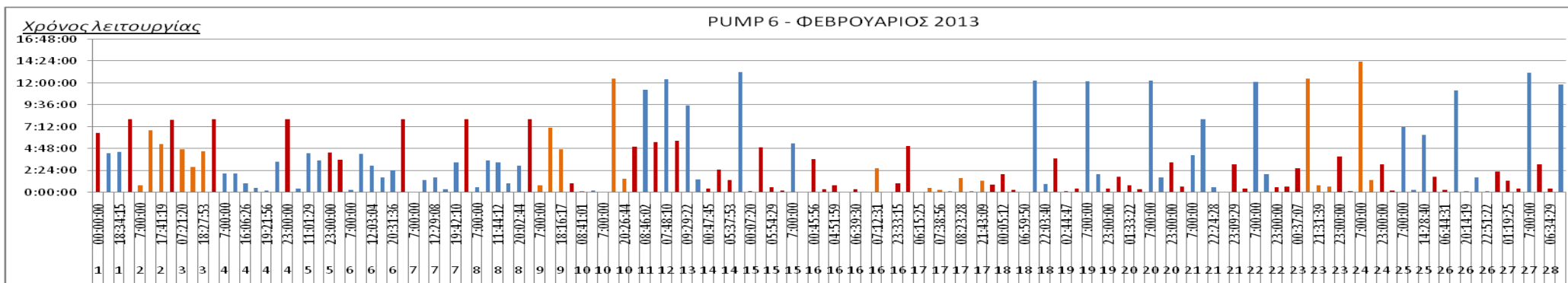
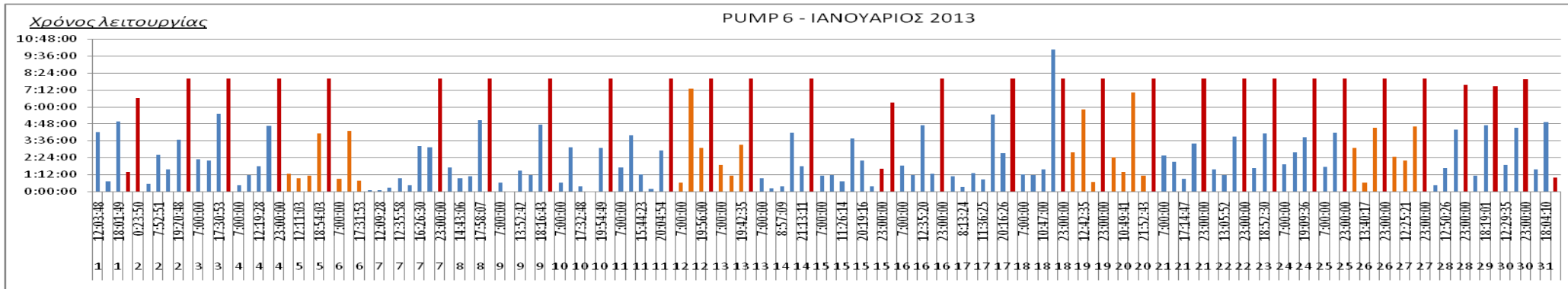
PUMP 5 - ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ



	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΥΨΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ(ΧΑΜΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ-ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ- ΣΚ/ΑΡΓΙΕΣ)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	453:25:40	148:54:48	304:30:52	230:54:10	73:36:42
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	412:48:37	206:41:11	206:07:26	126:34:01	79:33:25
ΜΑΡΤΙΟΣ	350:39:53	104:42:01	245:57:52	190:40:19	55:17:33
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	300:09:02	55:28:46	244:40:16	229:15:09	15:25:07
ΜΑΙΟΣ	248:01:46	42:56:06	205:05:40	190:00:53	15:04:47
ΙΟΥΝΙΟΣ	17:01:32	0:03:19	16:58:13	15:00:55	1:57:18
ΙΟΥΛΙΟΣ	1:12:31	1:12:31	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	1:50:30	1:50:30	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	12:13:03	4:15:14	7:57:49	7:56:49	0:01:00
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	289:10:35	50:42:18	238:28:17	197:40:32	40:47:45
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	391:55:07	98:33:09	293:21:58	221:05:00	72:16:58
ΣΥΝΟΛΟ	2478:28:16	715:19:53	1763:08:23	1409:07:48	354:00:35

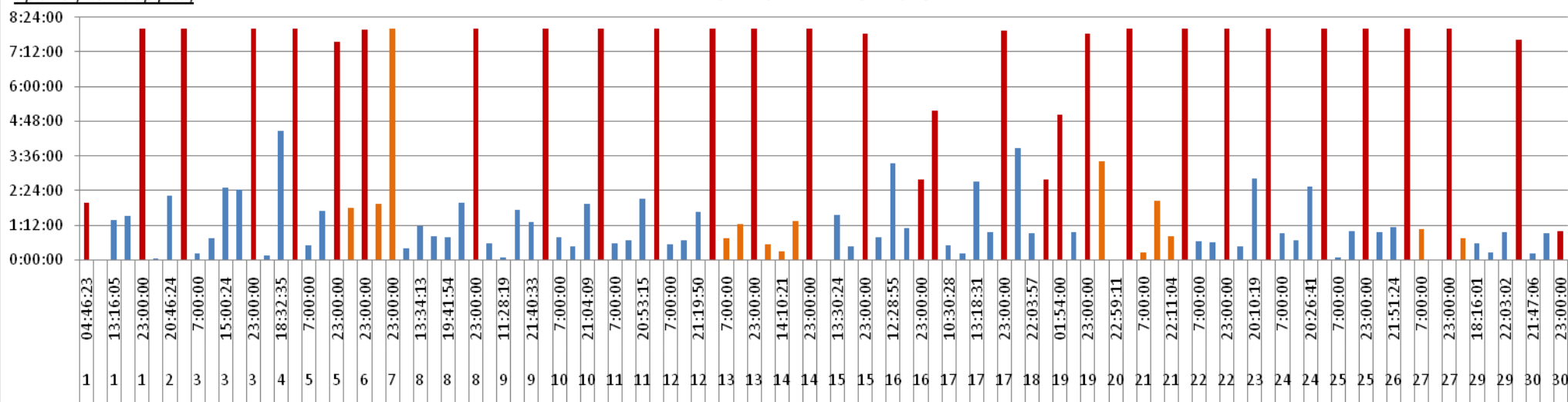


ΑΝΤΑΙΑ 6 – PUMP 6

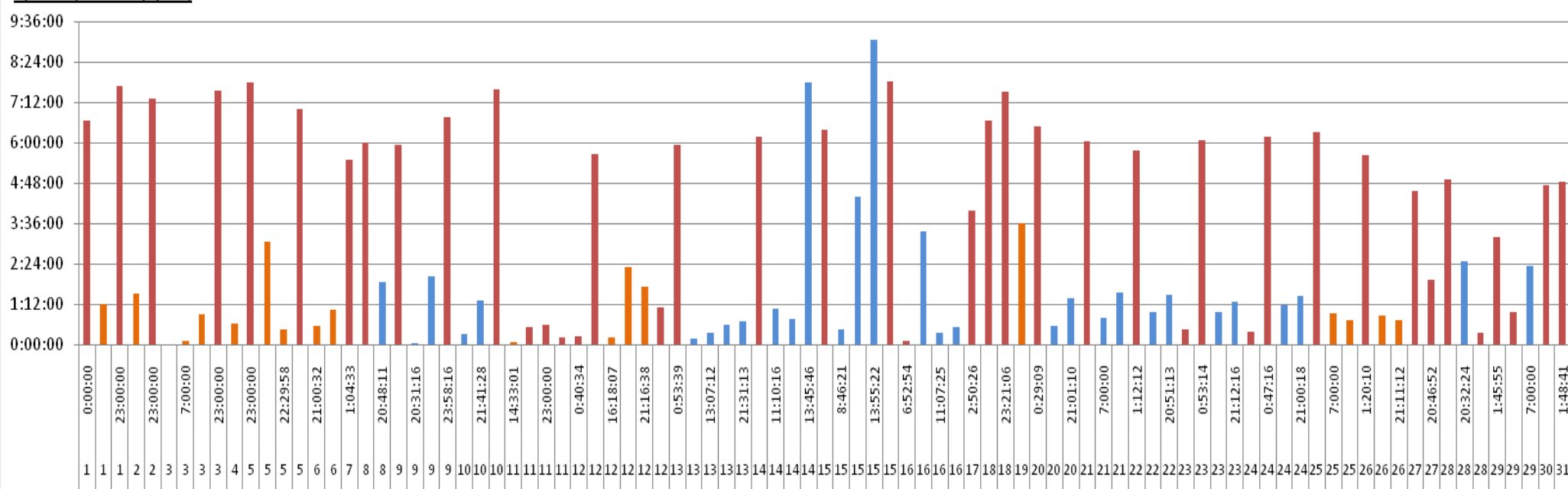


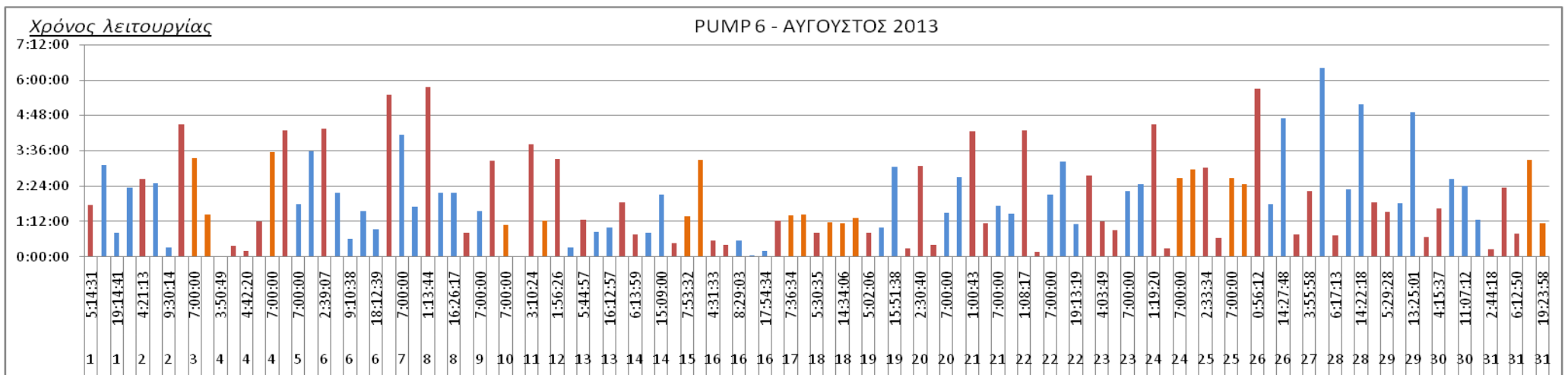
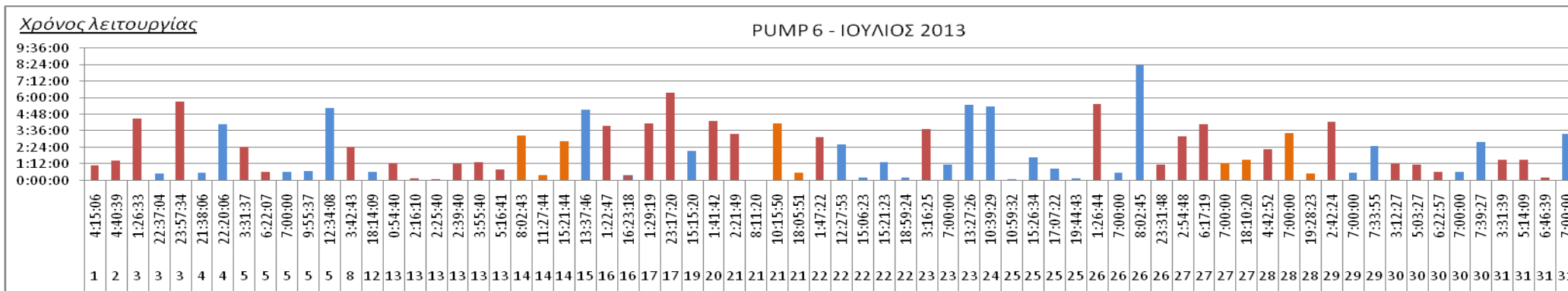
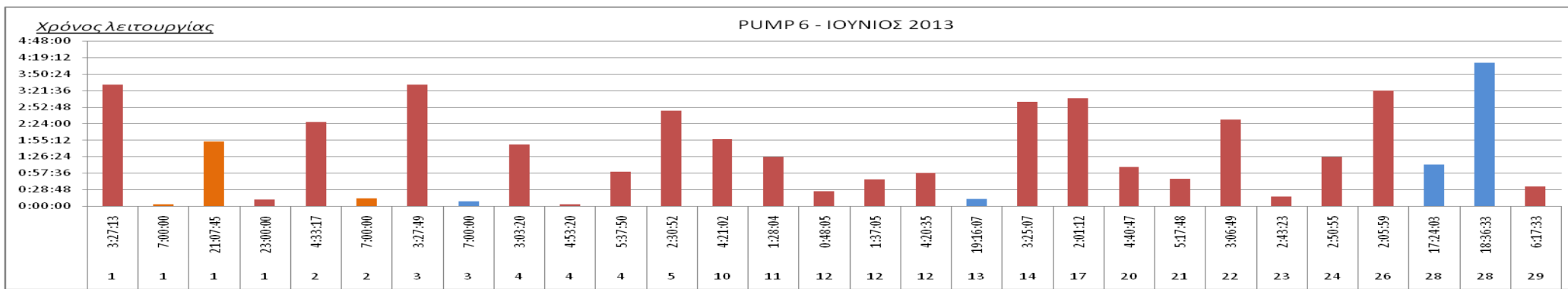
Χρόνος λειτουργίας

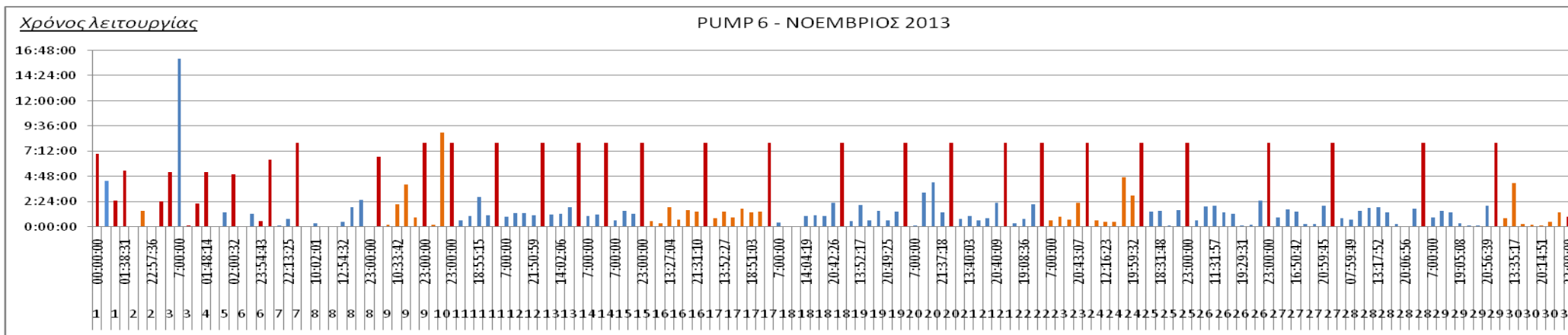
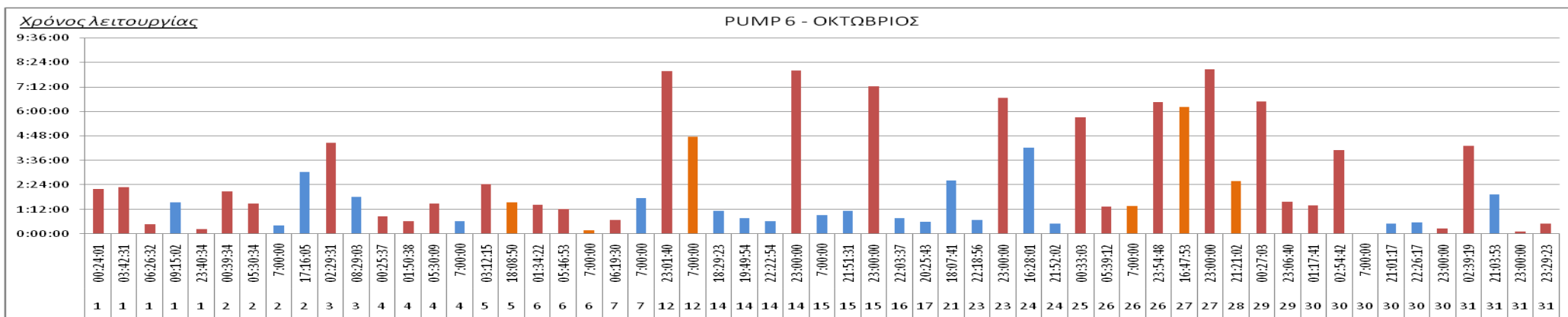
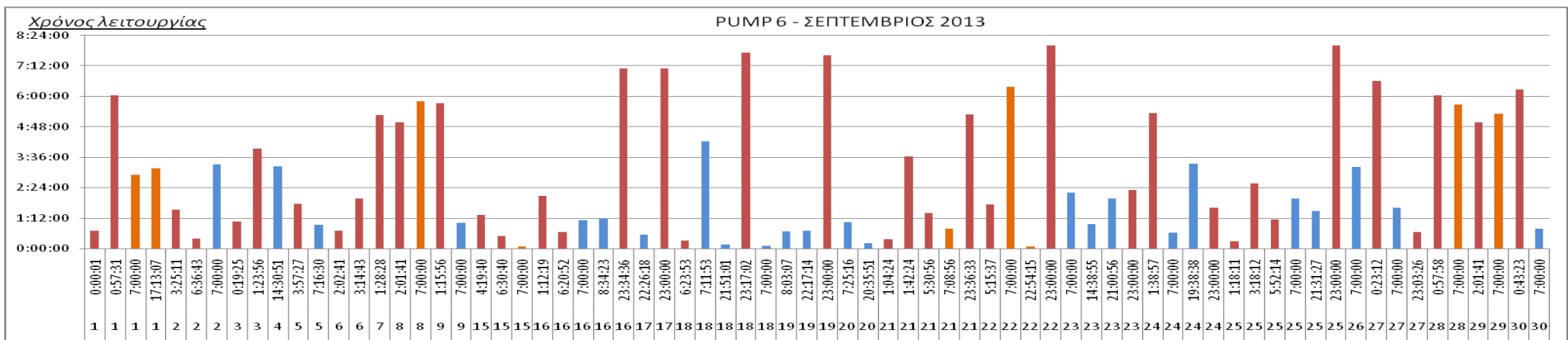
PUMP 6 - ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2013

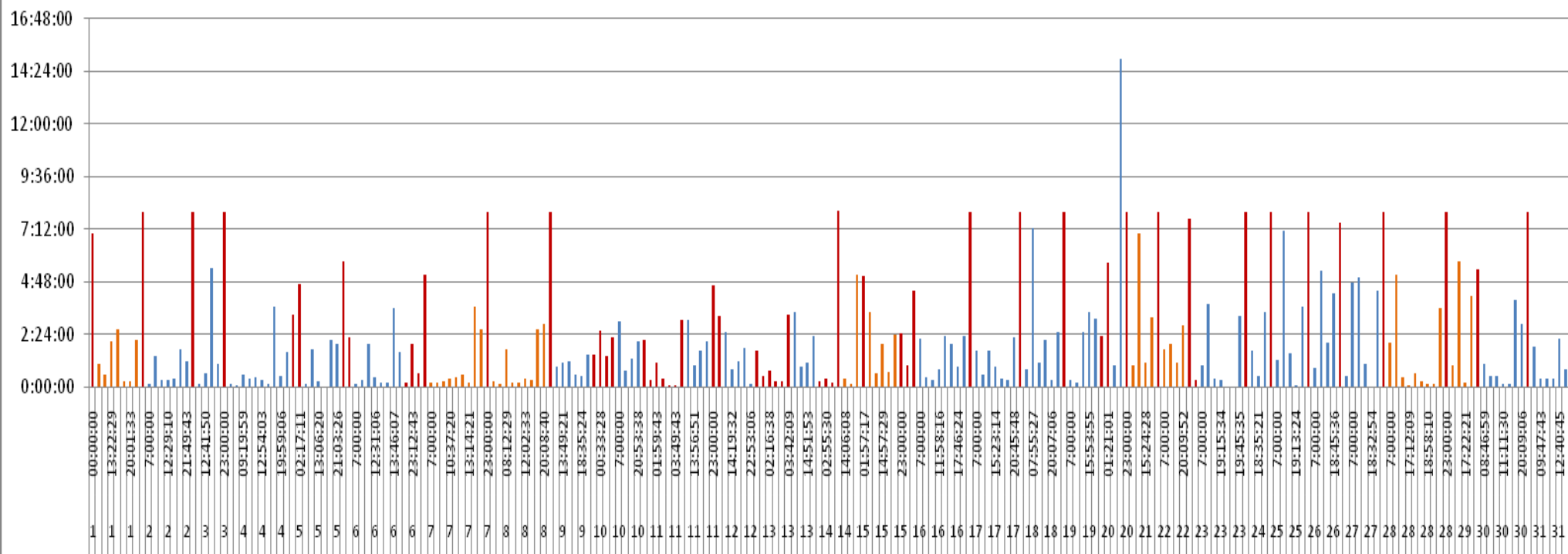
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 6 - ΜΑΪΟΣ

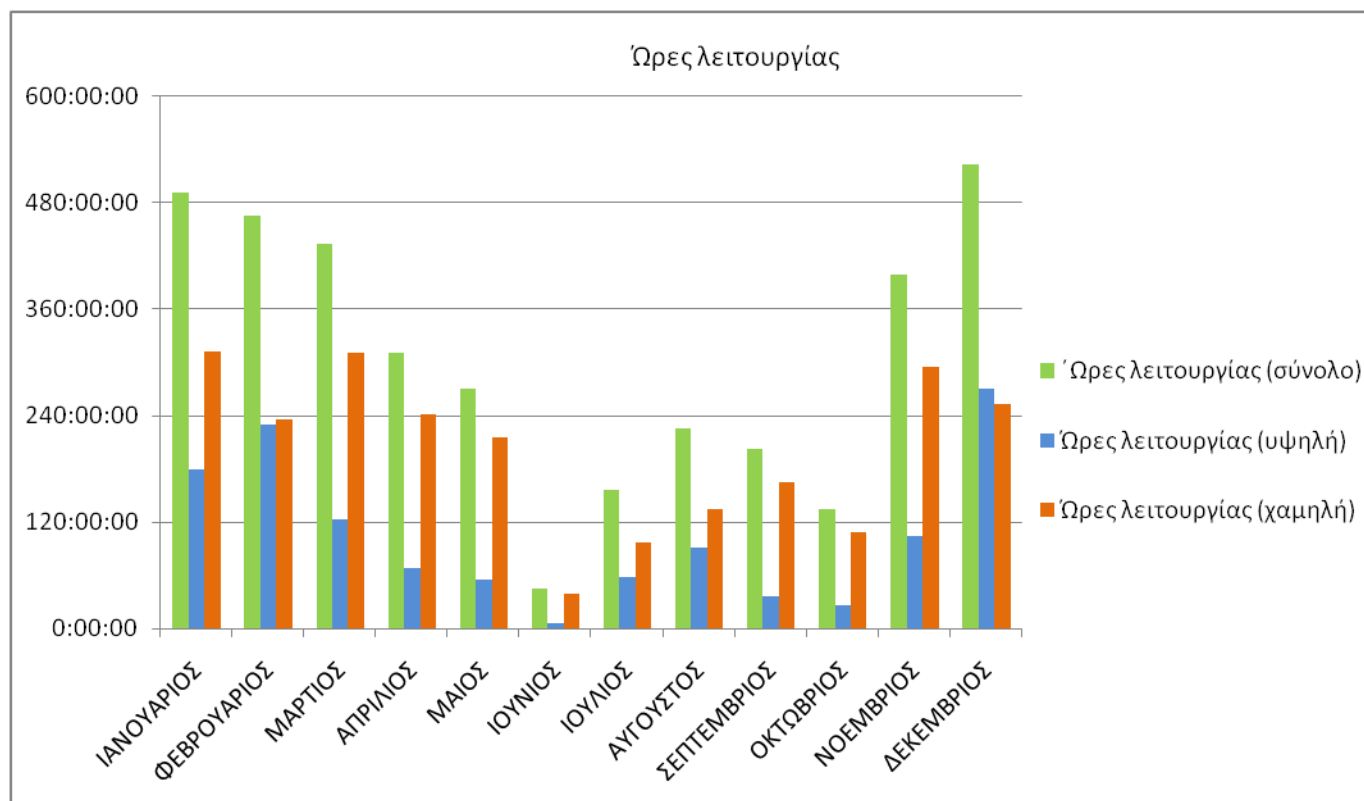


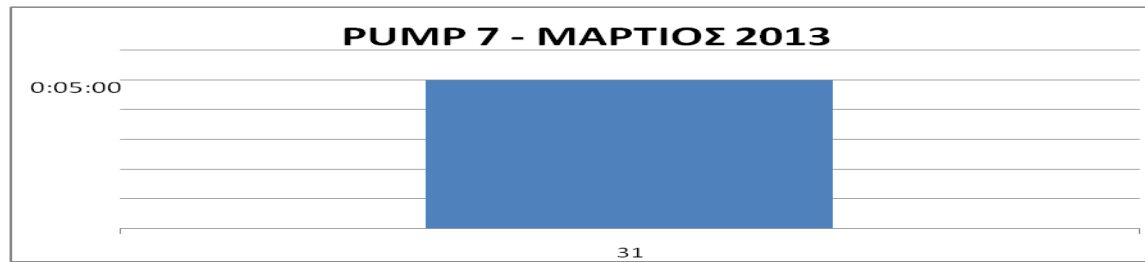






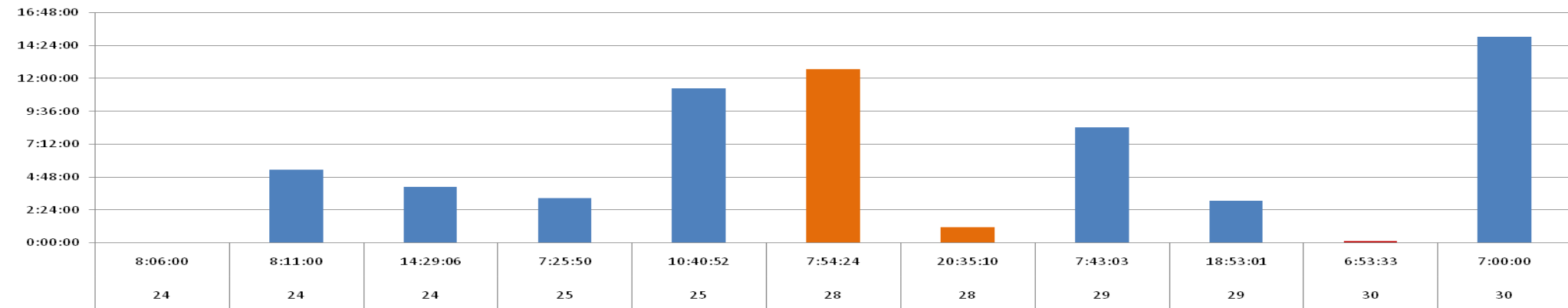
	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΥΨΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ(ΧΑΜΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ-ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ- ΣΚ/ΑΡΓΙΕΣ)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	492:09:14	179:32:47	312:36:27	231:54:10	80:42:17
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	465:48:49	229:33:47	236:15:02	148:14:03	88:00:59
ΜΑΡΤΙΟΣ	434:10:10	122:49:27	311:20:43	207:04:33	104:16:10
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	310:23:31	68:28:14	241:55:17	225:32:58	16:22:19
ΜΑΙΟΣ	270:36:18	55:01:56	215:34:22	195:57:48	19:36:34
ΙΟΥΝΙΟΣ	45:03:33	5:43:19	39:20:14	38:52:57	0:27:17
ΙΟΥΛΙΟΣ	155:30:56	58:01:02	97:29:54	79:31:11	17:58:43
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	225:04:27	90:44:37	134:19:50	97:27:59	36:51:51
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	201:45:25	36:49:15	164:56:10	134:43:50	30:12:20
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	135:01:15	26:13:55	108:47:20	94:43:21	14:03:59
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	399:34:22	103:59:40	295:34:42	225:42:08	69:52:34
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	523:10:17	269:51:39	253:18:38	152:45:29	100:33:09
ΣΥΝΟΛΟ	3658:18:17	1246:49:38	2411:28:39	1832:30:27	578:58:12





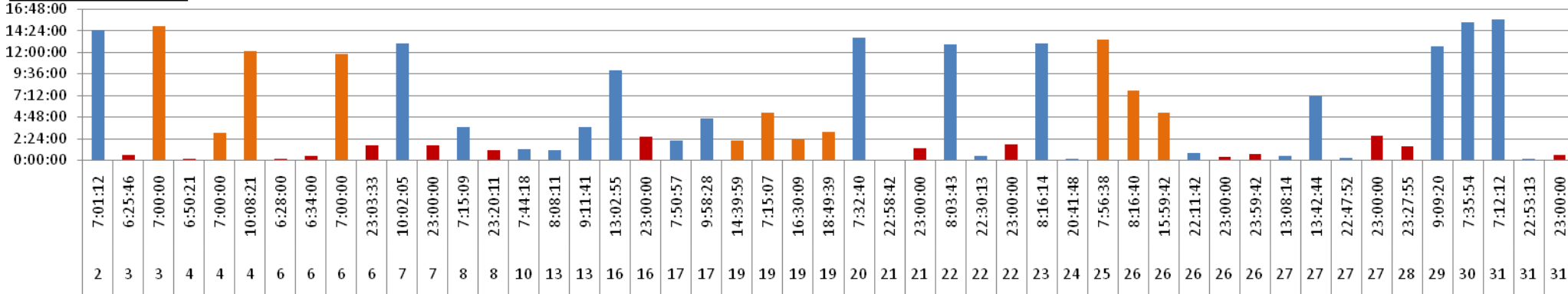
Χρόνος λειτουργίας

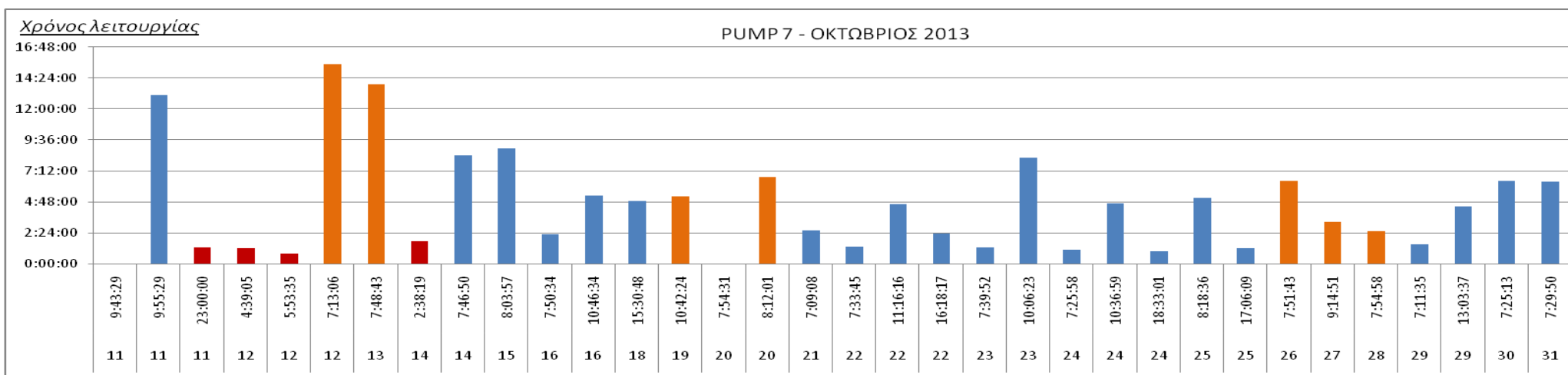
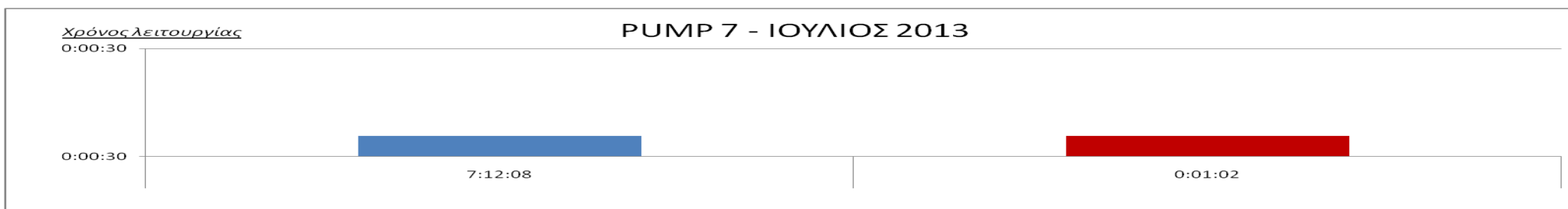
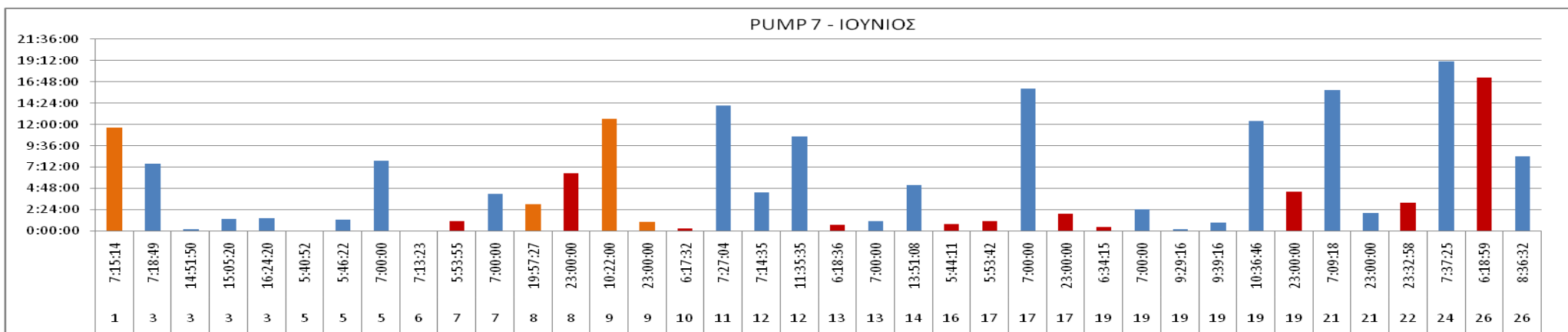
PUMP 7 - ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2013



Χρόνος λειτουργίας

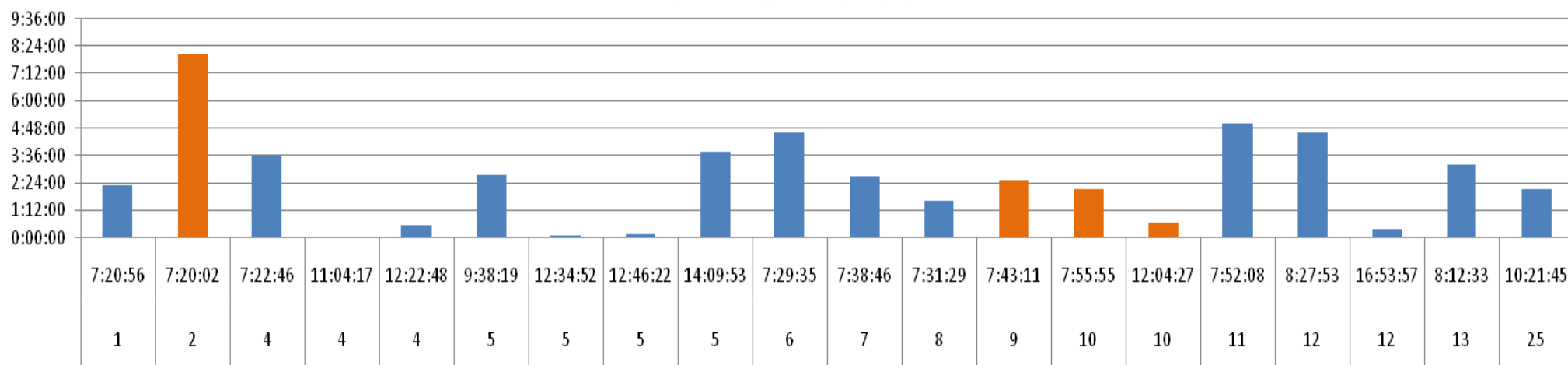
PUMP 7 - ΜΑΪΟΣ 2013



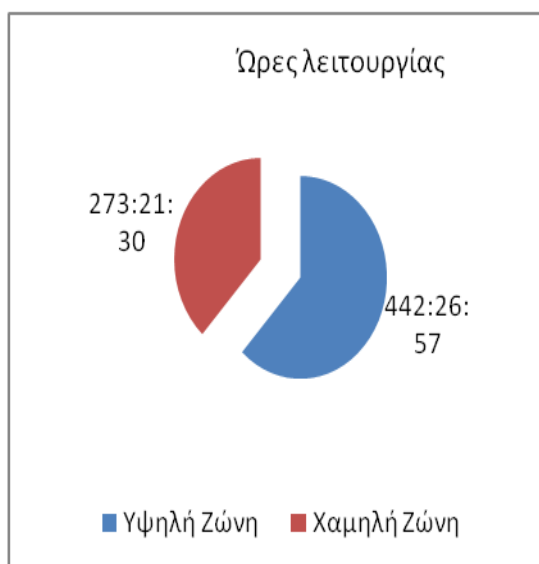
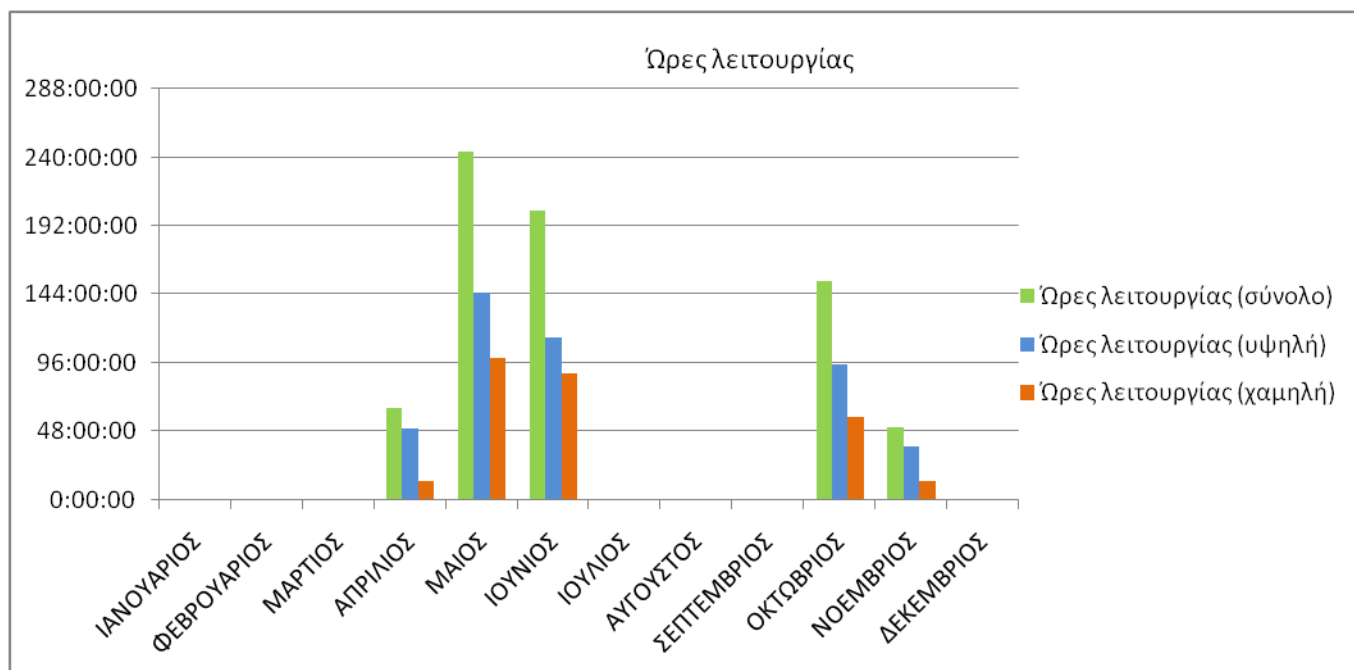


Χρόνος λειτουργίας

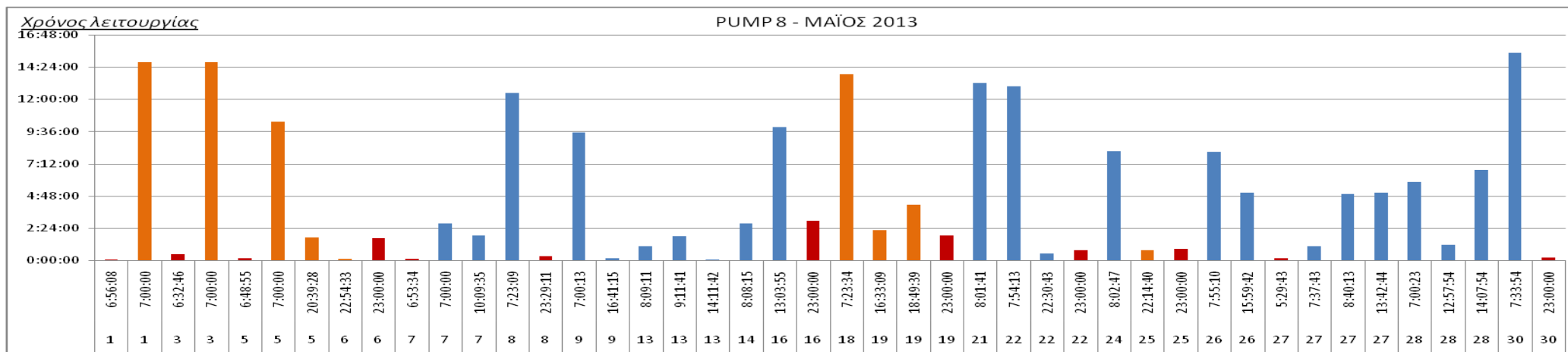
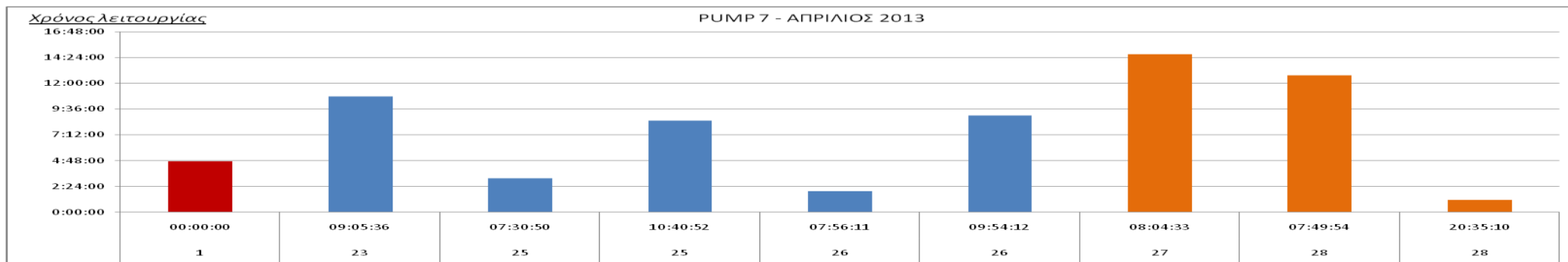
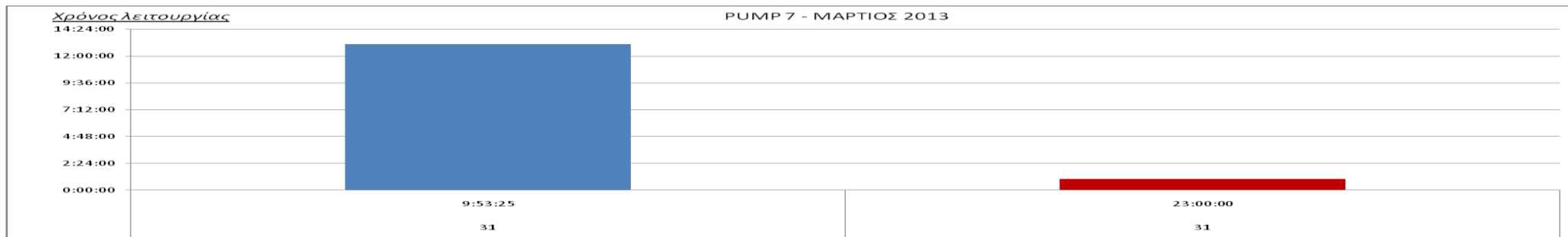
PUMP 7 - ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013

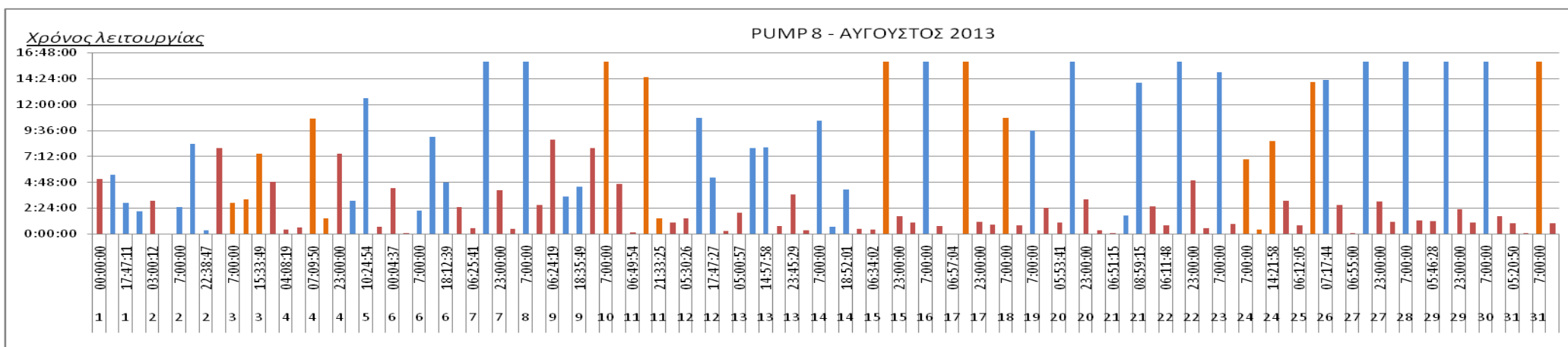
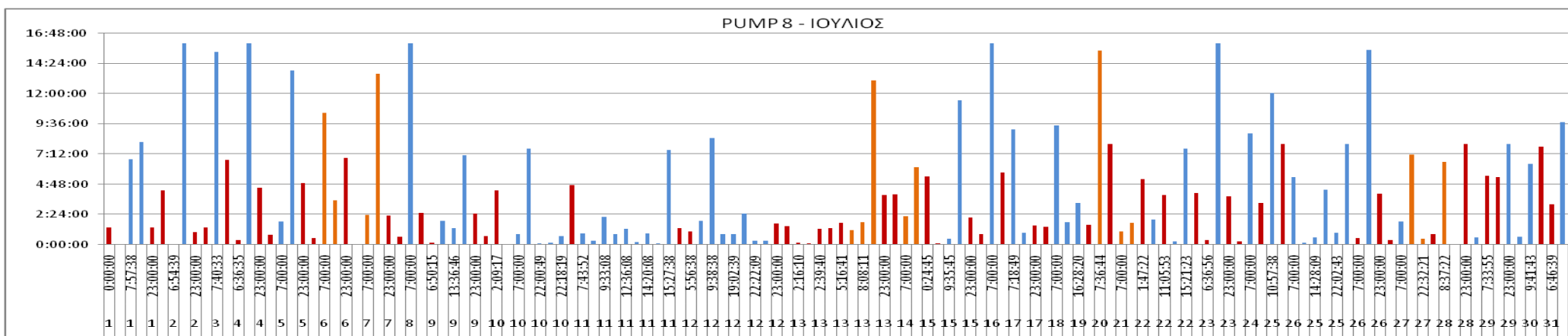
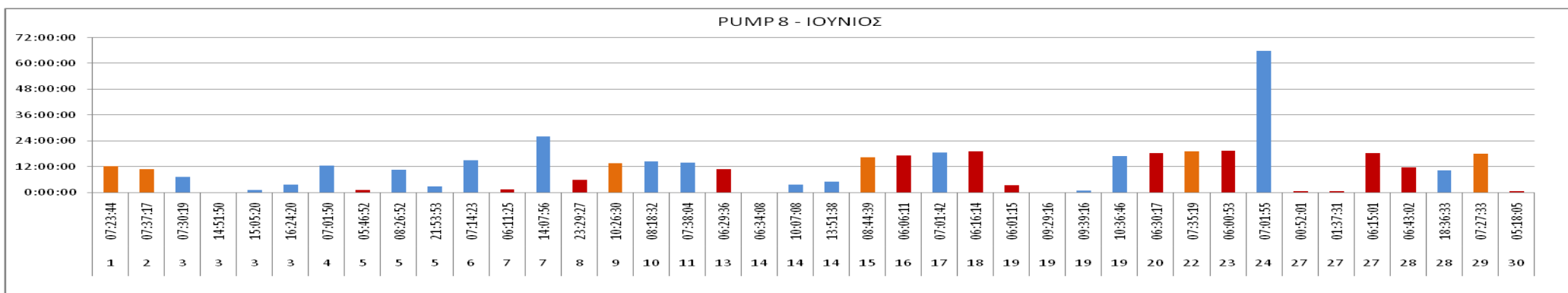


	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΥΨΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ(ΧΑΜΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ-ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ- ΣΚ/ΑΡΓΙΕΣ)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΜΑΡΤΙΟΣ	0:05:01	0:00:00	0:05:01	0:00:00	0:05:01
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	64:17:08	50:23:24	13:53:44	0:06:27	13:47:17
ΜΑΙΟΣ	244:18:55	145:10:06	99:08:49	17:07:42	82:01:07
ΙΟΥΝΙΟΣ	202:33:42	114:10:11	88:23:31	61:03:27	27:20:04
ΙΟΥΛΙΟΣ	0:01:00	0:00:30	0:00:30	0:00:30	0:00:00
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	153:46:45	95:18:24	58:28:21	4:58:33	53:29:48
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	50:45:56	37:24:22	13:21:34	0:00:00	13:21:34
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΣΥΝΟΛΟ	715:48:27	442:26:57	273:21:30	83:16:39	190:04:51



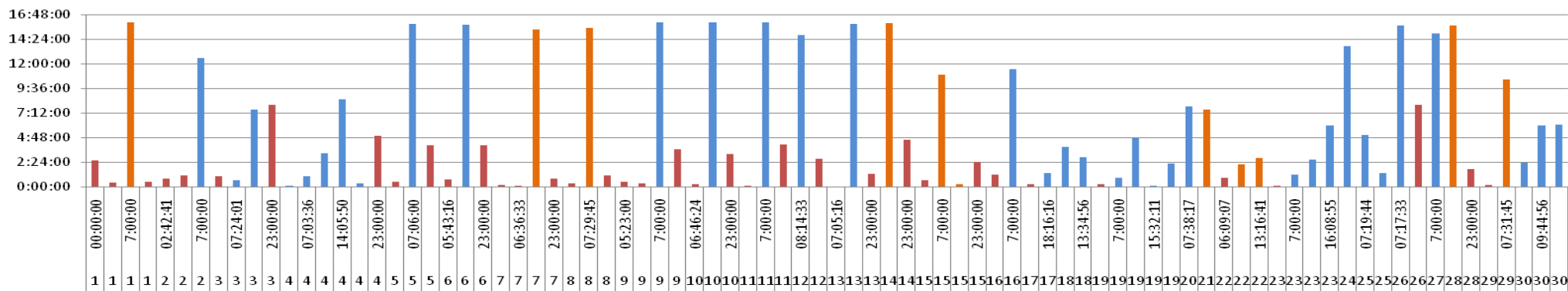
ΑΝΤΛΙΑ 8 – PUMP 8





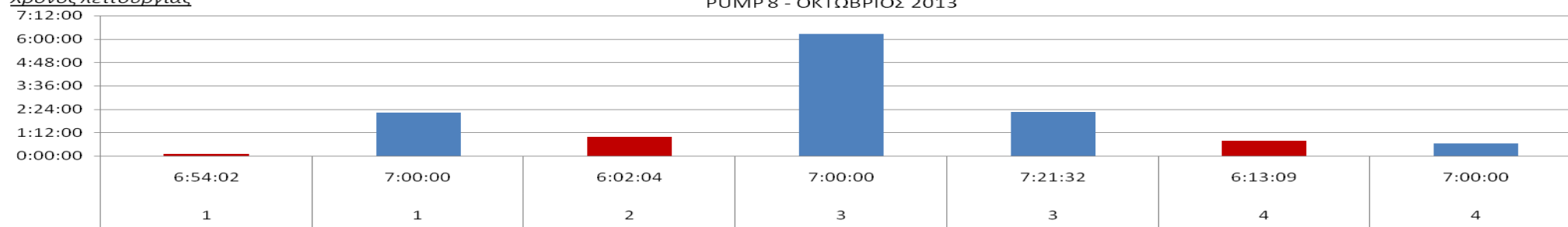
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 7 - ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013

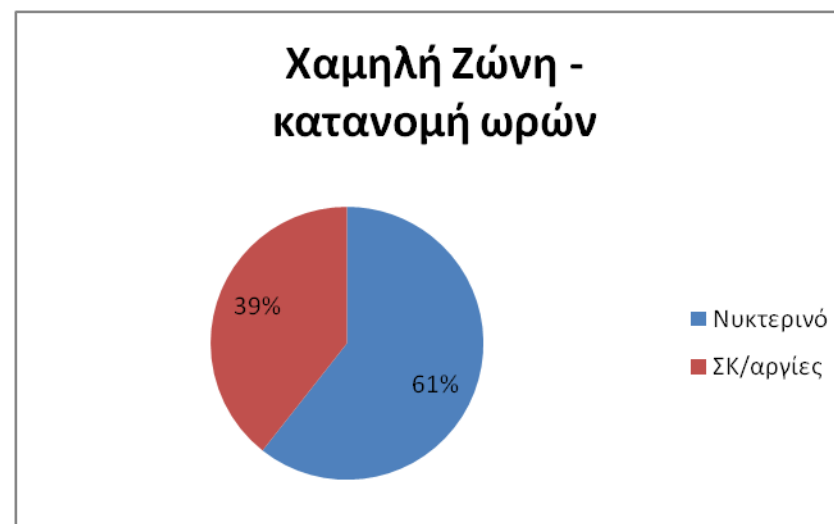
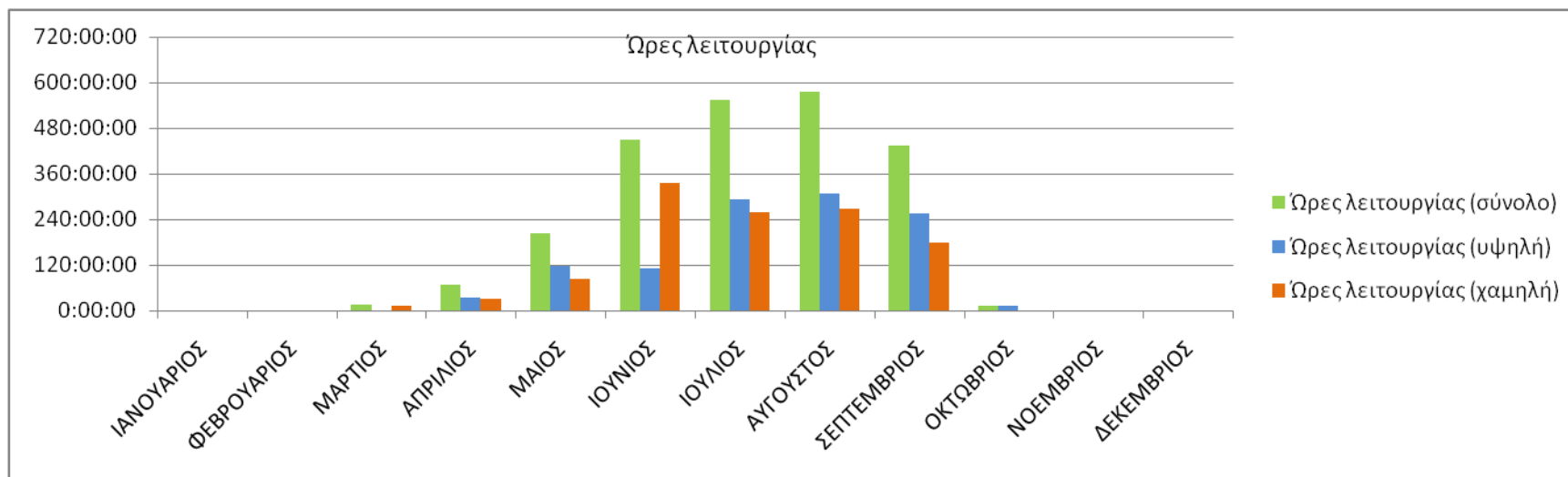


Χρόνος λειτουργίας

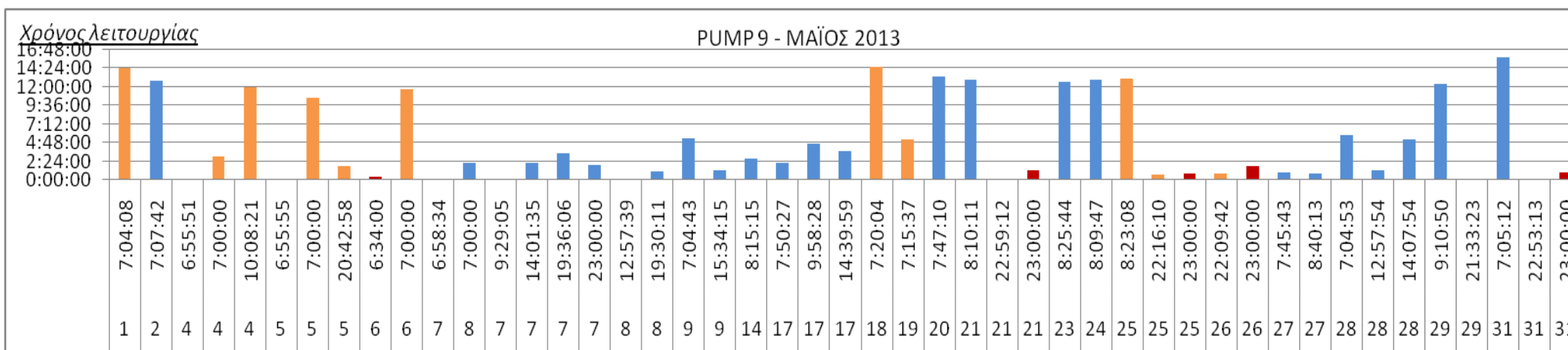
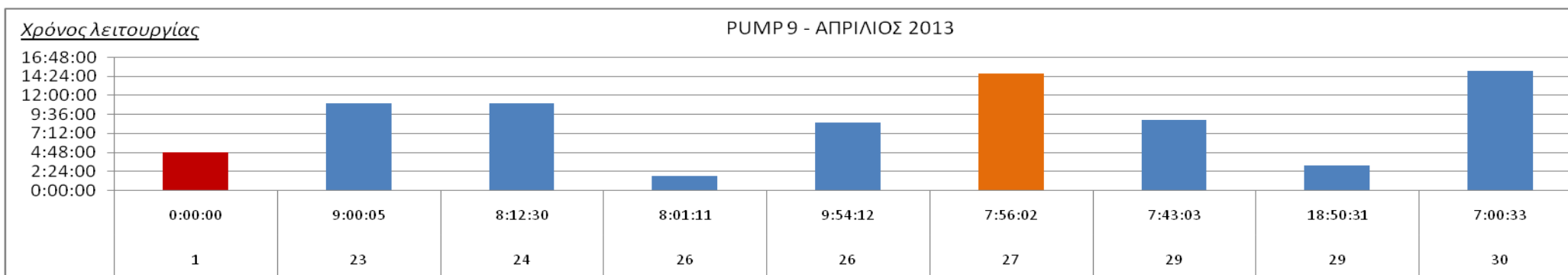
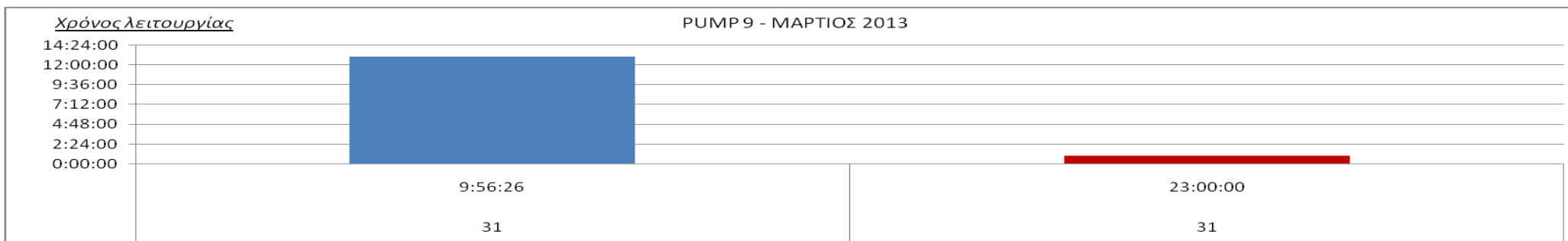
PUMP 8 - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2013



	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΥΨΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ-ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ- ΣΚ/ΑΡΓΙΕΣ)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΜΑΡΤΙΟΣ	14:06:35	0:00:00	14:06:35	1:00:00	13:06:35
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	66:41:27	33:23:35	33:17:52	4:44:23	28:33:29
ΜΑΙΟΣ	202:34:47	117:13:19	85:21:28	9:31:50	75:49:38
ΙΟΥΝΙΟΣ	449:40:09	112:00:09	337:40:00	337:40:00	0:00:00
ΙΟΥΛΙΟΣ	553:12:41	292:07:36	261:05:05	172:37:06	88:27:59
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	575:04:14	306:59:54	268:04:20	121:34:24	146:29:56
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	434:10:15	254:23:34	179:46:41	67:09:42	112:36:59
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	13:12:02	11:21:17	1:50:45	1:50:45	0:00:00
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΣΥΝΟΛΟ	2308:42:10	1127:29:24	1181:12:46	716:08:10	465:04:36

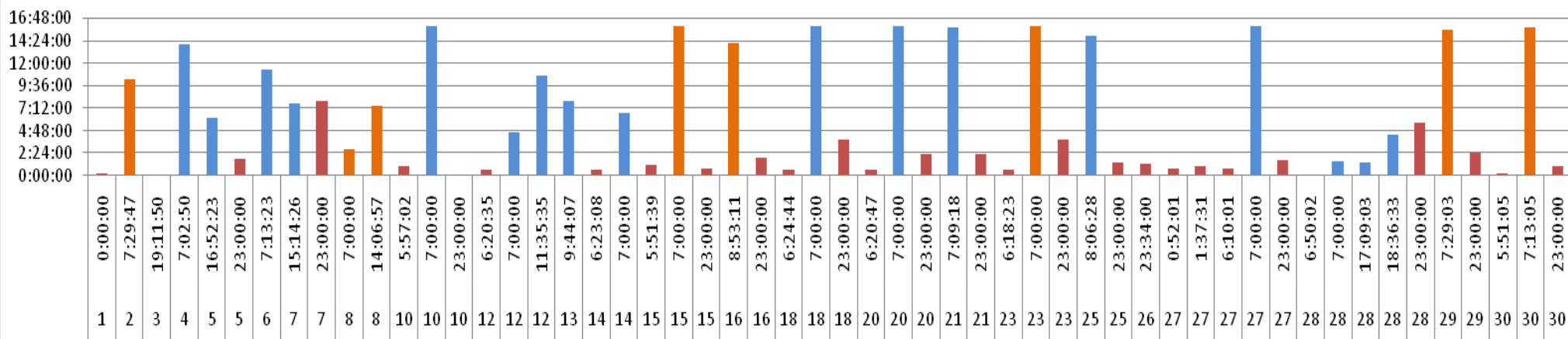


ΑΝΤΛΙΑ 9 – PUMP 9



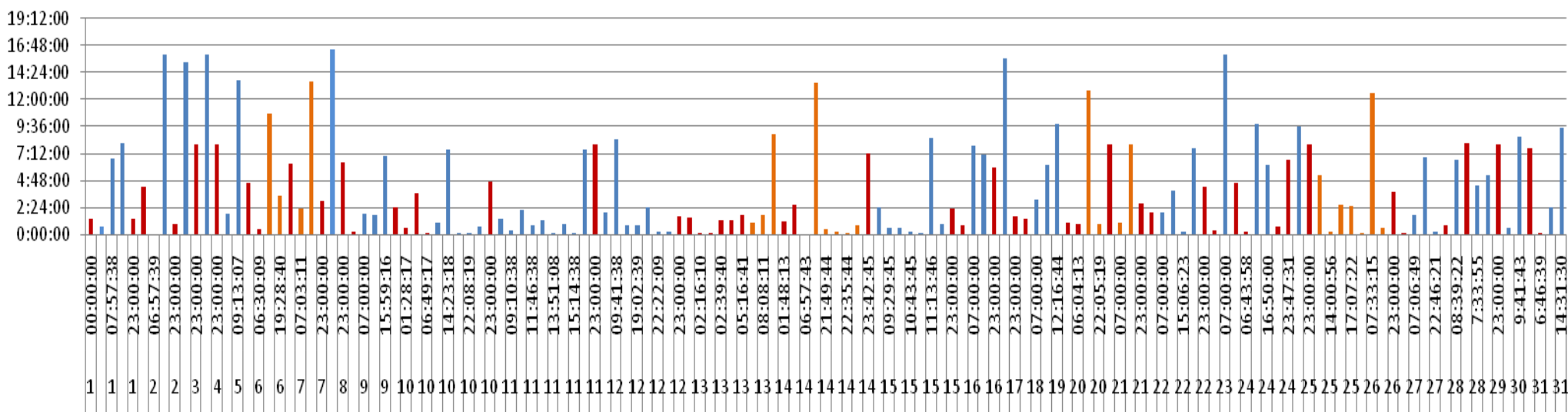
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 9 - ΙΟΥΝΙΟΣ 2013



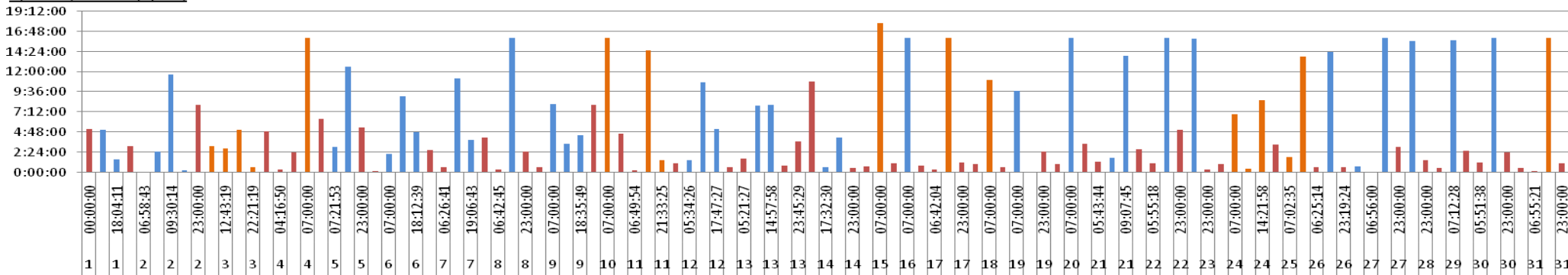
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 9 - ΙΟΥΛΙΟΣ



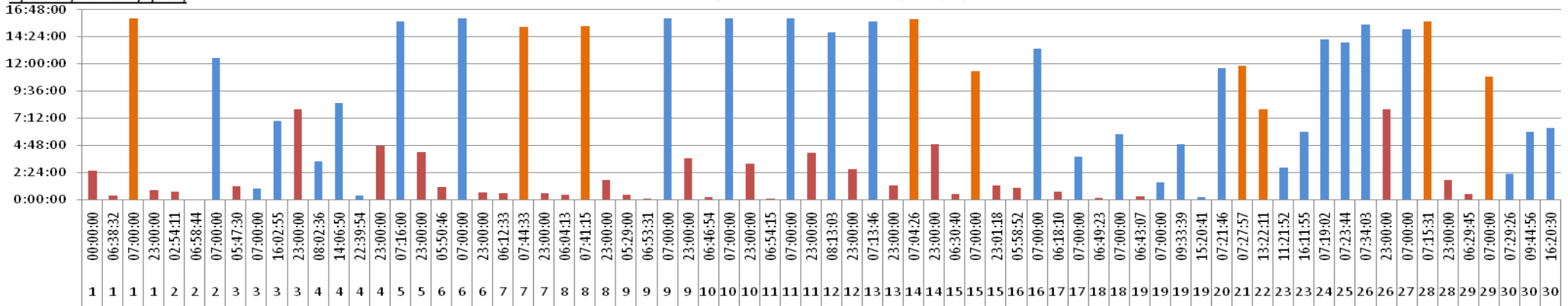
Χρόνος λειτουργίας

PUMP 9 - ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2013

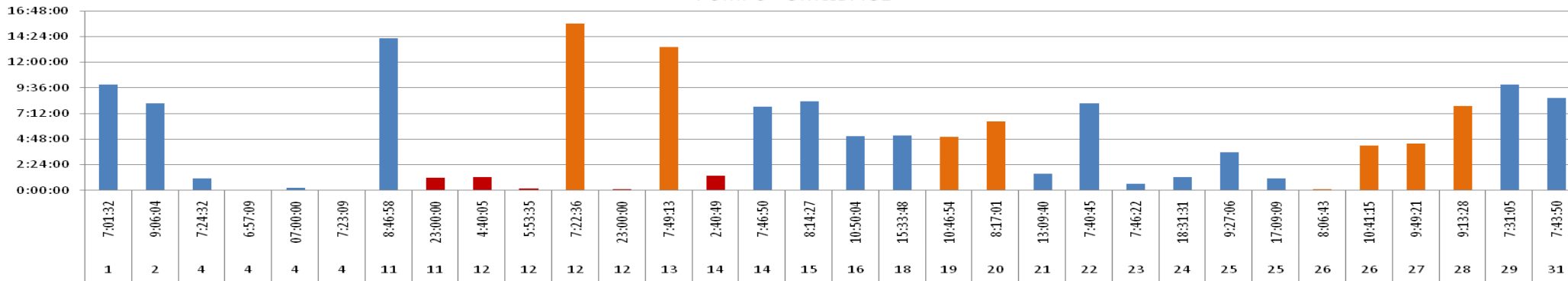


Χρόνος λειτουργίας

PUMP 9 - ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013

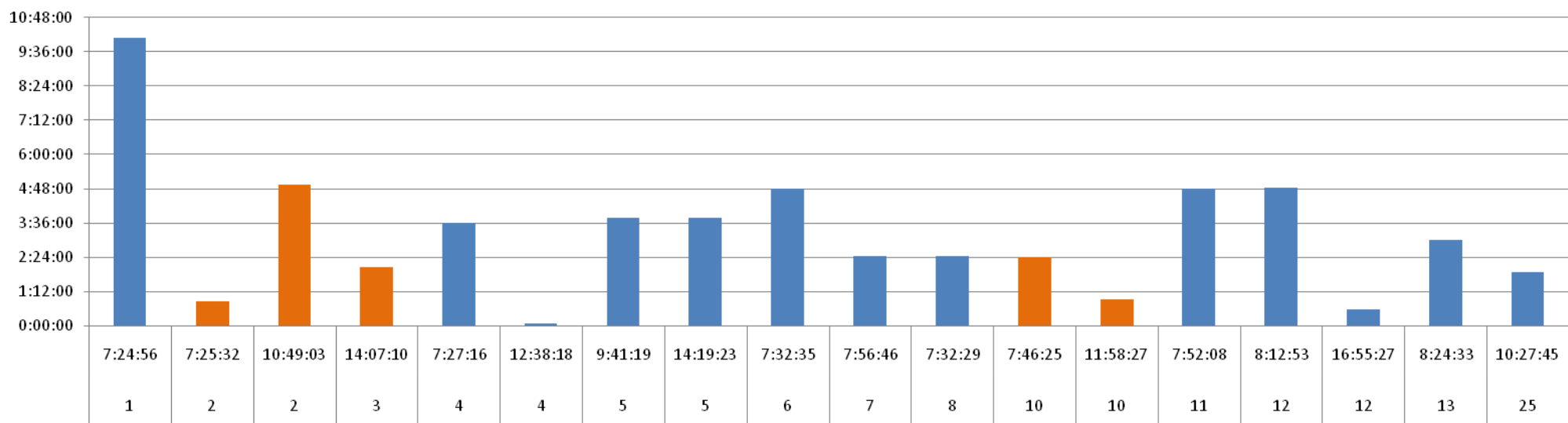


PUMP 9 - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ

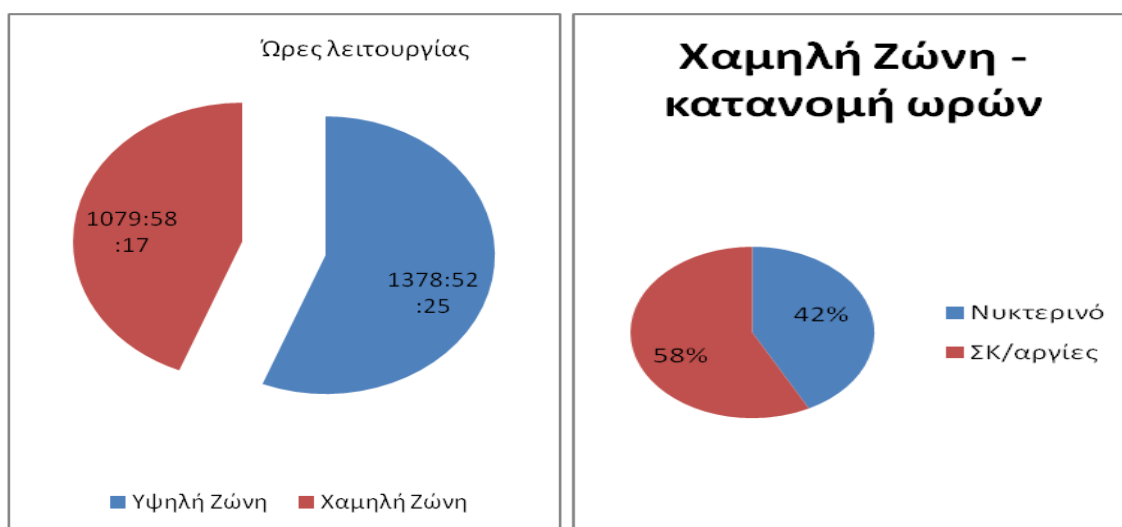
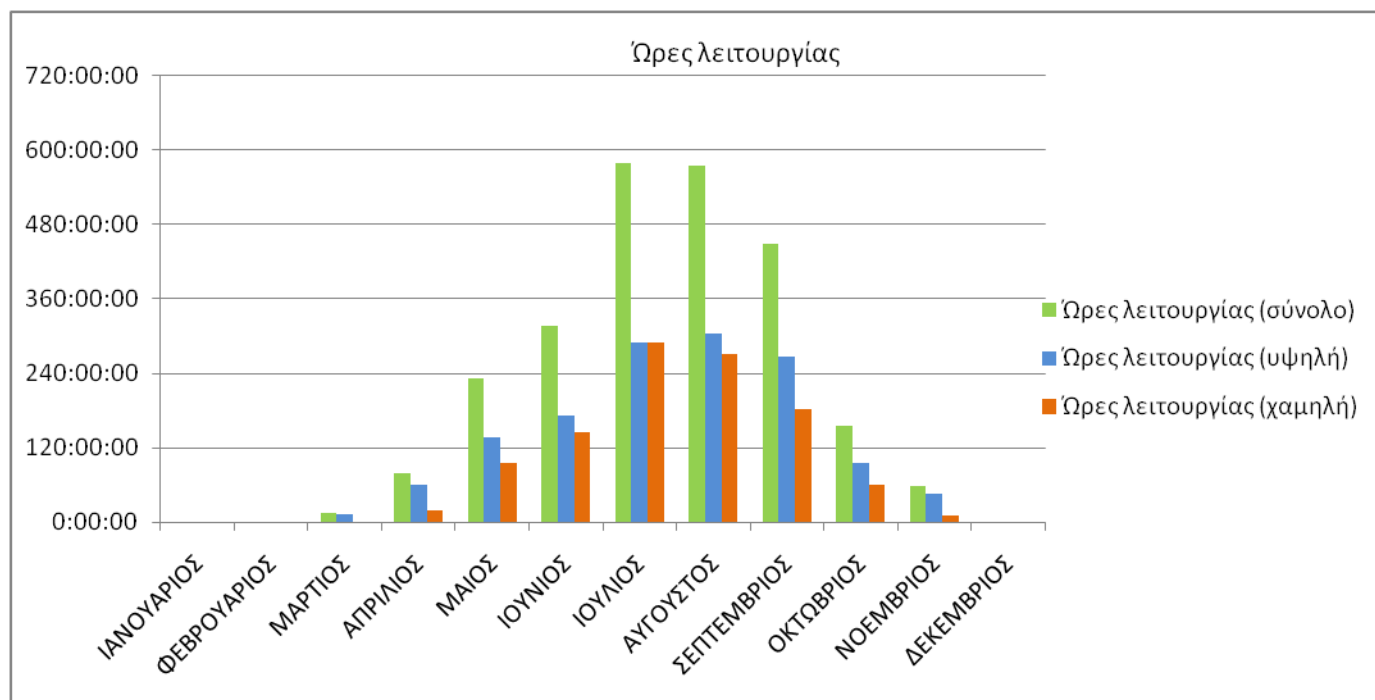


Χρόνος λειτουργίας

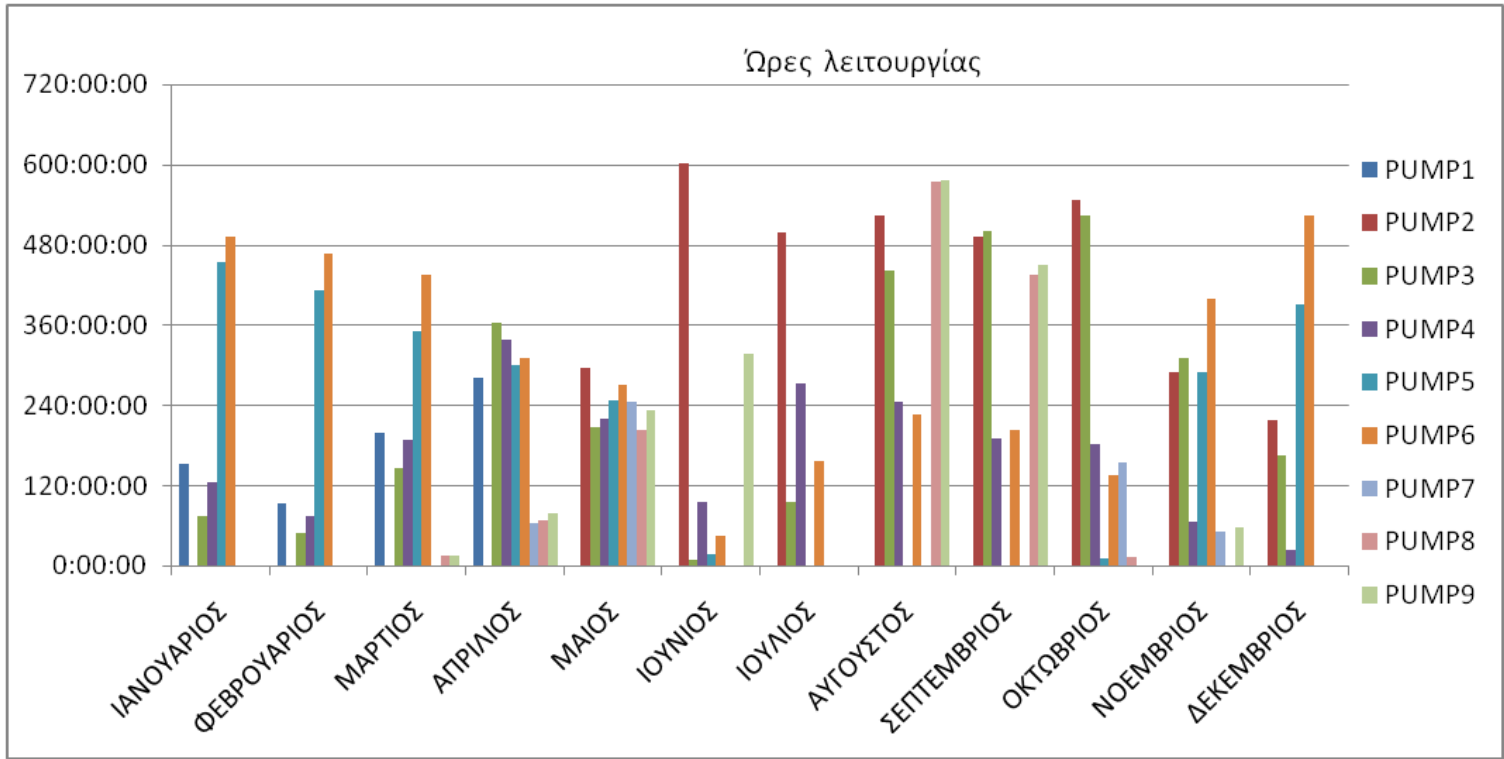
PUMP 9 - ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013



	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΥΨΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ(ΧΑΜΗΛΗ ΖΩΝΗ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ-ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΧΑΜΗΛΗ- ΣΚ/ΑΡΓΙΕΣ)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
ΜΑΡΤΙΟΣ	14:03:34	13:03:34	01:00:00	01:00:00	00:00:00
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	79:06:43	59:32:07	19:34:36	4:47:23	14:47:13
ΜΑΙΟΣ	231:29:17	135:48:18	95:40:59	7:28:22	88:12:37
ΙΟΥΝΙΟΣ	316:39:53	171:26:40	145:13:13	47:15:35	97:57:38
ΙΟΥΛΙΟΣ	579:41:21	288:44:08	290:57:13	191:47:18	99:09:55
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	576:11:42	303:36:27	272:35:15	138:14:34	134:20:41
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	448:48:29	266:04:44	182:43:45	62:29:48	120:13:57
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	155:37:15	94:35:03	61:02:12	4:02:34	56:59:38
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	57:12:28	46:01:24	11:11:04	0:00:00	11:11:04
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
ΣΥΝΟΛΟ	2458:50:42	1378:52:25	1079:58:17	457:05:34	622:52:43



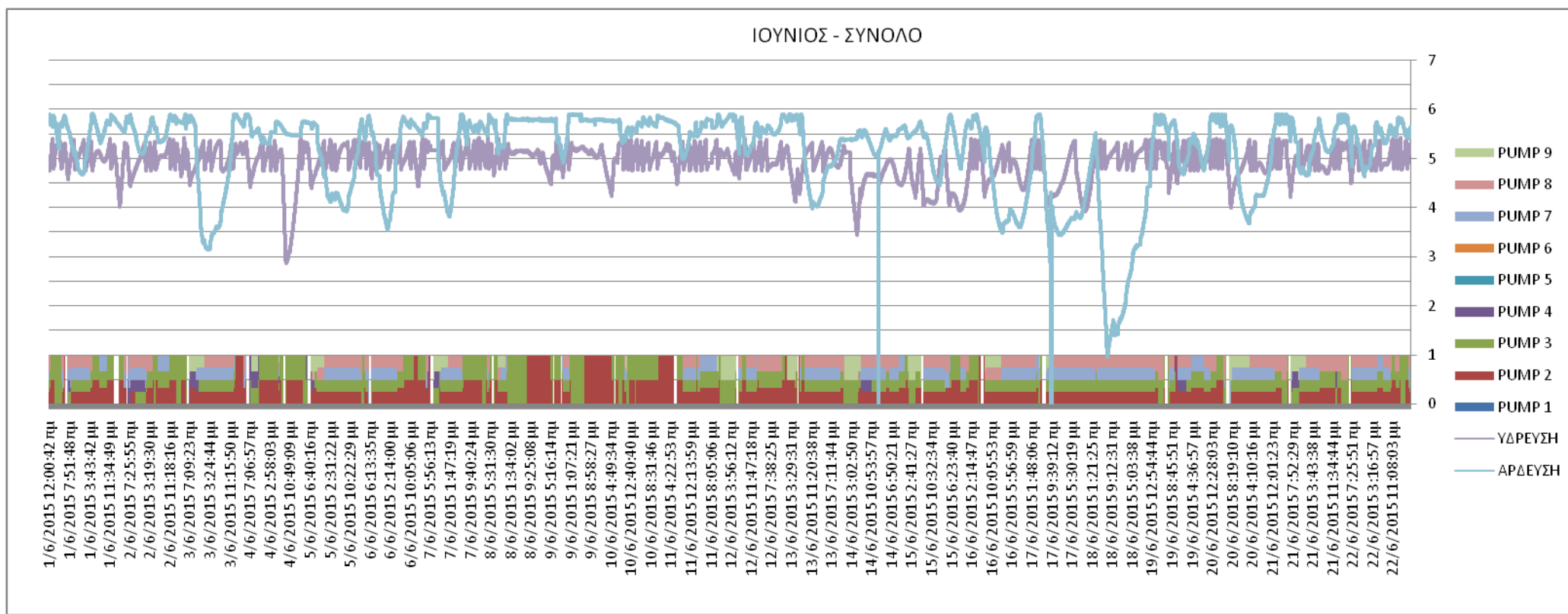
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα



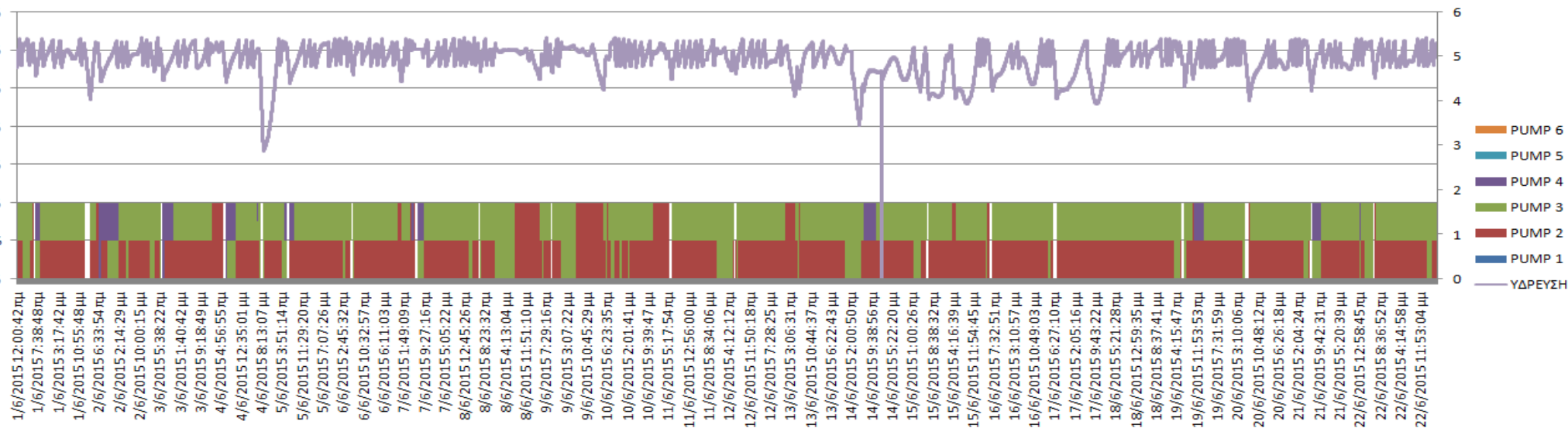
Γ. Διαγράμματα με λειτουργία αντλιών και στάθμη δεξαμενών

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται για κάθε λεπτό ποιες αντλίες λειτουργούν καθώς και η στάθμη της δεξαμενής ύδρευσης (μωβ χρώμα) και της δεξαμενής άρδευσης (μπλε) χρώμα. Υπάρχουν διαγράμματα για τον κάθε μήνα, κάθε εβδομάδα και για κάποιες χαρακτηριστικές ημέρες. Επίσης υπάρχουν ξεχωριστά διαγράμματα ύδρευσης (αντλίες ύδρευσης και στάθμη δεξαμενής ύδρευσης) και άρδευσης (αντλίες άρδευσης και στάθμη δεξαμενής άρδευσης).

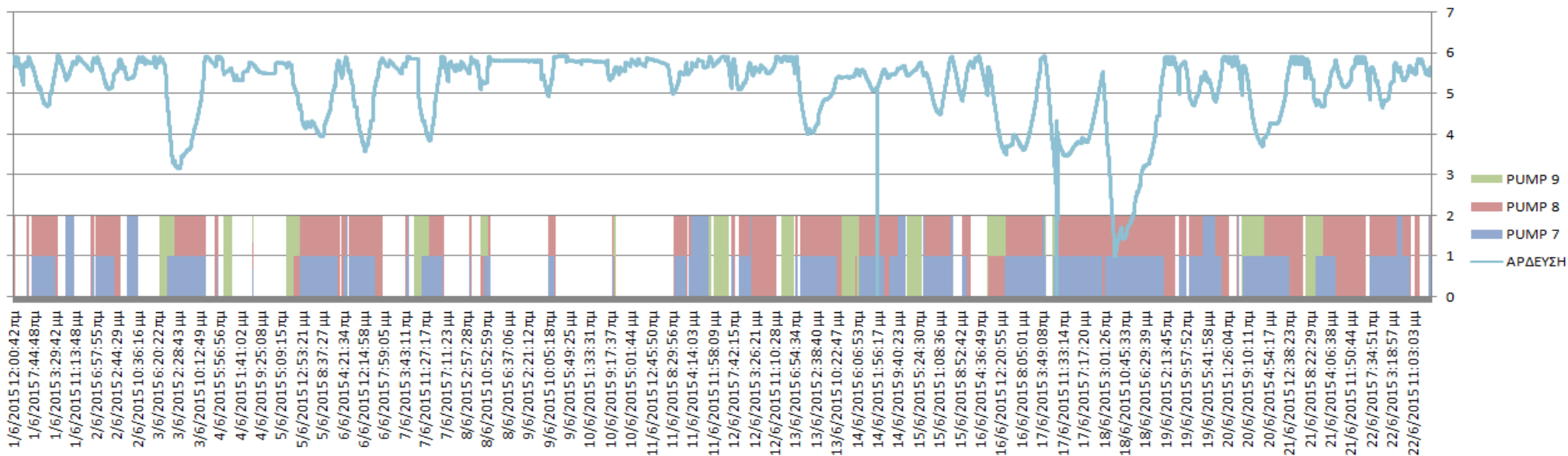
ΙΟΥΝΙΟΣ



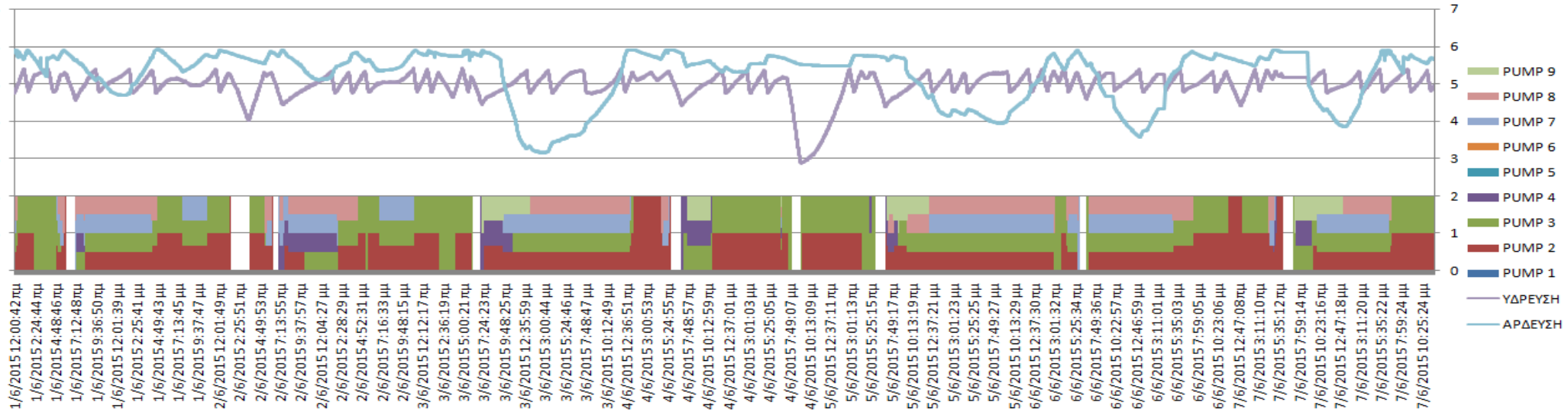
ΙΟΥΝΙΟΣ - ΥΔΡΕΥΣΗ



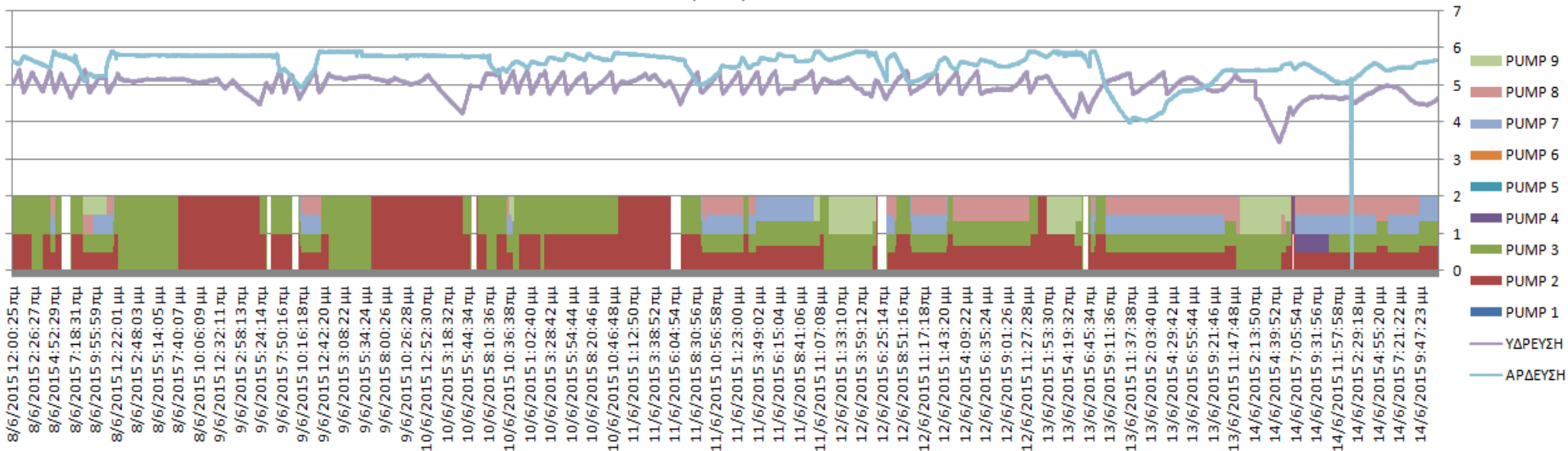
ΙΟΥΝΙΟΣ - ΑΡΔΕΥΣΗ



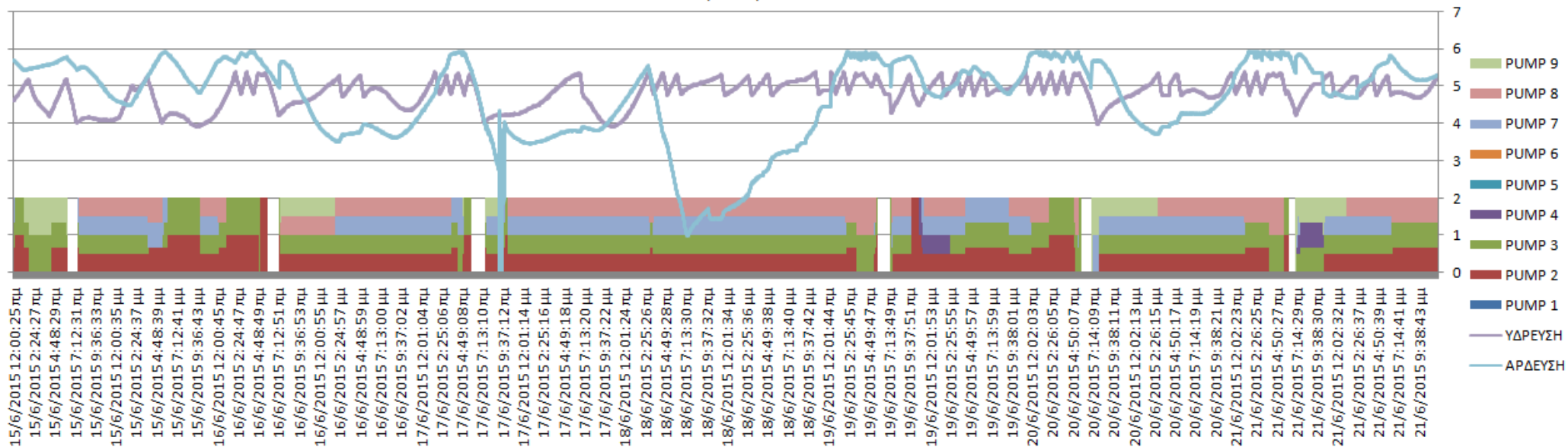
1/06-7/06 - ΣΥΝΟΛΟ



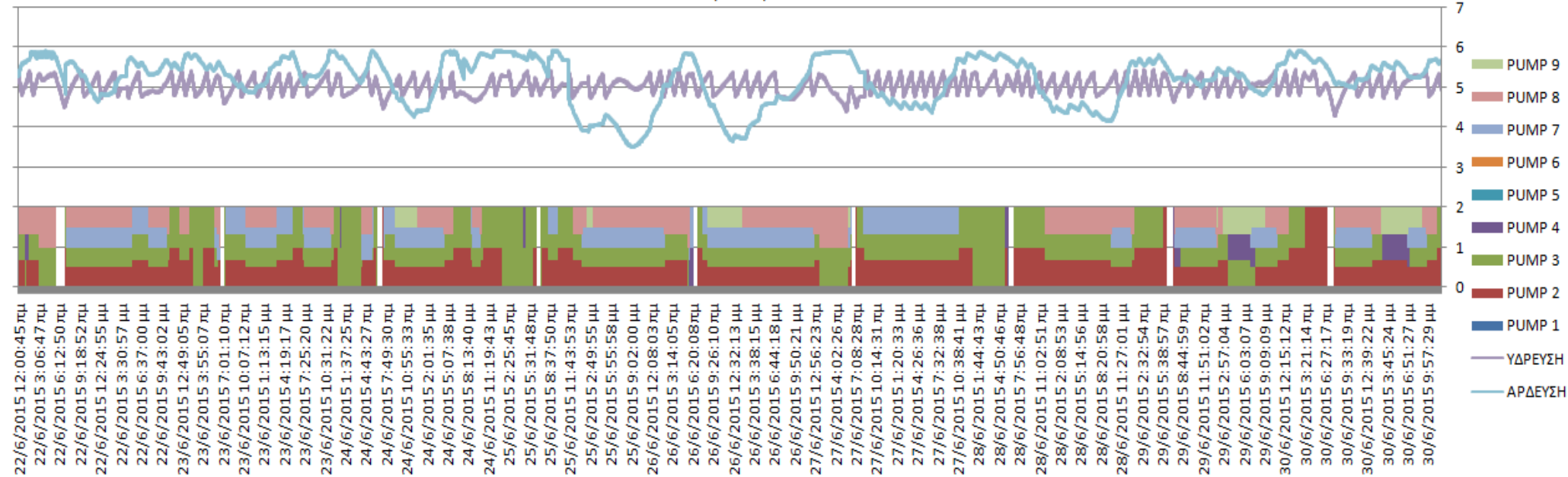
8/06-14/06 - ΣΥΝΟΛΟ



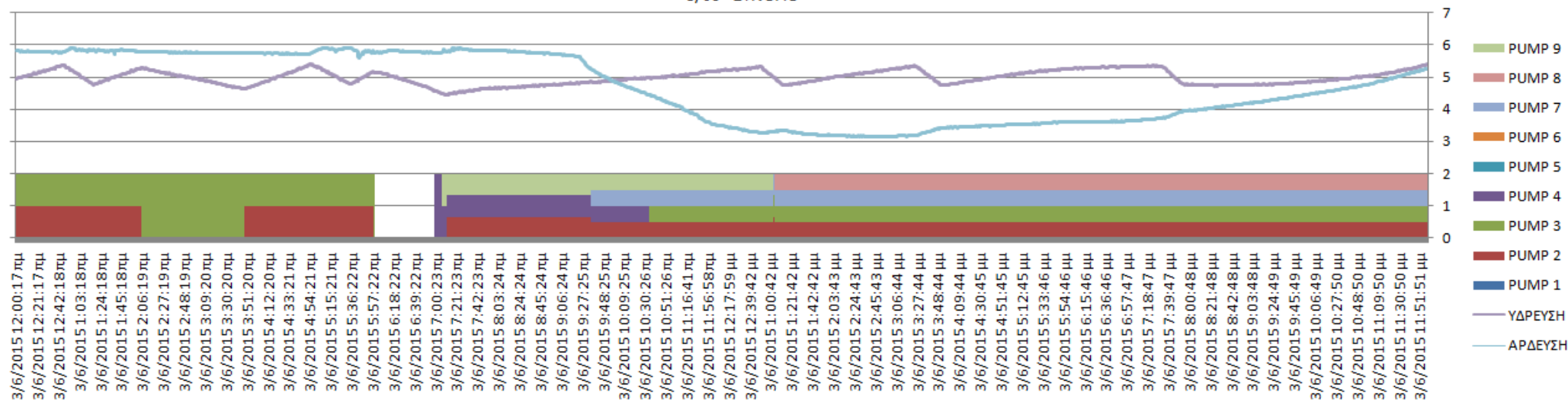
15/06-21/06 - ΣΥΝΟΛΟ



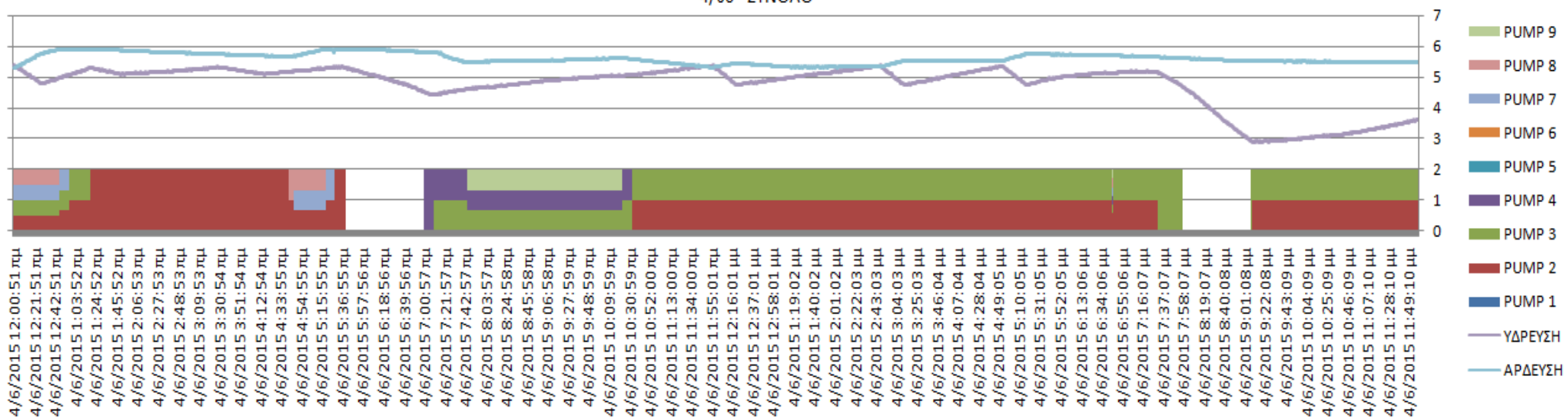
22/06-30/06 - ΣΥΝΟΛΟ

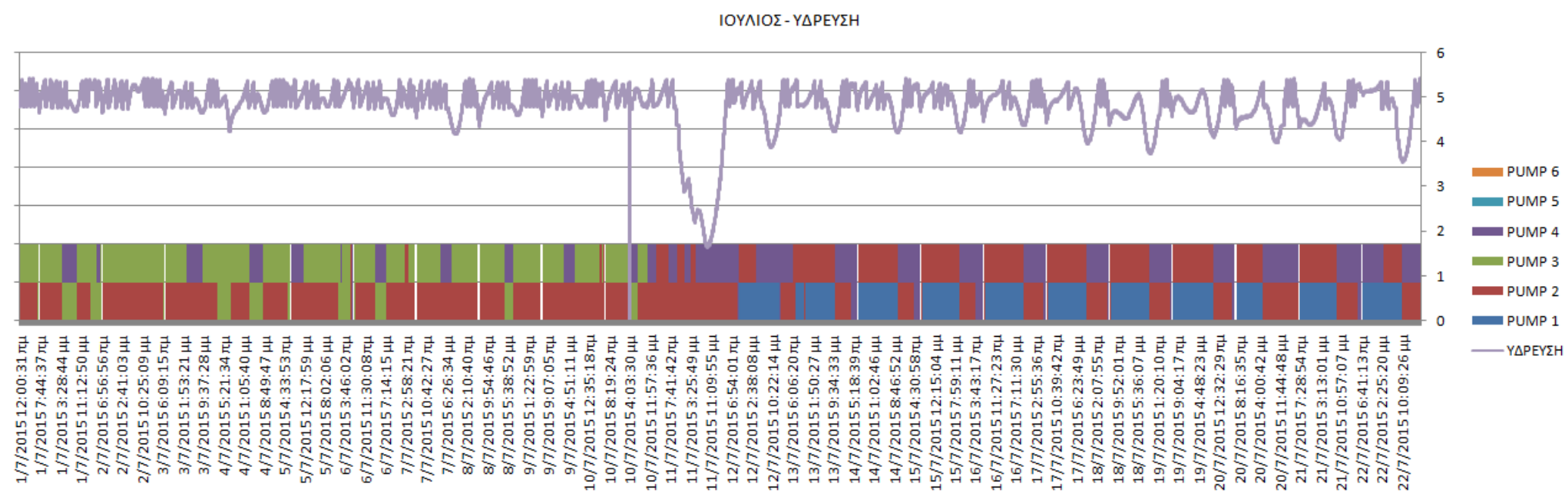
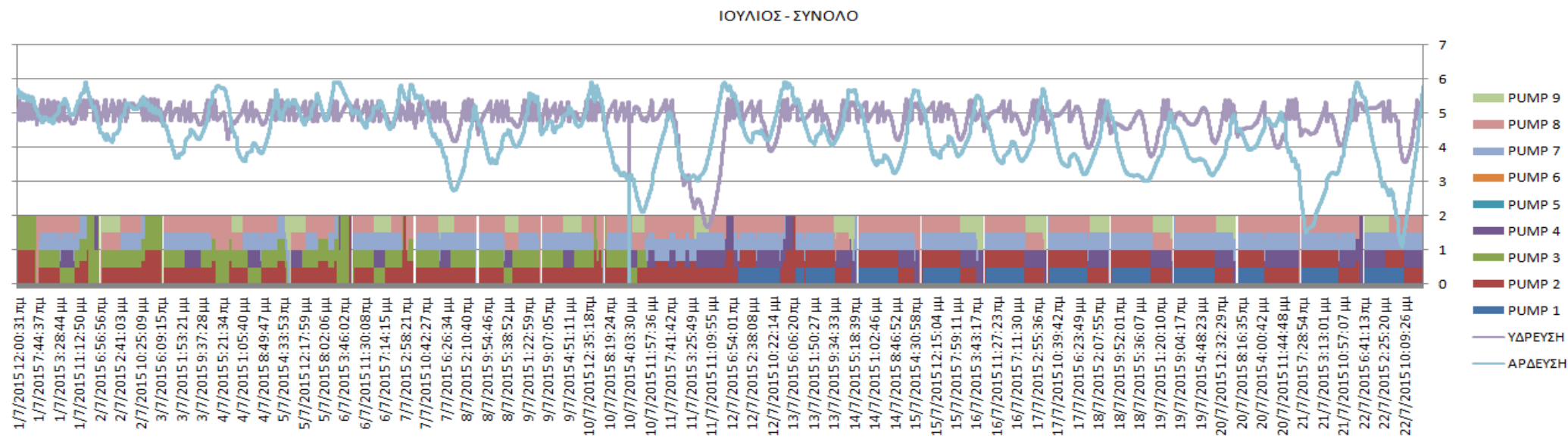


3/06 - ΣΥΝΟΛΟ

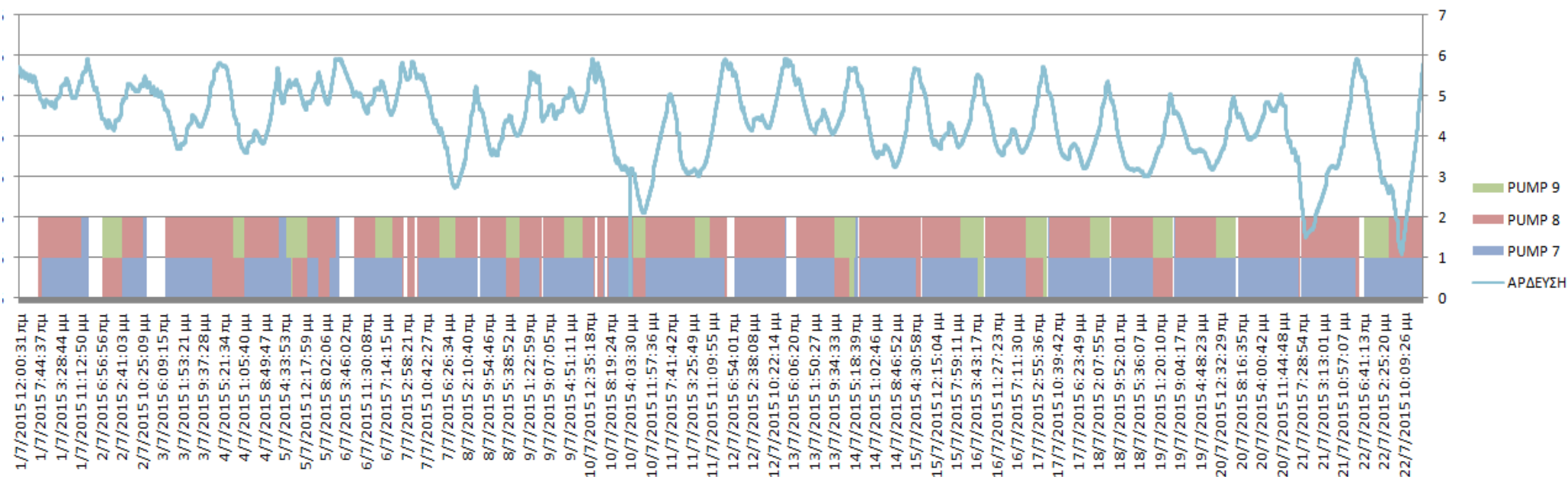


4/06 - ΣΥΝΟΛΟ

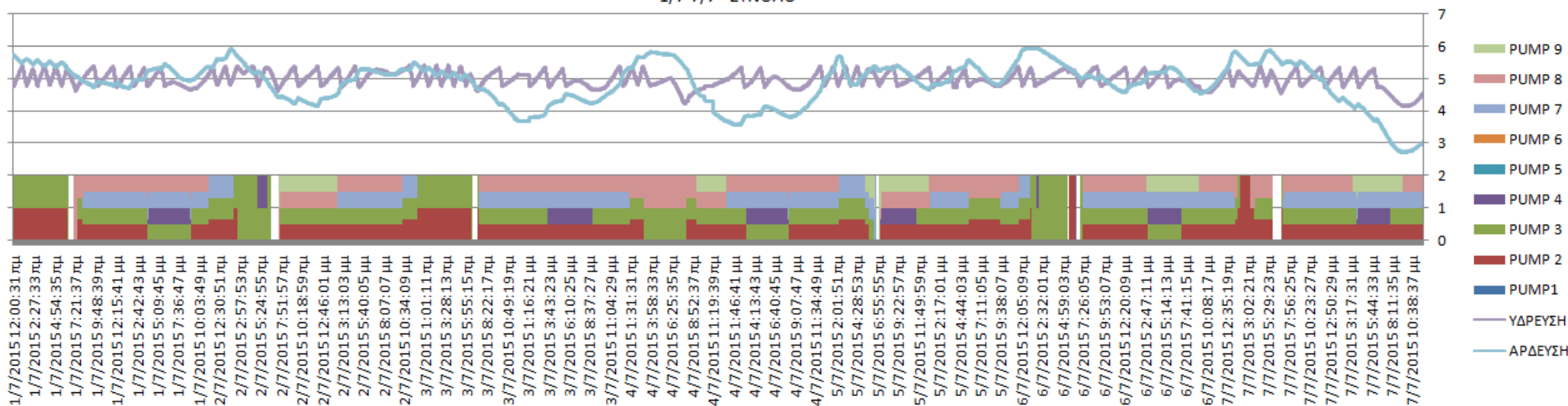




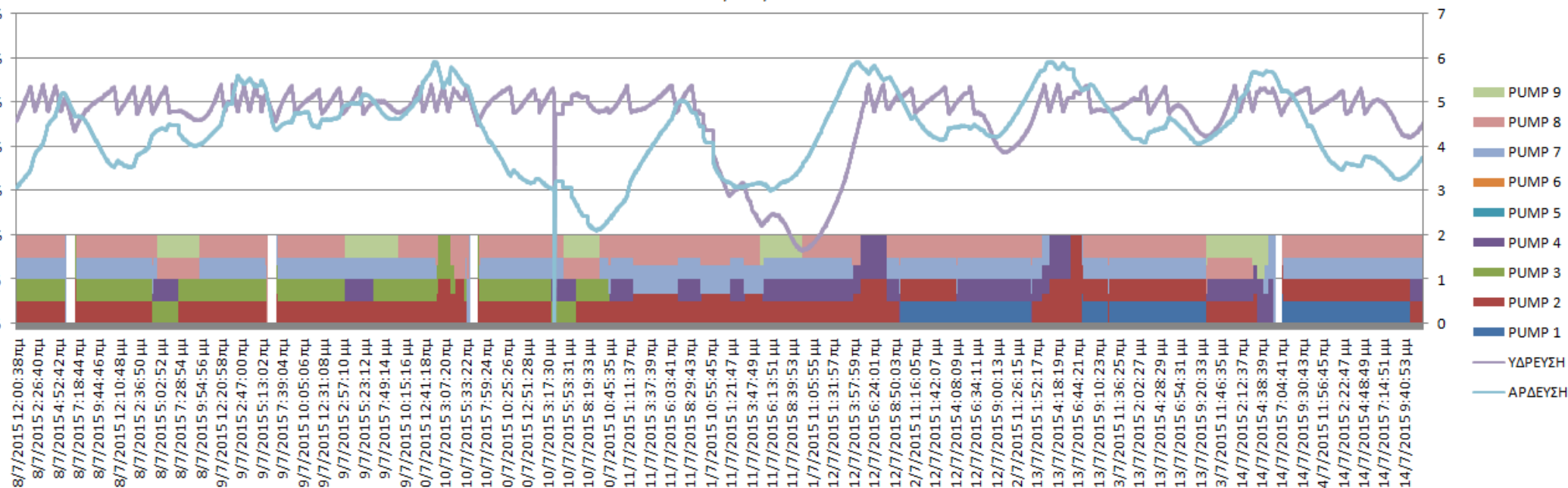
ΙΟΥΛΙΟΣ - ΑΡΔΕΥΣΗ



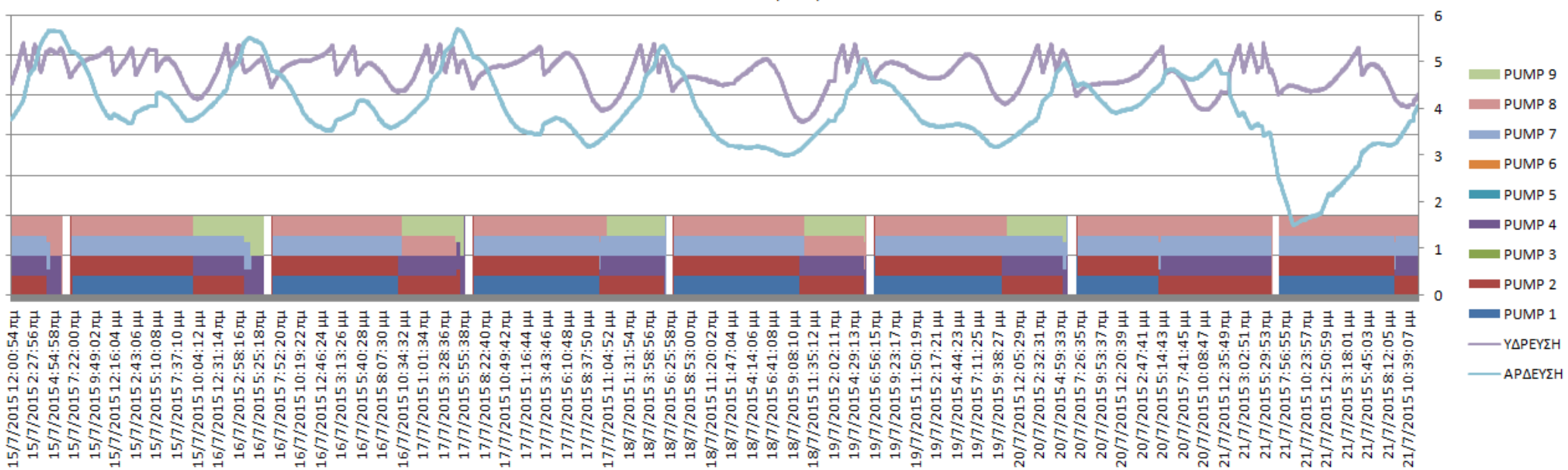
1/7-7/7 - ΣΥΝΟΛΟ



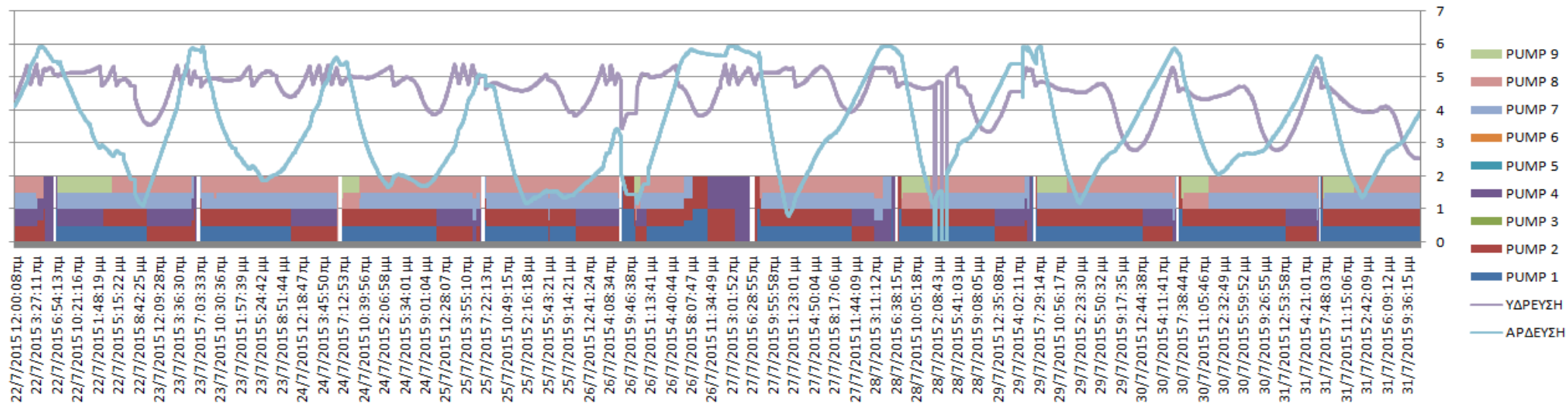
8/7-14/7 - ΣΥΝΟΛΟ



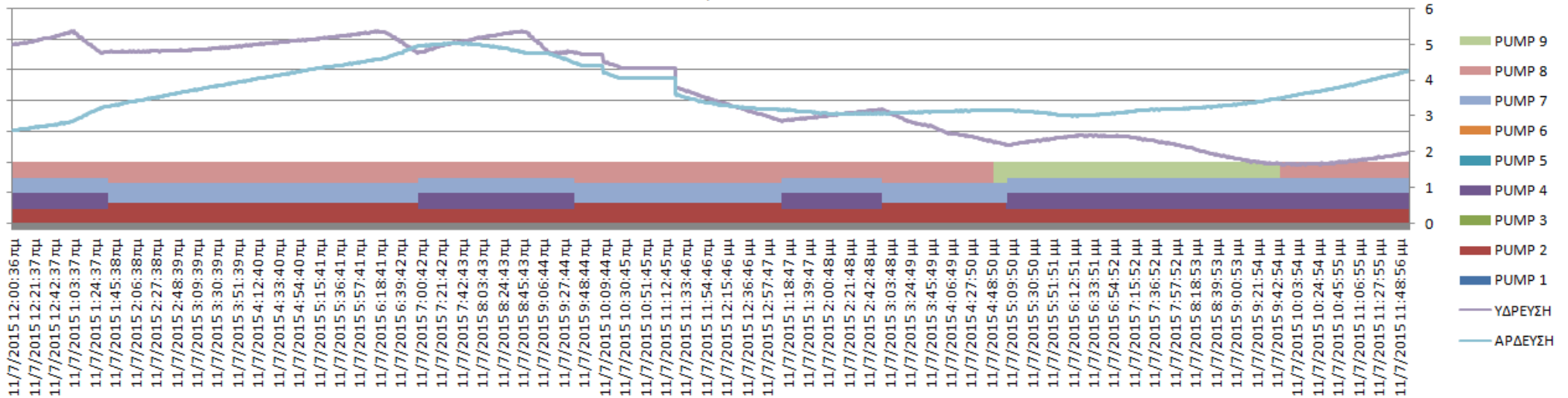
15/7-21/7 - ΣΥΝΟΛΟ



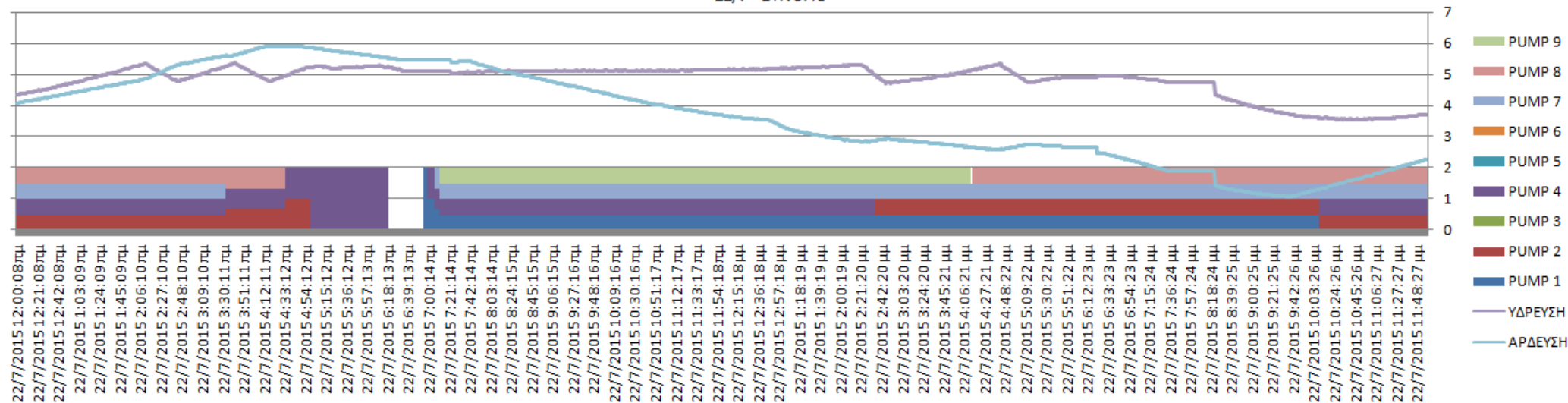
22/7-31/7 - ΣΥΝΟΛΟ



11/7 - ΣΥΝΟΛΟ

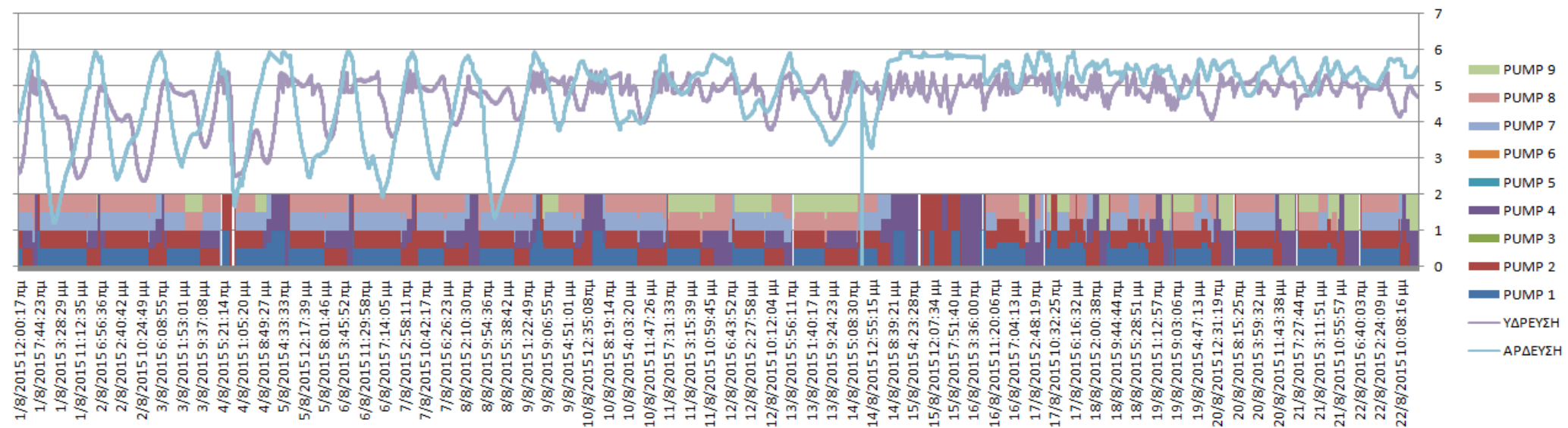


22/7 - ΣΥΝΟΛΟ

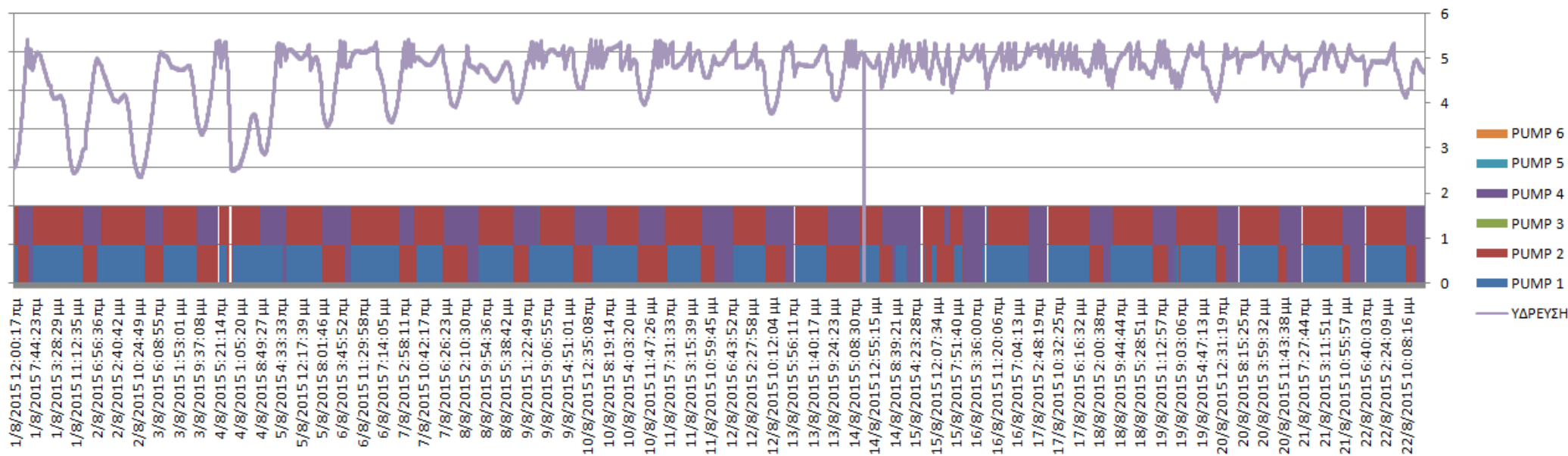


ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

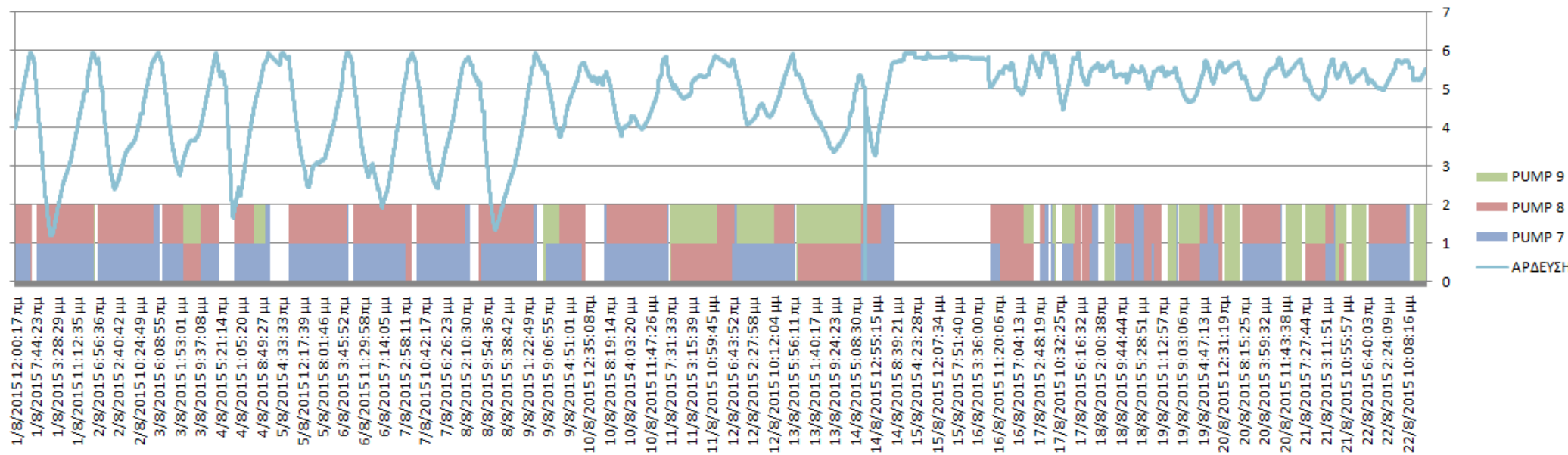
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ - ΣΥΝΟΛΟ



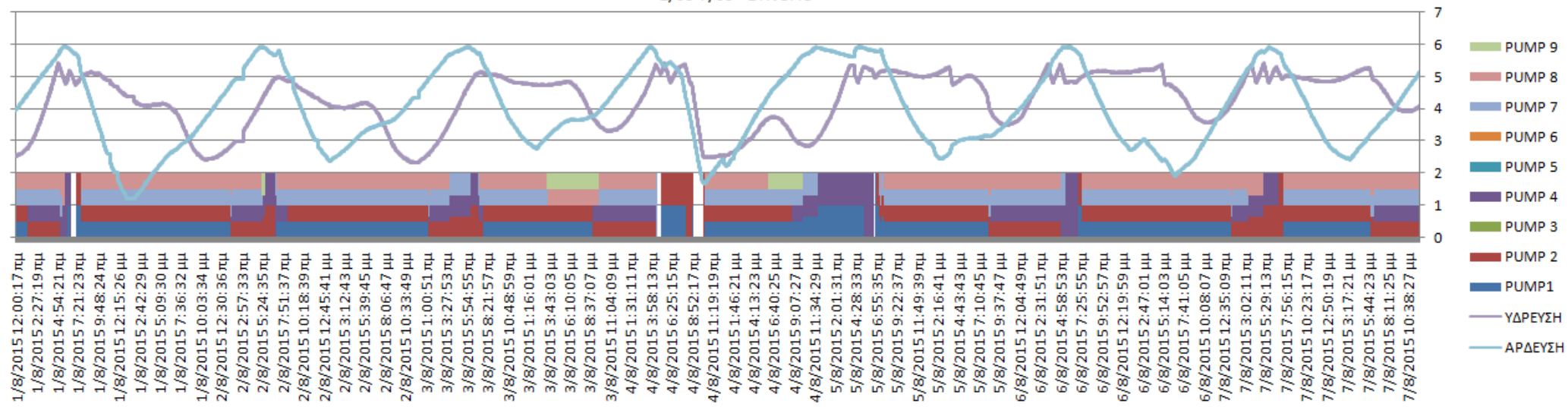
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ - ΥΔΡΕΥΣΗ



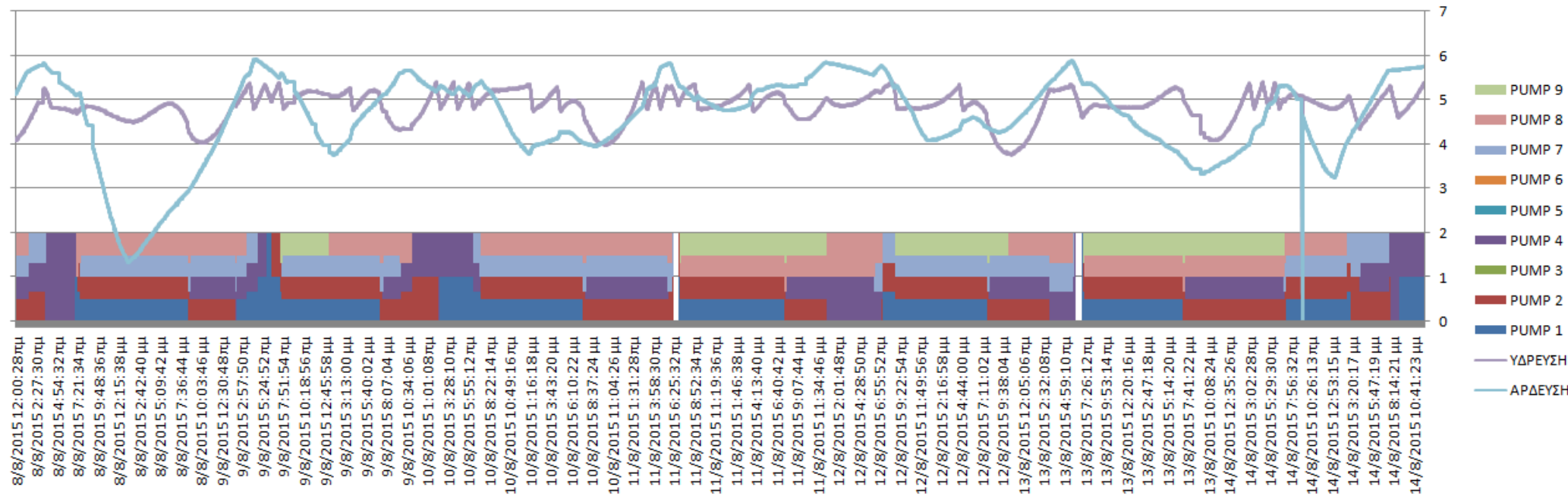
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ - ΑΡΔΕΥΣΗ



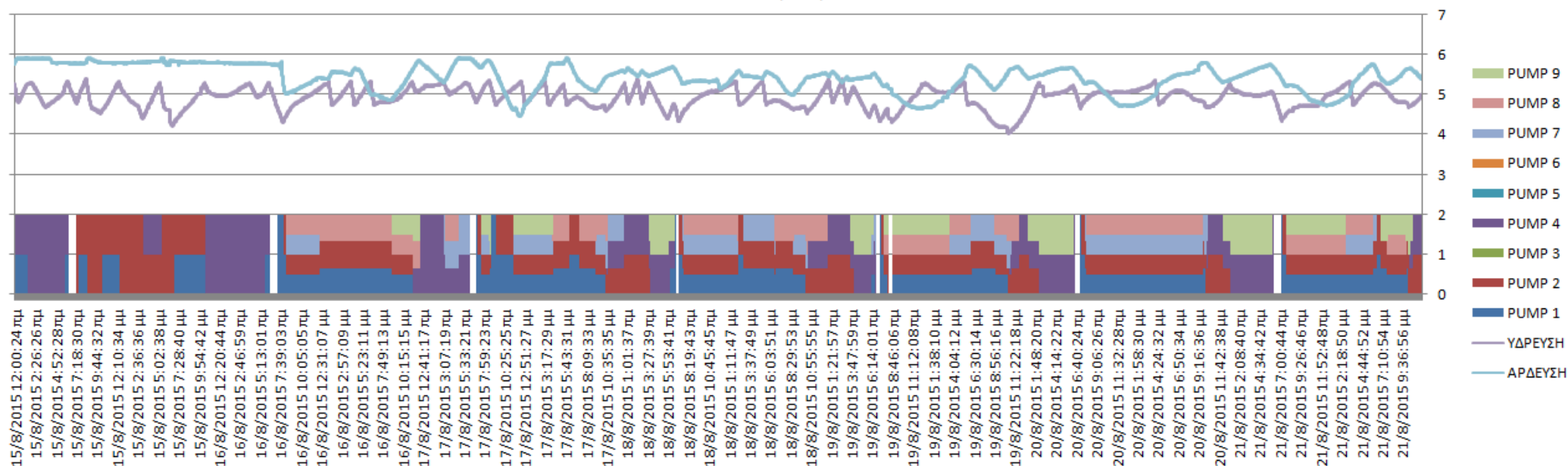
1/08-7/08 - ΣΥΝΟΛΟ



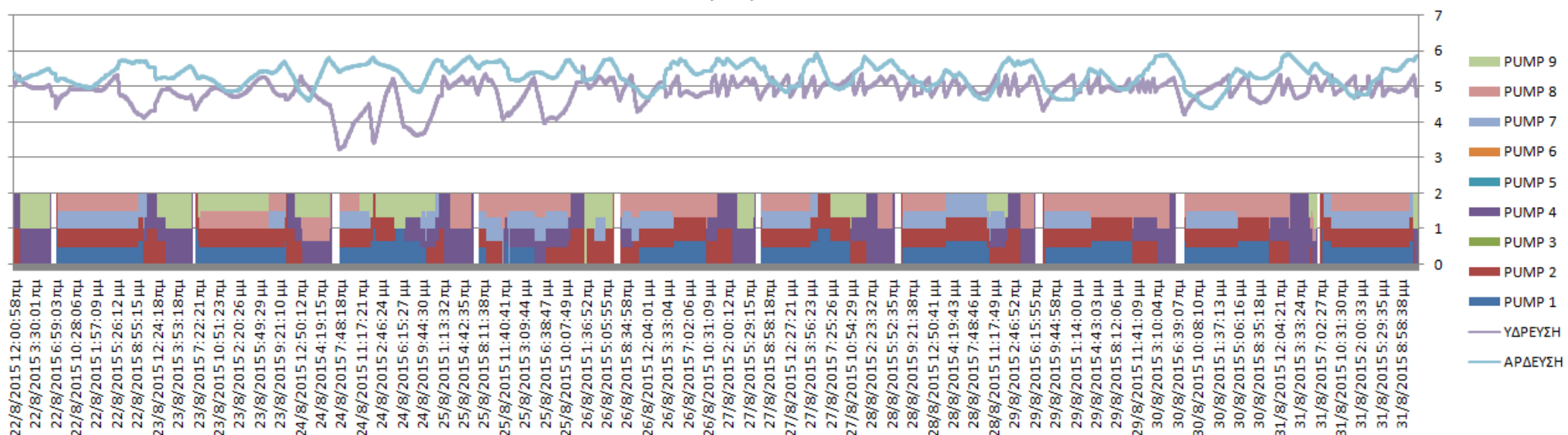
8/08-14/08 - ΣΥΝΟΛΟ



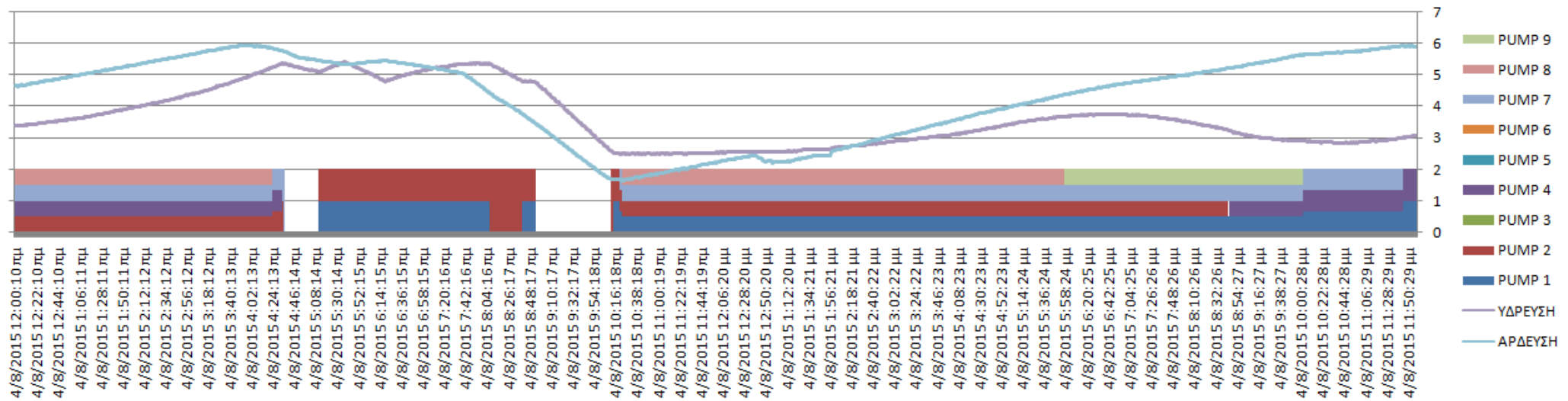
15/8-21/8 - ΣΥΝΟΛΟ



22/8-31/8 - ΣΥΝΟΛΟ

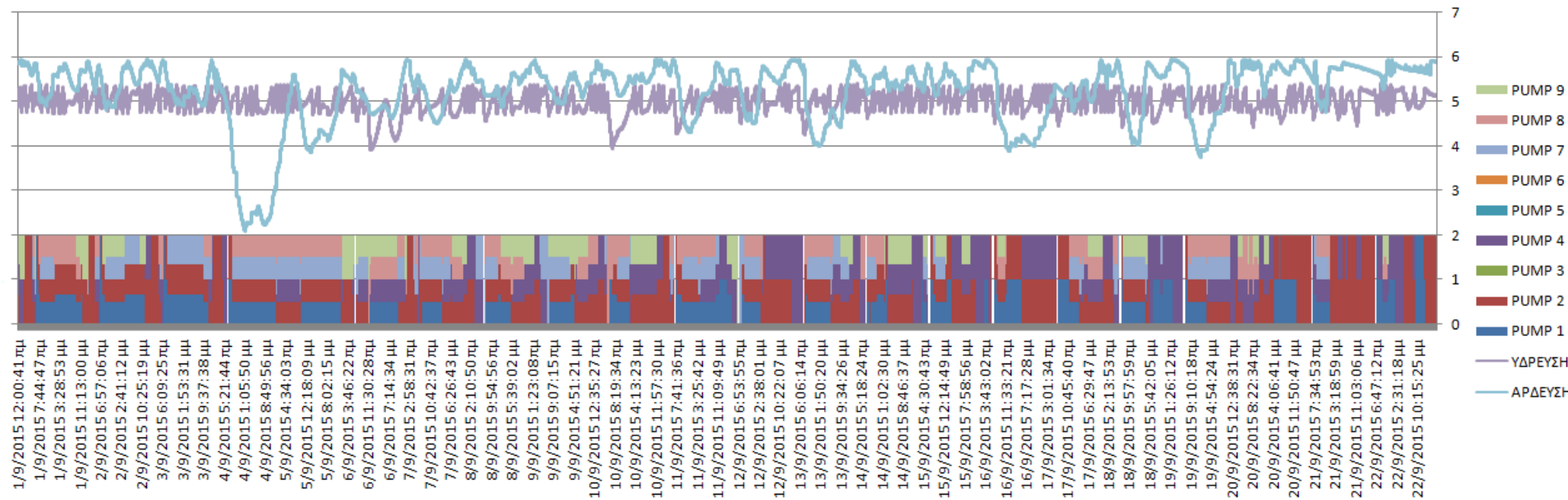


4/08 - ΣΥΝΟΛΟ

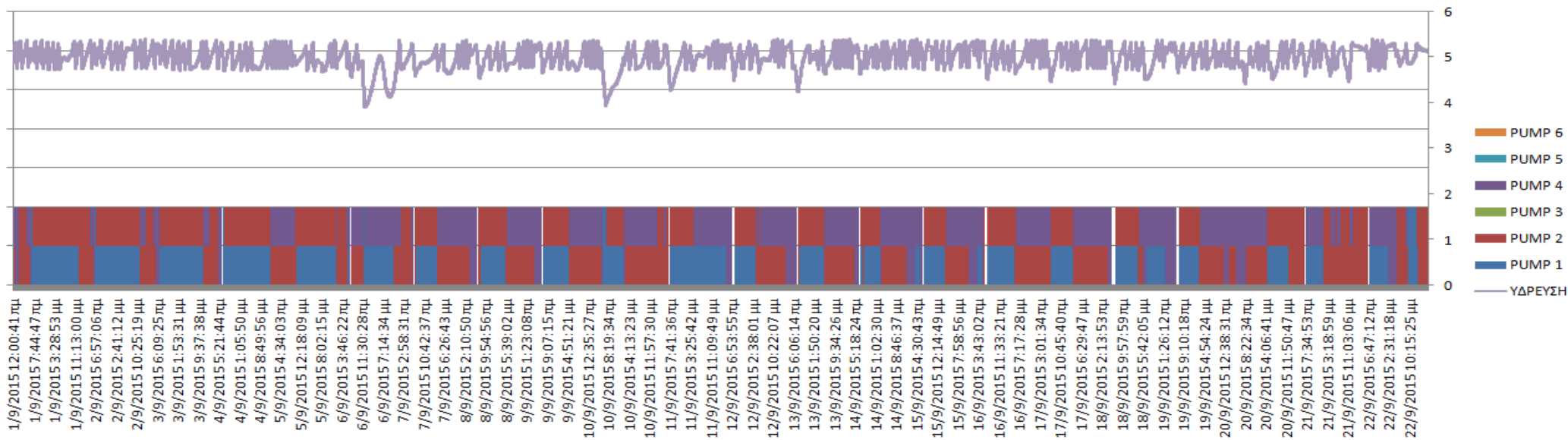


ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ

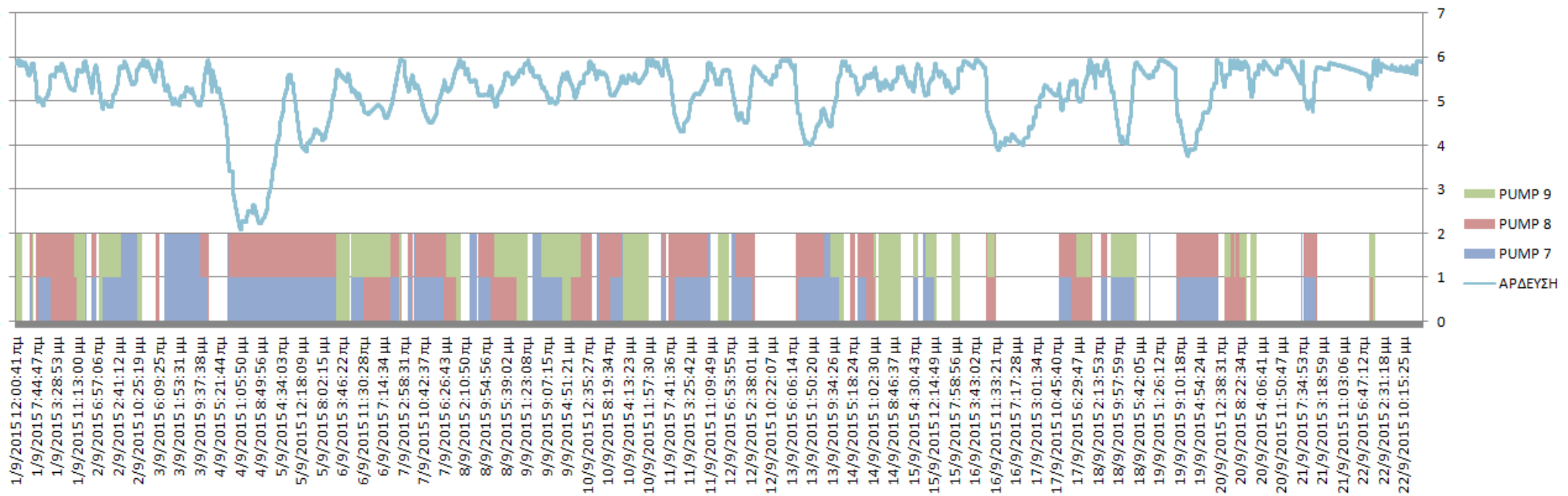
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ - ΣΥΝΟΛΟ



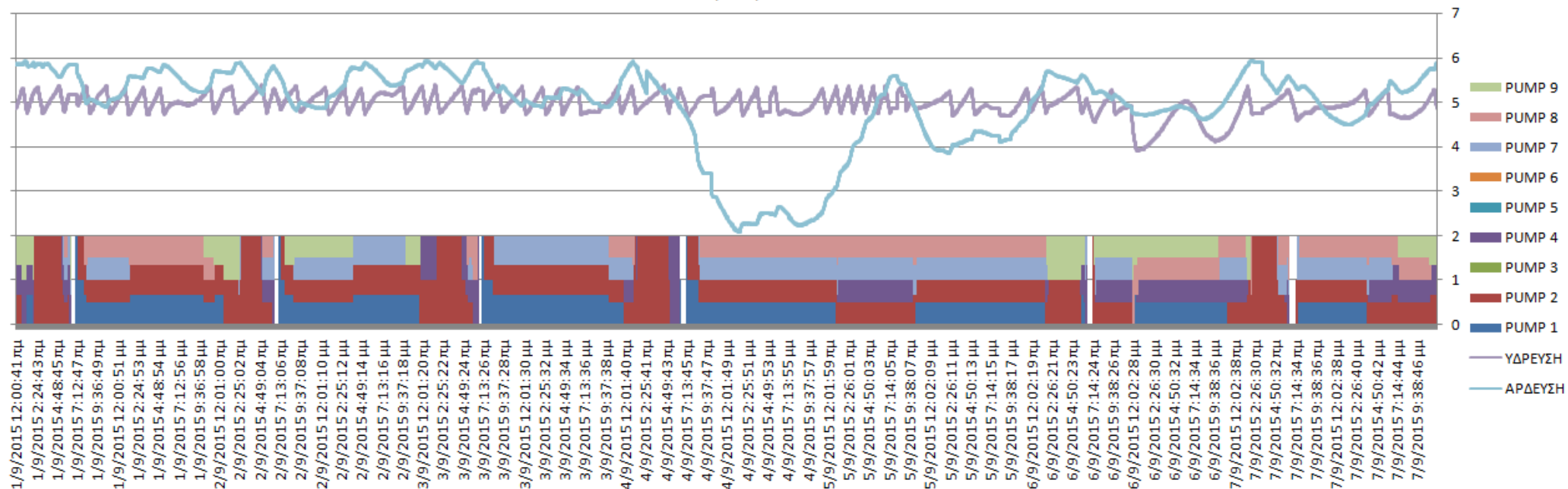
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ - ΥΔΡΕΥΣΗ



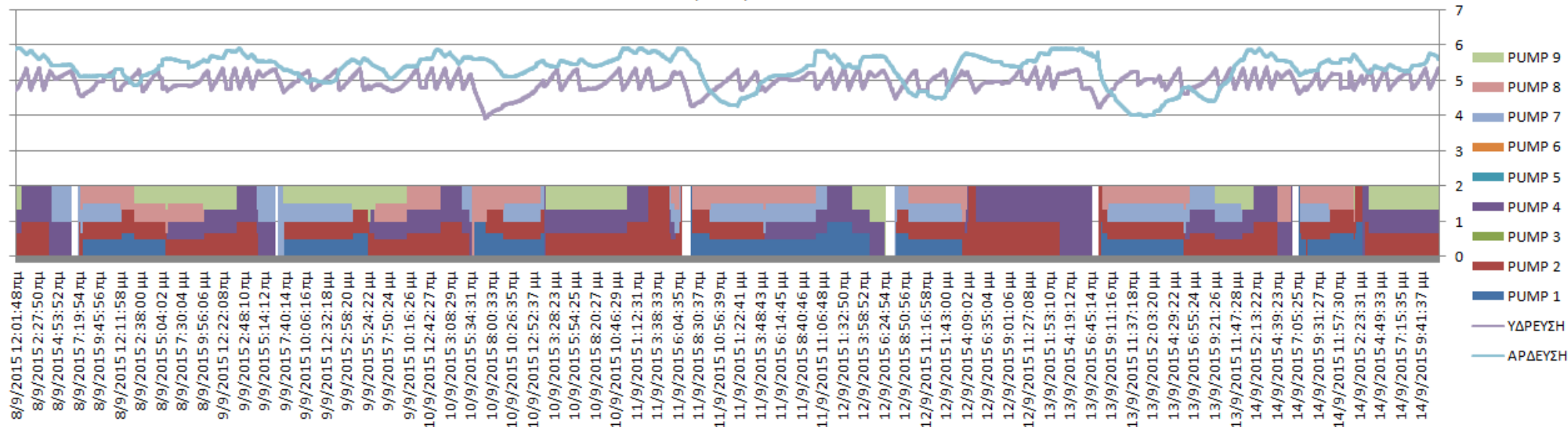
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ - ΑΡΔΕΥΣΗ



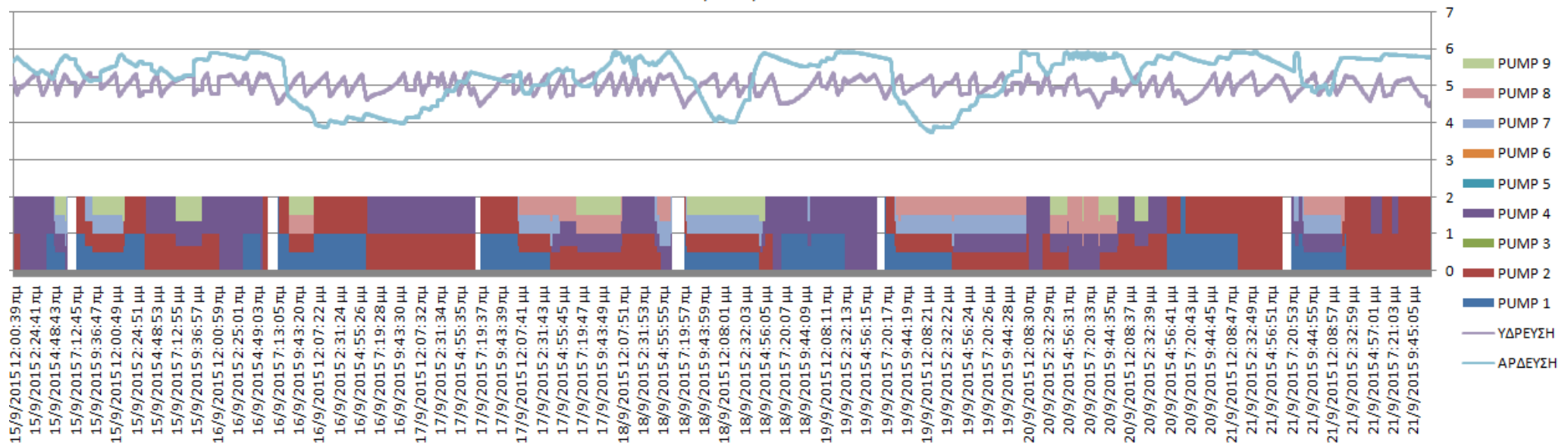
1/09-7/09 - ΣΥΝΟΛΟ



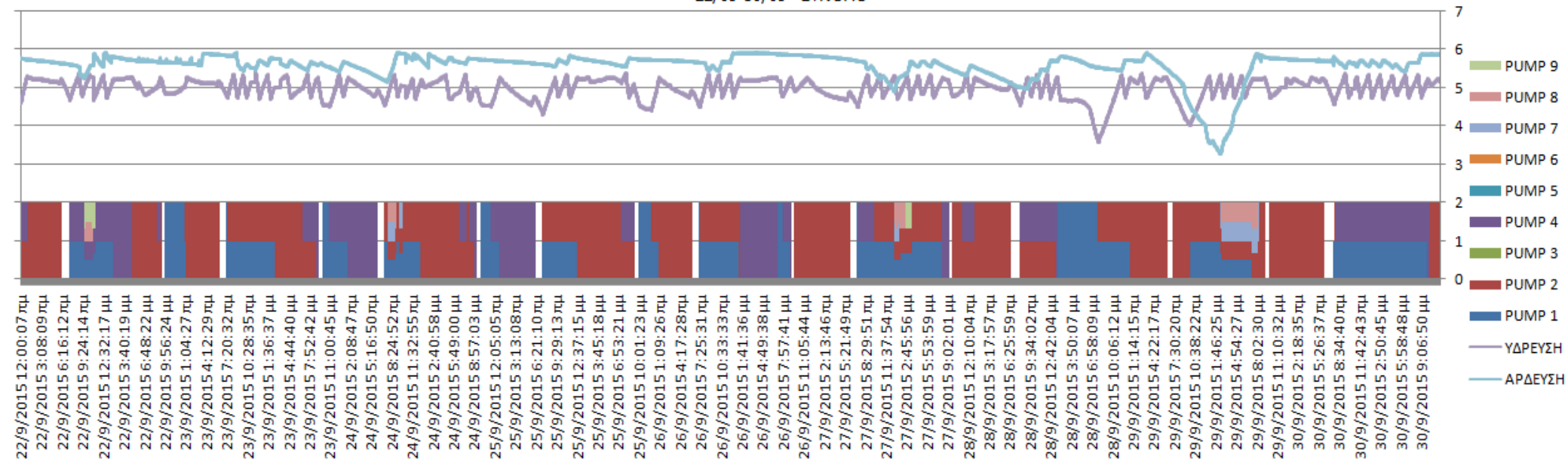
8/09-14/09 - ΣΥΝΟΛΟ



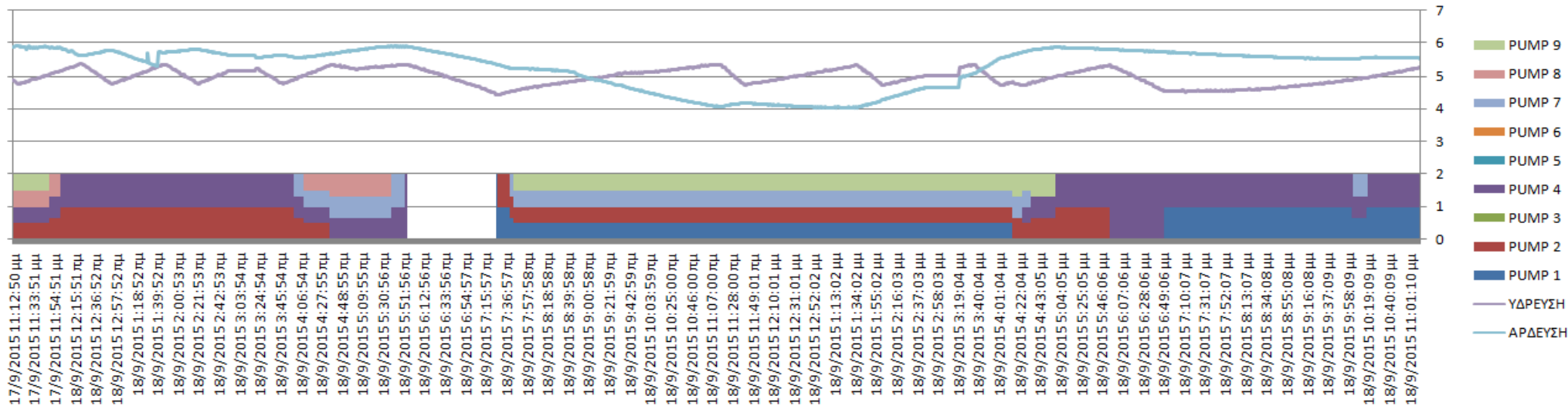
15/09-21/09 - ΣΥΝΟΛΟ



22/09-30/09 - ΣΥΝΟΛΟ

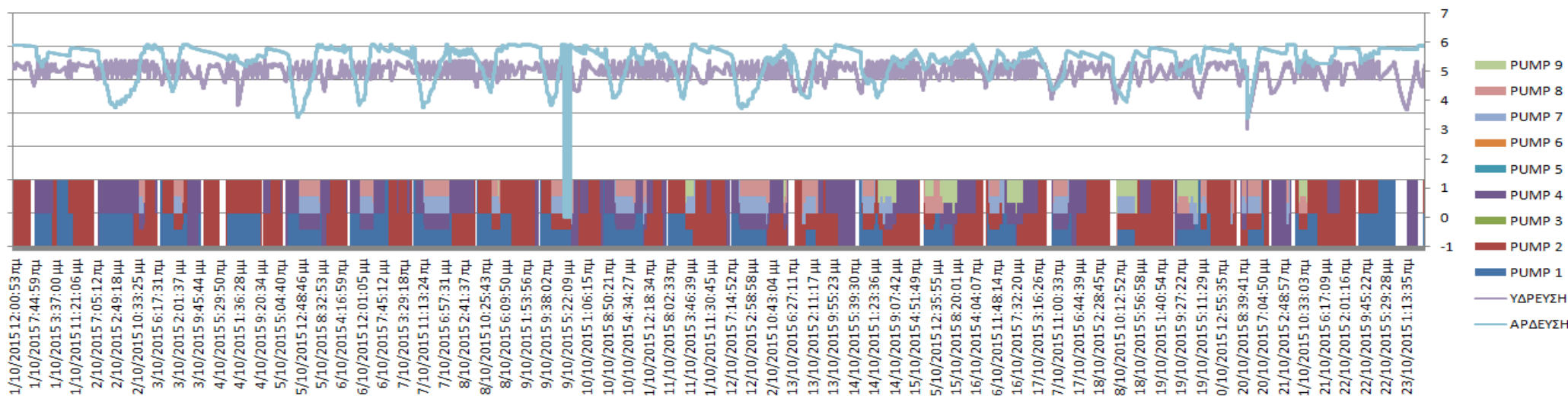


18/09 - ΣΥΝΟΛΟ

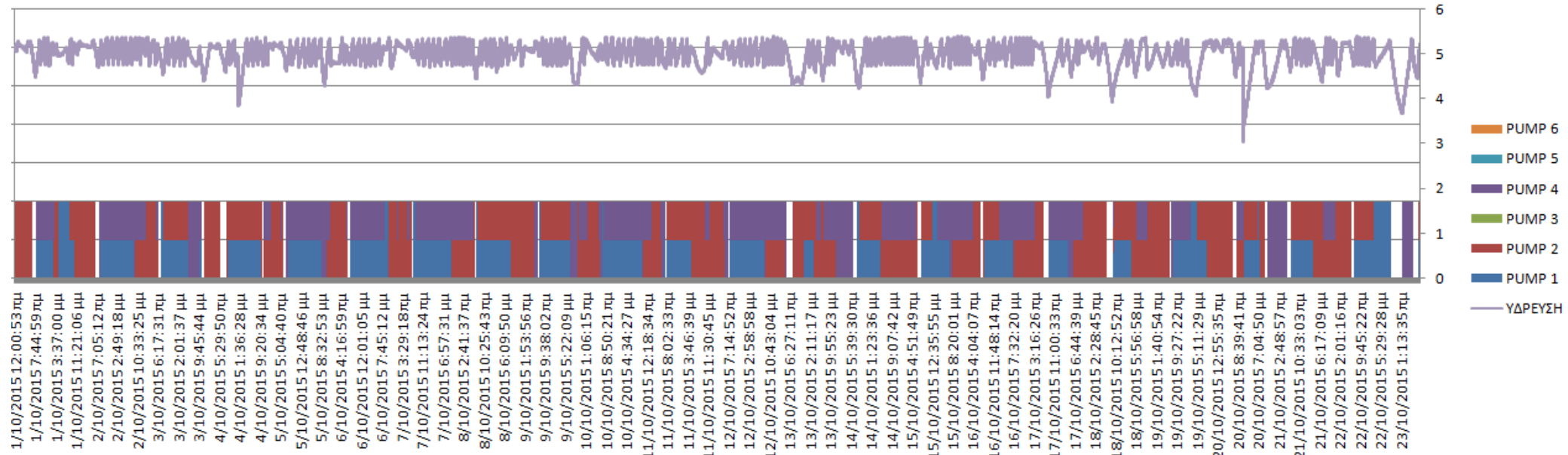


ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ

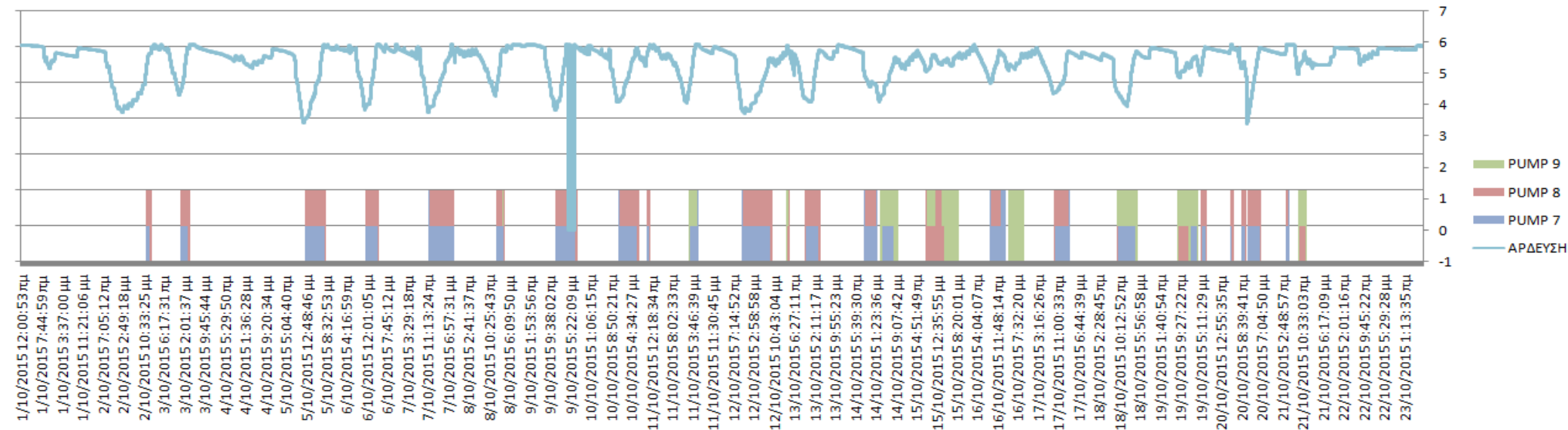
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ - ΣΥΝΟΛΟ



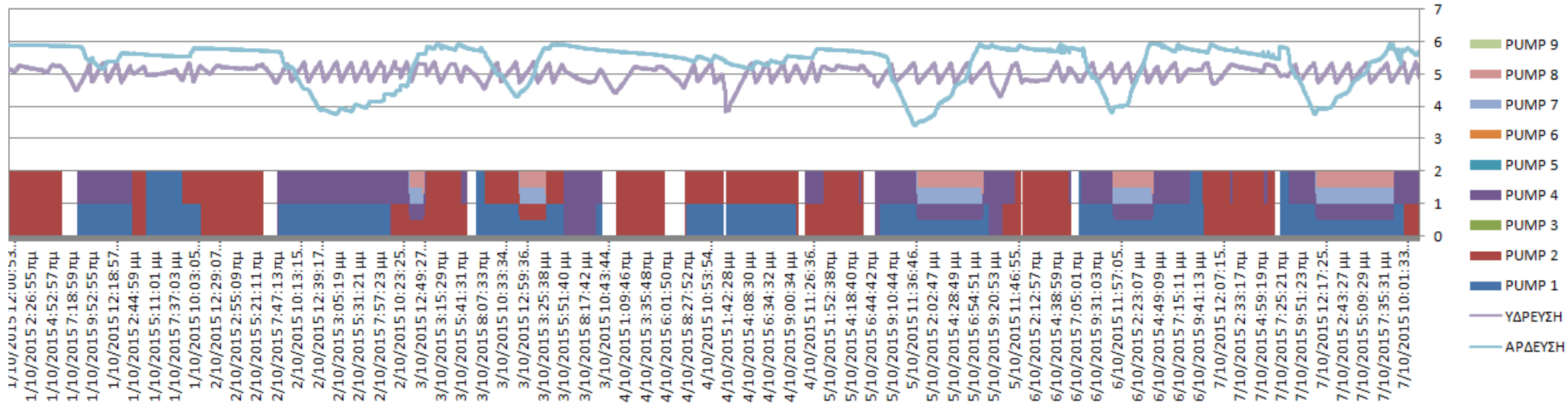
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ - ΥΔΡΕΥΣΗ



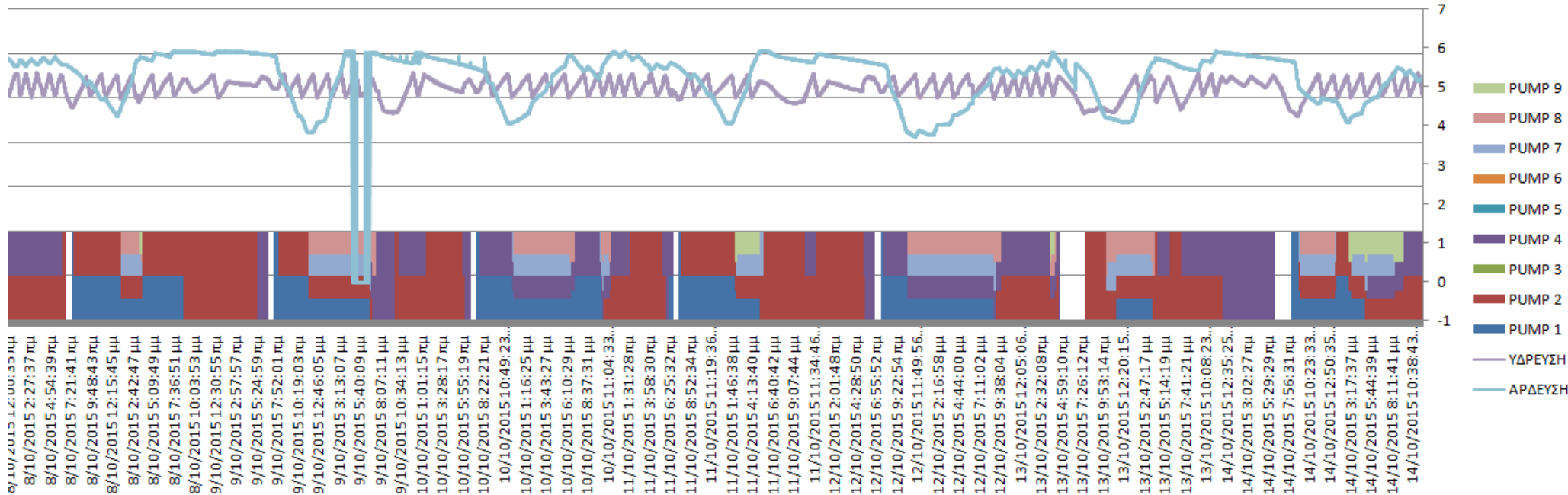
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ - ΑΡΔΕΥΣΗ



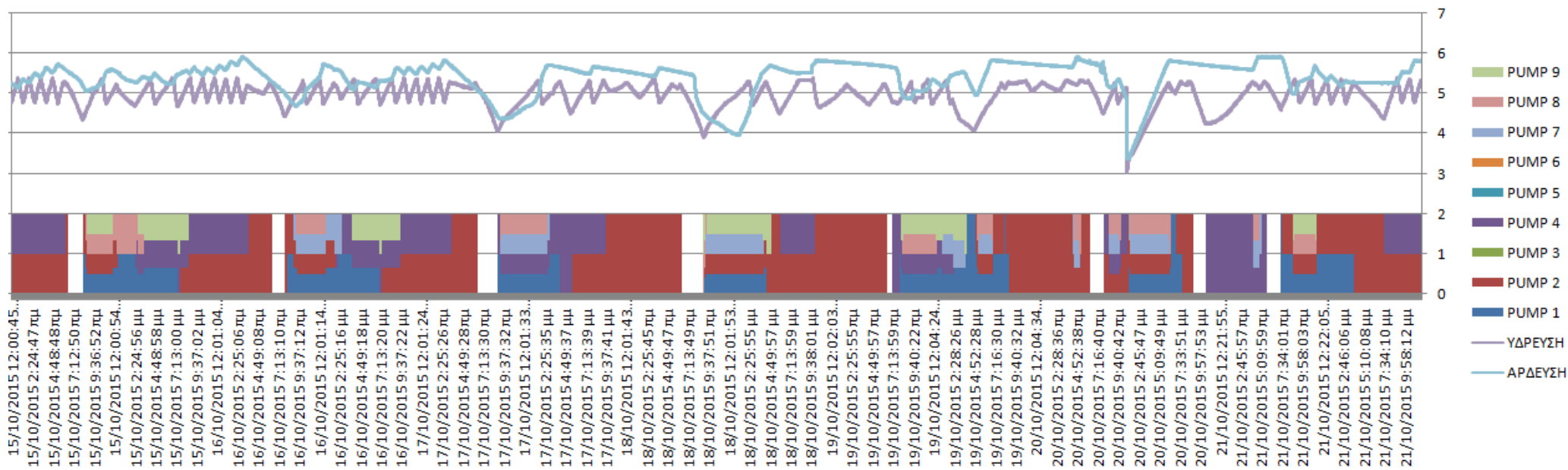
1/10-7/10 - ΣΥΝΟΛΟ



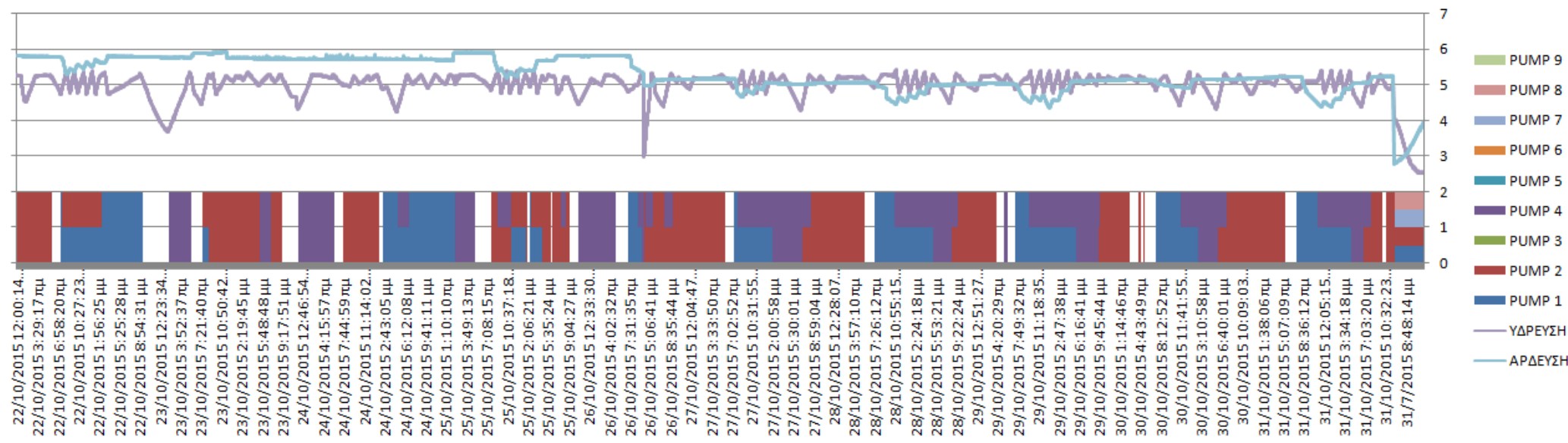
8/10-14/10 - ΣΥΝΟΛΟ

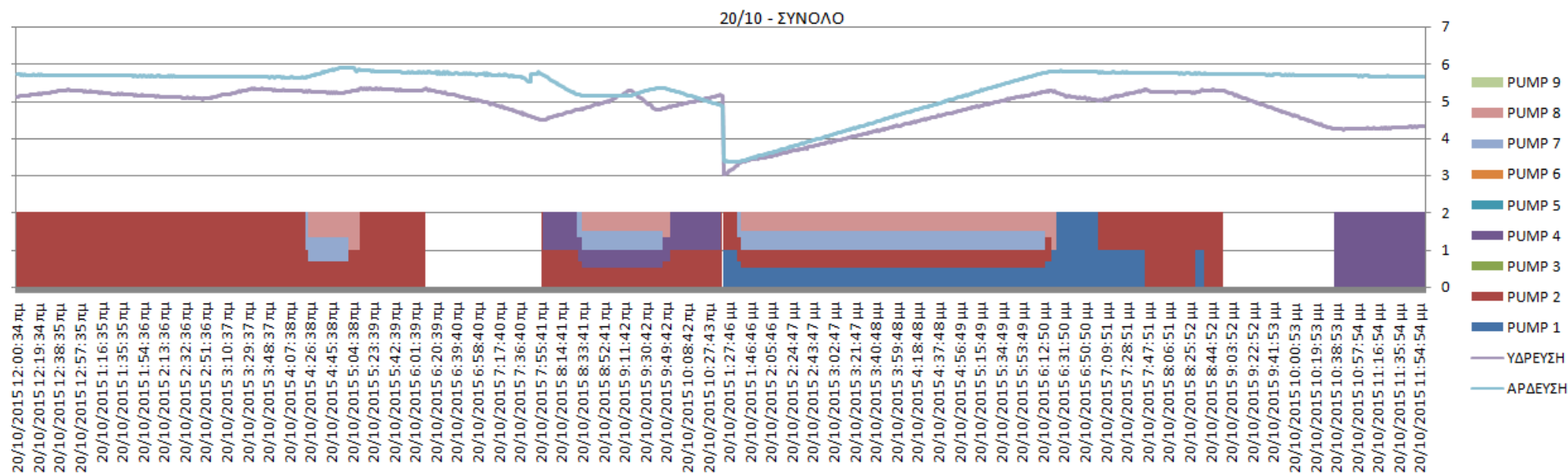


15/10-21/10 - ΣΥΝΟΛΟ

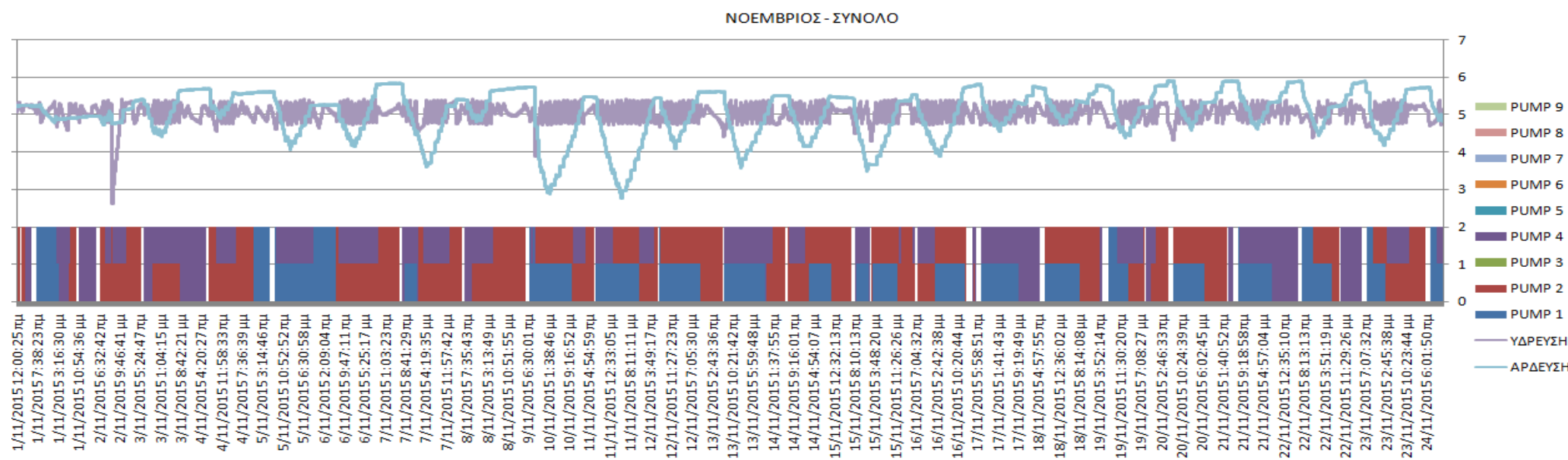


22/10-31/10 - ΣΥΝΟΛΟ

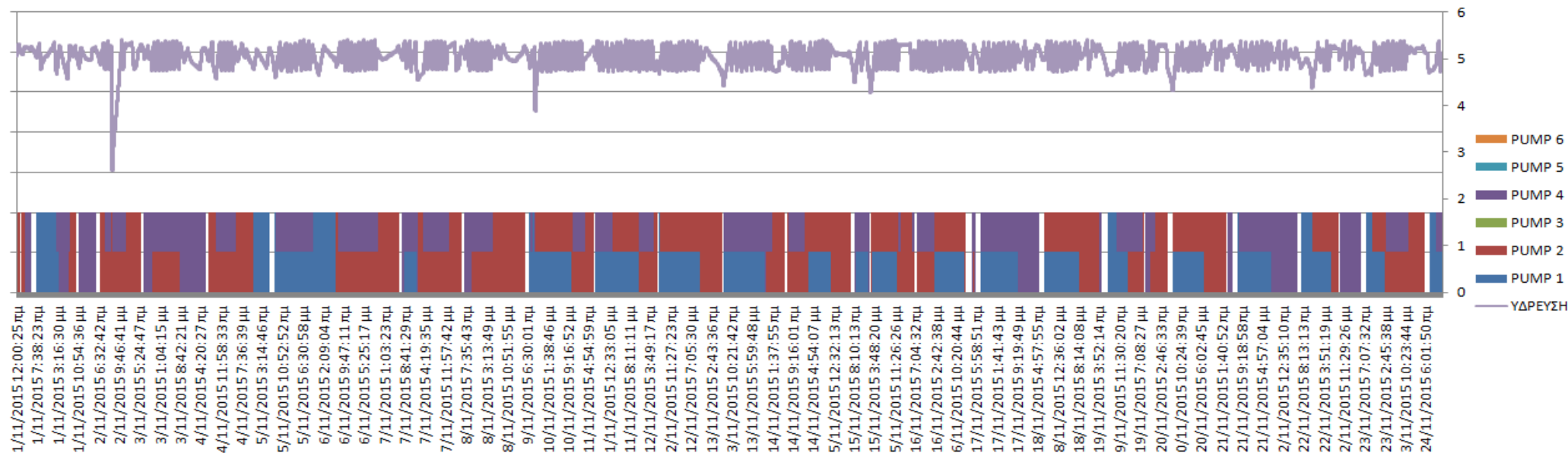




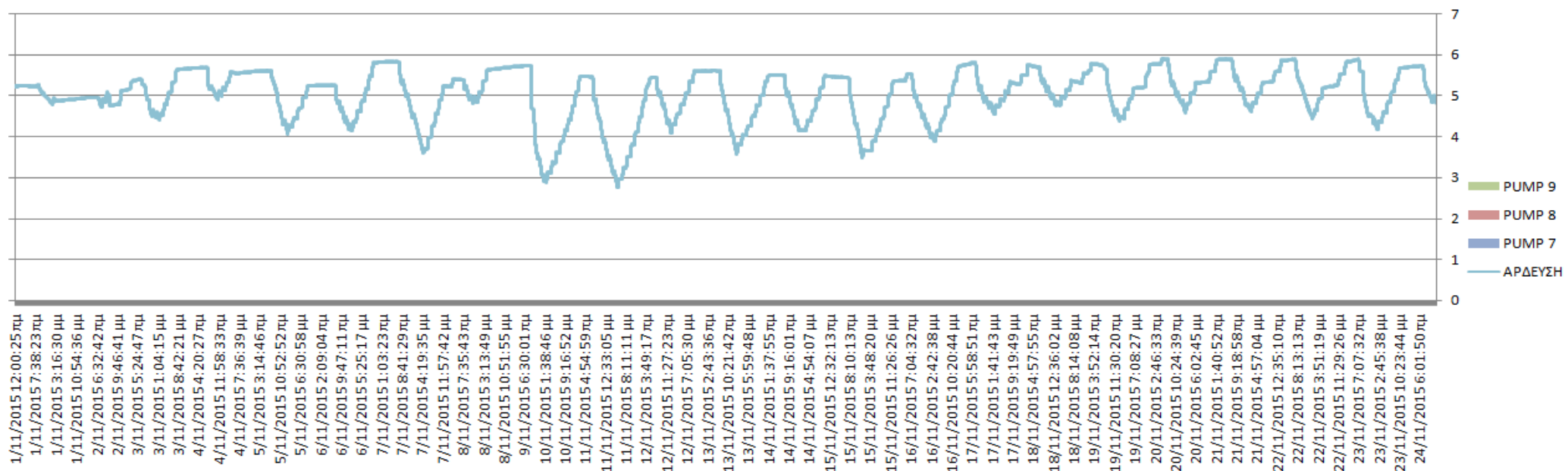
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ



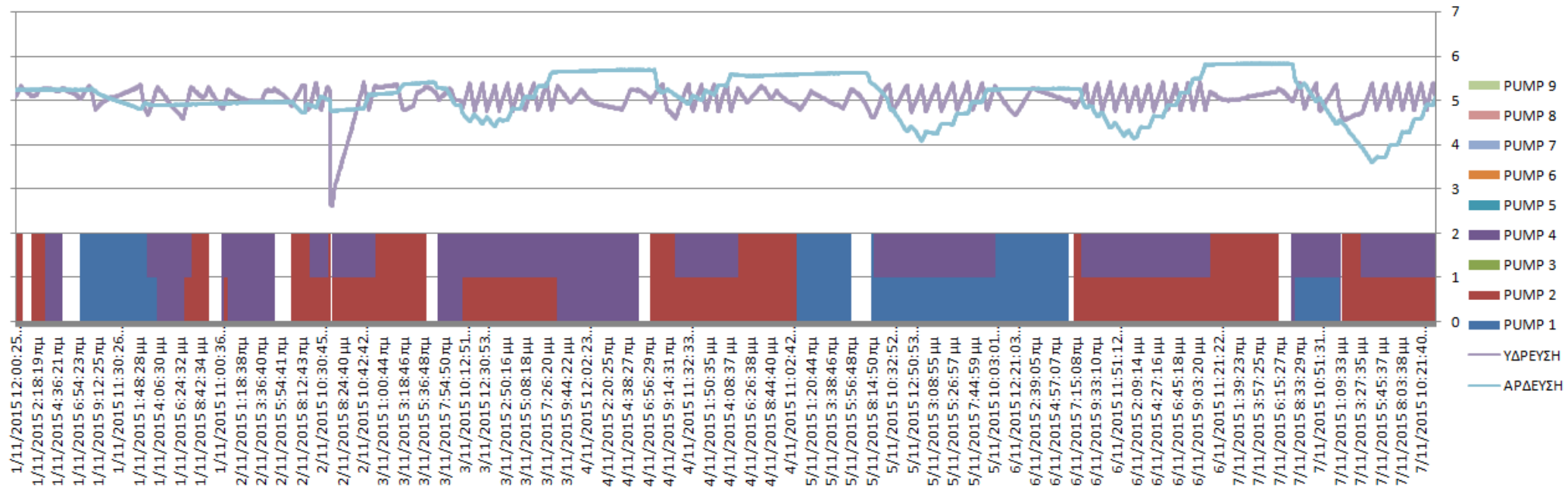
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ - ΥΔΡΕΥΣΗ



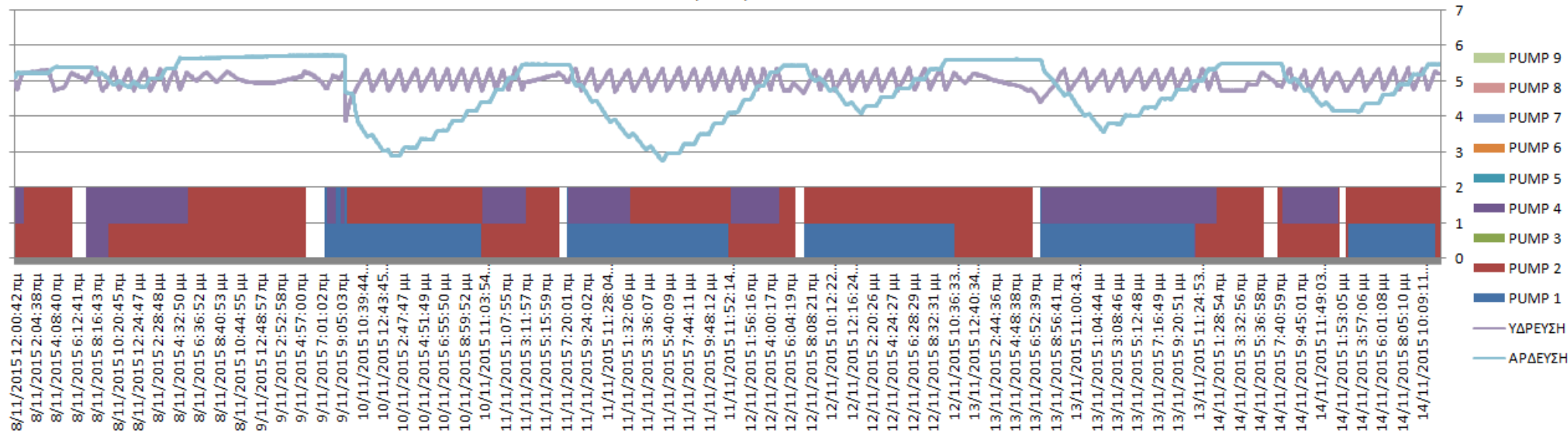
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ - ΑΡΔΕΥΣΗ



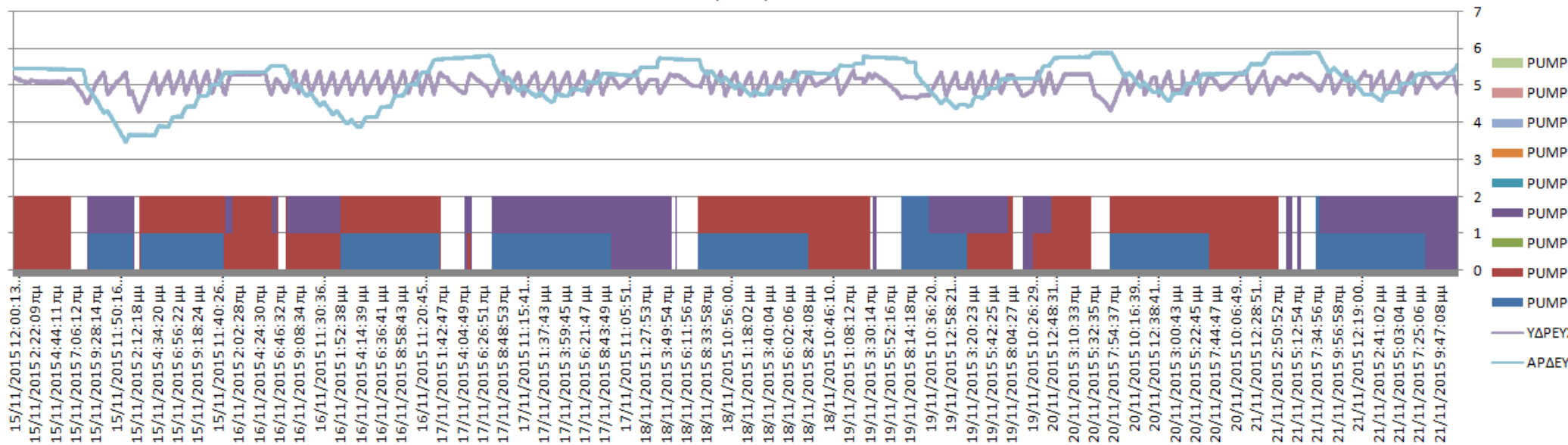
1/11-7/11 - ΣΥΝΟΛΟ



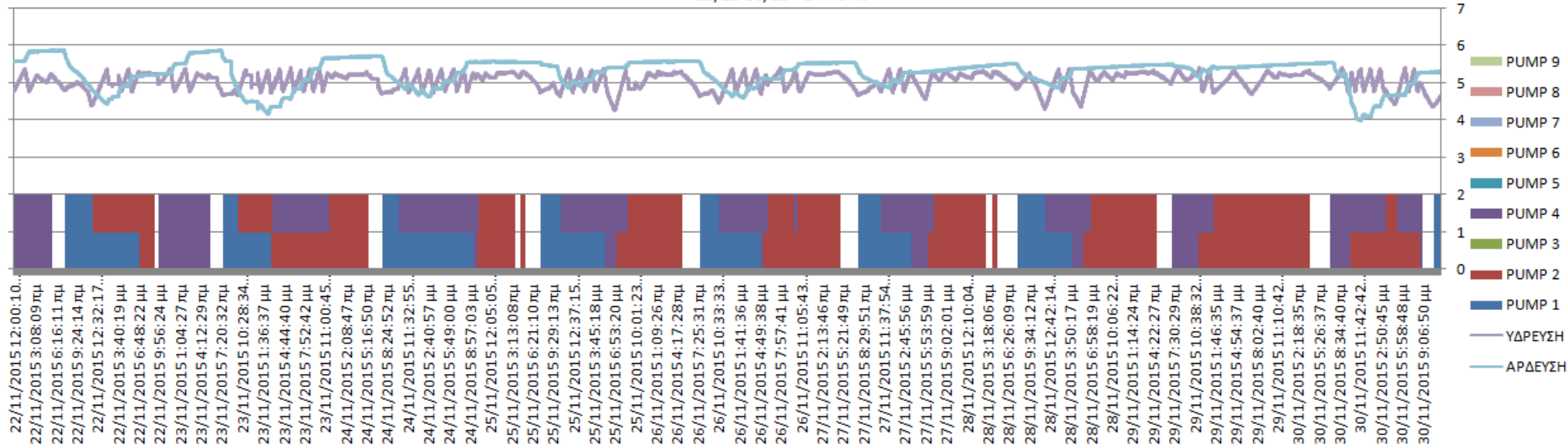
8/11-14/11 - ΣΥΝΟΛΟ



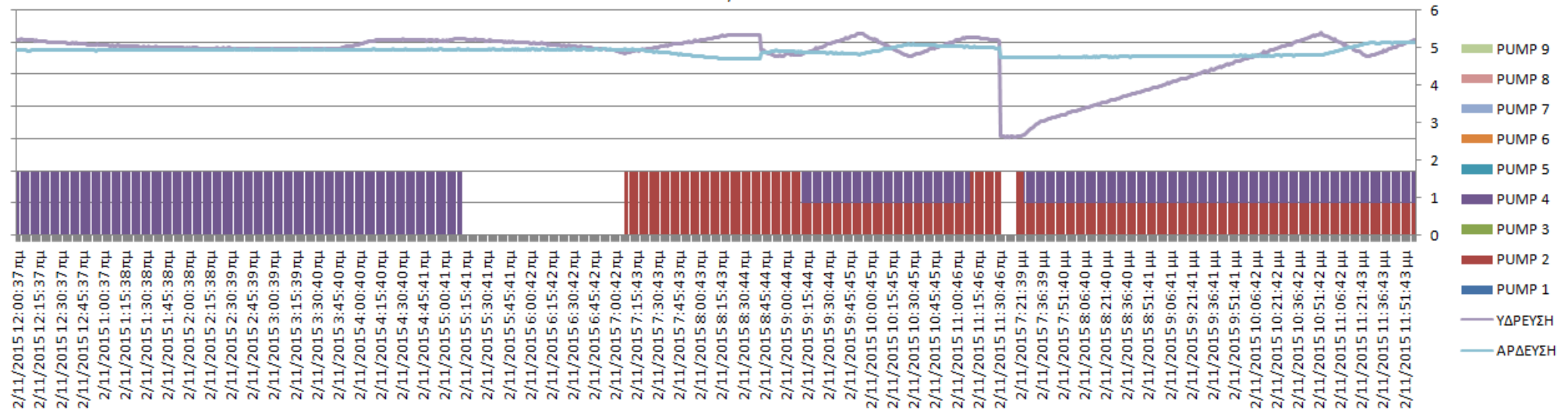
15/11-21/11 - ΣΥΝΟΛΟ



22/11-30/11 - ΣΥΝΟΛΟ

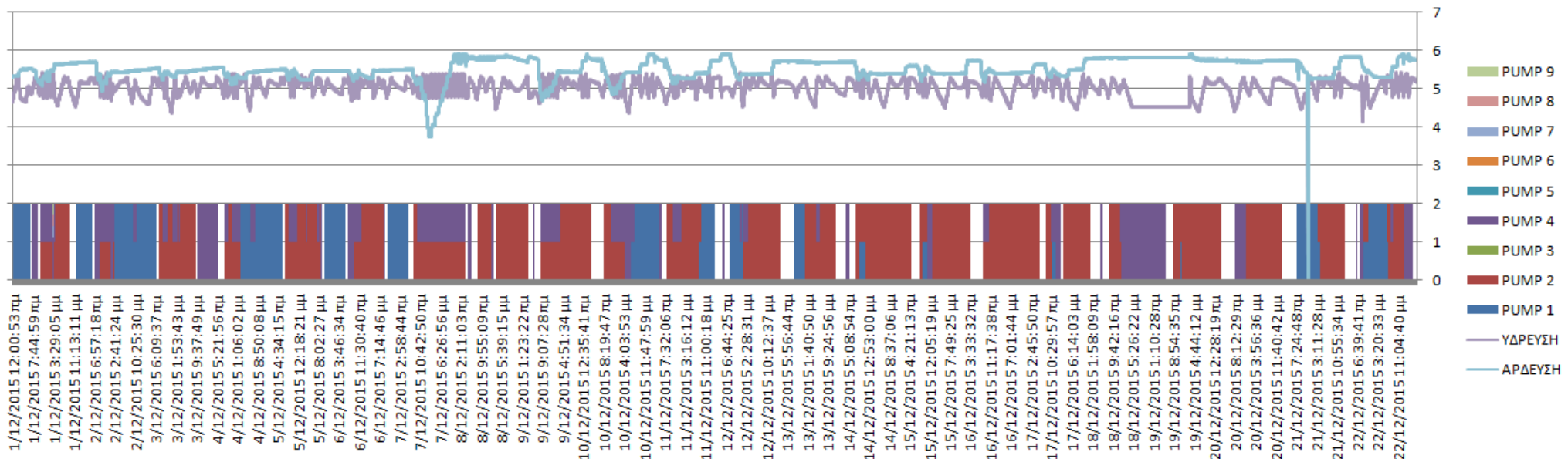


2/11 - ΣΥΝΟΛΟ

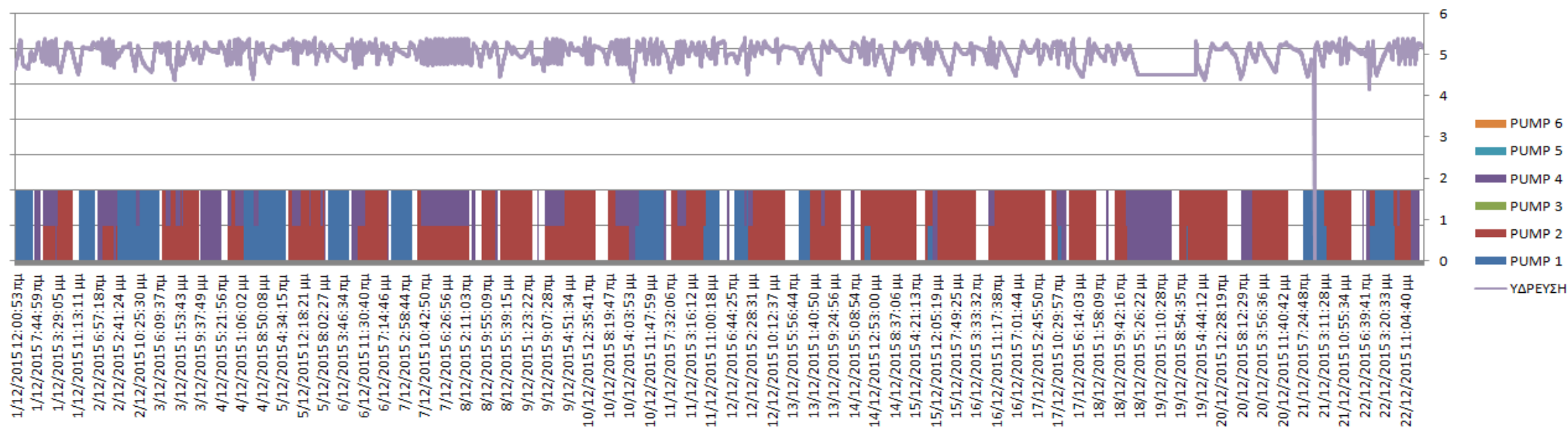


ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

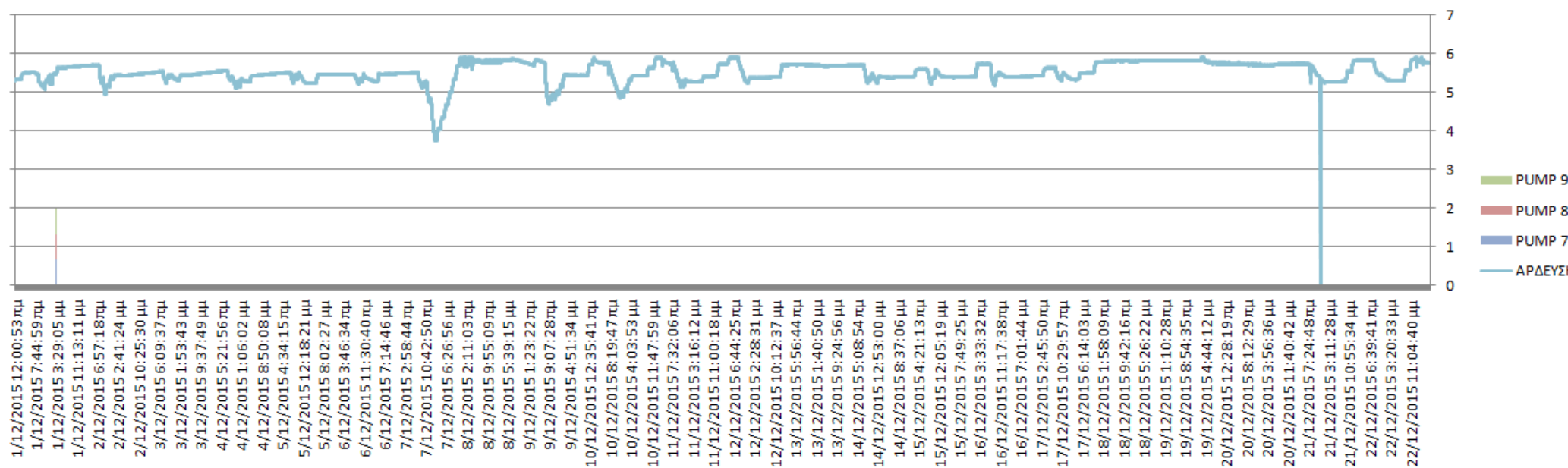
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ - ΣΥΝΟΛΟ



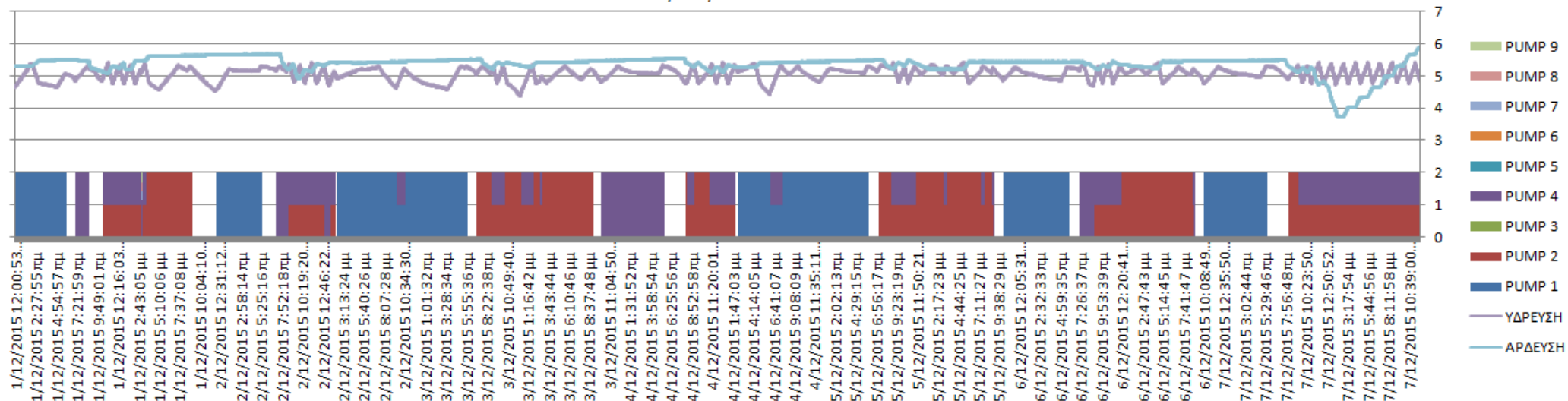
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ - ΥΔΡΕΥΣΗ



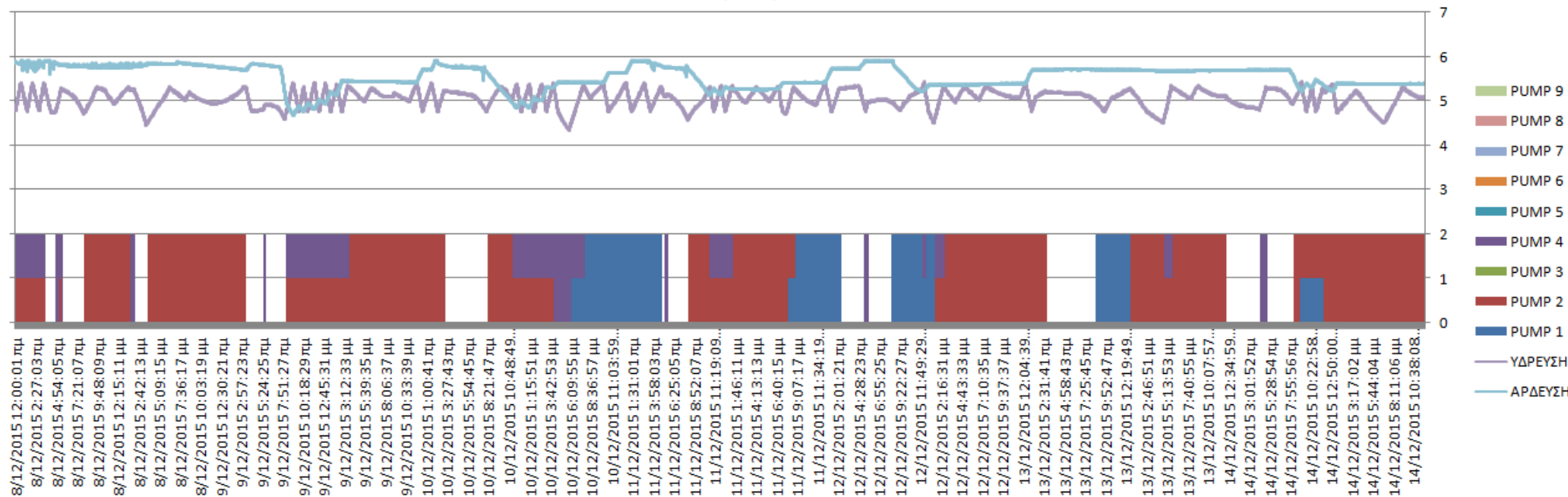
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ - ΑΡΔΕΥΣΗ



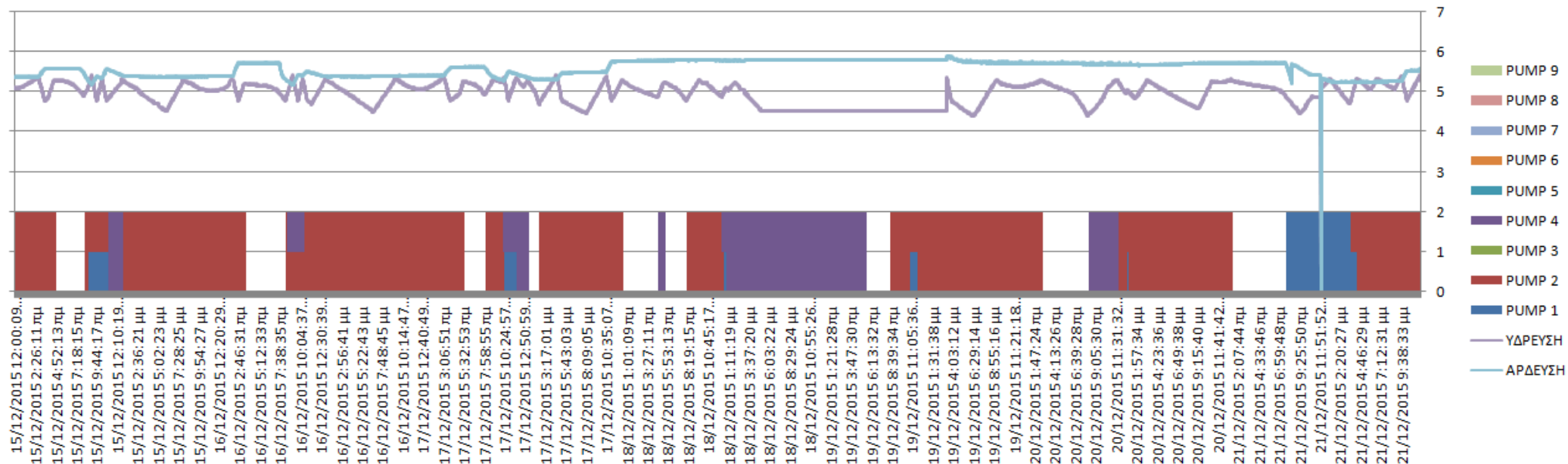
1/12/12 - ΣΥΝΟΛΟ



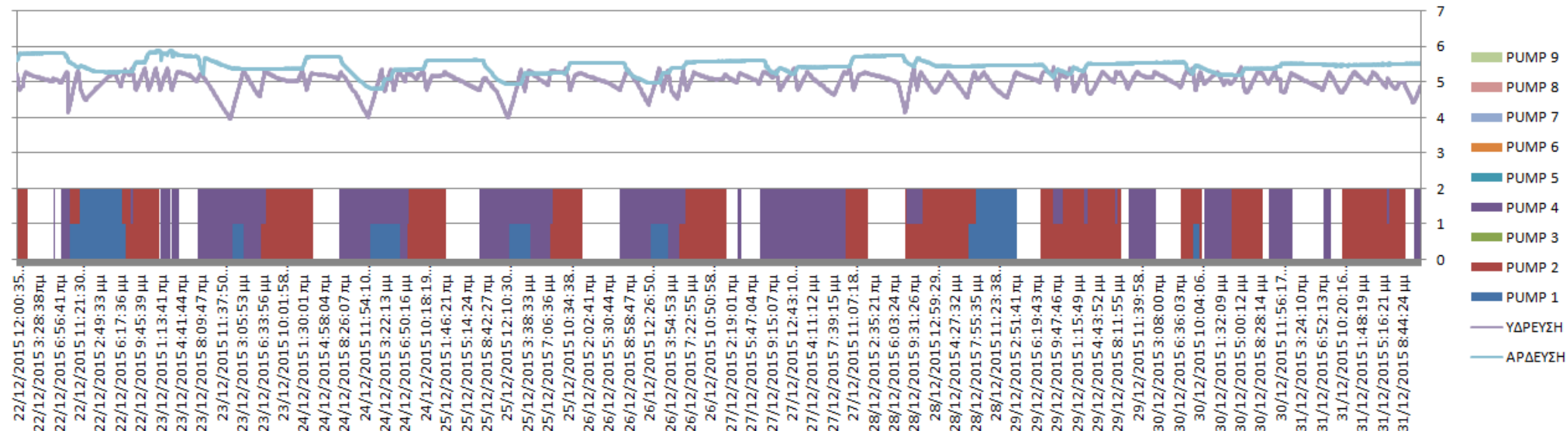
8/12-14/12 - ΣΥΝΟΛΟ



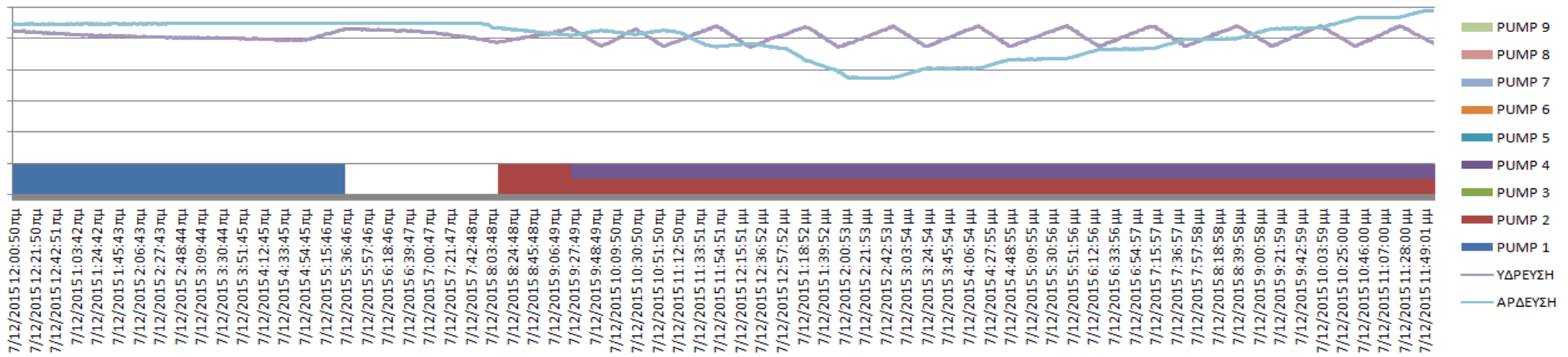
15/12-21/12 - ΣΥΝΟΛΟ



22/12-31/12 - ΣΥΝΟΛΟ

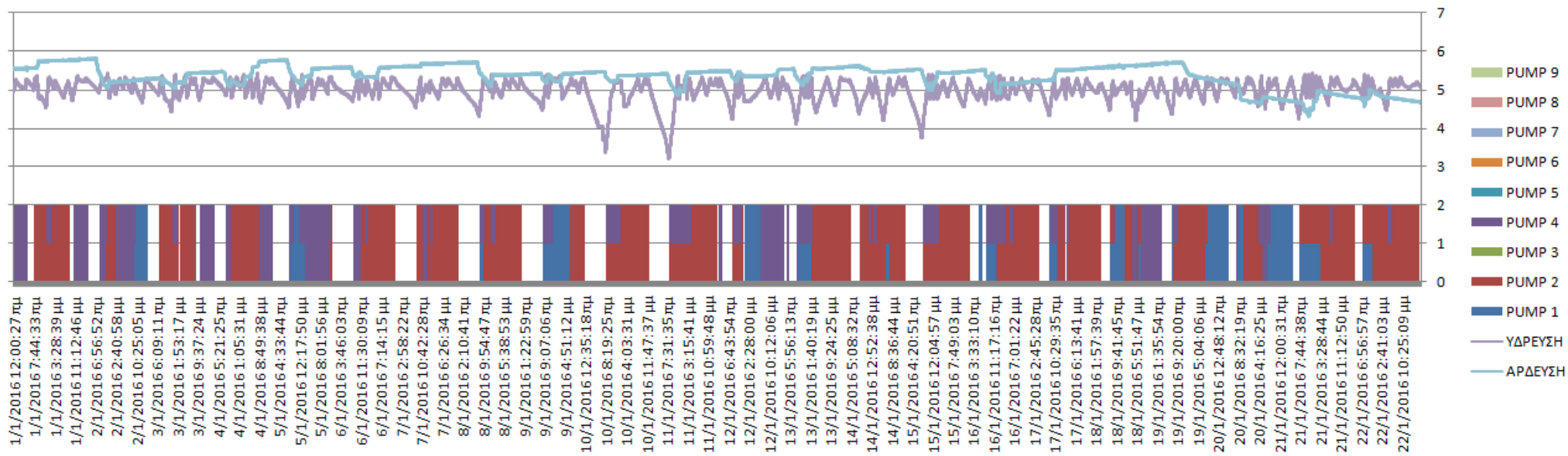


7/12 - ΣΥΝΟΛΟ

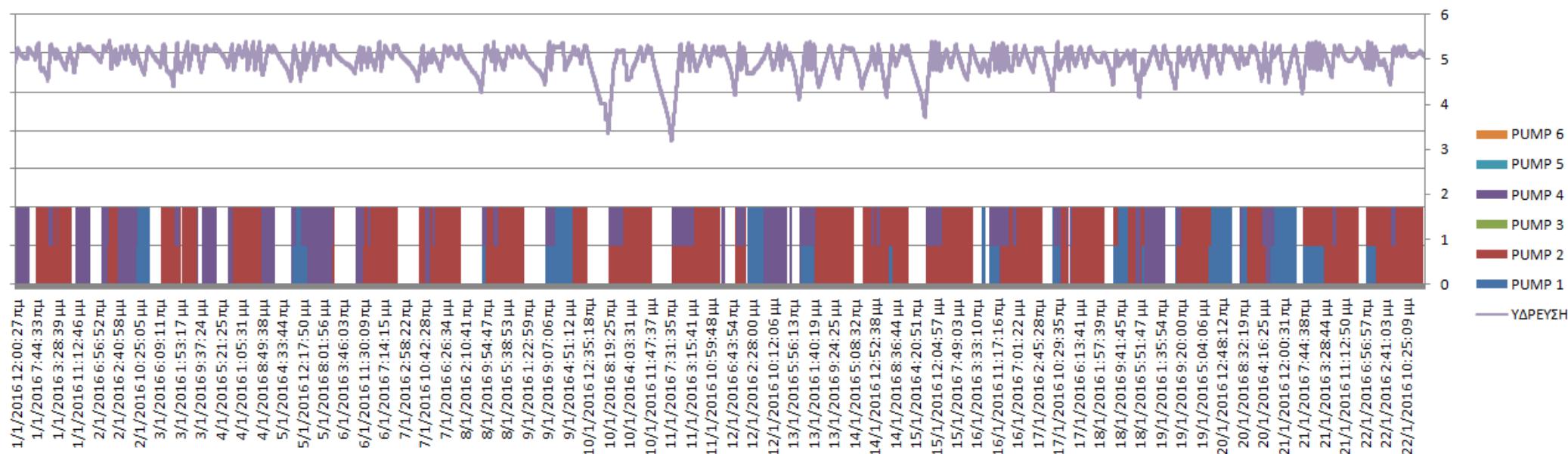


ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

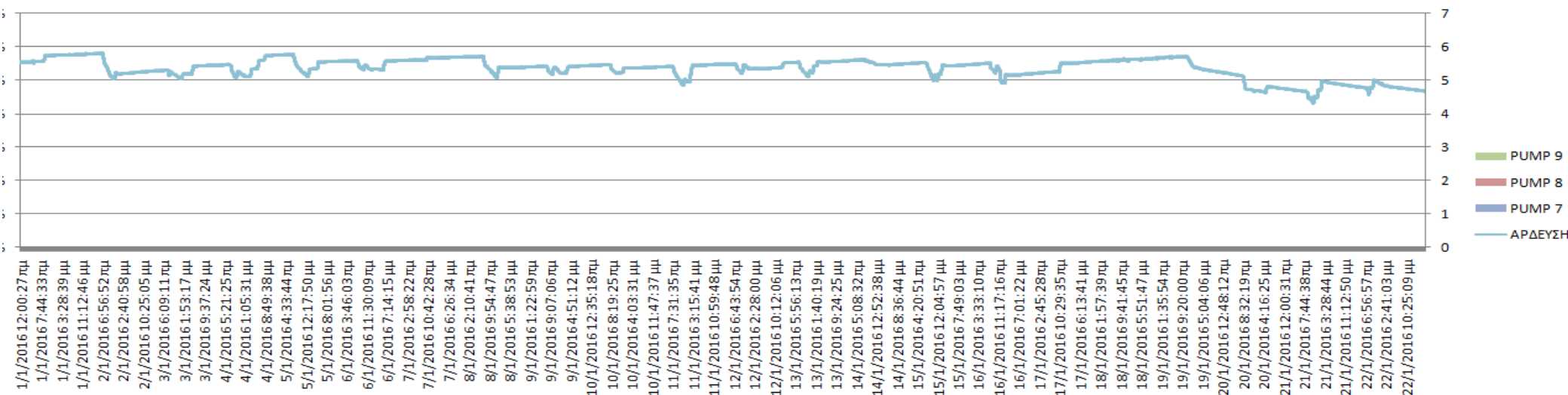
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ - ΣΥΝΟΛΟ



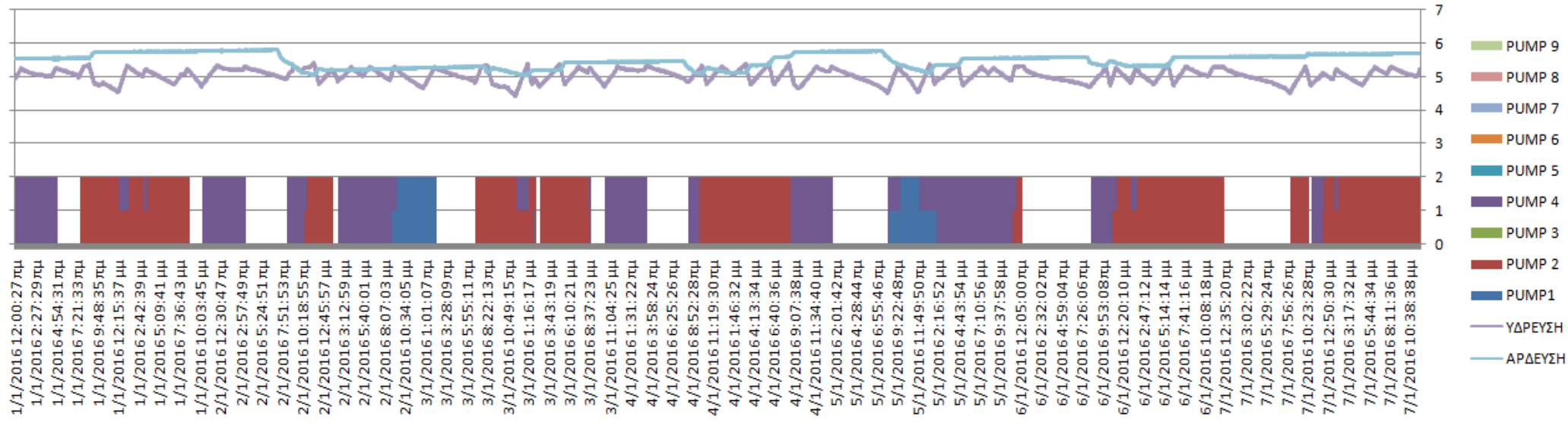
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ - ΥΔΡΕΥΣΗ



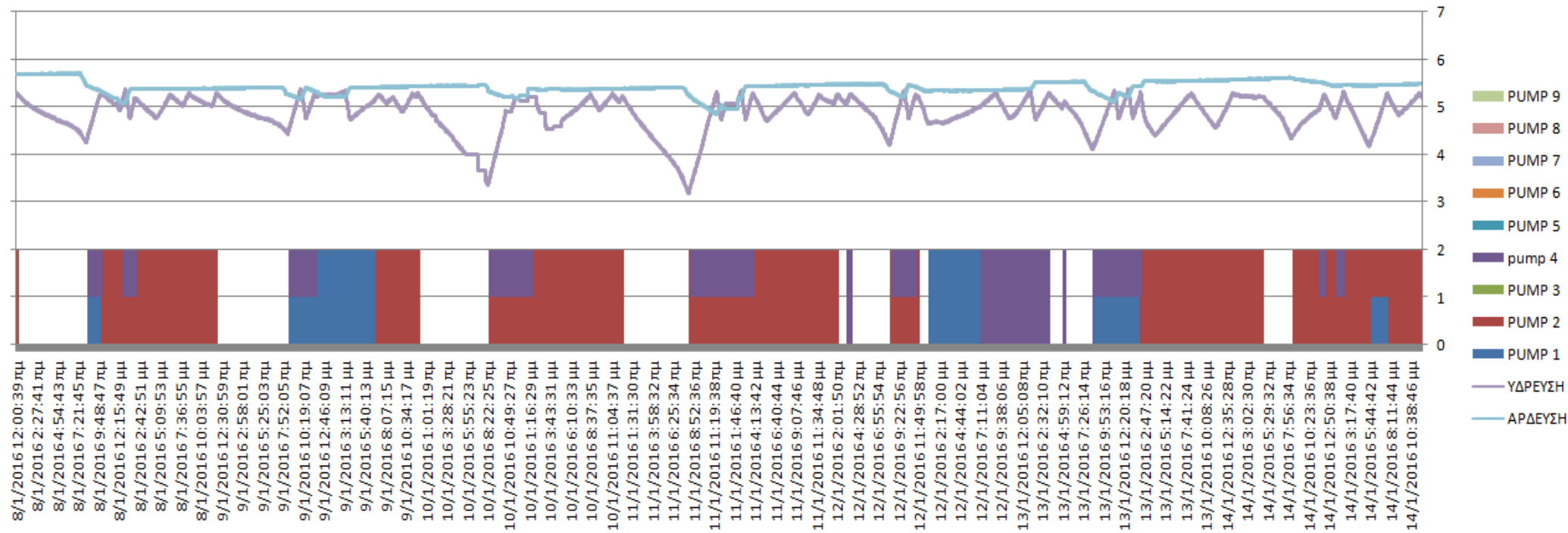
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ - ΑΡΔΕΥΣΗ



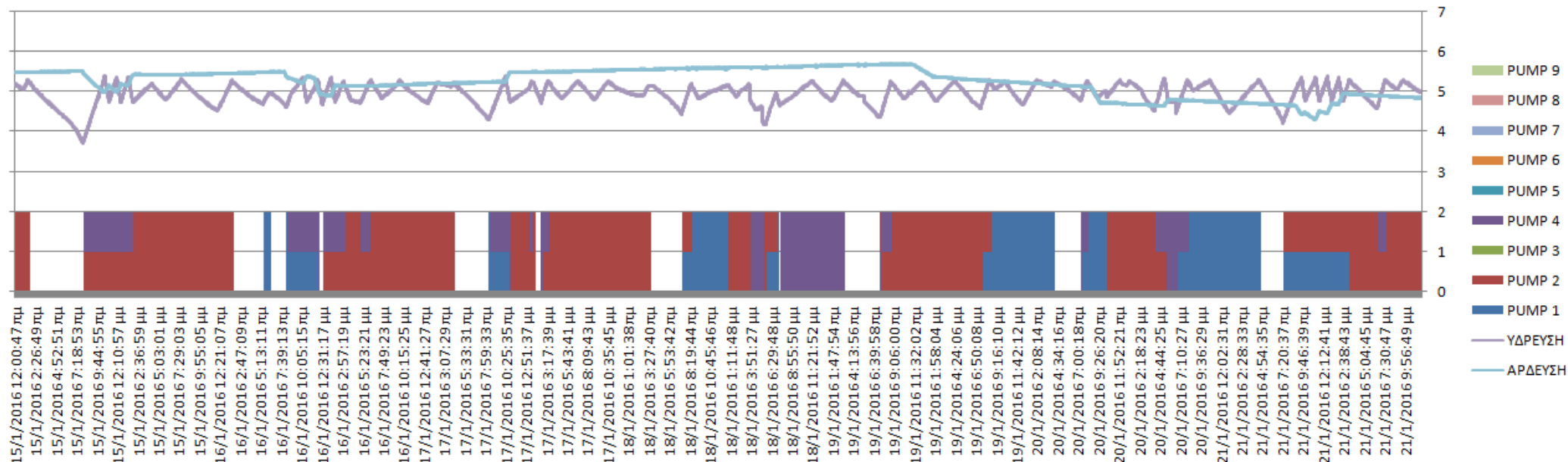
1/1-7/1 - ΣΥΝΟΛΟ



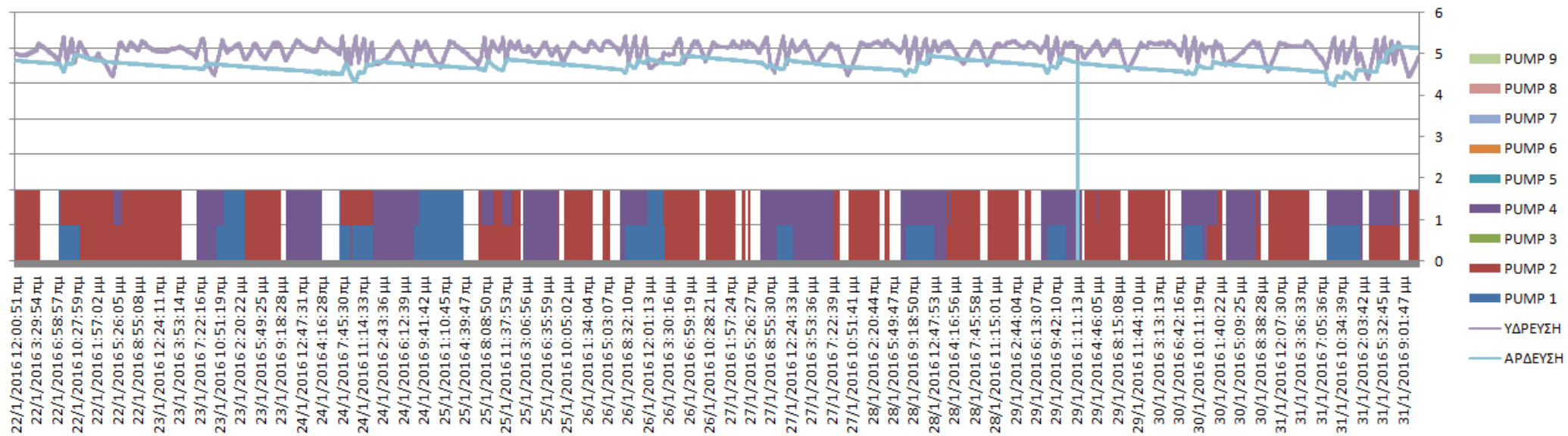
8/1-14/1 - ΣΥΝΟΛΟ

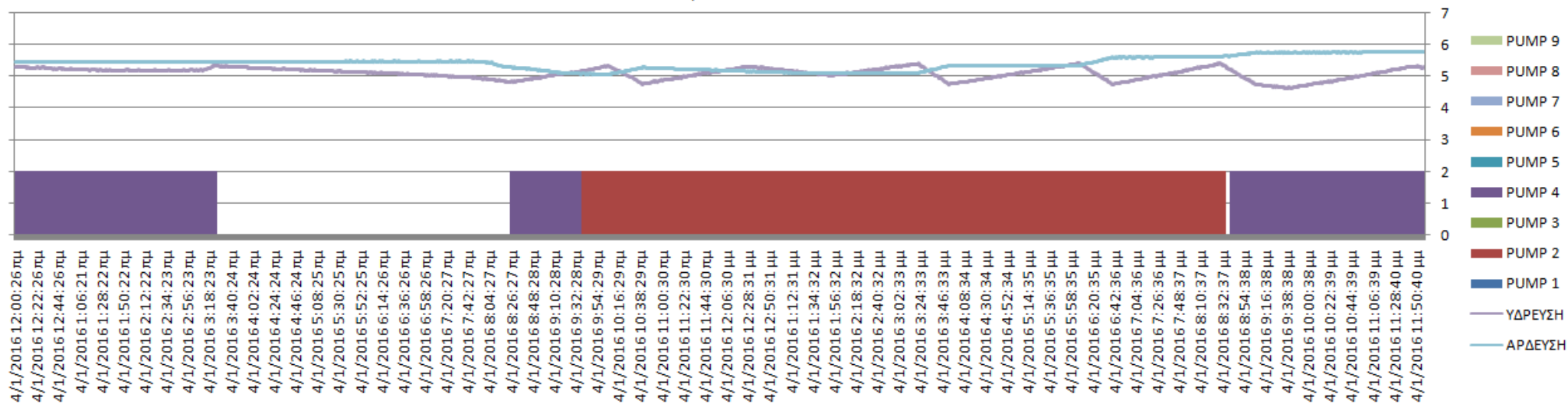


15/1-21/1 - ΣΥΝΟΛΟ



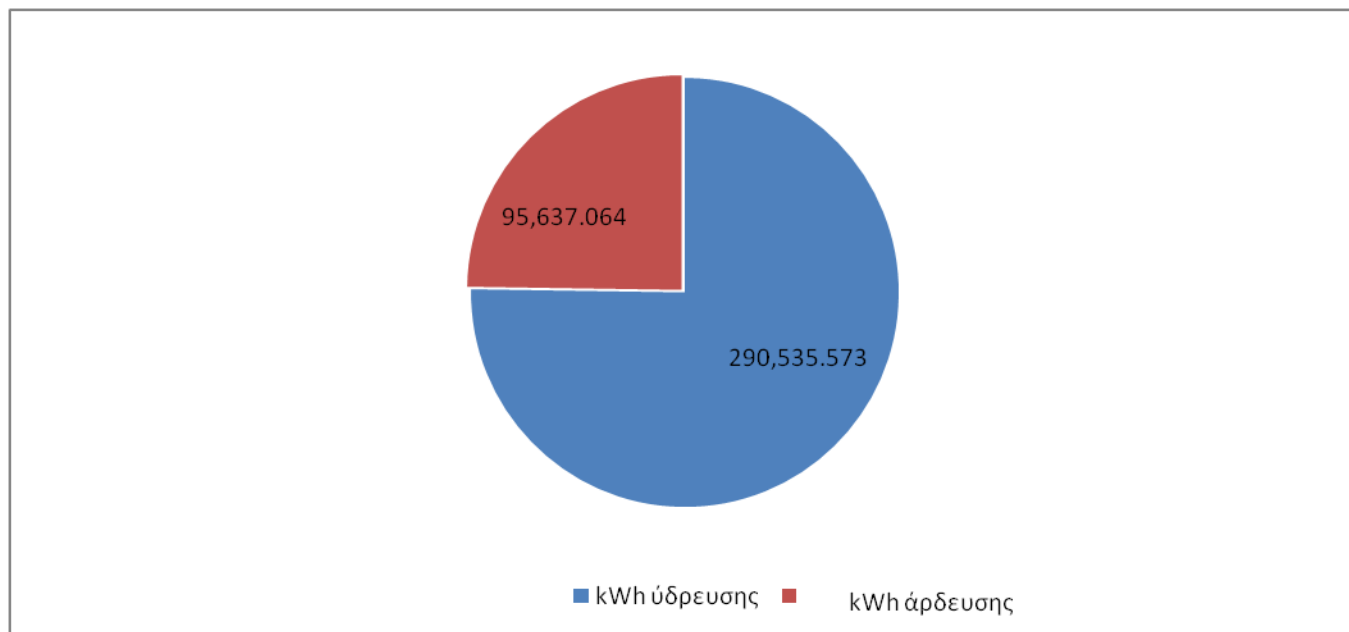
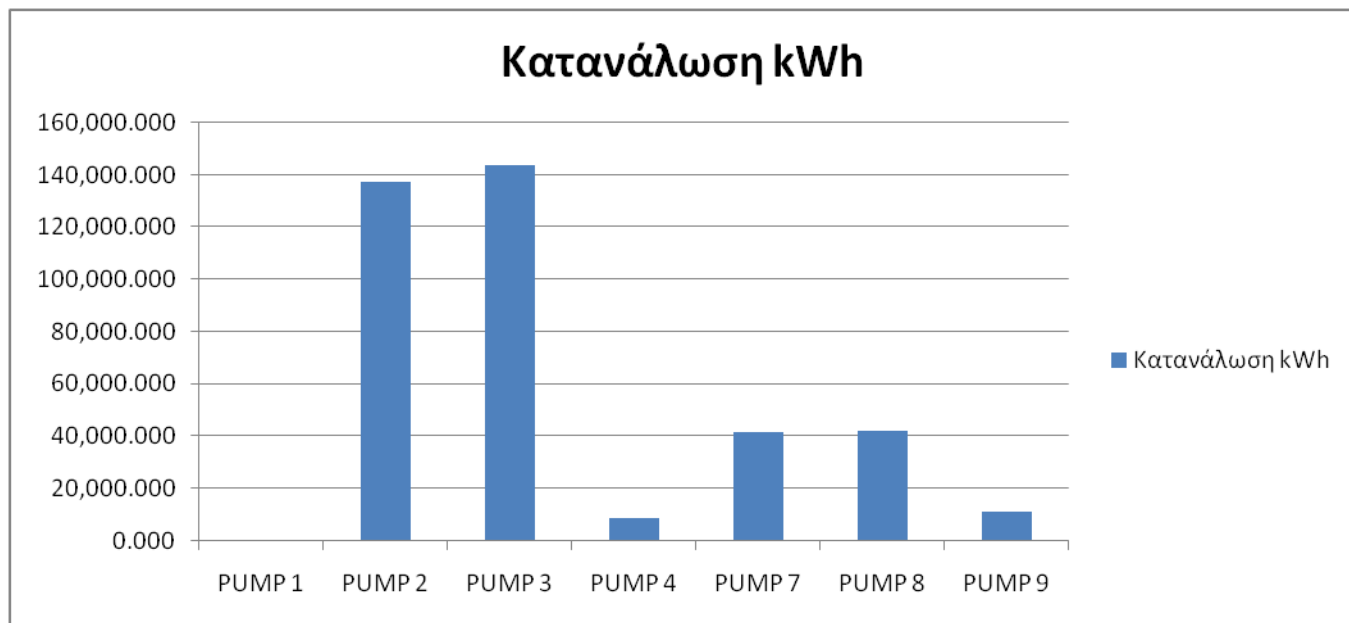
22/1-31/1 - ΣΥΝΟΛΟ



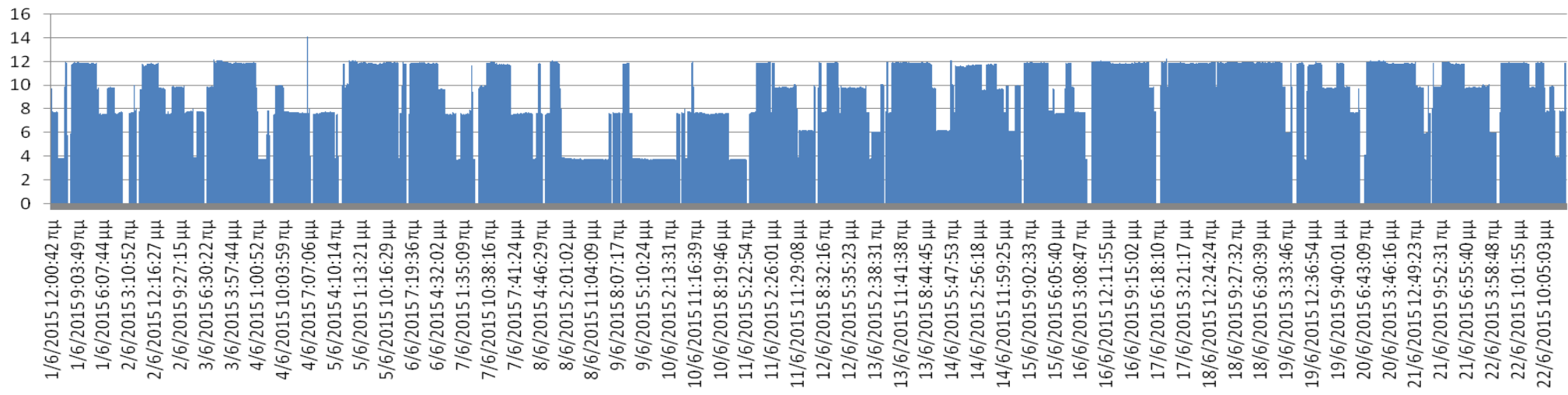


Δ. Διαγράμματα κατανάλωσης ενέργειας και απορροφούμενης ισχύς αντλιών (2015-2016)

ΙΟΥΝΙΟΣ



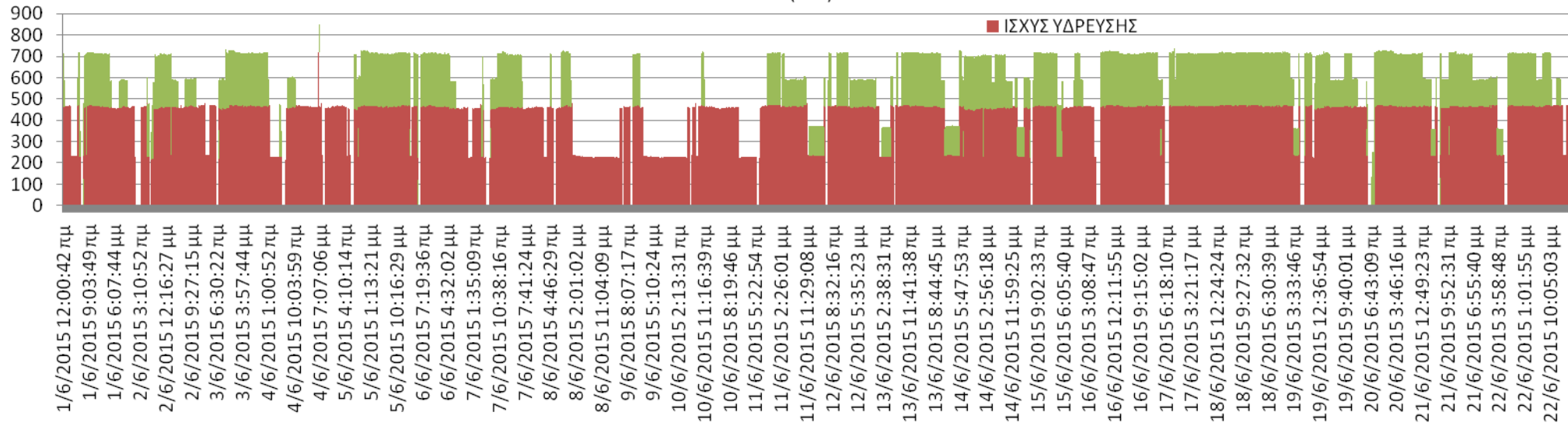
Κατανάλωση kWh



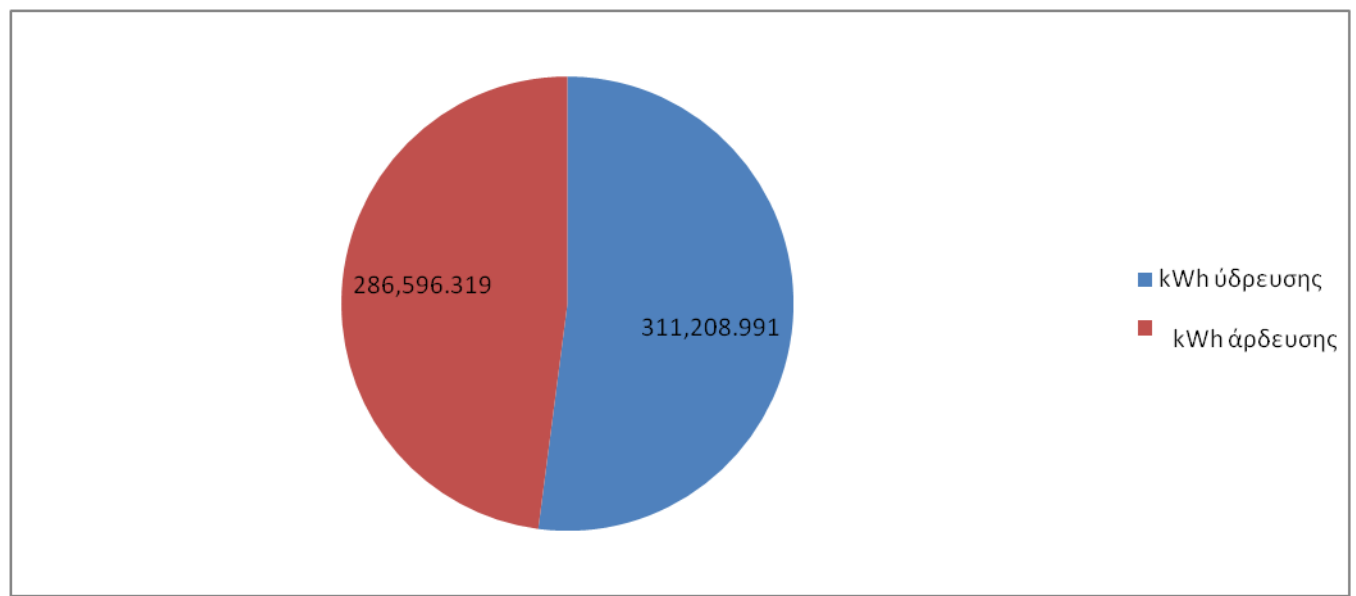
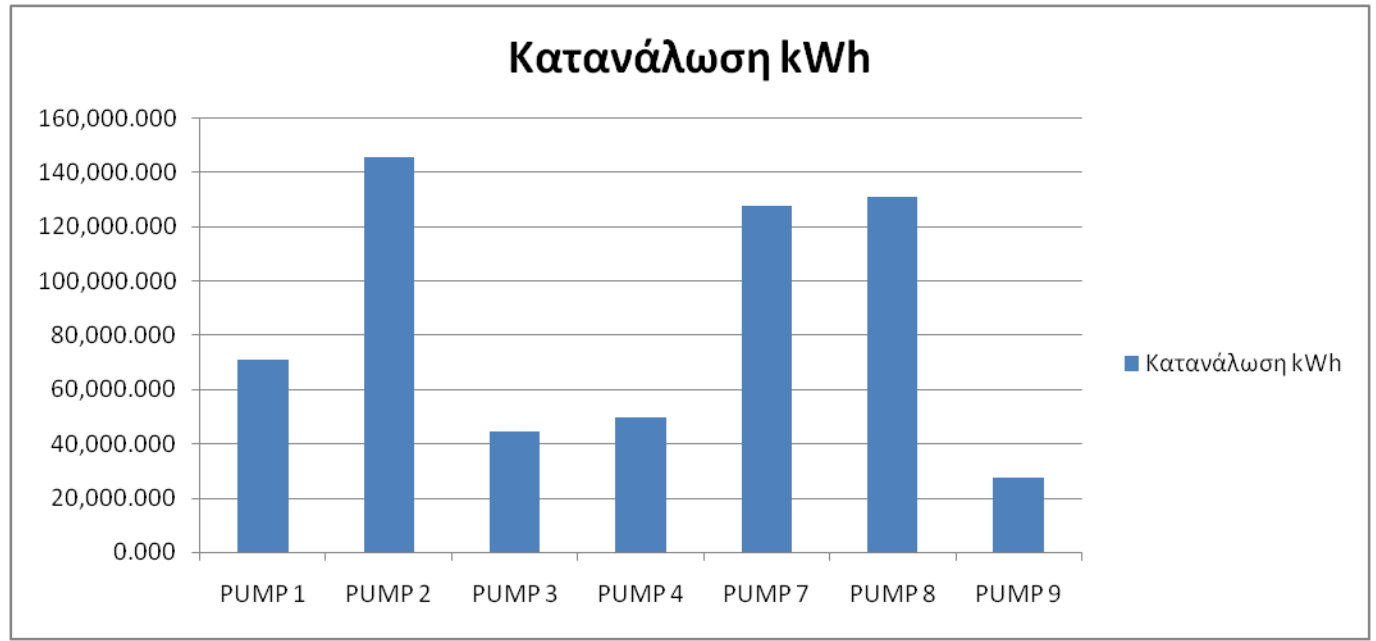
ΙΣΧΥΣ (kW) ΑΝΤΛΙΩΝ

■ ΙΣΧΥΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

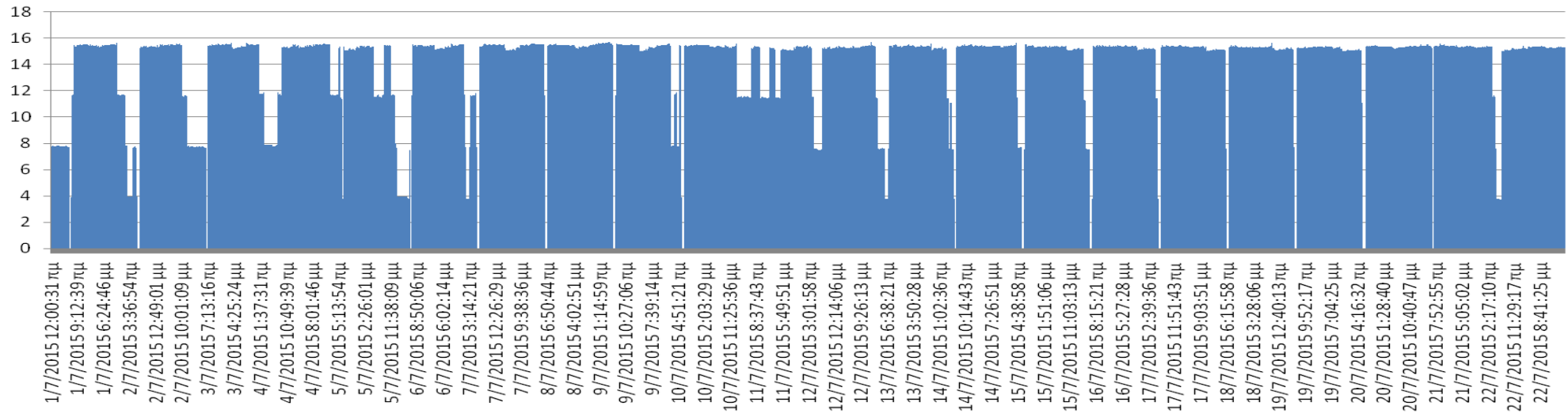
■ ΙΣΧΥΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ



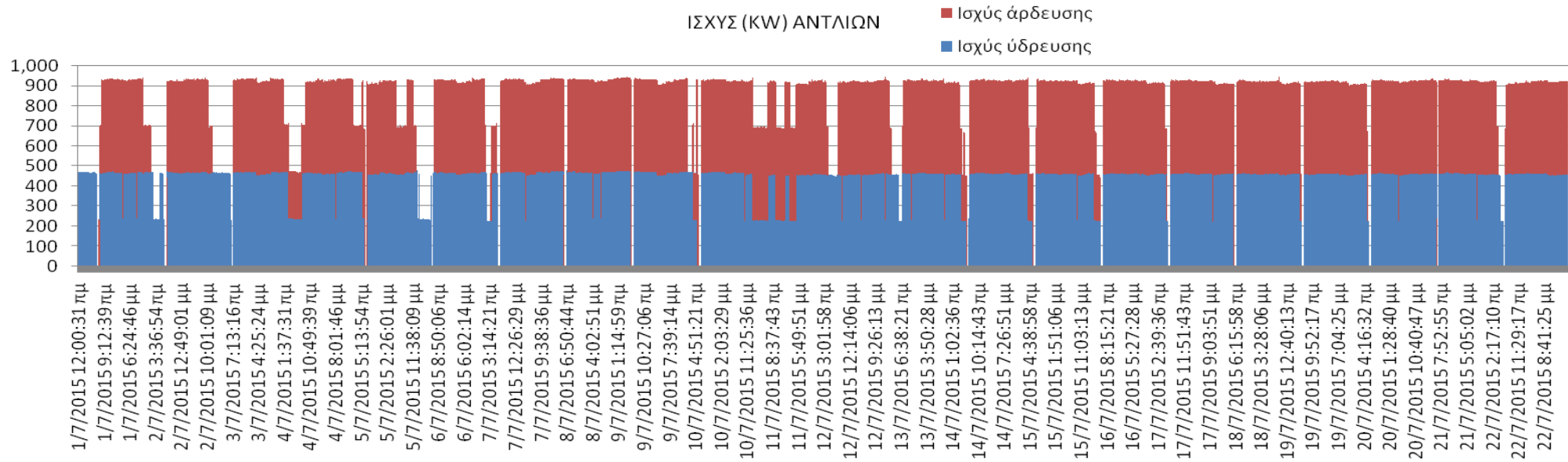
ΙΟΥΛΙΟΣ

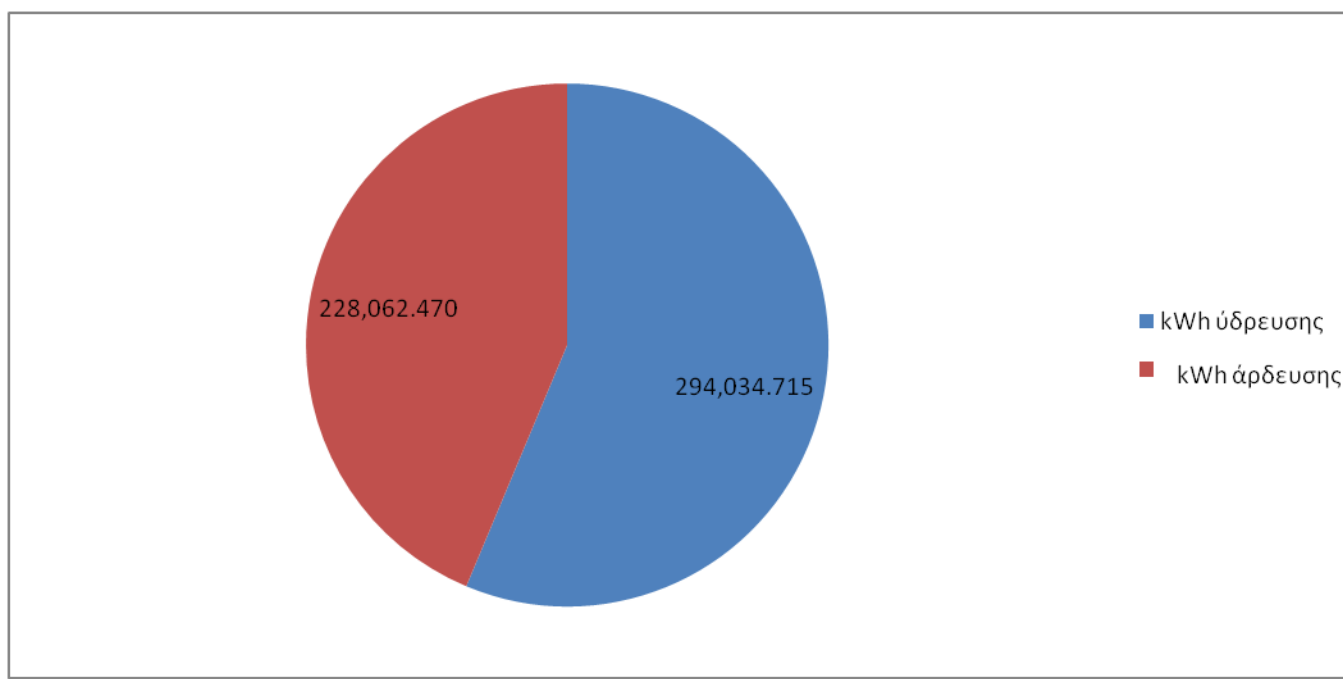
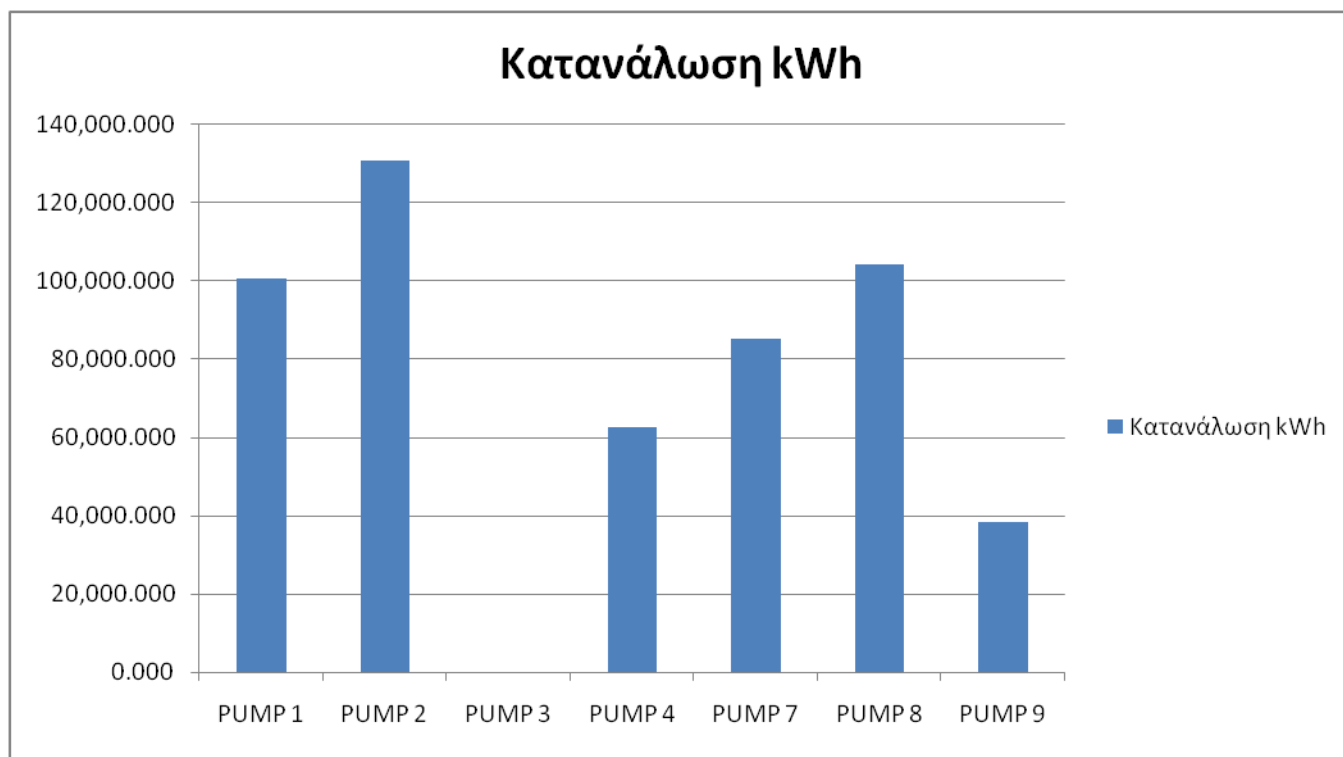


Κατανάλωση kWh

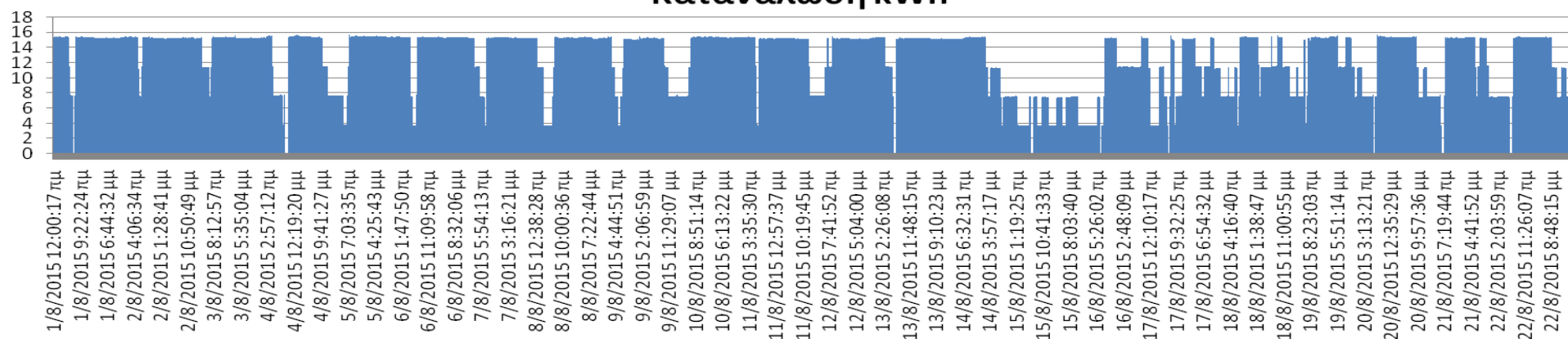


ΙΣΧΥΣ (KW) ΑΝΤΛΙΩΝ

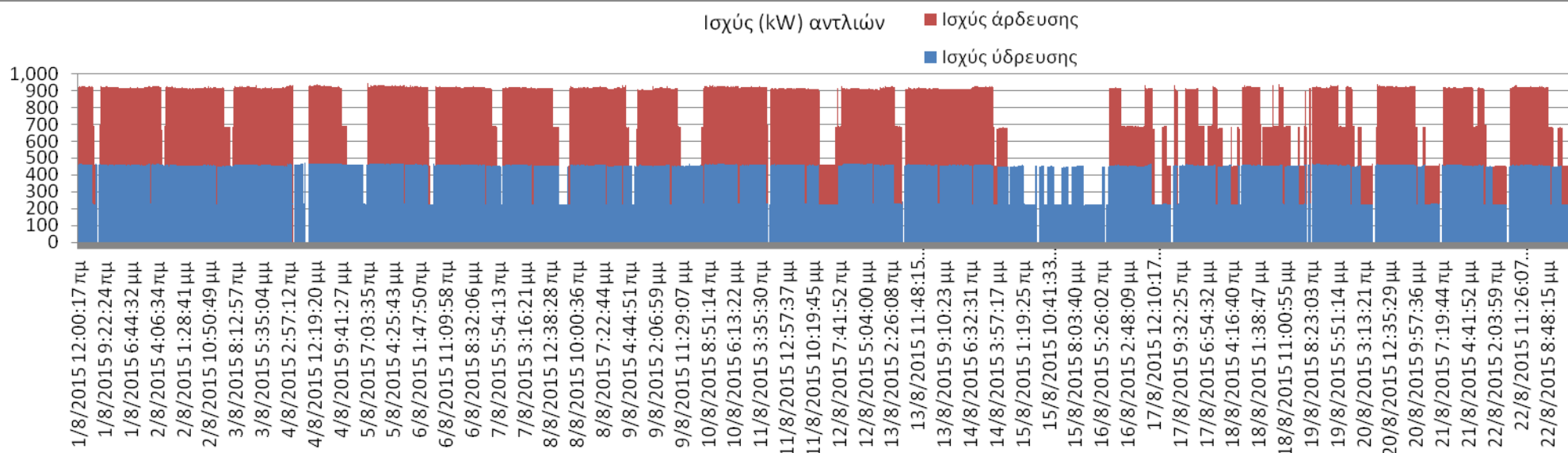




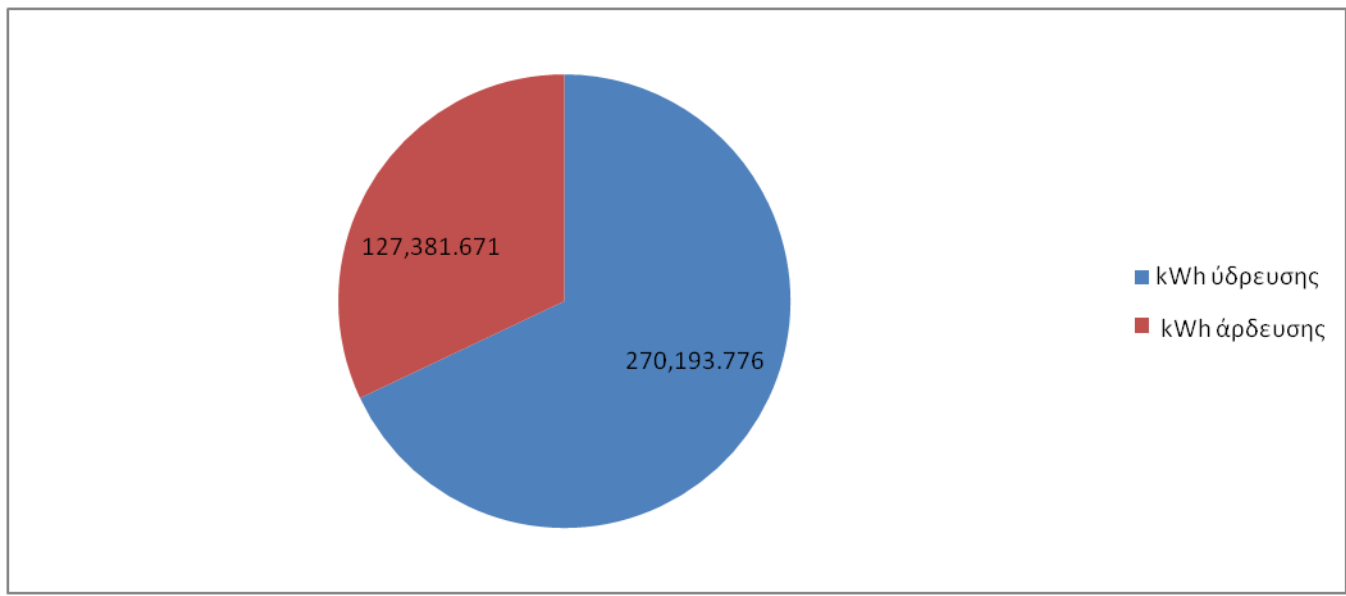
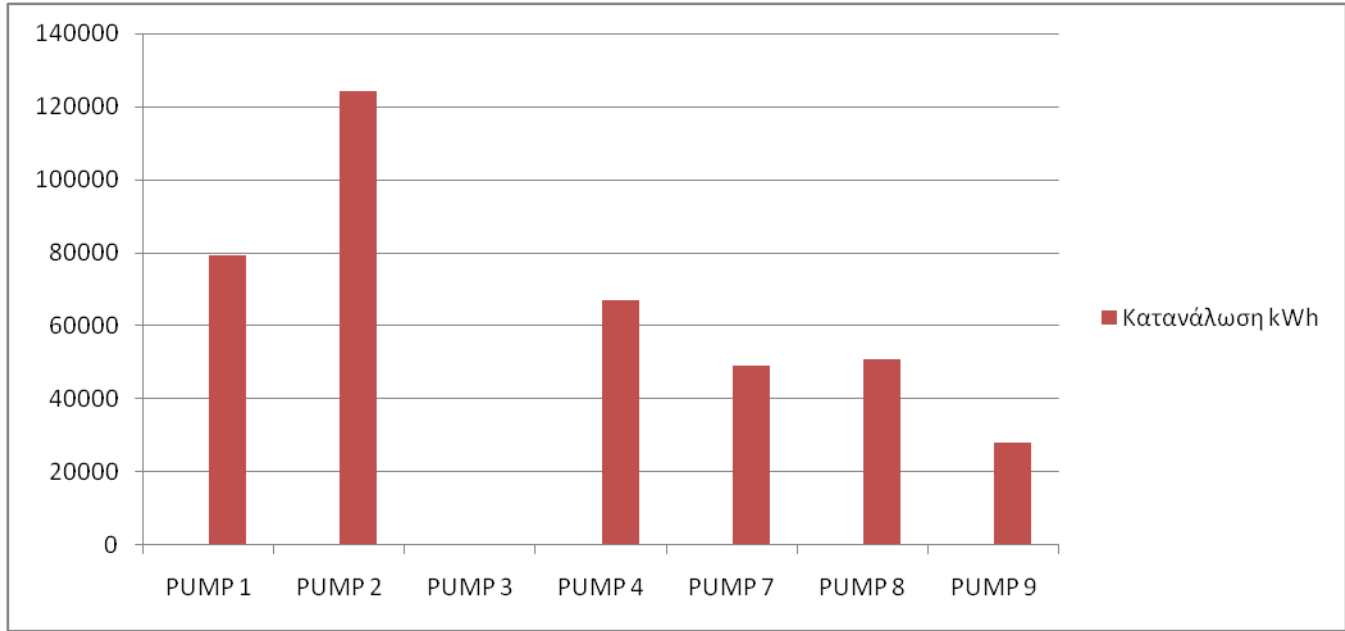
Κατανάλωση kWh



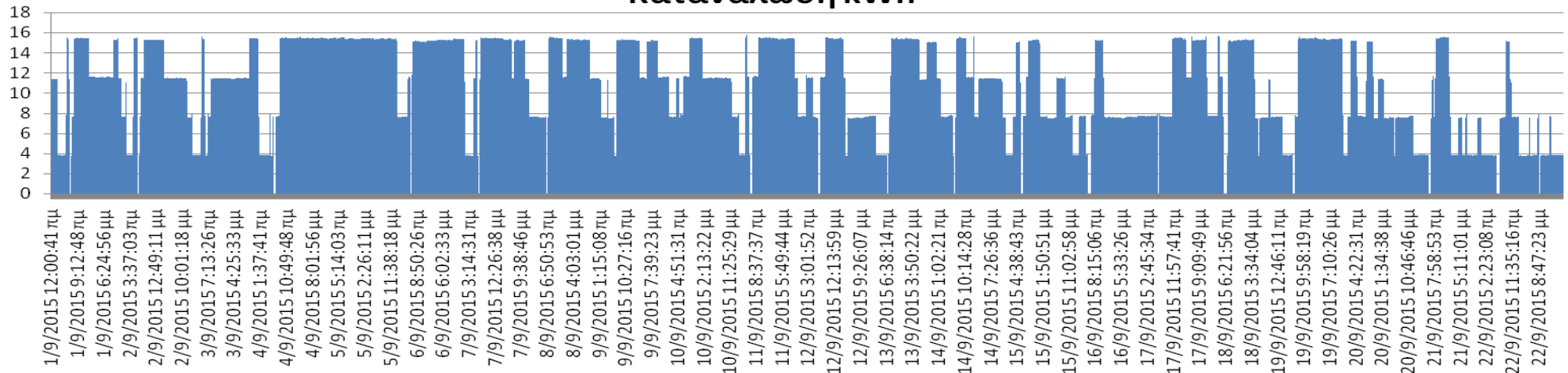
Ισχύς (kW) αντλιών



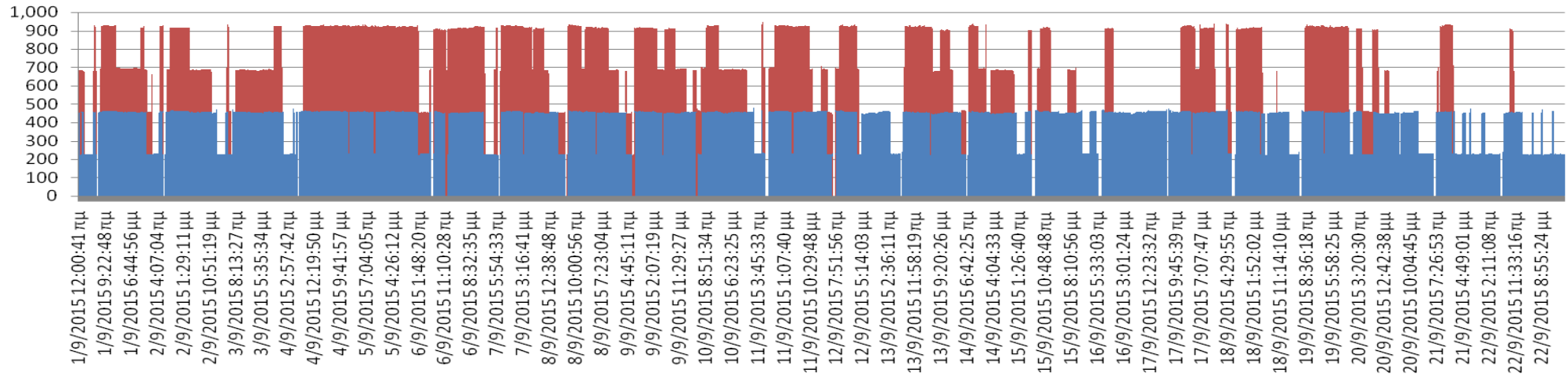
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ



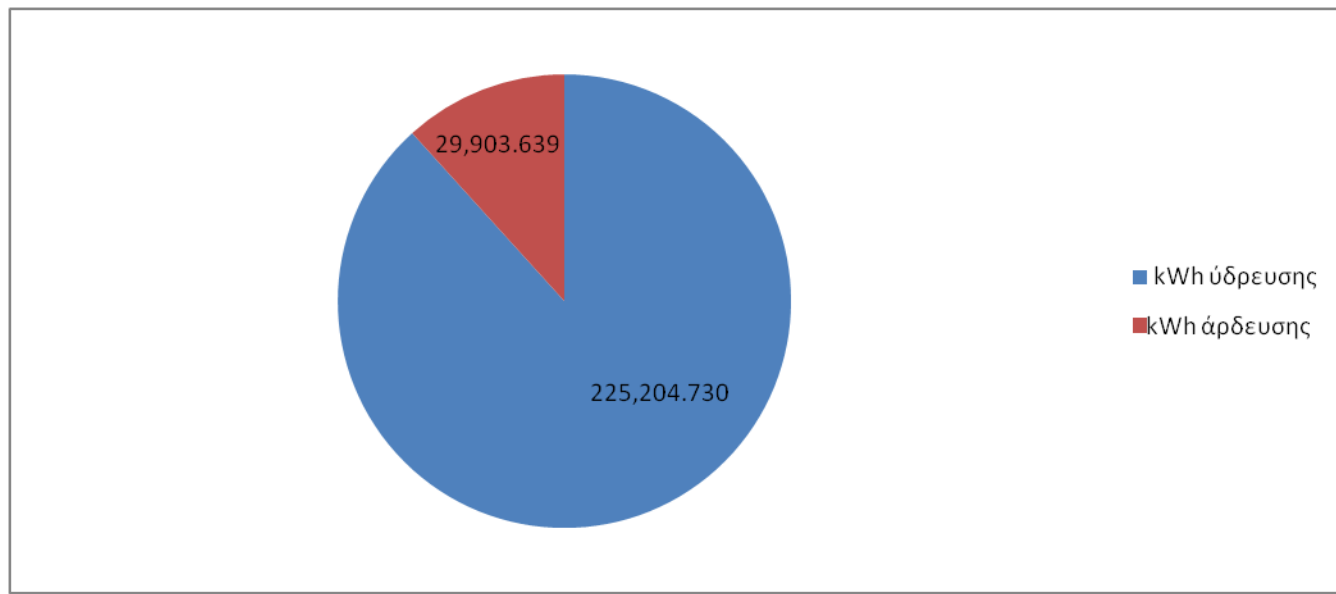
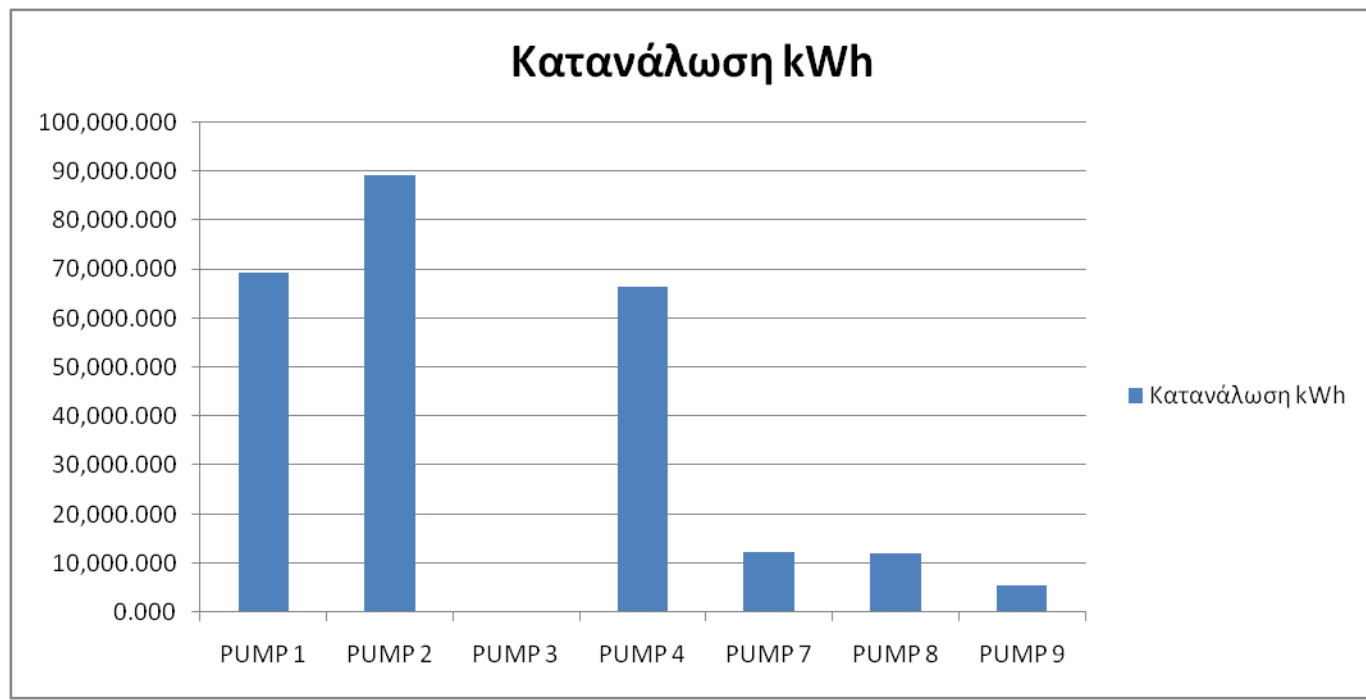
Κατανάλωση kWh



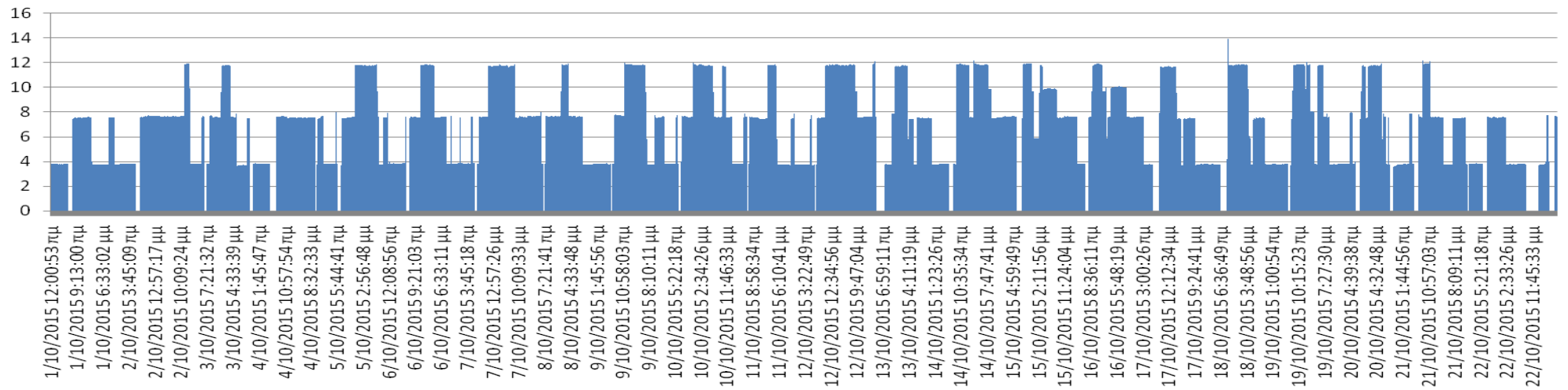
Ισχύς (kW) αντλιών



ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



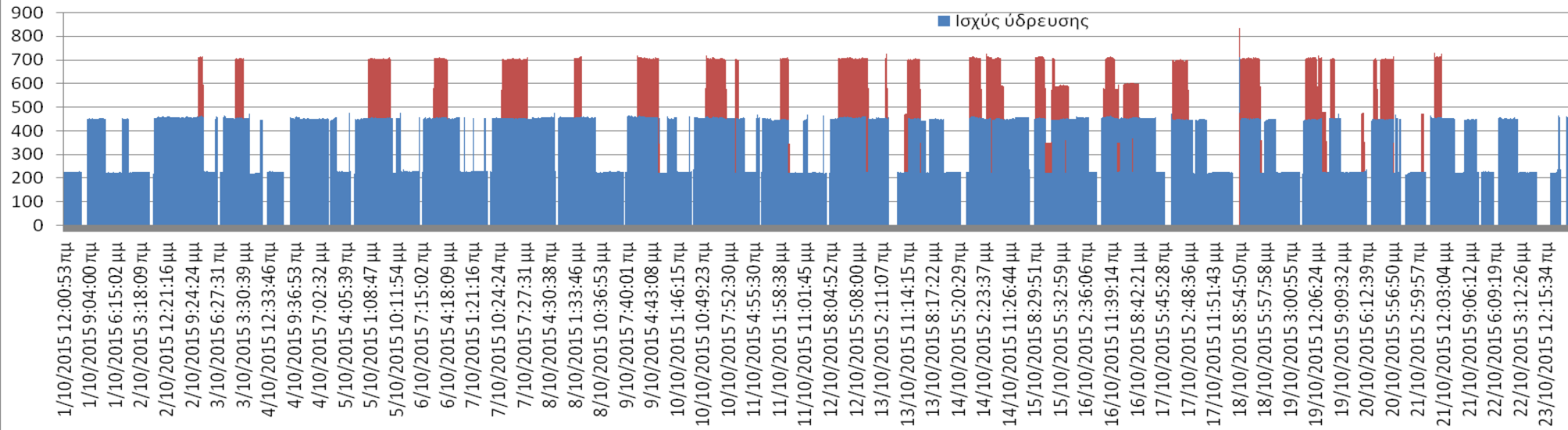
Κατανάλωση kWh



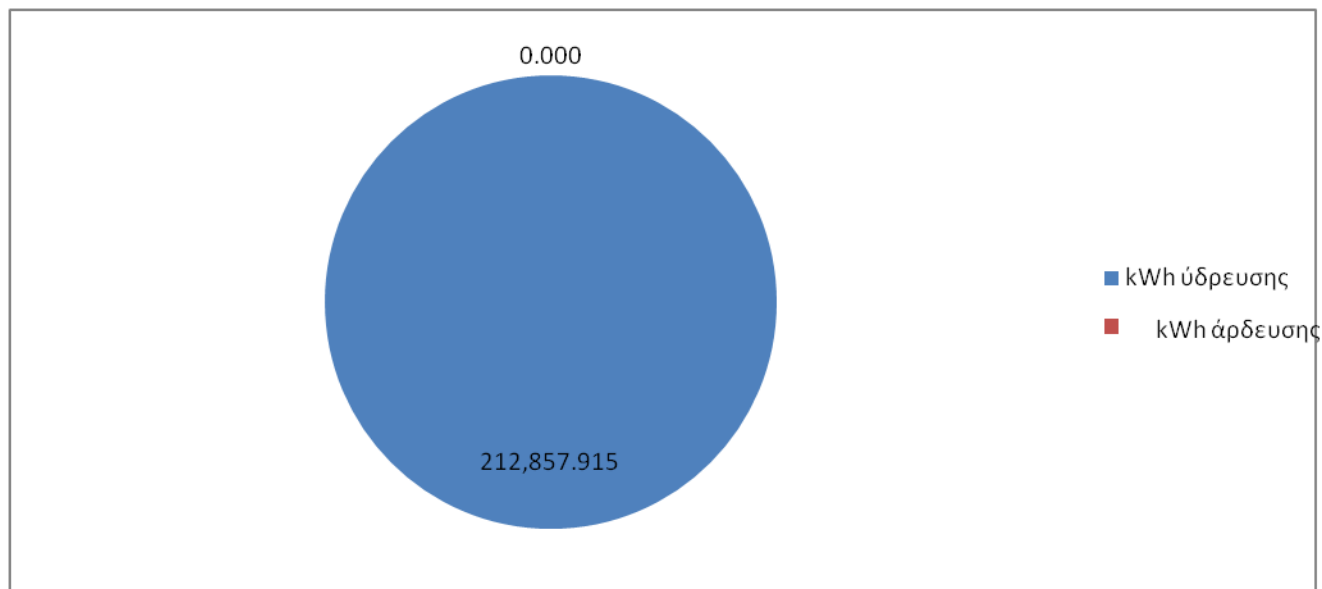
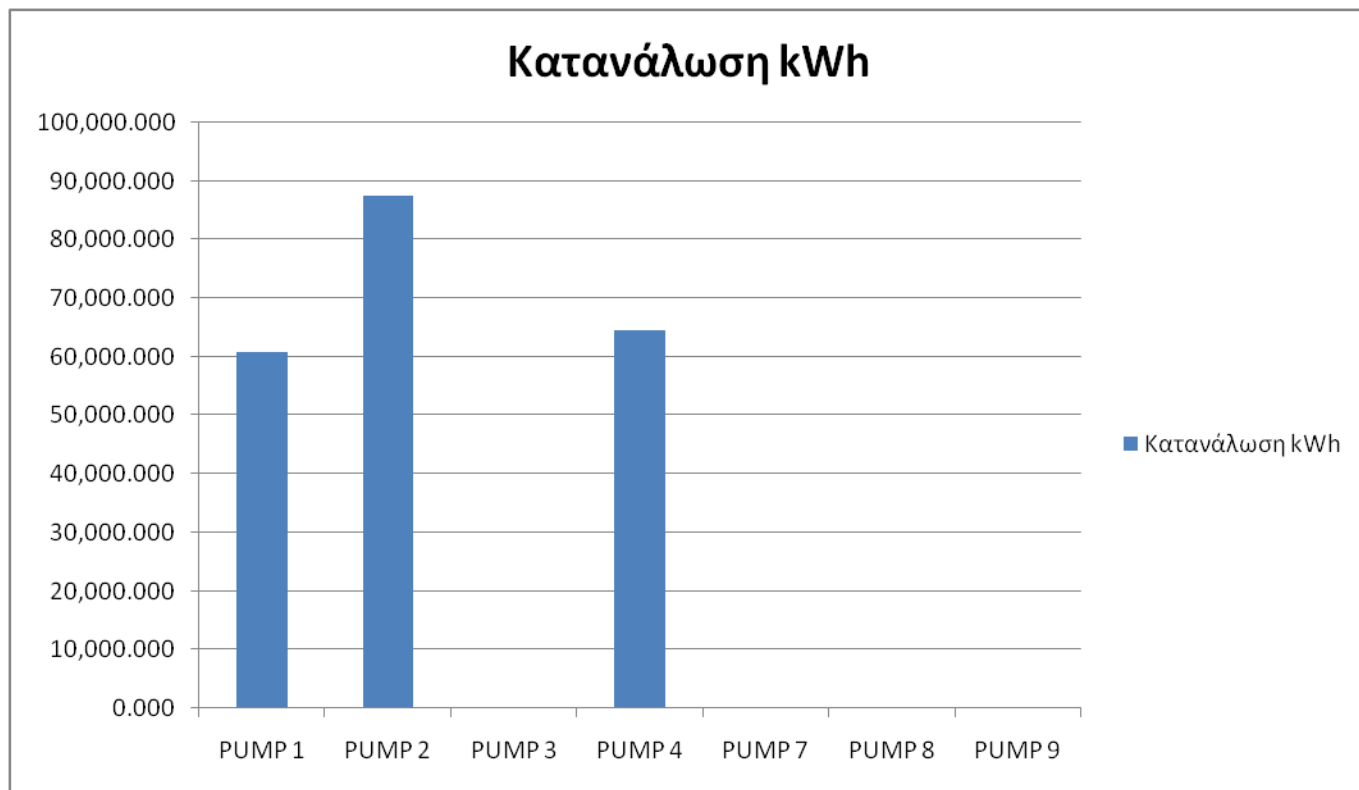
Ισχύς (kW) αντλιών

■ Ισχύς άρδευσης

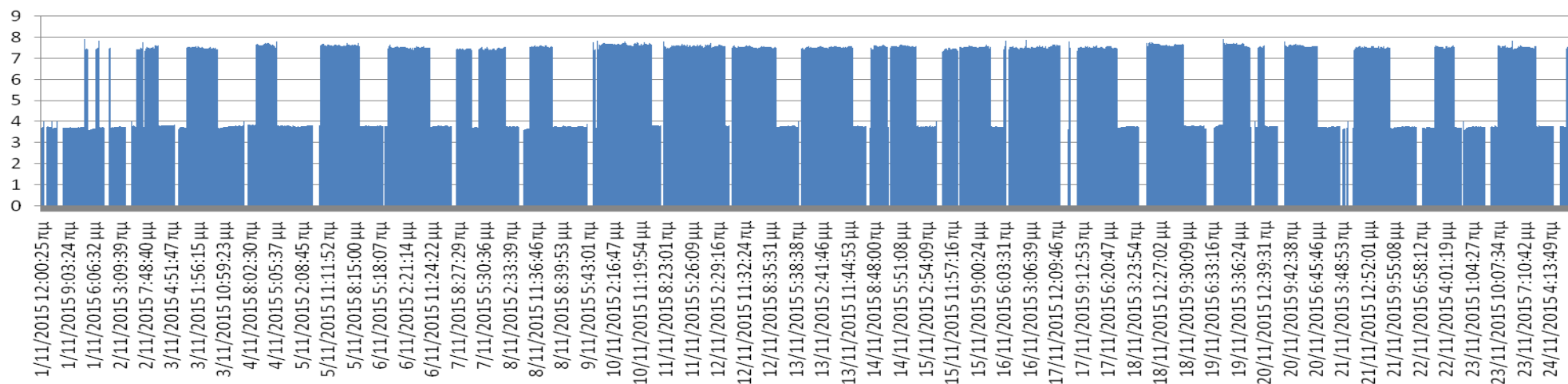
■ Ισχύς ύδρευσης



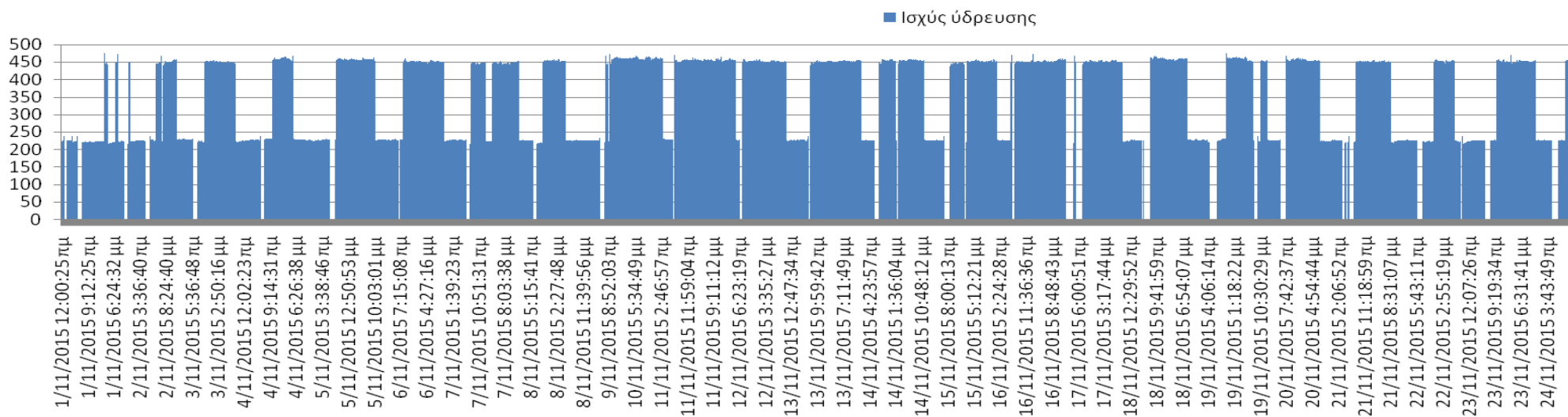
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ



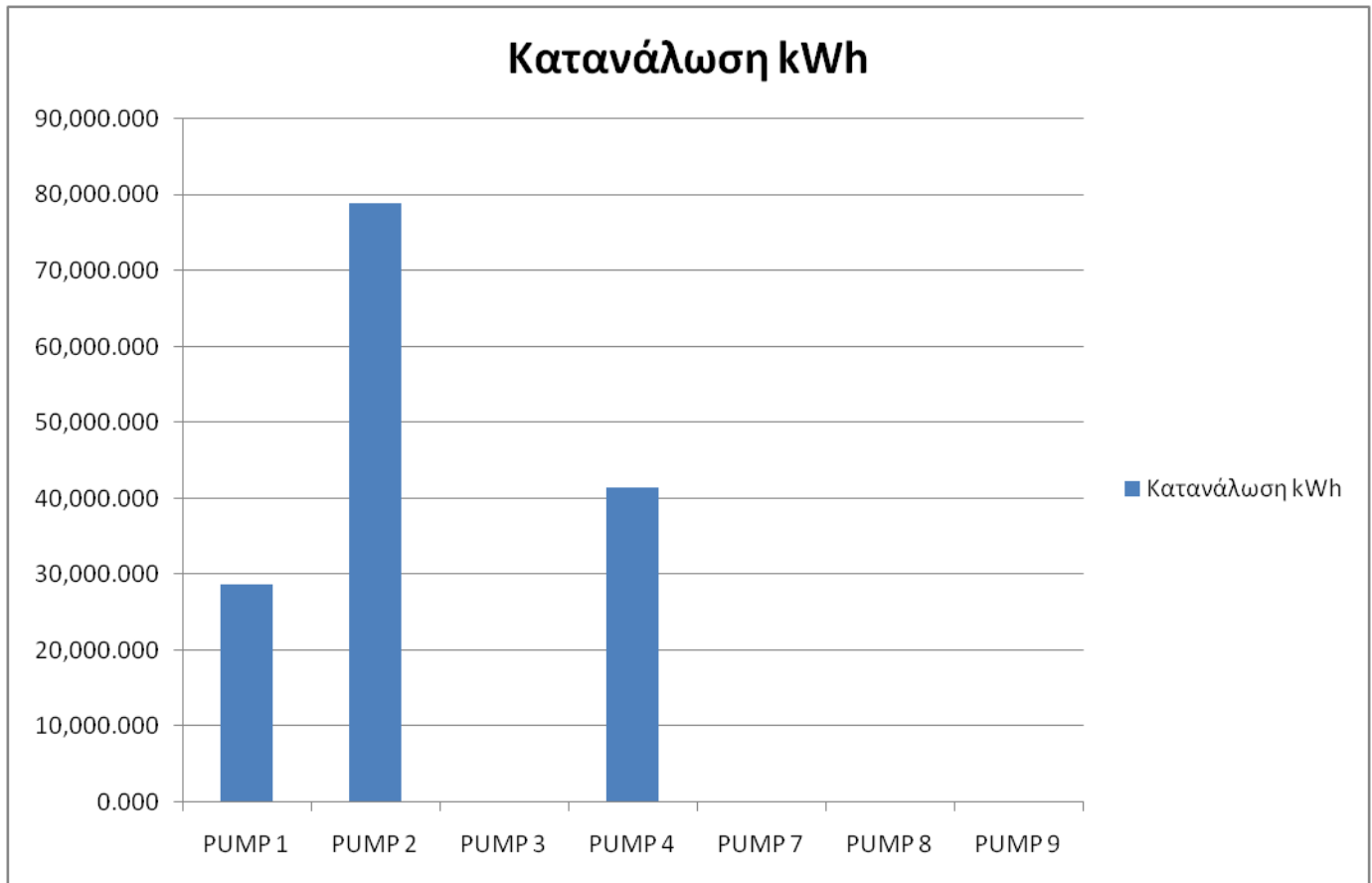
Κατανάλωση kWh



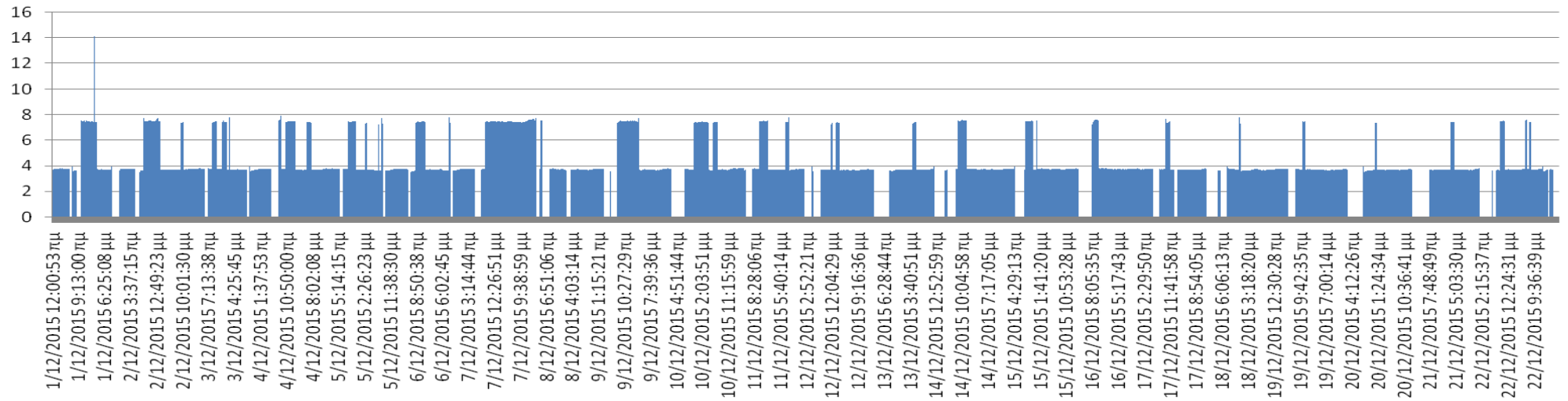
Ισχύς (kW) αντλιών



ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ



Κατανάλωση kWh



Ισχύς (kW) αντλιών

■ Ισχύς άρδευσης

■ Ισχύς ύδρευσης

