



ΕΛΛΗΝΙΚΟ
ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Μηχανολογικός Σχεδιασμός
Νοσοκομειακού
Συγκροτήματος Χαμηλού
Ενεργειακού Αποτυπώματος.

Διπλωματική Εργασία 25 - 26

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ Α': Τσινόπουλος
Στέφανος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ Β': Μπάκος
Δημήτρης

ΣΚΕΝΔΕΡΟΓΛΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΜ: 166129

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 30 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ 2026

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο ολοκληρωμένος μηχανολογικός σχεδιασμός μιας σύγχρονης νοσοκομειακής μονάδας, με βασικό άξονα τη δραστική μείωση του ενεργειακού της αποτυπώματος. Σε μια εποχή όπου οι υγειονομικές υποδομές καλούνται να συνδυάσουν την επιχειρησιακή αρτιότητα με την περιβαλλοντική υπευθυνότητα, η εργασία εξετάζει πώς οι προηγμένες Η/Μ εγκαταστάσεις μπορούν να συμβάλλουν σε αυτόν τον διπλό στόχο. Στο πρώτο στάδιο, αποτυπώνεται η γενική φυσιογνωμία των νοσοκομειακών συγκροτημάτων και αναλύονται οι αυστηρές τεχνικές προδιαγραφές που διέπουν τον μηχανολογικό εξοπλισμό, με έμφαση στις παραμέτρους που ορίζουν τη "χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση". Στη συνέχεια, καταγράφεται αναλυτικά ο απαραίτητος εξοπλισμός για την εύρυθμη λειτουργία του νοσοκομείου, ενώ ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στα συστήματα κεντρικού ελέγχου (BMS), τα οποία αποτελούν τον "εγκέφαλο" της εγκατάστασης για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης. Το κύριο μέρος της εργασίας εστιάζει σε μια συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης (case study). Μέσω της ανάλυσης ενός πραγματικού ή υποθετικού νοσοκομειακού συγκροτήματος, εκπονούνται οι απαραίτητες Ηλεκτρομηχανολογικές μελέτες, εφαρμόζοντας τις αρχές που περιεγράφηκαν θεωρητικά. Η μελέτη ολοκληρώνεται με την οικονομική αποτίμηση του εγχειρήματος, όπου υπολογίζεται το κόστος εγκατάστασης αλλά και οι δαπάνες λειτουργίας του εξοπλισμού. Τέλος, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη βιωσιμότητα της επένδυσης, αναδεικνύοντας τα οφέλη —τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά— που προκύπτουν από την υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικών λύσεων στον τομέα της υγείας.

ABSTRACT

The subject of this thesis is the integrated mechanical design of a modern hospital complex, with a primary focus on the drastic reduction of its energy footprint. In an era where healthcare infrastructures are required to balance operational excellence with environmental responsibility, this study examines how advanced Electromechanical (E/M) installations can contribute to this dual objective. Initially, the general characteristics of hospital complexes are outlined, and the stringent technical specifications governing mechanical equipment are analyzed, emphasizing the parameters that define "low energy consumption." Subsequently, the essential equipment for the hospital's efficient operation is detailed, with particular weight given to Building Management Systems (BMS). These systems act as the "brain" of the facility, ensuring the optimization of performance and resource management. The core of the thesis focuses on a specific case study. Through the analysis of a hospital complex, the necessary Electromechanical studies are conducted, applying the theoretical principles previously established. The study is completed with a financial evaluation of the project, calculating both the initial installation costs and the long-term operational expenses of the equipment. Finally, significant conclusions are drawn regarding the investment's sustainability. The thesis highlights the multifaceted benefits—both financial and environmental—arising from the adoption of energy-efficient solutions in the healthcare sector, demonstrating that green transitions can enhance service quality while significantly reducing overhead costs.

1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
1 Τεχνικές προδιαγραφές μηχανολογικού εξοπλισμού νοσοκομειακού συγκροτήματος.....	5
1.1 Γενική περιγραφή νοσοκομειακού συγκροτήματος	5
1.2 Προδιαγραφές νοσοκομείου σχετικά με τον μηχανολογικό εξοπλισμό	5
2 Απαιτούμενος Μηχανολογικός εξοπλισμός για τη λειτουργία ενός νοσοκομειακού συγκροτήματος.....	9
2.1 Ηλεκτρολογικές Υποδομές: Μέση Τάση, Μετασχηματιστές, Η/Ζ και UPS	9
2.2 Συστήματα Κλιματισμού (HVAC), Ψύκτες, Λέβητες και FCUs.....	10
2.3 Δίκτυα ύδρευσης, επεξεργασίας νερού και κυκλοφορητές.....	13
2.4 Πυροσβεστικό Συγκρότημα (Fire-Fighting Pump System)	14
2.5 Δίκτυα Ιατρικών Αερίων, Παραγωγής Ατμού και Αποστείρωσης.....	14
3 Κεντρικός έλεγχος Μηχανολογικού εξοπλισμού	15
4 Μελέτη Περίπτωσης.....	17
4.1 Περιγραφή του έργου.....	17
4.2 ΑΕΡΙΣΜΟΣ	17
4.2.1 Καθορισμός Απαιτήσεων Αερισμού.....	17
4.2.2 Σχεδιασμός δικτύου αεραγωγών	18
4.2.3 Υπολογισμός απωλειών πίεσης.....	20
4.2.4 Επιλογή ανεμιστήρα για την ΚΚΜ 1ου ορόφου	21
4.2.5 Επιλογή ανεμιστήρα για τα van	24
4.2.6 Έλεγχος θορύβου και άνεσης.....	24
4.2.7 Αποτελέσματα και αξιολόγηση	25
4.3 ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	26
4.3.1 Περιγραφή Κλιματισμού με FCU	26
4.3.2 Καθορισμός απαιτήσεων	27
4.3.3 Σχεδιασμός Δικτύου	27
4.3.4 υπολογισμοί	28
4.3.5 Επιλογή Κυκλοφορητών	34
4.3.6 Επιλογή Τοπικών Μονάδων (FCU) SYSTEMAIR	35
4.4 Έλεγχος θορύβου και άνεσης	36
4.5 Αποτελέσματα και αξιολόγηση	37
4.6 Ύδρευση Α Ορόφου	37
4.6.1 Καθορισμός Απαιτήσεων σε Ύδρευση	38
4.6.2 οδεύσεις και υλικά δικτύου ύδρευσης	38
4.6.3 Υδραυλικοί Υπολογισμοί	39
4.6.4 Επιλογή Εξοπλισμού	40

4.6.5	Έλεγχος Λειτουργίας και Αξιοπιστίας.....	44
4.6.6	Έλεγχος Υγιεινής και Απαιτήσεων	45
4.6.7	Αποτελέσματα και αξιολόγηση	45
4.7	Δίκτυο Πυρόσβεσης.....	46
4.7.1	Περιγραφή του Νοσοκομείου και των Λειτουργικών Απαιτήσεων	46
4.7.2	Σχεδιασμός του Συστήματος Ενεργητικής Πυροπροστασίας.....	47
4.7.3	Διαστασιολόγηση και Υπολογισμοί.....	48
4.7.4	Ενεργειακή Αξιολόγηση του Συστήματος.	53
4.7.5	Συμπεράσματα και Αξιολόγηση.	53
4.8	Δίκτυο Ιατρικών Αερίων.....	54
4.8.1	Περιγραφή της Μελέτης.	54
4.8.2	Υπολογισμοί και Διαστασιολόγηση.....	56
4.8.3	Ασφάλεια και Συντήρηση	58
4.8.4	Αποτελέσματα και Αξιολόγηση Δικτύου	58
4.9	Ηλεκτρικός Σχεδιασμός και Διανομή Ισχύος.	59
4.9.1	Γενικός Πίνακας Χαμηλής Τάσης (γ.π.χ.τ 3200α)	60
4.6.1	Το Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος (H/Z) και η Διαδικασία Αυτόματης Μεταγωγής	62
4.10	Σύστημα Αδιάλειπτης Τροφοδοσίας (UPS) και τα Φορτία του.	65
4.11	Υπολογισμοί στα Ηλεκτρικά Φορτία του Εξοπλισμού.....	66
4.11.1	Κεντρικός Κυκλοφορητής Θέρμανσης (GRUNDFOS TPE 100-200/4 S-A-F-A-BQQE-MWA):	66
4.11.2	Κυκλοφορητής Ψύξης (GRUNDFOS MAGNA3 65-150 F):.....	67
4.11.3	Κύρια Αντλία Πυρόσβεσης (Grundfos Hydro EN NK 50-250/249):	67
4.11.4	Βοηθητική Αντλία Jockey (Grundfos CM3-13):	67
4.11.5	Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (SYSTEMAIR).....	67
4.11.6	Καναλάτες Μονάδες Fan Coils (44 x SYSTEMAIR VCE 73):	68
4.11.7	Αντλίες Ιατρικού Κενού (3 x 350 L/min):	68
4.12	Ενεργειακή Αξιολόγηση και Περιβαλλοντική Βιωσιμότητα.....	69
4.13	Συμπεράσματα	70
5	ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	71
5.1	Εισαγωγή στην Οικονομοτεχνική Ανάλυση και το Κόστος Κύκλου Ζωής.....	71
5.2	Προϋπολογισμός Εγκατάστασης Βασικού Μηχανολογικού Εξοπλισμού.....	72
5.3	Προϋπολογισμός και Αρχιτεκτονική Συστήματος Κεντρικού Ελέγχου (BMS).....	73
5.3.1	Ανάλυση Τοπολογίας και Λειτουργίας Αυτόνομων Κέντρων Ελέγχου (AKE).....	74
5.3.2	Ανάλυση Κόστους Συστήματος BMS	75
5.4	Λειτουργικό Κόστος (OPEX) και Κατανάλωση Ενέργειας	77
5.4.1	Παράμετροι Ενεργειακού Υπολογισμού και ΚΕΝΑΚ	77
5.4.2	Οικονομικά Δεδομένα και Τιμολόγια Ενέργειας.....	78
5.4.3	Κόστος Λειτουργίας πριν τις βελτιστοποιήσεις (Base Case - BMS Class C).....	78
5.4.4	Κόστος Συντήρησης (Maintenance OPEX).....	78

5.4.5	Ενεργειακή Εξοικονόμηση και Αξιολόγηση Επένδυσης μέσω BMS	79
5.4.6	Υπολογισμός Εξοικονομήσεων (OPEX με BMS Class A)	79
5.5	Χρηματοοικονομική Αξιολόγηση της Επένδυσης στο BMS (ROI & NPV)	80
6	Συμπεράσματα.....	82
6.1	Υγειονομική Ασφάλεια και Συμμόρφωση με το Πρότυπο ASHRAE 170.....	82
6.2	Ενεργειακή Αποδοτικότητα και Οικονομική Βιωσιμότητα (LCC)	83
6.3	Ο Ψηφιακός Μετασχηματισμός μέσω του Συστήματος Ελέγχου (BMS)	83
6.4	Τελικές Προεκτάσεις και Προοπτικές.....	84
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86

1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ

Ένα σύγχρονο νοσοκομειακό συγκρότημα αποτελεί μια από τις πιο σύνθετες κτιριακές υποδομές, καθώς συνδυάζει τη λειτουργία μιας ξενοδοχειακής μονάδας, ενός ερευνητικού κέντρου και ενός βιομηχανικού χώρου υψηλής τεχνολογίας. Λόγω της φύσης του, λειτουργεί αδιάλειπτα, γεγονός που το καθιστά μία από τις πιο ενεργοβόρες κατασκευές στην αστική υποδομή.

Ένα τέτοιο συγκρότημα χωρίζεται σε εξωτερικά ιατρεία, χώρους υποστήριξης, νοσηλευτικές μονάδες (διαμονή ασθενών) και τις Κρίσιμες μονάδες (χειρουργεία, ΜΕΘ, κλπ.).

Σε αντίθεση με άλλα κτήρια, ένα νοσοκομείο χρειάζεται συνεχή αερισμό, τροφοδοσία του χώρου με νωπό αέρα, καθώς και σωστή λειτουργία αυτού προς αποφυγή ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων.

Είναι αναγκαία η συνεχής τροφοδοσία με ηλεκτρική ενέργεια, ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του εξοπλισμού και η λειτουργικότητα μιας τέτοιας μονάδας για λόγους ασφάλειας.

Λόγω όλων αυτών των δεδομένων τα λειτουργικά κόστη είναι μεγάλα, καθώς το νοσοκομείο καταναλώνει τεράστιες ποσότητες ενέργειας.

Στο πλαίσιο του χαμηλού ενεργειακού αποτυπώματος, το συγκρότημα σχεδιάζεται πλέον ως ένα «έξυπνο» κτίριο. Στόχος είναι η μείωση των απωλειών, μέσω της μόνωσης, της χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και της εγκατάστασης αποδοτικών μηχανολογικών συστημάτων που προσαρμόζουν τη λειτουργία τους ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες κάθε χώρου.

1.2 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ

Οι προδιαγραφές ενός νοσοκομείου καθορίζονται από διεθνή και εθνικά πρότυπα, όπως ο ΕΛΟΤ EN ISO 7396, ΕΛΟΤ HD 60364-7-710, οι TOTEE 20701-1 στην Ελλάδα, και τα πρότυπα ASHRAE/ISO διεθνώς Standard 170/14644. Για τον μηχανολογικό εξοπλισμό κρίνονται αρκετά αυστηρές, διότι ο εξοπλισμός δεν αφορά την άνεση, αλλά την ασφάλεια της ζωής και της πρόληψης.

1. Κλιματισμός, αερισμός και Εξαερισμός (HVAC)

Είναι από τα κυριότερα τμήματα ενός νοσοκομείου για τον έλεγχο των ρύπων. Το φιλτράρισμα του αέρα επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών φίλτρων υψηλής απόδοσης (HEPA) ειδικά σε χειρουργεία ΜΕΘ, αλλά και χώρους απομόνωσης όπου ο αέρας του θαλάμου δεν θα πρέπει να επικοινωνεί με τον κοινόχρηστο. Επίσης, οι εναλλαγές του

αέρα σε έναν νοσοκομειακό χώρο είναι απαραίτητες, διότι καθορίζεται ένας ελάχιστος αριθμός εναλλαγών ανά ώρα, περίπου 25 εναλλαγές, έτσι ώστε να απομακρύνονται μικρόβια και άλλα αέρια. Για παράδειγμα, ένα χειρουργείο απαιτεί θετική πίεση και τουλάχιστον 20 συνολικές εναλλαγές αέρα ανά ώρα (εκ των οποίων οι 4 αμιγώς νωπός αέρας)². Το Πρότυπο ASHRAE 170 αποτελεί τον κατεξοχήν οδηγό για τον σχεδιασμό συστημάτων HVAC. Καθορίζει τους ελάχιστους ρυθμούς ανανέωσης αέρα (Air Changes per Hour - ACH), τα απαιτούμενα επίπεδα φιλτραρίσματος, τα όρια σχετικής υγρασίας και τις διαφορικές πιέσεις.

- Οι ΚΚΜ (κεντρικές κλιματιστικές μονάδες) που εξυπηρετούν ευαίσθητους χώρους οφείλουν και αυτές να είναι πιστοποιημένες και να φέρουν όλα τους τα χαρτιά με βάση DIN 1946-4 και VDI 6022. Θα πρέπει στο εσωτερικό τους να έχουν τελείως λείες επιφάνειες προς αποφυγή συλλογής μικροβίων και βακτηρίων.
- Οι εναλλάκτες αέρα (VAM) είναι και αυτοί κρίσιμοι για την ενεργειακή απόδοση, καθώς η τοποθέτησή τους γίνεται στα δίκτυα εξαερισμού και ανακτούν θερμότητα από τον απαγόμενο αέρα, προσάγοντας φρέσκο εξωτερικό αέρα. Πρέπει υποχρεωτικά να είναι εξοπλισμένοι με ανεμιστήρες inverter και με υψηλής ποιότητας φίλτρα για τη διασφάλιση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και την μείωση των φορτίων. Στην **Εικόνα 1.1** παρουσιάζονται τυπικοί εναλλάκτες θερμότητας (θερμικά – ψυκτικά στοιχεία)..



Εικόνα 1.1: Εναλλάκτες θερμότητας (θερμικά – ψυκτικά στοιχεία)

- Για την παραγωγή ψύξης απαιτούνται ψύκτες (chillers) πολύ υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Είτε για ZNX με ανάκτηση της αποβαλλομένης θερμότητας από την διαδικασία της συμπύκνωσης, είτε προφανώς για την ψύξη των εγκαταστάσεων του νοσοκομείου.
- Για την κυκλοφορία των ρευστών ZNX/KNX είναι απαραίτητοι οι κυκλοφορητές, οι οποίοι κυκλοφορούν τα ρευστά σύμφωνα με τα νοσοκομειακά πρότυπα με μεταβλητές στροφές και σύμφωνα με ευρωπαϊκή οδηγία θα πρέπει να διαθέτουν δείκτη απόδοσης (EEI) μικρότερο ή ίσο με 0.23, με στόχο την μείωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης.
- Δεδομένου των τεράστιων απαιτήσεων σε ZNX επίσης η χρήση ηλιοθερμικών συστημάτων (solar panels) είναι απαραίτητη σε συνδυασμό με boiler, το οποίο ουσιαστικά θα λειτουργεί ως αποθηκευτικός χώρος του ζεστού παραγόμενου νερού. Ακόμα, το ζεστό νερό με τέτοιες μεθόδους θα έχει τη δυνατότητα να μειώνει τα ενεργειακά κόστη.

- Τα ιατρικά αέρια είναι απαραίτητα σε μια νοσοκομειακή εγκατάσταση και σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 7396-1. Οι σωληνώσεις κατασκευάζονται από απολυμασμένο χαλκό ιατρικής χρήσης.

2. Ενέργεια – χαμηλό αποτύπωμα

Τα νοσοκομειακά συγκροτήματα βρίσκονται στο επίκεντρο του ενεργειακού αποτυπώματος ως τα πιο ενεργοβόρα κτήρια με ενεργειακή ένταση 2.5 με 3 φορές υψηλότερη των εμπορικών κτηρίων υπερβαίνοντας συνήθως τις 740 kWh/m² ετησίως¹.

Τρόποι που μπορούν να μειώσουν αυτό το ενεργειακό αποτύπωμα είναι εάν η αεροστεγανότητα του πληροί τις προδιαγραφές ενός παθητικού κτηρίου. Εάν οι υαλοπίνακες εξισορροπούν τον φυσικό φωτισμό με την αποτροπή θερμικών απωλειών. Το κτήριο θα πρέπει να είναι σχεδόν αεροστεγές δηλαδή δεν θα πρέπει να υπάρχουν ανεξέλεγκτες διαρροές αέρα και να περιορίζονται οι ενεργειακές απώλειες. Απαιτούνται τριπλοί υαλοπίνακες, θερμοδιακοπτόμενα πλαίσια και πολύ καλή αεροστεγανότητα. Άλλοι τρόποι αναφορικά είναι:

- Μείωση κατανάλωσης ρεύματος στους κυκλοφορητές

Η θέρμανση και η ψύξη υποχρεωτικά λειτουργούν αδιάλειπτα και συνήθως ευθύνονται για το 5-10% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό που προτείνεται είναι η χρήση κυκλοφορητών μεταβαλλόμενων στροφών. Το πιο σημαντικό είναι ο απομακρυσμένος έλεγχος των αντλιών. Σε αυτή την περίπτωση με σύγχρονα αισθητήρια επί των κυκλοφορητών, συλλεκτών, δοχείων νερού χρήσης, κλπ., ρυθμίζεται η ταχύτητα στην οποία λειτουργεί ο κάθε κυκλοφορητής, έτσι ώστε εξοικονομείται ενέργεια, αλλά και να μειώνεται η φθορά που δημιουργείται στον εξοπλισμό, γεγονός το οποίο συνεπάγεται μειωμένα κόστη συντήρησης - αντικατάστασης. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να μειώσουμε έως και 80% την κατανάλωση ενέργειας.

- Βελτιστοποίηση φορτίων στους Ψύκτες

Για την καλύτερη αποδοτικότητα των ψυκτών συνίσταται η λειτουργία τους μεταξύ 65-85% της συνολικής τους ικανότητας. Το απομακρυσμένο σύστημα BMS (Building Management System) ρυθμίζει την αλληλουχία εκκίνησης των ψυκτών. Για παράδειγμα, σε περίπτωση εγκατάστασης τριών ψυκτών, δουλεύουν οι δύο ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μέχρι την ικανοποιητική διαφορά θερμοκρασίας ΔΤ που έχουμε ορίσει (συνήθως 7-12 βαθμούς κελσίου). Έπειτα, εκκινεί ο τρίτος και δουλεύουν όλοι κυκλικά. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση ενέργειας, καθώς και η φθορά της εγκατάστασης.

Σε περιόδους ήπιου κλίματος, μέσω προγραμματισμού οι ψύκτες αυξάνουν εκθετικά την θερμοκρασία του παραγόμενου νερού με σκοπό την ελαχιστοποίηση της λειτουργίας των συμπιεστών.

Σε άλλες εφαρμογές πραγματοποιείται και η αξιοποίηση της θερμότητας που απορρίπτεται κατά τον ψυκτικό κύκλο με σκοπούς αναθέρμανσης και ZNX.

- Ηλιακά Πάνελ για ZNX

Ένα νοσοκομειακό συγκρότημα δαπανά τεράστια ποσά ενέργειας για την παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX), καθιστώντας τη χρήση ηλιακής ενέργειας επιβεβλημένη. Όπως προκύπτει από ενεργειακές προσομοιώσεις, τα ηλιοθερμικά συστήματα πλεονεκτούν σημαντικά έναντι των φωτοβολταϊκών για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Συγκεκριμένα, η ειδική απόδοση ενός ηλιοθερμικού συλλέκτη ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 1200 kWh/m² ετησίως, έναντι περίπου 500 kWh/m² ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου. Παρότι η ηλιοθερμική εγκατάσταση δεν επαρκεί από μόνη της για την πλήρη (100%) κάλυψη των αναγκών του νοσοκομείου σε ZNX –καθιστώντας αναγκαία τη χρήση επικουρικών συστημάτων– συνεισφέρει στο βασικό φορτίο, μειώνοντας δραστικά το ετήσιο λειτουργικό κόστος.

- Ενεργειακές Απώλειες στον Εξωτερικό χώρο.

Με την εφαρμογή σύγχρονων τριπλών υαλοπινάκων, καθώς και τη χρήση φυσικού αερισμού μειώνονται σημαντικά τα φορτία στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες. Με την λειτουργία Free Cooling, μπορούμε να καταφέρουμε εναλλαγή θερμοκρασίας μεταξύ ενναλάκτη και να αξιοποιήσουμε την εξωτερική θερμοκρασία στους κοινόχρηστους μας χώρους.

2 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ

Για την αδιάλειπτη και ασφαλή λειτουργία ενός νοσοκομειακού συγκροτήματος δεν αρκεί μόνο ο κλιματισμός, αλλά απαιτείται ο συνδυασμός ορισμένων ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων τα οποία θα δουλεύουν αρμονικά για ένα ασφαλές και υπεύθυνο νοσοκομειακό περιβάλλον. Παρακάτω αναλύονται όλα τα απαιτούμενα μηχανολογικά συστήματα με ορισμένες τεχνικές λεπτομέρειες.

2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ: ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ, ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ, Η/Ζ ΚΑΙ UPS

Σε τέτοιες εγκαταστάσεις η αξιοπιστία σε ηλεκτρική ισχύ είναι μείζονος σημασίας και ένας σοβαρός σχεδιασμός επιβάλλει αυστηρή εφεδρεία.

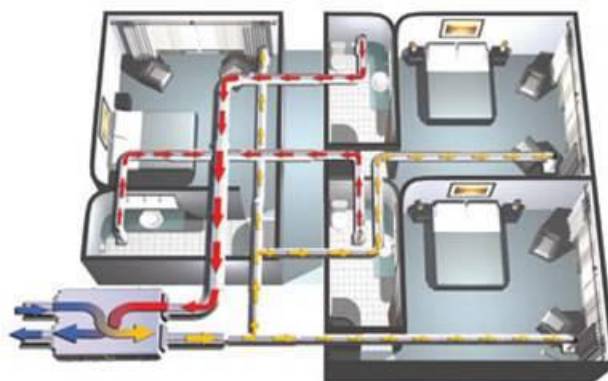
- Κυψέλη Μέσης Τάσης:
Τα νοσοκομεία συνδέονται στο δίκτυο μέσης τάσης (20KV). Η διανομή του ρεύματος ελέγχεται από κλειστές κυψέλες μέσης τάσης, οι οποίες φέρουν διακόπτες ισχύος και έξυπνα ρελέ που παρέχουν την δυνατότητα περιορισμού σφαλμάτων και μεταγωγών.
- Μετασχηματιστές:
Για την μετατροπή της μέσης τάσης 20KV σε χαμηλή τάση 400V είναι απαραίτητη η χρήση μετασχηματιστών. Υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ενός ή και δύο μετασχηματιστών με την μέθοδο παραλληλισμού. Στα νοσοκομεία χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές ξηρού τύπου για να μειωθεί ο κίνδυνος πυρκαγιάς, διότι σε περίπτωση χρήσης μετασχηματιστών ελαίου υπάρχει πιθανότητα διαρροών με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς.
- Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος:
Είναι απαραίτητη η χρήση τους διότι λειτουργούν ως εφεδρική πηγή ενέργειας τη στιγμή που ανιχνευτεί διακοπή ρεύματος από το κεντρικό δίκτυο. Ένα Η/Ζ συνήθως αντιδρά μέσα σε τρία (3) δευτερόλεπτα κατά την μεταγωγή και εκκινούν τα κρίσιμα φορτία. Στα κτήρια δεν τροφοδοτούνται απαραίτητα όλοι οι πίνακες παράλληλα και από Η/Ζ, παρά μόνο εκεί που υπάρχει περισσότερη ανάγκη και επικινδυνότητα.
- Σύστημα συσσωρευτών UPS:
Ακόμα μια απαραίτητη εγκατάσταση σε νοσοκομειακό σύμπλεγμα είναι τα UPS. Τα χειρουργεία και τα συστήματα πληροφορικής, τα οποία ουσιαστικά ελέγχουν τα ζωτικά σημεία μιας ανθρώπινης ζωής θα πρέπει να λειτουργούν σε μηδενικό χρόνο σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Στα Γενικά Πεδία Χαμηλής Τάσης (ΓΠΧΤ), όπως και με το Η/Ζ, υπάρχουν συγκεκριμένες αναχωρήσεις που τροφοδοτούν τους πίνακες UPS, έτσι ώστε σε περίπτωση διακοπής ρεύματος, αυτομάτως να χρησιμοποιούν την αποθηκευμένη ισχύ των μπαταριών. Μετά το πέρας της διακοπής το πεδίο UPS οφείλει να

«αναπληρώσει» την ενέργεια που δαπάνησε για να βρίσκεται συνέχεια σε ετοιμότητα.

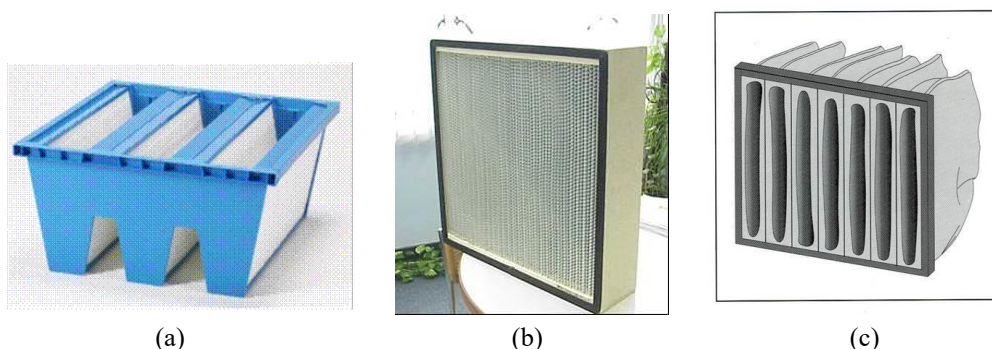
2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ (HVAC), ΨΥΚΤΕΣ, ΛΕΒΗΤΕΣ ΚΑΙ FCUs

- Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες (ΚΚΜ):

Στα νοσοκομεία οι μονάδες αυτές θα πρέπει να είναι εξοπλισμένες με υγειονομικού τύπου χαρακτηριστικά, όπως λεία εσωτερικά τοιχώματα, διότι αυτό βοηθάει στο να μη συσσωρεύονται βακτήρια σε ακμές, κλπ. Ο αέρας υποχρεωτικά θα πρέπει να περνάει από διάφορα φίλτρα και σακόφιλτρα (HEPA) όπως φαίνονται και στην εικόνα 2.2, τα οποία απομονώνουν τα σωματίδια και βακτήρια και τα αποτρέπει να εισέλθουν μέσω του αέρα εντός του νοσοκομειακού χώρου. Οι ΚΚΜ συνήθως διαθέτουν υγραντήρες και αφυγραντήρες για να κρατάνε σταθερή την ποιότητα του αέρα. Επίσης αποφεύγεται η ανακυκλοφορία αέρα, ήτοι ο αέρας που εισέρχεται στον χώρο είναι 100% νωπός και η θερμική ενέργεια ανακτάται μέσω εναλλακτών θερμότητας, η διάταξη των οποίων απεικονίζεται στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1: Σύστημα αερισμού-εξαερισμού (ανανέωσης αέρα) με ανάκτηση θερμότητας



Εικόνα 2.2: Διάφοροι τύποι φίλτρων αέρα σε συστήματα κλιματισμού: (a) Συμπαγές Φίλτρο τύπου V (Compact V-Bank Filter), (b) ΤΥΠΟΣ 2Απόλυτο Φίλτρο (HEPA ή ULPA Filter), (c) Σακόφιλτρο (Bag Filter ή Pocket Filter)

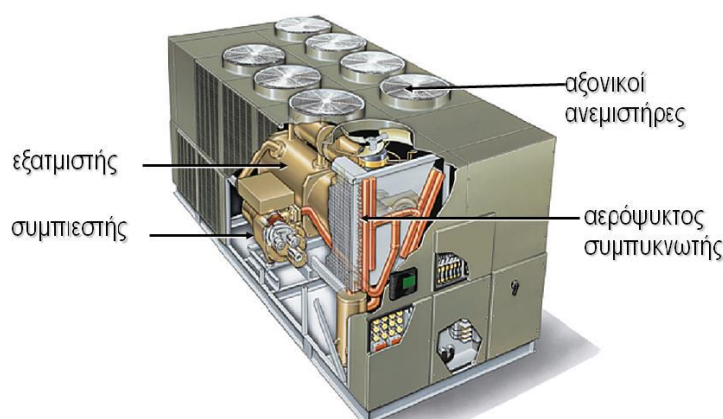
- Κλιματιστικά Νερού (Fan Coil Units - FCU):

Τα FCU νερού χρησιμοποιούνται στους νοσοκομειακούς χώρους προς αποφυγή διαρροής τοξινών ή εύφλεκτων ψυκτικών ρευστών μέσα σε θαλάμους νοσηλείας. Τα κόστη συντήρησης για μια εγκατάσταση φρέον σε τέτοια συγκροτήματα είναι μεγάλα καθώς η ανάγκη για νωπό αέρα είναι μεγάλη, και συνεπώς είναι ανάλογη και η λειτουργία των ΚΚΜ και των FCU. Τα κλιματιστικά αυτά διαθέτουν εναλλάκτες χαλκού υψηλής απόδοσης, προσαγωγή και επιστροφή κρύου νερού, καθώς και προσαγωγή και επιστροφή ζεστού νερού. Αναλόγως των αναγκών σε κλιματισμό και με την επιθυμητή θερμοκρασία που ορίζει ο ασθενής, επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία στον χώρο, μέσω τριόδων βανών.

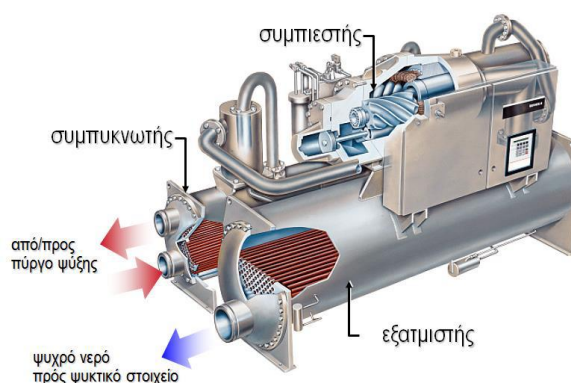
- Ψύκτες (Chillers):

Οι Ψύκτες λειτουργούν για να μας προσφέρουν κρύο νερό στους συλλέκτες, για να είναι δυνατή η κάλυψη των ανάγκες στον κλιματισμό σε λειτουργία ψύξης. Κατά τον προγραμματισμό αυτών ορίζεται η διαφορά θερμοκρασίας ΔT από τη μελέτη. Τυπικές τιμές είναι η θερμοκρασία προς το κτήριο να είναι 7 βαθμοί κελσίου και η επιστροφή από το κτήριο να είναι 12 βαθμούς κελσίου.

Αερόψυκτη Ψυκτική μονάδα.



Εικόνα 2.3: Αερόψυκτη Ψυκτική μονάδα



Εικόνα 2.4: Υδρόψυκτη ψυκτική μονάδα

- Λέβητες Αερίου και Boilers ZNX:

Με σκοπό την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης εγκαθίστανται λέβητες αερίου υψηλής συμπίκνωσης για μέγιστη απόδοση. Η διαδικασία λειτουργίας που ακολουθείται είναι αφού εκκινήσει ο λέβητας με το καύσιμο αέριο, περνάει μέσω σωληνώσεων το νερό σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και αποθηκεύεται στα Boiler ZNX, από τα οποία μετά πηγαίνει στους συλλέκτες ZNX και γίνεται η διανομή μέσω κυκλοφορητών. Η διαδικασία είναι πάνω κάτω ίδια με την ψύξη απλώς με διαφορετικό καύσιμο. Σε συνδυασμό με τα ηλιακά πάνελ το set point σε θερμοκρασία εντός δοχείου επιτυγχάνεται πιο εύκολα και γρήγορα με αποτέλεσμα τα χαμηλότερα ενεργειακά κόστη. Οι επιθυμητές συνθήκες για κάθε χώρο καθορίζονται από τη νομοθεσία. Στους **Πίνακες 2.1 & 2.2** παρατίθενται οι συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους το χειμώνα και το θέρος. (TOTEE 2425/86).

Πίνακας 2.1: Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους το χειμώνα (TOTEE 2425/86)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
Κατοικίες	22	30 - 50
Κτίρια γραφείων	21 - 23	30 - 35
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	20 - 22	40 - 50
Νοσοκομεία	24	30
Εστιατόρια και Κέντρα διασκέδασης	21 - 23	30 - 40

Πίνακας 2.2: Συνιστώμενες συνθήκες σχεδιασμού για κλιματιζόμενους χώρους το θέρος (TOTEE 2425/86)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (C)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
Κατοικίες	25 - 26	40 - 50
Κτίρια γραφείων	25 - 26	40 - 50
Βιβλιοθήκες - Μουσεία	22	40 - 55
Εστιατόρια και Κέντρα διασκέδασης	23 - 26	50 - 60
Εκπαιδευτικά κτίρια	26	45 - 50
Νοσοκομεία	24	45 - 50
	20 - 24	50 - 60

2.3 ΔΙΚΤΥΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΕΣ

Στα νοσοκομεία η ποιότητα του νερού και η αξιόπιστη κυκλοφορία του είναι ένα από τα μείζονος σημασίας σημεία για μια εγκατάσταση.

- Δεξαμενές Νερού και η Χλωρίωση τους:

Το μέγεθος των δεξαμενών σε κυβικά μέτρα m^3 ενός νοσοκομείου καθορίζεται από τις ανάγκες του σε νερό. Το νερό στις δεξαμενές αποθήκευσης, το οποίο εισέρχεται από το δίκτυο του Δήμου κάθε περιοχής, θα πρέπει να «καθαρίζεται» μέσω της διαδικασίας της χλωρίωσης και απολύμανσης. Η διαδικασία αυτή μας προσφέρει αποτροπή ανάπτυξης του βακτηρίου της Λεγεωνέλλας, λόγω στάσιμων υδάτων. Η τιμή REDOX είναι αυτή που μετράει την οξειδωτική ικανότητα του νερού, με λίγα λόγια πόσο εύκολα το νερό μπορεί να καταστρέψει βακτήρια και ιούς.

- Αποσκλήρυνση Νερού (Water Softening) & Αντίστροφη Ώσμωση:

Για την προστασία του εξοπλισμού που χρησιμοποιούν άμεσα νερό, είναι σημαντικό το νερό που εισέρχεται να είναι αποσκληρωμένο για την αποφυγή δημιουργίας αλάτων σε σωληνώσεις, επικαθίσεις σε λέβητες και εναλλάκτες, μιας και σε αντίθετη περίπτωση που ο εξοπλισμός θα έχει χαμηλότερη απόδοση και μεγαλύτερα κόστη συντήρησης. Η διαδικασία πραγματοποιείται με ανταλλαγή ιόντων ρητίνης. Το νερό περνάει μέσα από την ρητίνη και με τον τρόπο αυτό μειώνεται η σκληρότητά του. Η ρητίνη θα πρέπει να ανακτήσει την ιδιότητά της, οπότε το σύστημα υλοποιεί πλύσεις με αλάτι ανά τακτά χρονικά διαστήματα για την αναγέννηση. Προφανώς, θα πρέπει το δοχείο που περιέχει νερό και NaCl (αλάτι) να είναι συνέχεια σε πλήρη πλήρωση.

- Κυκλοφορητές (Circulators) & Δίκτυα Ανακυκλοφορίας:

Οι κυκλοφορητές είναι υπεύθυνοι για τη διανομή του νερού σε όλα τα τερματικά στοιχεία που χρησιμοποιούν νερό. Για την επιλογή των κυκλοφορητών θα πρέπει να υπολογιστεί η ανάγκη σε κυβικά μέτρα, καθώς και το μανομετρικό της κάθε αντλίας για να γίνει ορθή εγκατάσταση (άλλες ανάγκες σε ισχύ έχει ο 1^{ος} από τον 4^ο όροφο). Σημαντικό ρόλο σε ένα τέτοιο έργο παίζει η ανακυκλοφορία. Η αντλία εισροφά από τον σωλήνα του ζεστού νερού και ουσιαστικά κρατάει το ζεστό νερό στους σωλήνες με κίνηση. Έτσι, επιτυγχάνεται άμεσα ζεστό νερό και εξολοθρεύεται η ανάπτυξη βακτηρίων. Οι λέβητες δεν χρειάζεται να ζεστάνουν εκ νέου νερό, οπότε δεν εξοικονομείται ηλεκτρική ενέργεια.

2.4 ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ (FIRE-FIGHTING PUMP SYSTEM)

Το πυροσβεστικό σύστημα αποτελεί ένα τελείως ξεχωριστό κύκλωμα, είτε με εγκατάσταση sprinkler, είτε με πυροσβεστικές φωλιές. Σε περίπτωση συναγερμού η τροφοδοσία στις πυροσβεστικές φωλιές θα πρέπει να γίνεται αδιάλειπτα.

- Προδιαγραφές & Πιστοποίηση:

Το πυροσβεστικό συγκρότημα πρέπει να συμμορφώνεται αυστηρά με διεθνή ή Ευρωπαϊκά πρότυπα, όπως το EN 12845 ή το NFPA 20.

- Η Διάταξη του Συστήματος:

Συνήθως πραγματοποιείται η τοποθέτηση δύο πυροσβεστικών αντλιών, μιας ηλεκτροκίνητης και μιας πετρελαιοκίνητης. Η εφεδρική είναι αυτή με το πετρέλαιο, διότι σε περίπτωση εκτεταμένης φωτιάς εάν το ηλεκτρικό δίκτυο καταρρεύσει τότε θα πρέπει η πυροσβεστική να επέμβει με την πετρελαιοκίνητη αντλία. Αυτό εξασφαλίζει την αδιάλειπτη ρίψη νερού.

Στο πυροσβεστικό δίκτυο κρίνεται απαραίτητη η παρουσία της αντλίας Jockey. Ο ρόλος της συγκεκριμένης αντλίας είναι να καλύπτει πιθανές διαρροές στο δίκτυο και να κρατάει την πίεση σταθερή στις σωλήνες για να αποφύγουμε την άσκοπη λειτουργία των κύριων αντλιών.

2.5 ΔΙΚΤΥΑ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ, ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΤΜΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΕΙΡΩΣΗΣ

- Ιατρικά Αέρια:

Το δίκτυο του οξυγόνου και του κενού σχεδιάζεται με βάση το ISO 7396-1. Οι σωληνώσεις είναι από απολυμασμένο χαλκό. Στην εγκατάσταση περιλαμβάνονται τοπικές μονάδες ελέγχου για άμεση αποκοπή των αερίων σε κατάσταση κινδύνου (πυρκαγιές, σεισμούς κλπ.). Ένα πλήρες δίκτυο οξυγόνου και κενού διαθέτει 2 κύριες πηγές (Συστοιχίες 6 Φιαλών) και μια (1) εφεδρική φιάλη.

3 Κεντρικός έλεγχος Μηχανολογικού εξοπλισμού

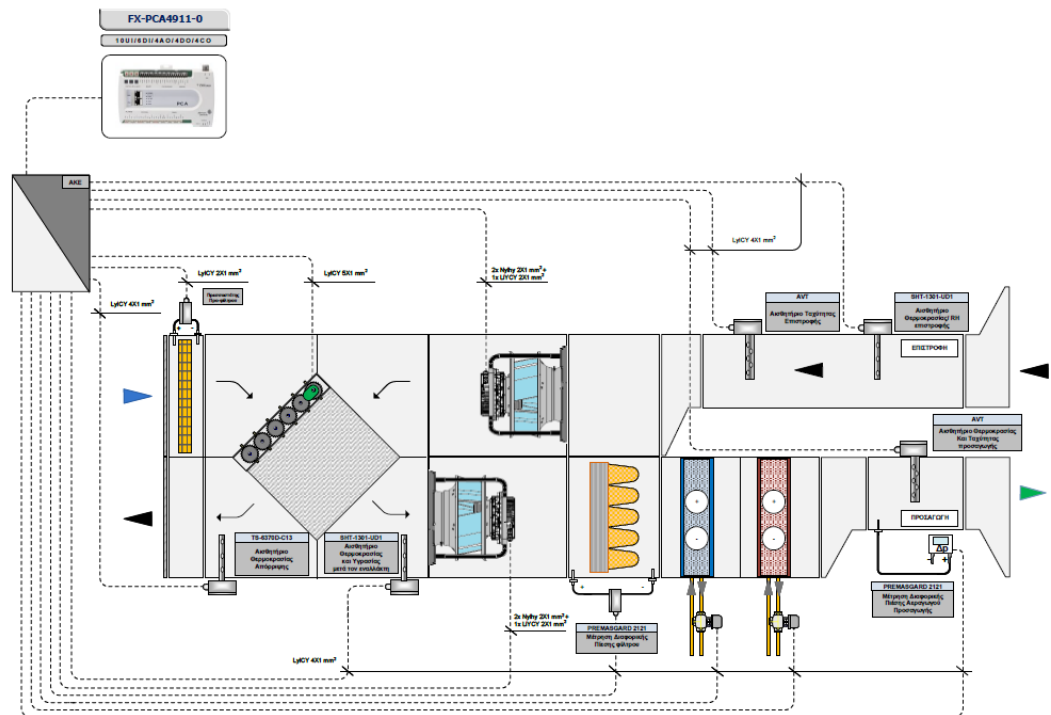
Ένα «έξυπνο» κτήριο είναι αυτό το οποίο διαθέτει ένα μεγάλο εύρος αυτοματισμών και ένα σύστημα κεντρικού ελέγχου των λειτουργιών του. Στο κτήριο, ανάλογα με τις μηχανολογικές προδιαγραφές, απαιτούνται ορισμένες επικοινωνίες με τους κεντρικούς πίνακες. Τα σημεία, από τα οποία το κεντρικό σύστημα ελέγχου (BMS) λαμβάνει δεδομένα, είτε αναλογικά, είτε ψηφιακά ποικίλουν σε αριθμό και είδος. Μία κλιματιστική μονάδα μπορεί να έχει μέχρι και 50 σημεία μέτρησης. Οι μετρήσεις μπορεί να αφορούν θερμοκρασία, πιέσεις, θέσεις Damper, start-stop, στροφές inverter, κατάσταση φίλτρων και ηλεκτροβανών, κα.

Συνεπώς, η χρήση του BMS και ο κεντρικός έλεγχος είναι απαραίτητα σε ένα έργο και η εγκατάστασή τους προσφέρει πολλά ενεργειακά οφέλη. Τα οφέλη από εξοικονόμηση ενέργειας και αποφυγή άσκοπων λειτουργιών είναι πολλά, καθώς επιτυγχάνονται με παραμέτρους που έχουμε δώσει οι ίδιοι στο σύστημα. Για παράδειγμα, η πλήρωση των δεξαμενών μπορεί να γίνεται ελεγχόμενα: Με χρήση ενός συστήματος υπέρηχων μπορούμε να βλέπουμε τις στάθμες και μέσω του συστήματος να ρυθμίζουμε τις ηλεκτροβάνες. Όσον αφορά τον κλιματισμό, το σύστημα ενημερώνεται για τις θερμοκρασίες στα σημεία ενδιαφέροντος και βάσει των setpoint που έχουμε θέσει χειρίζεται αντιστοίχως τον εξοπλισμό. Για το καύσιμο αέριο μπορούμε, μέσω παλμού, να γνωρίζουμε άμεσα τις καταναλώσεις και τις εναύσεις του συστήματος κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σε γενικές γραμμές, το BMS μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις και θα αναπτυχθεί αναλυτικότερα στην μελέτη περίπτωσης.

Επειδή προφανώς τις επικοινωνίες αυτές το σύστημα τις δέχεται δικτυακά θα πρέπει οι καλωδιώσεις να είναι πολύ προσεκτικές και σε πλήρη αντιστοίχιση με το σημείο του BMS. Σε αντίθετη περίπτωση τα σήματα που θα δεχόμαστε θα είναι λανθασμένα. Ένα παράδειγμα καλωδίωσης BMS σε κλιματιστική μονάδα είναι:

1. Καλωδίωση αισθητηρίων
 2. Τοποθέτηση αυτών σε ειδικές υποδοχές επι της KKM
 3. Τερματισμός καλωδίων στον πίνακα ΑΚΕ (αδιάληπτο κέντρο ελέγχου) που συνήθως τροφοδοτείται από UPS για να μη χαθούν οι επικοινωνίες σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.
 4. Τοποθέτηση Switch
 5. Σύνδεση Switch με UPT Cat6A
 6. Ενεργοποίηση συστήματος
 7. Δημιουργία Interface και γραφικών
 8. Προγραμματισμός και παραμετροποιήσεις
- Στο Σχέδιο 3.1 παρουσιάζεται η λειτουργία μίας κλιματιστικής μονάδας. Μπορούμε να διακρίνουμε τα φίλτρα τα σακόφίλτρα, τον εναλλάκτη, το ψυχρό και το θερμό στοιχείο, προσαγωγές και επιστροφές του αέρα καθώς και την

ακριβή θέση των αισθητηρίων. Οι διακεκομμένες γραμμές είναι οι καλωδιώσεις από και προς τον ΑΚΕ(πίνακας ελέγχου).



Σχέδιο 3.1: ΚΚΜ και καλωδίωση αισθητηρίων

4 Μελέτη Περίπτωσης.

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Τύπος κτιρίου: Νοσοκομειακό συγκρότημα, με τον 1ο όροφο να λειτουργεί ως εξειδικευμένη Μονάδα Ημερήσιας Νοσηλείας (ΜΗΝ) (π.χ. Μονάδα Χημειοθεραπείας ή Τεχνητού Νεφρού).

Εμβαδόν και χρήση των χώρων: Η συνολική επιφάνεια του 1ου ορόφου ανέρχεται σε 1.200 m². Ο όροφος αποτελείται από:

1. Μεγάλες αίθουσες θεραπείας εξοπλισμένες με Πολυθρόνες θεραπείας (οι οποίες διαχωρίζονται με ελαφριά πετάσματα).
2. Κλειστούς θαλάμους νοσηλείας/ανάληψης με κλίνες.
3. Εξεταστήρια και γραφεία ιατρών.
4. Στάση νοσηλευτών, διαδρόμους και κοινόχρηστους χώρους αναμονής.
5. Βοηθητικούς χώρους (WC προσωπικού/ασθενών, δωμάτια λινών, αποθήκες ακάθαρτου υλικού).

Αριθμός ατόμων που εξυπηρετούνται: Η μέγιστη ταυτόχρονη πληρότητα του 1ου ορόφου υπολογίζεται σε 80 άτομα (περιλαμβανομένων ασθενών στις πολυθρόνες/κλίνες, ιατρικού/νοσηλευτικού προσωπικού και συνοδών).

4.2 ΑΕΡΙΣΜΟΣ

4.2.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

- Υπολογισμός απαιτούμενης παροχής αέρα:

Νωπός Αέρας (Ventilation): Σύμφωνα με την TOTEE 20701-1, η ελάχιστη απαίτηση νωπού αέρα για θαλάμους και χώρους θεραπείας είναι 4,50 m³/h ανά m². Για τα 1.200 m² του ορόφου, η ελάχιστη παροχή νωπού αέρα ορίζεται στα 5.400 m³/h. Η ανάγκη αυτή θα καλυφτεί από τρεις κεντρικές Μονάδες Ανάκτησης Θερμότητας (VAM): 2 x VAM 1000 m³/h και 1 x VAM 2000 m³/h, προσφέροντας συνολική παροχή νωπού αέρα 4.000 m³/h απευθείας στις κλινικές ζώνες, ενώ ο υπόλοιπος αέρας απάγεται από τα WC και τους βοηθητικούς χώρους.

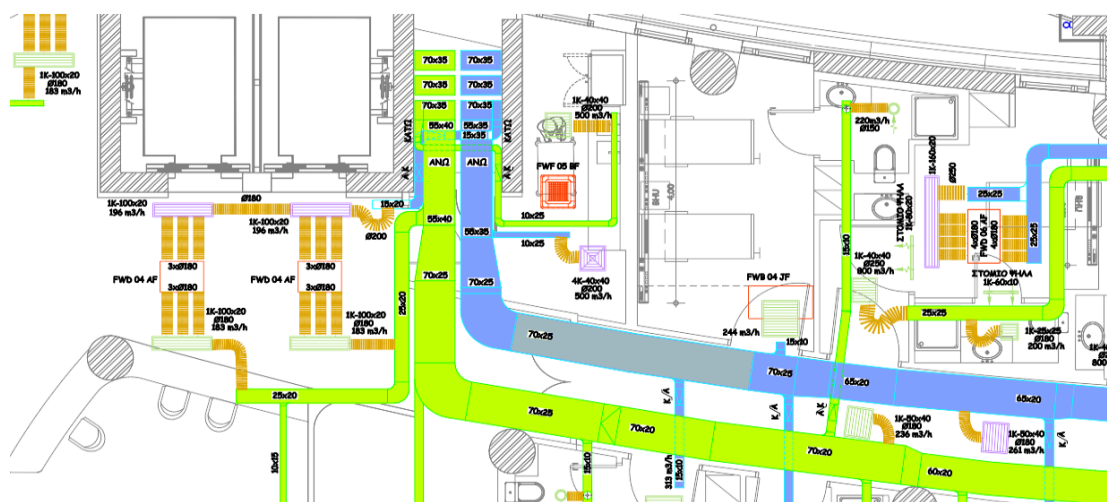
Κυκλοφορία/Κλιματισμός: Η συνολική παροχή αέρα (κλιματισμός) που διανέμεται μέσω των τοπικών Fan Coil Units (FWD) στις ψευδοροφές αθροίζει σε 9.600 m³/h, εξασφαλίζοντας την κάλυψη των αισθητών θερμικών φορτίων.

Συμμόρφωση με κανονισμούς και πρότυπα: Ο σχεδιασμός συμμορφώνεται πλήρως με την TOTEE 20701-1/2017 και το διεθνές πρότυπο ASHRAE 170 (διασφάλιση

- Απαιτήσεις ποιότητας αέρα, θερμοκρασίας και υγρασίας:

Θερμοκρασία/Υγρασία: Διατήρηση εσωτερικής θερμοκρασίας στους $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ το καλοκαίρι και $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ τον χειμώνα, με σχετική υγρασία $50\% \pm 5\% \text{ RH}$.

- Χάραξη της διαδρομής: Όπως αποτυπώνεται στα Σχέδια 1 και 2 η χάραξη ακολουθεί τη μέθοδο της «σπονδυλικής στήλης». Οι κύριοι αεραγωγοί προσαγωγής και απαγωγής οδεύουν κατά μήκος της ψευδοροφής του κεντρικού διαδρόμου. Από εκεί, διακλαδίζονται κάθετα και εισέρχονται στις αίθουσες των πολυθρόνων θεραπείας και τους θαλάμους.



Σχέδιο 4.1: Διάταξη κύριων αεραγωγών προσαγωγής και απαγωγής στον 1^ο όροφο.



Σχέδιο 4.2: Διακλαδώσεις αεραγωγών προς τους θαλάμους νοσηλείας.

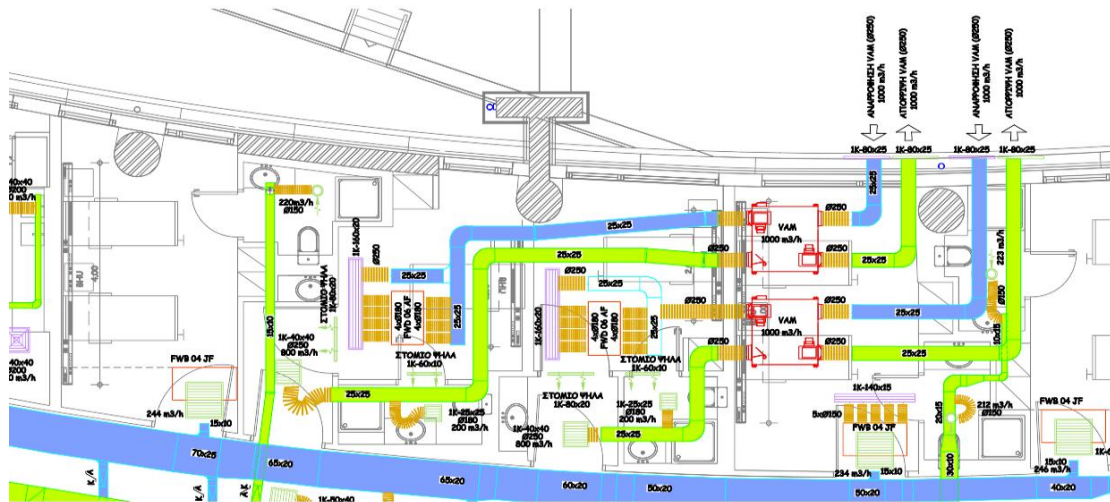
- Επιλογή διατομών: Χρήση ορθογωνικών γαλβανισμένων αεραγωγών για τους κύριους κορμούς και τις διακλαδώσεις (ώστε να ελαχιστοποιηθεί το απαιτούμενο ύψος ψευδοροφής). Για τις τελικές συνδέσεις των στομιών προσαγωγής και απαγωγής, χρησιμοποιούνται εύκαμπτοι (flexible) κυκλικοί αεραγωγοί διατομής Φ125 και Φ150, όπως φαίνεται στα σχέδια των Fan Coils (FWD).
- Προσδιορισμός διαστάσεων (με βάση την παροχή και την ταχύτητα)
Χρησιμοποιώντας τη θεμελιώδη εξίσωση της συνεχείας:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Όπου v η ταχύτητα (m/s), Q η παροχή (m³/s) και A η διατομή (m²). Οι αεραγωγοί διαστασιολογήθηκαν με μέγιστη ταχύτητα στον κεντρικό κορμό $v_{max} = 4.5 \frac{m}{s}$ (κάτω από το όριο των 6.0 m/s της ASHRAE για νοσοκομεία, προς αποφυγή θορύβου).

- Κύριος αεραγωγός

Στο Σχέδιο 4.3 παρουσιάζεται η προσαγωγή VAM.



Σχέδιο 4.3: Σύνδεση δικτύου με τις μονάδες ανάκτησης θερμότητας (VAM)

$$\text{Παροχή } Q = 2000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 0.556 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Για ταχύτητα $V_{max} = 4.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, η απαιτούμενη διατομή είναι $A \approx 0.124 \text{m}^2$
- Επιλέγεται ορθογωνικός αεραγωγός διαστάσεων 80x25 cm.
- Δευτερεύοντες αεραγωγοί διαδρομού: Επιλέγονται διαδοχικά διατομές 60x20 cm (για παροχές $\sim 1.200 \text{ m}^3/\text{h}$) και 50x20 cm (για παροχές $\sim 900 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Κλάδοι εισόδου στις αίθουσες: Διατομές 40x20 cm, 30x15 cm και 20x25 cm (ταχύτητα $V \leq 3.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$).

4.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΠΙΕΣΗΣ

- Για τη δυσμενέστερη διαδρομή (index run) του δικτύου VAM 2000 (μήκους $\sim 45 \text{ m}$), ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης γίνεται ως εξής:
- Τριβές στα ευθύγραμμα τμήματα: Υπολογισμός υδραυλικής διαμέτρου για τη διατομή 80x25 cm:

$$Dh = \frac{2ab}{a+b} = \frac{2 * 0.8 * 0.25}{0.8 + 0.25} \approx 0.38 \text{m}$$

Με βάση τη μέθοδο της ίσης πτώσης πίεσης (Equal Friction Method), ορίζεται σταθερή απώλεια τριβής σχεδιασμού $R = 0.8 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$ (στα 45 m, οι ευθύγραμμες απώλειες είναι $45 * 0.8 = 36 \text{ Pa}$).

- Τοπικές απώλειες (Fitting Losses): Υπολογίζονται με βάση τον συντελεστή τοπικής απώλειας (**C**) κάθε εξαρτήματος:

$$\Delta P_L = C * \left(\frac{\rho V^2}{2} \right)$$

Όπου η πυκνότητα του αέρα $\rho = \frac{1.2kg}{m^3}$. Για ταχύτητα $V = \frac{4.5m}{s}$, η δυναμική πίεση (Velocity Pressure) είναι:

$$VP = \frac{1.2 * 4.5^2}{2} \approx 12.15 Pa$$

Στον **Πίνακα 4.1** αναλύονται οι τοπικές απώλειες για τη δυσμενέστερη διαδρομή του δικτύου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: Τοπικές απώλειες (Fitting Losses) δυσμενέστερης διαδρομής αεραγωγών.

Εξάρτημα Δυσμενέστερης Διαδρομής	Ποσότητα	Συντελεστής C	Πτώση Πίεσης (Pa)
Γωνία 90° (με περύγια turning vanes)	4	0.2	9.72
Διακλάδωση Ταυ (Branch Tee)	3	0.5	18.225
Πυροφραγμός (Fire Damper)	1	0.5	6.075
Εύκαμπτος αεραγωγός σύνδεσης (Φ150 - 1.5 m)	1	-	12
Στόμιο προσαγωγής (με κουτί plenum)	1	-	30

- Υπολογισμός της συνολικής πτώσης πίεσης του δικτύου:

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{friction} + \Delta P_{local} + \Delta P_{filters}$$

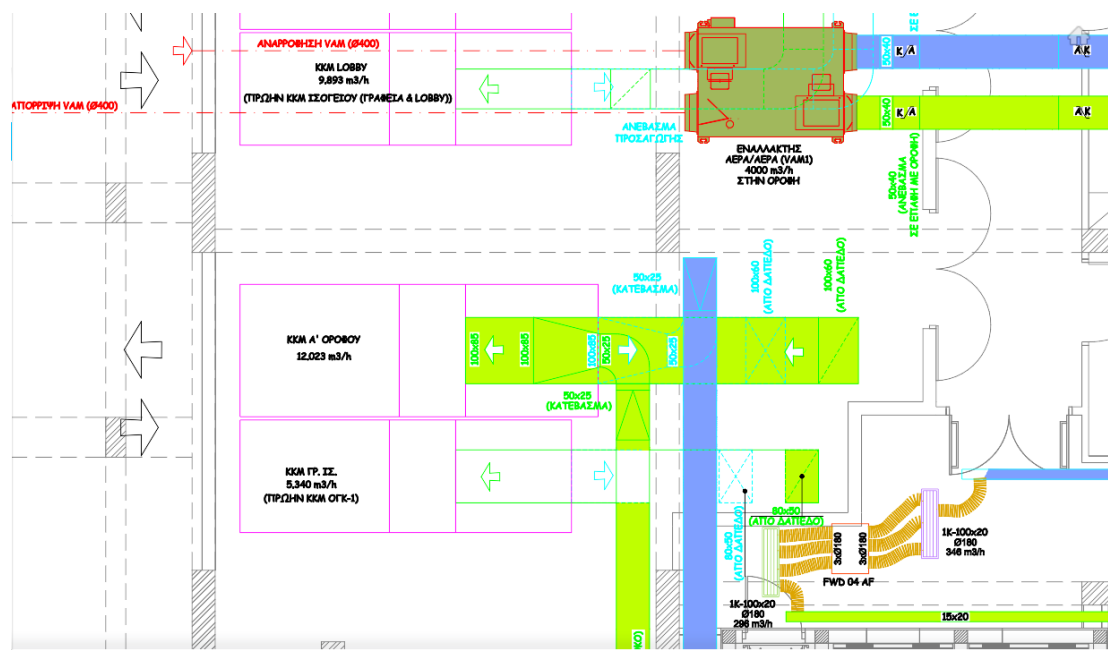
Οπότε ΔP προκύπτει:

$$\Delta P_{total} = 36 Pa + (9.7 + 18.2 + 6.1 + 12.0 + 30.0) Pa + 120 Pa \approx 232$$

4.2.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΚΜ 1ΟΥ ΟΡΟΦΟΥ

Η κλιματιστική μονάδα που εξυπηρετεί τον 1^ο όροφο έχει επιλεγεί με κριτήρια που διασφαλίζουν τόσο την υγιεινή των χώρων όσο και την ενεργειακή απόδοση του συγκροτήματος.

Η Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (ΚΚΜ) του Α' Ορόφου έχει σχεδιαστεί για μια ονομαστική παροχή αέρα $Q = \frac{12.023m^3}{h}$ όπως αποτυπώνεται στο **Σχέδιο 4.4**.



Σχέδιο 4.4: Χωροθέτηση και συνδέσεις της ΚΚΜ 1ου Ορόφου.

Για τους σκοπούς της μηχανολογικής ανάλυσης, μετατρέπουμε την παροχή σε μονάδες SI:

$$Q = \frac{\frac{12.023 \text{ m}^3}{h}}{\frac{3.600 \text{ s}}{h}} \approx \frac{3.34 \text{ m}^3}{s}$$

Η μονάδα αυτή αποτελεί την καρδιά του συστήματος κλιματισμού του ορόφου και φέρει ενσωματωμένα συστήματα επεξεργασίας αέρα, επιτρέποντας τον ακριβή έλεγχο των συνθηκών περιβάλλοντος στους θαλάμους νοσηλείας.

- Για την ανάλυση της παροχής $12.023 \text{ m}^3/\text{h}$ προκύπτει από την ανάγκη κάλυψης
 1. Θερμικών Φορτίων: Την απορρόφηση των εσωτερικών θερμικών κερδών (ιατρικός εξοπλισμός, πληρότητα 80 ατόμων, φωτισμός) και των φορτίων από το κέλυφος του κτιρίου.
 2. Υγιεινομικών Απαιτήσεων: Την τήρηση των ελάχιστων ρυθμών αερισμού (6 ACH) που επιβάλλει το πρότυπο ASHRAE 170 για τον περιορισμό της συγκέντρωσης αερομεταφερόμενων μολυσματικών παραγόντων.
 3. Εξισορρόπησης Πιέσεων: Τη διατήρηση της επιθυμητής διαφορικής πίεσης μεταξύ των θαλάμων (αρνητική πίεση για περιορισμό εξάπλωσης μικροβίων).

Από το Σχέδιο (3), προκύπτει και η στρατηγική σύνδεση της ΚΚΜ με μονάδα ανάκτησης θερμότητας (VAM - Ventilation Air Management). Η μονάδα VAM, με ονομαστική παροχή $4.000 \text{ m}^3/\text{h}$ λειτουργεί ως προ-επεξεργαστής του νοπού αέρα.

Η απόδοση της ανάκτησης θερμότητας η υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\eta = \frac{T_{supply} - T_{outdoor}}{T_{exhaust} - T_{outdoor}}$$

Όπου:

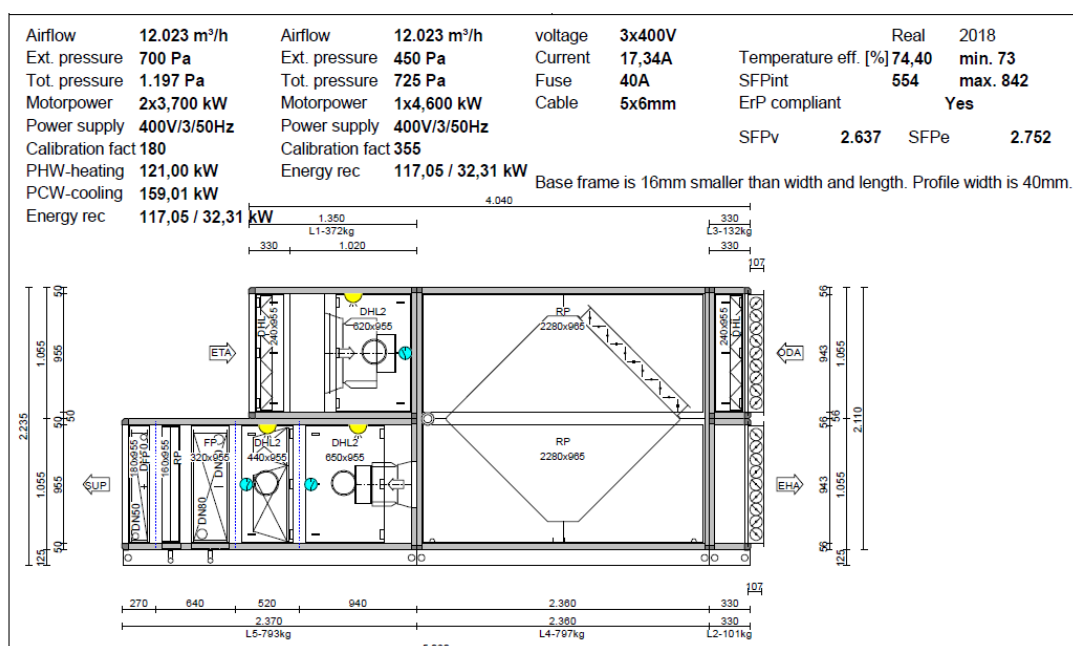
- T_{supply} : Η θερμοκρασία αέρα προσαγωγής μετά τον εναλλάκτη.
- $T_{outdoor}$: Η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος.
- $T_{exhaust}$: Η θερμοκρασία αέρα απόρριψης από τον κλιματιζόμενο χώρο.

Η χρήση του VAM επιτρέπει την ανάκτηση μεγάλου ποσοστού της ενέργειας που διαφορετικά θα απορριπτόταν στο περιβάλλον, καθιστώντας το σύστημα ιδανικό για κτίρια με χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα.

Η επιλεγμένη ΚΚΜ Α' Ορόφου διαθέτει:

- **Ανεμιστήρες:** Τεχνολογίας Plug Fan με κινητήρες EC (Electronically Commutated) για μεταβλητό έλεγχο στροφών και υψηλό βαθμό απόδοσης σε μερικά φορτία.
- **Φίλτρα:** Σύστημα δύο βαθμίδων (G4/MERV 8 προ-φίλτρα και F9/MERV 14 τελικά φίλτρα) για την εξασφάλιση της υψηλής ποιότητας εσωτερικού αέρα (IAQ).
- **Στόμια & Δίκτυα:** Η τροφοδοσία γίνεται μέσω ορθογωνικών αεραγωγών διατομής 100x85 cm στην προσαγωγή, εξασφαλίζοντας χαμηλές ταχύτητες αέρα και αθόρυβη λειτουργία, σύμφωνα με τις προδιαγραφές νοσοκομειακών εγκαταστάσεων.

Συνοπτικά, η επιλογή της ΚΚΜ Α' Ορόφου ανταποκρίνεται στις υψηλές απαιτήσεις ενός νοσοκομειακού περιβάλλοντος, συνδυάζοντας την ασφάλεια (μέσω φιλτραρίσματος και ελέγχου πιέσεων) με την ενεργειακή οικονομία (μέσω ανάκτησης θερμότητας).



Σχέδιο 4.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά της KKM Systemair.

Στο Σχέδιο 4.5 μπορούμε να διακρίνουμε τα ονομαστικά της κλιματιστικής μονάδας που χρησιμοποιήθηκε για τον Α όροφο. Μπορούμε να διακρίνουμε καταναλώσεις, στατική πίεση, κυβικά ανά ώρα και άλλες πληροφορίες που καθιστούν κατάλληλη την παραπάνω επιλογή για προμήθεια υλικού και χρήση σε ένα κτήριο με αυστηρές ενεργειακές και υγειονομικές οδηγίες.

4.2.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΓΙΑ ΤΑ VAM

Για την κάλυψη του δικτύου του VAM 2000, επιλέγεται ανεμιστήρας με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Παροχή αέρα: $\frac{2.000m^3}{h} = \frac{0.556m^3}{s}$
- Συνολική στατική πίεση: $= 250Pa$ (περιλαμβάνει περιθώριο ασφαλείας ~8% για μελλοντική φραγή φίλτρων).
- Ενεργειακή απόδοση και θόρυβος: Επιλογή plug fan με κινητήρα EC (Inverter) κεκλιμένων πτερυγίων προς τα πίσω (backward-curved), με βαθμό απόδοσης $\eta \geq 68\%$. Η ηλεκτρική ισχύς του ανεμιστήρα είναι $Pe \approx 0.25Kw$ ικανοποιώντας πλήρως τα αυστηρά όρια της οδηγίας Ecodesign (ErP).

4.2.6 ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΑΝΕΣΗΣ

- Ταχύτητες αέρα στους χώρους: Η ταχύτητα του αέρα προσαγωγής στην έξοδο των στομιών (diffusers) πάνω από τις πολυθρόνες θεραπείας περιορίζεται στα

0.20 m/s, αποτρέποντας τη δημιουργία ενοχλητικών ρευμάτων (drafts) για τους ασθενείς που παραμένουν ακίνητοι.

- Στάθμη θορύβου: Το αυστηρό όριο θορύβου για τη Μονάδα Ημερήσιας Νοσηλείας ορίζεται σε 35 dBA (NC 30). Για αυτό υπάρχει άμεση ανάγκη για ηχοπαγίδες ή μονώσεις:

Όλοι οι ορθογωνικοί αεραγωγοί φέρουν εξωτερική θερμό-ηχομόνωση από ελαστομερές υλικό πάχους 19 mm.

Εγκαθίσταται κεντρική ηχοπαγίδα (silencer) τύπου splitters (μήκους 1.0 m) αμέσως μετά την έξοδο του VAM 2000, η οποία αποσβένει τον αερομεταφερόμενο θόρυβο του ανεμιστήρα κατά 18 dBA στις κρίσιμες συχνότητες των 250-500 Hz.

4.2.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

- Τελικές διαστάσεις αεραγωγών:
 1. Κεντρικός Διανομέας: 80x25 cm, 70x25 cm.
 2. Δευτερεύοντες Κλάδοι: 60x20 cm, 50x20 cm, 40x20 cm.
 3. Συνδέσεις Στοιμίων: Εύκαμπτοι Φ150 και Φ125.
- Το δίκτυο διανομής ξεκινά από το κατακόρυφο φρεάτιο, το οποίο βρίσκεται ακριβώς δίπλα στη ζώνη των ανελκυστήρων. Ο αγωγός απαγωγής (επιστροφής) αέρα (απεικονίζεται με πράσινο χρώμα) αναπτύσσεται κατά μήκος του κεντρικού διαδρόμου, μειώνοντας σταδιακά τη διατομή του καθώς αυξάνεται η συλλεγόμενη παροχή αέρα από τους επιμέρους χώρους και καταλήγει στο κατακόρυφο φρεάτιο. Ο αγωγός προσαγωγής αέρα (απεικονίζεται με μπλε χρώμα) αναπτύσσεται παράλληλα, τροφοδοτώντας με νωπό επεξεργασμένο αέρα τους χώρους εξέτασης, ενώ η απαγωγή πραγματοποιείται από τα WC και τους βοηθητικούς χώρους, ώστε να διατηρείται η απαιτούμενη αρνητική πίεση στους χώρους αυτούς. Συμπεράσματα για την απόδοση του συστήματος: Η μελέτη και ο σχεδιασμός του δικτύου εξασφαλίζουν την άριστη ποιότητα αέρα (IAQ) και τη βέλτιστη θερμική άνεση. Η χρήση των μονάδων VAM επιτυγχάνει ανάκτηση ενέργειας έως και 65%, μειώνοντας δραστικά το ετήσιο λειτουργικό κόστος.
- Πιθανές βελτιώσεις: Εγκατάσταση αισθητήρων CO₂ στις μεγάλες αίθουσες θεραπείας για την εφαρμογή Αερισμού Ελεγχόμενου από τη Ζήτηση (Demand-Controlled Ventilation - DCV). Όταν η πληρότητα των πολυθρόνων είναι χαμηλή, το BMS θα μειώνει αυτόματα τις στροφές των VAM (μέσω Inverter), επιτυγχάνοντας επιπλέον 30% εξοικονόμηση ενέργειας.

4.3 ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

4.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ FCU

Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιούμε δίκτυο κλιματισμού με νερό για ένα σύγχρονο κτήριο. Χρησιμοποιώντας δίκτυο νερού αποφεύγεται το ενδεχόμενο διαρροής ψυκτικού υγρού στους θαλάμους νοσηλείας. Ο χώρος μελέτης αφορά συγκεκριμένα τον 1ο όροφο του σύγχρονου νοσοκομείου, συνολικής επιφάνειας 1.000 τετραγωνικών μέτρων. Ο αρχικός στόχος είναι να δημιουργηθεί μια εγκατάσταση που θα ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας και παράλληλα να είναι ένα δίκτυο αθόρυβο και ένα υγιεινό περιβάλλον για τους ασθενείς και το ιατρικό προσωπικό, τηρώντας πιστά τις οδηγίες της TOTEE και του KENAK.

Ο όροφος θα χωριστεί σε τέσσερις διαφορετικές ζώνες, επειδή ο κάθε χώρος στο νοσοκομείο έχει εντελώς διαφορετικές ανάγκες θερμικής άνεσης και εσωτερικών κερδών (από ιατρικά μηχανήματα, φωτισμό και ανθρώπινη παρουσία). Επιλέγεται ένα τετρασωλήνιο δίκτυο νερού, το οποίο συνδέεται με τις τοπικές θερματικές μονάδες Fan Coils(FCU). Η λογική πίσω από το τετρασωλήνιο σύστημα είναι να εξυπηρετεί τις ανάγκες κάθε θαλάμου, γραφείου ξεχωριστά ανεξαρτήτως ζήτησης θέρμανση-ψύξη.

Για να επιτευχθεί ο στόχος του χαμηλού ενεργειακού αποτυπώματος, το κρύο νερό παράγεται από κεντρικούς, υψηλής απόδοσης ψύκτες (Chillers), ενώ το ζεστό νερό προέρχεται από μια συστοιχία λεβήτων συμπύκνωσης φυσικού αερίου. Οι λέβητες αυτοί τροφοδοτούν δύο μεγάλα μπόιλερ (boilers) αποθήκευσης των 1000 λίτρων το καθένα, εξασφαλίζοντας τεράστια θερμική αδράνεια, άμεση απόκριση στις ζητήσεις των FCU και τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση καυσίμου.

Οι ανάγκες (τα φορτία) για τους χώρους των 1000 τ.μ. φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 4.2:

Πίνακας 4.2: Ψυκτικά και θερμικά φορτία 1^{ου} ορόφου ανά ζώνη.

Περιγραφή Ζώνης	Επιφάνεια (m2)	Ψυκτικό Φορτίο (W)	Θερμικό Φορτίο (W)
Ζώνη 1: Θάλαμοι Νοσηλείας	350	28	21
Ζώνη 2: Χώρος με Καρέκλες Νοσηλείας	250	30	20
Ζώνη 3: Γραφεία Ιατρών & Διεύθυνσης	150	12.75	9
Ζώνη 4: Γραμματεία, Υποδοχή & Τουαλέτες	250	22.5	17.5
Σύνολο 1ου Ορόφου Νοσοκομείου	1000	93.25	67.5

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται πως τα ψυκτικά (93,25 kW) υπερτερούν των θερμικών (67,5 kW). Αυτό συμβαίνει γιατί σε ένα νοσοκομειακό περιβάλλον με εξαιρετική μόνωση (χαμηλό αποτύπωμα), ο ιατρικός εξοπλισμός και η συνεχής παρουσία προσωπικού και ασθενών εκλύουν σημαντική θερμότητα που πρέπει να αποβληθεί το καλοκαίρι.

4.3.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ

Οι αυστηροί κανόνες του TOTEE 2421/86 και 2423/86⁴ θα ληφθούν υπόψιν για να δουλέψουν όλα με ασφάλεια. Επιπλέον, σε χώρους νοσοκομείου, ο κλιματισμός λειτουργεί βέλτιστα όταν τα παράθυρα παραμένουν κλειστά, αποτρέποντας τις υγραποιήσεις και την απώλεια ενέργειας¹⁴. Από την στιγμή που έχουμε δύο διαφορετικά κλειστά κυκλώματα, έχουμε και διαφορετικούς παραμέτρους σε ΔT :

1. **Κύκλωμα Ψύξης (Chillers):** Το κρύο νερό φεύγει στους 7°C και επιστρέφει 12°C με ($\Delta T=5K$)¹⁵. Η θερμοκρασία αυτή είναι αρκετά κρύα για να κάνει σωστή αφύγρανση στους θαλάμους, και ιδανικό για τον βαθμό απόδοσης (EER) του Chiller, κρατώντας χαμηλή την κατανάλωση ρεύματος.
2. **Κύκλωμα Θέρμανσης (Λέβητες Αερίου & Boilers):** Το ζεστό νερό θα φεύγει από τα boiler προς τα FCU στους 45°C και θα επιστρέφει στους 40°C ($\Delta T=5K$)¹⁶. Επιλέγοντας αυτή τη χαμηλή θερμοκρασία, οι λέβητες αερίου λειτουργούν μόνιμα σε καθεστώς «συμπύκνωσης», αποδίδοντας πάνω από 100% βαθμό απόδοσης και μειώνοντας δραματικά το ανθρακικό αποτύπωμα του κτηρίου.

Σύμφωνα με τις ιδιότητες του νερού:

- Για την ψύξη με 9,5°C:
 - Ειδική θερμοχωρητικότητα: $C_p=4.186 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$,
 - Πυκνότητα $\rho = 997,7 \text{ kg/m}^3$
 - Κινηματικό ιξώδες: $\nu = 1,334 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. (⁴)
- Για την θέρμανση με 42,5°C
 - Πυκνότητα: $\rho= 990,2 \text{ kg/m}^3$
 - Δυναμικό ιξώδες $\mu \approx 0.000596 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (¹⁸)

Η ταχύτητα του νερού δεν μπορεί να ξεπερνάει το 1,2m/s στους μεγάλους κλάδους¹⁸. Οι ασθενείς και ο χώρος γενικά χρειάζεται ησυχία και εάν το νερό τρέχει γρήγορα, θα δημιουργείται θόρυβος. Στόχος λοιπόν σε απώλειες τριβών (R) κάτω από 300 Pa/m. Όλες οι σωλήνες θα ντυθούν με παχιά ελαστομερή μόνωση, όπως επιβάλλει η TOTEE¹, για να μην έχουμε θερμικές απώλειες.

4.3.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

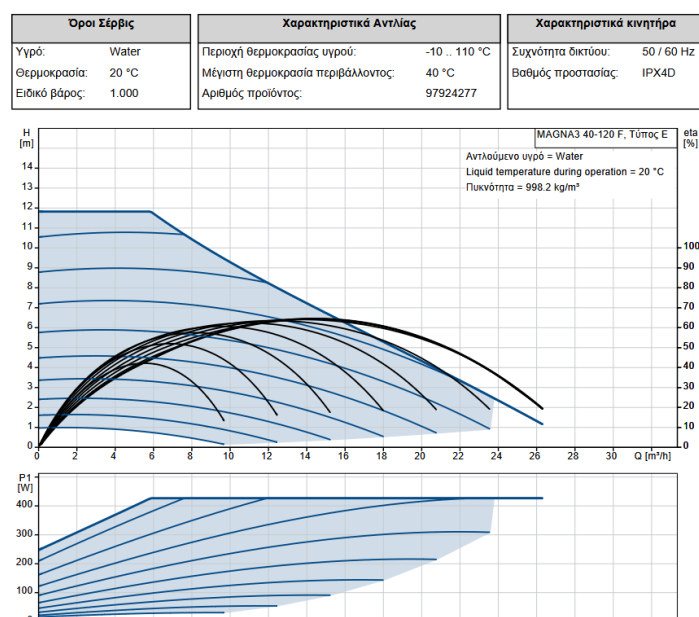
Στο τετρασωλήνιο σύστημα, έχουμε πρακτικά δύο ανεξάρτητα δίκτυα που τρέχουν παράλληλα στις ψευδοροφές του νοσοκομείου⁵. Ως υλικό δικτύου, και σύμφωνα με τα

πλέον σύγχρονα διεθνή στάνταρ για μεγάλες εγκαταστάσεις NZEB, διαλέξαμε το πολυπροπυλένιο ανώτερης κρυσταλλικής δομής (PP-RCT)¹⁹. Το PP-RCT (με ενδιάμεση στρώση ενίσχυσης υαλονήματος) πλεονεκτεί σε πολλά επίπεδα για νοσοκομειακή χρήση. Δεν διαβρώνεται, προσφέρει φυσική ηχομόνωση «πνίγοντας» τους υδραυλικούς θορύβους, μειώνει τις απώλειες θερμότητας και έχει εξαιρετικά λεία εσωτερική επιφάνεια με απόλυτη τραχύτητα μόλις $\varepsilon = 0.007\text{mm}$ ^{20,21}. Αυτή η τεράστια λειότητα επιτρέπει στο νερό να ρέει με ελάχιστες τριβές, εξοικονομώντας ενέργεια από τις αντλίες μας.

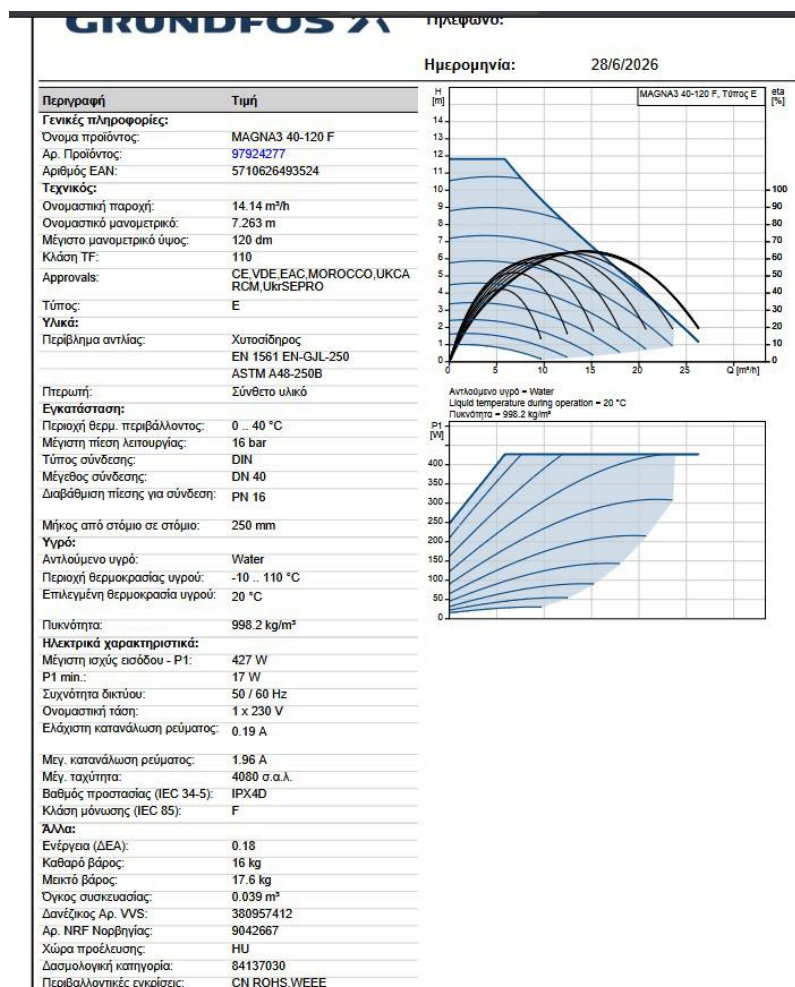
4.3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

1) Κύκλωμα Ψύξης

Η συνολική ογκομετρική παροχή του συστήματος ψύξης για τον 1ο όροφο (η οποία περιλαμβάνει τα τοπικά Fan Coils) προσδιορίστηκε ακριβώς στα 27,37 m³/h. Το συνολικό απαιτούμενο μανομετρικό ύψος (υπολογίζοντας τις γραμμικές τριβές των σωλήνων PP-RCT, τις τοπικές απώλειες από βάνες/γωνίες, και την πτώση πίεσης μέσα στο στοιχείο) διαμορφώθηκε στα 7,02 m.Σ.Υ. Η καμπύλη για την αντλία που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζονται στις 4.1 & 4.2 .



Εικόνα 4.1: Καμπύλη απόδοσης κυκλοφορητή ψύξης Magna 3 40-120 F



Εικόνα 4.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά κυκλοφορητή ψύξης Magna 3.

2) Κύκλωμα Θέρμανσης.

Στη θέρμανση, το σύστημα σχεδιάστηκε με μια κεντρική αρχιτεκτονική. Αντί να έχουμε έναν μικρό κυκλοφορητή ανά όροφο, υπάρχει ένας Κεντρικός Κυκλοφορητής Θέρμανσης στο μηχανοστάσιο, ο οποίος αναλαμβάνει να τροφοδοτήσει με ζεστό νερό τα FCU και των 4 ορόφων του νοσοκομείου.

Ο υπολογισμός των φορτίων για το σύνολο του κτηρίου απαιτεί τη μεταφορά τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας. Εφαρμόζοντας την εξίσωση της θερμιδομετρίας και τις υδραυλικές εξισώσεις για το συνολικό δίκτυο, τα δεδομένα αιχμής της εγκατάστασης θέρμανσης διαμορφώθηκαν ως εξής:

- **Συνολική Απαιτούμενη Παροχή (4 Όροφοι):** 114,32 m³/h
- **Δυσμενέστερο Μανομετρικό Ύψος:** 14,92 m.Σ.Υ.

Για τον 1ο όροφο, απορροφούμε περίπου 11,5 m³/h, ήτοι ποσοστό των 114,32 m³/h. Στην Εικόνα 4.3 φαίνεται η αντλία που επιλέχθηκε για την θέρμανση του 1ου ορόφου

(Grundfos TPE), ενώ στην **Εικόνα 4.4** και την **Εικόνα 4.5** αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και η καμπύλη λειτουργίας της αντίστοιχα.



***Εικόνα 4.3:** Κεντρικός Κυκλοφορητής Θέρμανσης Grundfos TPE.*

Technical:
Pump speed on which pump data are based: 1455 rpm
Rated flow: 117 m³/h
Rated head: 16.3 m
Actual impeller diameter: 240 mm
Code for shaft seal: BQQE
Curve tolerance: ISO 9906:2012 3B2

Materials:
Pump housing: Cast iron
Pump housing: EN-GJL-250
Pump housing: ASTM class 35
Impeller: Cast iron
Impeller: EN-GJL-200
Impeller: ASTM class 30

Installation:
Range of ambient temperature: -20 .. 50 °C
Maximum operating pressure: 16 bar
Max pressure at stated temp: 16 bar / 120 °C
Type of connection: DIN
Size of connection: DN 100
Pressure rating for connection: PN 16
Port-to-port length: 670 mm
Flange size for motor: FF265

Electrical data:
Motor type: 132MH
Rated power - P₂: 7.5 kW
Mains frequency: 50 / 60 Hz
Rated voltage: 3 x 380-500 V
Rated current: 14.1-11.1 A
Cos phi - power factor: 0.93-0.89
Rated speed: 180-2200 rpm
IE Efficiency class: IE5
Motor efficiency at full load: 92.2 %
Number of poles: 4
Enclosure class (IEC 34-5): IP55
Insulation class (IEC 85): F
Motor No: 98971268

***Εικόνα 4.4:** Τεχνικά δεδομένα κυκλοφορητή Grundfos TPE.*

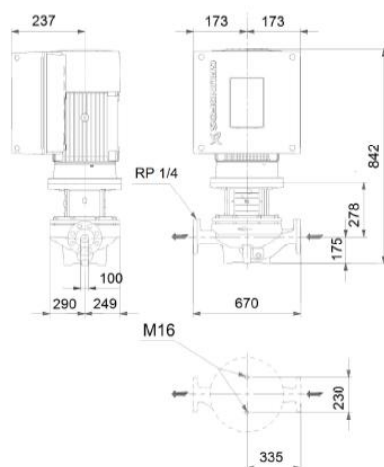
TPE 100-200/4 5-A-F-A-BQGE-MWA

Θέση 10

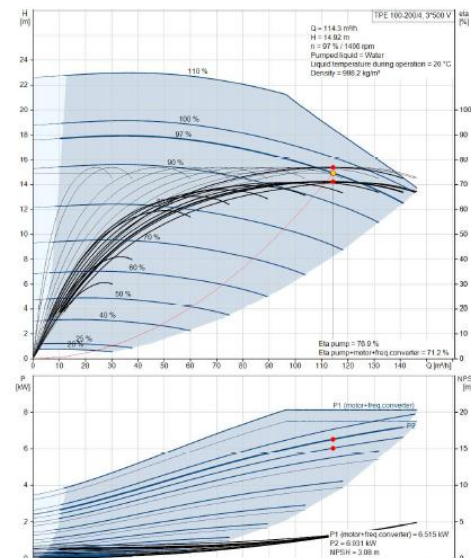
Σημεία σας :

Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα

Σχέδιο διαστάσεων



Καμπύλη αντλίας:



Εικόνα 4.5: Σχέδιο διαστάσεων και καμπύλη αντλίας Grundfos TPE.

Σημείωση: Βάσει του τύπου της θερμιδομετρίας $Q = m * C_p * \Delta T$ τα κιλά ανά δευτερόλεπτο μετατράπηκαν σε κυβικά μέτρα ανά ώρα (m^3/h)¹². Στον Πίνακα 4.3 συνοψίζονται οι ογκομετρικές παροχές νερού για την ψύξη και τη θέρμανση ανά ζώνη.

Πίνακας 4.3: Ογκομετρικές παροχές νερού (m^3/h) ανά ζώνη 1ου ορόφου.

Ζώνη	Ψυκτικό Φορτίο	Ογκομ. Παροχή Ψύξης m^3/h	Θερμικό Φορτίο	Ογκομ. Παροχή Θέρμανσης m^3/h
Z1 (Θάλαμοι)	28.000 W	48,175	21.000 W	36,478
Z2 (Καρέκλες)	30.000 W	51,616	20.000 W	34,741
Z3 (Γραφεία)	12.750 W	21,937	9.000 W	15,633
Z4 (Γραμματεία)	22.500 W	38,712	17.500 W	28,227
Σύνολο	93.250 W	160,440	67.500 W	115,079

• Διαστασιολόγηση Σωληνώσεων (PP-RCT)

Για τον υπολογισμό των τριβών (R σε Pa/m) χρησιμοποιήσαμε την εξίσωση του Colebrook-White, εφαρμόζοντας την τραχύτητα του PP-RCT ($\varepsilon = 0.007 \text{ mm}$)²¹ και τις πραγματικές εσωτερικές διαμέτρους των σωλήνων σειράς SDR 9 (κατάλληλων για πιέσεις PN 16)¹⁹.

Δίκτυο Ψύξης (Συνολική παροχή $16,04 \text{ m}^3/\text{h}$):

- Για να περάσουν 16 κυβικά νερού την ώρα αθόρυβα, χρειαζόμαστε μεγάλες διατομές. Για την κεντρική στήλη προσαγωγής (Riser) και τον κεντρικό συλλέκτη επιλέξαμε PP-RCT εξωτερικής διαμέτρου 110 mm (εσωτερική διάμετρος 85,4 mm)¹⁹. Σε αυτή τη διατομή, το νερό ρέει με ιδανική ταχύτητα

μόλις 0,778 m/s και οι απώλειες τριβής είναι εξαιρετικά χαμηλές, στα 75,1 Pa/m.

- Στη συνέχεια του δικτύου (τμήματα διέλευσης) η διατομή μειώνεται σε 90 mm και 75 mm¹⁹.
- Για τις διακλαδώσεις προς τις μεγάλες ζώνες 1 και 2 επιλέχθηκε PP-RCT 63 mm, ενώ για τα γραφεία και τη γραμματεία 40 mm και 50 mm αντίστοιχα¹⁹.

Δίκτυο Θέρμανσης (Συνολική παροχή 11,51 m³/h):

Επειδή στη θέρμανση τα φορτία είναι μικρότερα, οι σωλήνες "μαζεύουν" σε μέγεθος.

- Για την κεντρική στήλη χρησιμοποιήσαμε PP-RCT εξωτερικής διαμέτρου 90 mm (εσωτερική 69,8 mm)¹⁹.
- Η ταχύτητα του νερού στον Riser της θέρμανσης συγκρατείται στα 0,85 m/s με απώλειες 96 Pa/m, εξασφαλίζοντας απόλυτη ησυχία στους θαλάμους.
- Για τις τοπικές διακλαδώσεις (branches) επιλέχθηκαν σωλήνες PP-RCT διατομής από 32 mm έως 50 mm¹⁹.

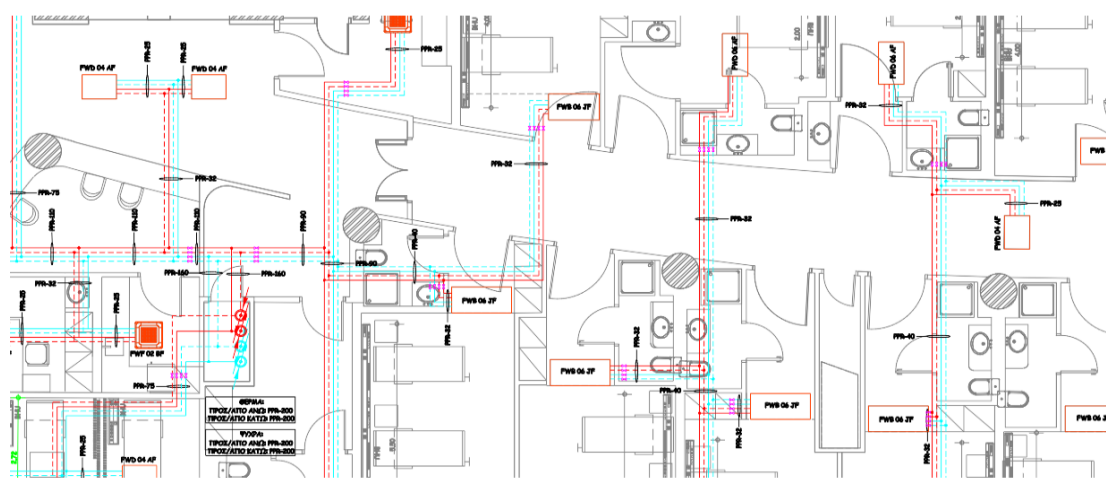
Συνολικές Πτώσεις Πίεσης (Δυσμενέστεροι Κλάδοι)

Αθροίζοντας τις γραμμικές απώλειες των πλαστικών σωλήνων PP-RCT, τις τοπικές αντιστάσεις (γωνίες, ταυ, βάνες όπου προστίθενται τα τερματικά) και τις αντιστάσεις των ίδιων των στοιχείων των Fan Coils, εντοπίσαμε το μανομετρικό που πρέπει να υπερνικήσουν οι αντλίες:

- Στο κύκλωμα ψύξης, ο δυσμενέστερος κλάδος είναι η μεγάλη αίθουσα με τις καρέκλες νοσηλείας (Ζώνη 2). Οι συνολικές απώλειες (τριβές και πτώση πίεσης FCU) του δικτύου ψύξης ανήλθαν στα **38,348 kPa**.
- Στο κύκλωμα θέρμανσης, ο δυσμενέστερος κλάδος είναι και πάλι η Ζώνη 2, με συνολικές απώλειες δικτύου στα **31,132 kPa**.

Σχέδιο 4.6: Δίκτυο κλιματισμού Ζώνης 2 (Καρέκλες νοσηλείας - Τμήμα Α).





Κυκλοφορητής Ψύξης (1ος Όροφος): GRUNDFOS MAGNA3 65-150 F

Στο σημείο λειτουργίας μας, ο κυκλοφορητής αυτός λειτουργεί εξαιρετικά περιγραφικά: ο Inverter προσαρμόζει micro-step την ταχύτητα περιστροφής, μειώνοντας την κατανάλωση ρεύματος στο ελάχιστο και εξασφαλίζοντας ότι η παροχή των 27,37 m³/h θα διανεμηθεί με απόλυτη ακρίβεια και χωρίς υδραυλικούς θορύβους στα FCU του ορόφου.

Για να καλυφθεί το μεγάλο φορτίο των 114,32 m³/h με αντίσταση δικτύου 14,92 m, η εγκατάσταση απαιτεί έναν βιομηχανικό in-line κυκλοφορητή (Inline Pump). Η ιδανική επιλογή για αυτή τη θέση είναι ο GRUNDFOS TPE 100-200/4 S-A-F-A-BQQE-MWA.

Σε επίπεδο λειτουργίας, ο TPE 100-200/4 λειτουργεί με έλεγχο αναλογικής διαφορικής πίεσης ($\Delta p - u$). Όταν οι θερμοστάτες στους ορόφους ικανοποιούνται και οι δίπολες βάνες των καναλάτων μονάδων VCE 73 αρχίζουν να κλείνουν, ο ενσωματωμένος αισθητήρας της αντλίας "διαβάζει" την άνοδο της πίεσης και δίνει εντολή στο Inverter να μειώσει τις στροφές του κινητήρα (από τη μέγιστη ταχύτητα των 2200 rpm). Αυτή η περιγραφική προσαρμογή εξασφαλίζει ότι η αντλία καταναλώνει μόνο την

απαραίτητη ενέργεια κάθε στιγμή, μειώνοντας δραματικά το ενεργειακό αποτύπωμα του νοσοκομείου

4.3.6 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (FCU) SYSTEMAIR

Για τον κλιματισμό των επιμέρους ζωνών, επιλέχθηκαν τα καναλάτα μηχανήματα VCE 73 της SYSTEMAIR. Πρόκειται για μονάδες κρυφού τύπου (ψευδοροφής), οι οποίες συνδέονται με αεραγωγούς για τη διανομή του αέρα.

- **Κατασκευαστική Δομή:** Τα VCE 73 διαθέτουν στιβαρό σκελετό από γαλβανισμένο χάλυβα, πλήρως μονωμένο εσωτερικά με αφρώδες πολυολεφινικό υλικό για την εξάλειψη των θερμικών απωλειών και του θορύβου. Το στοιχείο τους (Coils) αποτελείται από χαλκοσωλήνες μηχανικής εκτόνωσης με πτερύγια αλουμινίου, ενώ οι ανεμιστήρες είναι διπλής αναρρόφησης φυγοκεντρικοί, statically και dynamically balanced, εξασφαλίζοντας σταθερή παροχή αέρα.
- **Ζώνη 1 (Θάλαμοι Νοσηλείας):** Τοποθετήθηκαν μονάδες VCE 73 ρυθμισμένες να λειτουργούν στη χαμηλή ταχύτητα. Η προσαγωγή του αέρα γίνεται μέσω αεραγωγών και στομιών με απόλυτη ησυχία, ενώ τα ειδικά φίλτρα G3/polypolypropylene net εμποδίζουν τη σκόνη και προγραμματίζονται για τακτική απολύμανση.
- **Ζώνη 2 (Χώρος με Καρέκλες Νοσηλείας):** Λόγω του μεγάλου φορτίου (30 kW), χρησιμοποιήθηκαν πολλαπλές καναλάτες μονάδες VCE 73. Η χρήση αεραγωγών επιτρέπει την ομοιόμορφη κατανομή του αέρα σε όλο το μήκος της αίθουσας, αποφεύγοντας τα ενοχλητικά κρύα ρεύματα πάνω στους ασθενείς.
- **Ζώνη 3 (Γραφεία Ιατρών & Διεύθυνσης):** Οι μονάδες VCE 73 εξασφαλίζουν σταθερή θερμοκρασία και αερισμό, λειτουργώντας αθόρυβα στις χαμηλές στροφές.
- **Ζώνη 4 (Γραμματεία, Υποδοχή & Τουαλέτες):** Εδώ οι καναλάτες μονάδες VCE 73 καλύπτουν άμεσα τις απότομες μεταβολές φορτίου λόγω της συνεχούς κίνησης του κοινού στην είσοδο. Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας FCU.

Πίνακας 4.4: Τεχνικά δεδομένα καναλάτων μονάδων Fan Coil SYSTEMAIR VCE 73.

TECHNICAL DATA			
General Cooling Data - Inlet Air Temperature: 27°C;19°C;47% - Inlet Water Temperature: 7°C - Circuit type:4 Pipes			
Outlet Water Temperature	MAX	°C	12,0
	MED	°C	11,4
	MIN	°C	10,2
Total cooling capacity	MAX	kW	4,13
	MED	kW	3,60
	MIN	kW	2,64
Sensible cooling capacity	MAX	kW	3,04
	MED	kW	2,61
	MIN	kW	1,87
Water flow		l/h	708,3
Water pressure drop		kPa	43,2
Max condensate water flow		l/h	1,58
General Heating Data Inlet Air Temperature: 20°C Inlet Water Temperature: 70°C			
Outlet Water Temperature	MAX	°C	60,0
	MED	°C	61,6
	MIN	°C	63,9
Heating capacity	MAX	kW	4,68
	MED	kW	3,91
	MIN	kW	2,87
Water flow		l/h	410,7
Water pressure drop		kPa	54,4
General data Fluid: WATER Altitude: 0m			
Air flow	MAX	m³/h	601,9
	MED	m³/h	484,0
	MIN	m³/h	328,7
Static air pressure	MAX	Pa	63
	MED	Pa	63
	MIN	Pa	63
RPM	MAX	r/min	1122
	MED	r/min	927
	MIN	r/min	767
Sound power	MAX	dB(A)	63,1
	MED	dB(A)	58,1
	MIN	dB(A)	52,7
Sound pressure (1)	MAX	dB(A)	53
	MED	dB(A)	48
	MIN	dB(A)	42,6
NC-NR Criteria	MAX	NC-NR	48 - 51
	MED	NC-NR	42 - 45
	MIN	NC-NR	36 - 38
Room volume		m³	90
Directional		Q	2
Noise distance		m	2,0
Acoustic absorption		alfamed	0,352
Sound Spectrum - 125/250/500/1k/2k/4k/8k Hz	MAX	dB(A)	42,9 / 53,4 / 57,8 / 57,0 / 57,2 / 52,0 / 41,9
	MED	dB(A)	38,9 / 49,4 / 52,8 / 53,0 / 51,2 / 45,0 / 32,9
	MIN	dB(A)	32,9 / 44,4 / 48,8 / 47,0 / 44,2 / 37,0 / 24,9

4.4 ΈΛΕΓΧΟΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΑΝΕΣΗΣ

Η ακουστική άνεση σε ένα νοσοκομείο είναι εξαιρετικά κρίσιμη για την ανάρρωση των ασθενών. Το Π.Δ. 1180/81 επιβάλλει αυστηρά όρια (στάθμες κάτω από 40 dB(A) στους θαλάμους) ^{34,35}.

Με τον σχεδιασμό μας, ο θόρυβος των νερών μέσα στις σωληνώσεις PP-RCT είναι κυριολεκτικά ανύπαρκτος. Αυτό οφείλεται στην εξαιρετικά λεία εσωτερική επιφάνεια του πολυπροπυλενίου ($\varepsilon = 0.007\text{mm}$)²¹ και στη διατήρηση χαμηλών ταχυτήτων ροής (κάτω από 1,1 m/s).

Στον τομέα του αέρα, τα καναλάτα μηχανήματα **SYSTEMAIR VCE 73** προσφέρουν εξαιρετική ακουστική μόνωση. Επειδή οι ανεμιστήρες τους είναι cushioned με ελαστικά στηρίγματα (supports) και τοποθετούνται κρυφά στην ψευδοροφή με επένδυση ηχοαπορροφητικών αεραγωγών, ο θόρυβος που φτάνει στους θαλάμους

νοσηλείας περιορίζεται στα 30-34 dB(A) ^{26,29} εξασφαλίζοντας ένα περιβάλλον απόλυτης ηρεμίας.

4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Ο «Μηχανολογικός Σχεδιασμός Κτηρίου με Χαμηλό Ενεργειακό Αποτύπωμα» επιτεύχθηκε πλήρως:

1. Ταυτόχρονη Ψύξη & Θέρμανση: Με το τετρασωλήνιο δίκτυο, ο κάθε θάλαμος, το γραφείο ή η ΚΚΜ της Systemair μπορεί να επιλέξει αυτόνομα τις συνθήκες του ^{7,9}.
2. Κορυφαία Άντληση (The Grundfos Advantage): Η χρήση του MAGNA3 65-150 F (για την ψύξη του ορόφου) και του TPE 100-200/4 (7,5 kW, κλάση IE5) για την κεντρική θέρμανση όλων των ορόφων (114,32 m³/h), καθιστά το σύστημα ικανό να διαχειριστεί γιγαντιαία φορτία, ρίχνοντας αυτόματα τις στροφές όταν η ζήτηση μειώνεται.
3. Υδραυλική Αρτιότητα με Δίκτυο PP-RCT: Αντικαθιστώντας τον χαλκό με ανθεκτικούς, μονωτικούς πλαστικούς σωλήνες πολυπροπυλενίου (PP-RCT SDR 9) ¹⁹ εκμηδενίσαμε τις τριβές (λόγω της ελάχιστης τραχύτητας 0,007 mm ²¹) και τον θόρυβο.
4. Υψηλή Ποιότητα Εξοπλισμού SYSTEMAIR: Η τοποθέτηση της ΚΚΜ και των καναλάτων Fan Coils VCE 73 της Systemair εγγυάται τη μέγιστη δυνατή υγιεινή, τη σωστή διανομή του αέρα και την αποτροπή βιολογικών κινδύνων (όπως η νόσος των Λεγεωνάριων)^{31,32}.

Ο σχεδιασμός σέβεται και ακολουθεί απόλυτα τη νομοθεσία, τις TOTEE και τον KENAK ^{1,3,34} παραδίδοντας ένα νοσοκομειακό τμήμα-πρότυπο.

4.6 ΎΔΡΕΥΣΗ Α ΟΡΟΦΟΥ

Ο Σκοπός της μελέτης είναι ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση του δικτύου ύδρευσης, ώστε να διασφαλίζεται η αδιάλειπτη παροχή πόσιμου και επεξεργασμένου νερού σε ποσότητα και πίεση. Στοχεύουμε στην ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους μέσω προηγμένου αντλητικού εξοπλισμού, στην εξάλειψη των φαινομένων φθοράς του δικτύου (π.χ. υδραυλικά πλήγματα) και στην απόλυτη διασφάλιση της δημόσιας υγείας μέσω αυστηρών πρωτοκόλλων προ επεξεργασίας νερού.

Θα επικεντρωθούμε κατά κύριο λόγο στον 1^ο όροφο του κτηρίου που γίνεται η μελέτη αλλά και στο υπόγειο που διαθέτει μηχανολογικό εξοπλισμό.

1. Υπόγειο (Μηχανοστάσιο): Φιλοξενεί τις κεντρικές δεξαμενές αποθήκευσης, τις μονάδες προ επεξεργασίας (φίλτραση/αποσκλήρυνση) και το κεντρικό πιεστικό συγκρότημα.

2. 1^{ος} Όροφος (Χώροι Θεραπείας): Κλινικός χώρος εξοπλισμένος με "Πολυθρόνες" θεραπείας, χώρους υγιεινής ασθενών (WC, WC ΑΜΕΑ), χώρους ιατρικού προσωπικού και υποδομές για καθαρισμό/αποστείρωση.

Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά της εγκατάστασης που σχεδιάσαμε περιλαμβάνουν τεράστια αυτονομία νερού (90 m³), πλήρως αυτοματοποιημένη προ επεξεργασία (Αμμόφιλτρα και δίδυμοι αποσκληρυντές), δίκτυα διανομής από πολυμερή υλικά υψηλής αντοχής (PPR PN20) και τη χρήση ενός υπερσύγχρονου Inverter τριπλού πιεστικού συστήματος του οίκου Grundfos.

4.6.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΣΕ ΎΔΡΕΥΣΗ

- **Καταναλώσεις νερού ανά χρήση:** Οι νοσοκομειακές και κλινικές χρήσεις παρουσιάζουν εξαιρετικά αυξημένες απαιτήσεις. Ειδικά αν οι πολυθρόνες θεραπείας αφορούν μονάδες όπως ο τεχνητός νεφρός, καταναλώνονται έως και 120 L νερού ανά συνεδρία ασθενούς.³⁹ Υπολογίσαμε τους βοηθητικούς χώρους, τους νιπτήρες ιατρών και τα WC με βάση τις τυπικές καταναλώσεις εμπορικών/κλινικών χώρων.
- **Αριθμός χρηστών και υγειονομικών συσκευών:** Σύμφωνα με τις κατόψεις, ο 1^{ος} όροφος διαθέτει πολλαπλές ανοικτές αίθουσες με σειρά πολυθρόνων θεραπείας, υποδοχείς καθαρισμού ανά αίθουσα, επιμέρους νιπτήρες, και τουλάχιστον τέσσερα πλήρη συγκροτήματα WC (συμπεριλαμβανομένων WC ΑμεΑ).
- **Απαιτήσεις πίεσης και παροχής:** Η συνολική εγκατάσταση απαιτεί σταθερή πίεση λειτουργίας. Λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρική υψομετρική διαφορά από το υπόγειο στον 1^ο όροφο, τις απώλειες τριβών του δικτύου και την ελάχιστη πίεση λειτουργίας των ιατρικών μηχανημάτων ή των μπαταριών (συνήθως > 2 bar), οφείλουμε να εξασφαλίσουμε ότι το κεντρικό πιεστικό σύστημα παρέχει πίεση δικτύου της τάξης των 4-6 bar, με ικανότητα παροχής που να καλύπτει τον αυξημένο συντελεστή ταυτοχρονισμού της κλινικής.
- **Κανονισμοί και πρότυπα που εφαρμόζονται:** Βασίσαμε τη διαστασιολόγηση και τον σχεδιασμό μας στην Τεχνική Οδηγία **Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2411/86** («Εγκαταστάσεις σε κτίρια και οικόπεδα: Διανομή κρύου-ζεστού νερού»), στο γερμανικό πρότυπο DIN 1988 για τον υδραυλικό υπολογισμό δικτύων ⁴⁰, και στους κανονισμούς KENAK για την ενεργειακή απόδοση.

4.6.2 ΟΔΕΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΎΔΡΕΥΣΗΣ

- **Επιλογή διάταξης του δικτύου:** Αναπτύσσουμε το δίκτυο με διακλαδωτή διάταξη. Η κεντρική τροφοδοσία ανέρχεται μέσω κατακόρυφων φρεατίων (shafts, π.χ. Σ-1) και διακλαδίζεται οριζόντια στις ψευδοροφές. Σε κάθε κλινική αίθουσα ή συγκρότημα WC κάνουμε χρήση τοπικών συλλεκτών, από τους οποίους αναχωρούν ανεξάρτητες γραμμές για κάθε υδραυλικό υποδοχέα, διασφαλίζοντας ισοκατανομή πίεσης.

-

39

Πραγματοποιήσαμε τον υπολογισμό της παροχής αιχμής ή σχεδιασμού (Q_s) με βάση την **Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2411/86**, εφαρμόζοντας τη μαθηματική σχέση ετεροχρονισμού:

$$Q_s = a * (\Sigma Qr)^b + c$$

Επειδή αφορά νοσοκομειακό χώρο, προσαρμόσαμε τους συντελεστές a, b, c για να ανταποκρίνονται σε υψηλότερη ταυτόχρονη ζήτηση σε σχέση με τις τυπικές κατοικίες.

Υπολογισμός ταχυτήτων ροής:

Για να διασφαλίσουμε την αθόρυβη λειτουργία και την προστασία των σωλήνων πολυπροπυλενίου, ορίσαμε τη μέγιστη ταχύτητα ροής αυστηρά σύμφωνα με την **Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.**

- Κατακόρυφες στήλες: $v \leq 2.0 \text{ m/s}$ ⁴²
- Οριζόντιοι κεντρικοί διανεμητές: $v \leq 1.5 \text{ m/s}$
- Τερματικές γραμμές: $v \leq 1.0 \text{ m/s}$

Υπολογισμός απωλειών πίεσης & Διαστασιολόγηση σωληνώσεων:

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο σωλήνας PPR PN20 (SDR 6) έχει αυξημένο πάχος τοιχώματος, η ενεργή εσωτερική του διάμετρος είναι μικρότερη. (π.χ. ο PPR 75 έχει $d = 50.0 \text{ mm}$, ο PPR 50 έχει $d = 33.4 \text{ mm}$, και ο PPR 20 έχει $d = 13.2 \text{ mm}$).⁴¹

Εφαρμόζοντας την εξίσωση της συνέχειας ($Q = A * v$), ελέγξαμε και επιβεβαιώσαμε ότι η κατακόρυφη στήλη PPR 75 (**εμβαδόν 0.00196 m^2**). Με τέτοιο εμβαδόν θα μπορέσει να εξυπηρετήσει παροχή νερού 3.92 λίτρα το δευτερόλεπτο. ($14.1 \text{ m}^3/\text{h}$) χωρίς να υπερβεί την ταχύτητα των 2.0 m/s και να μη δημιουργεί θόρυβο. Αντίστοιχα, οι κλάδοι προς τα μπάνια (PPR 25) καλύπτουν με ασφάλεια τις μερικές παροχές.

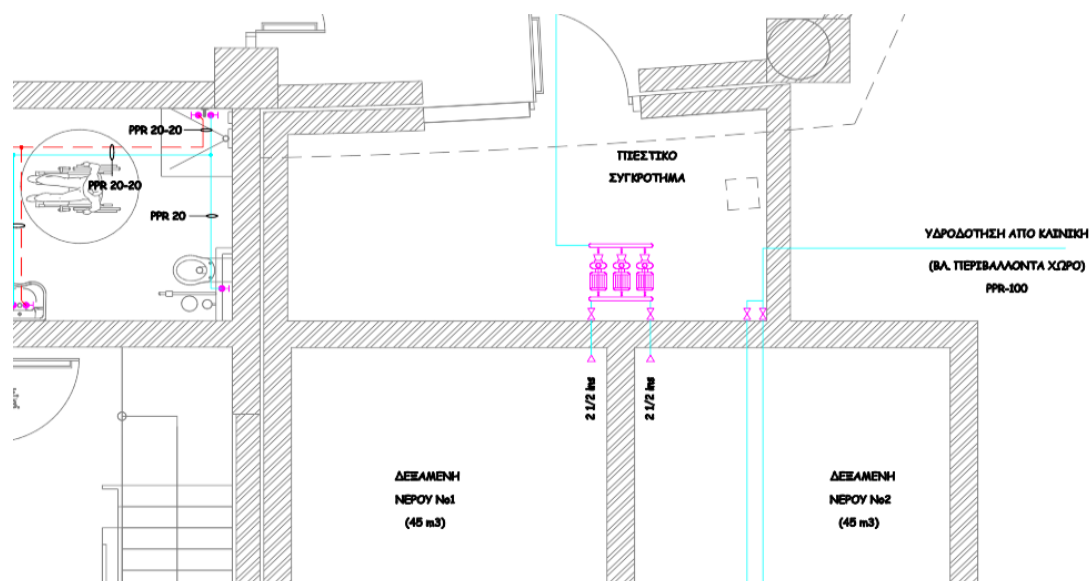
Έλεγχος επάρκειας πίεσης στα δυσμενέστερα σημεία:

Ελέγξαμε τον δυσμενέστερο υδραυλικό υποδοχέα (απομακρυσμένος νιπτήρας Α' ορόφου) ως προς το απαιτούμενο μανομετρικό ύψος. Η ικανότητα του πιεστικού συγκροτήματος να παρέχει πάνω από 100 μέτρα μανομετρικό υπερκαλύπτει επαρκώς κάθε τοπική απώλεια.

4.6.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Δεξαμενές αποθήκευσης:

Τοποθετήσαμε δύο κεντρικές δεξαμενές (ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΝΕΡΟΥ Νο1 και Νο2) χωρητικότητας 45 m^3 έκαστη, προσφέροντας συνολική χωρητικότητα 90 m^3 . όπως φαίνεται στο **Σχέδιο 4.12**. Η συνδεσμολογία τους επιτρέπει τον καθαρισμό της μίας χωρίς διακοπή της υδροδότησης.



Σχέδιο 4.12: Δεξαμενές Υδρευσης 45m³ και πιεστικό συγκρότημα στο υπόγειο.

Πιεστικό συγκρότημα:

Επιλέξαμε το κορυφαίο Inverter πιεστικό συγκρότημα **Grundfos Hydro MPC-E 3 CRIE 15-5 U2 D-AA-A**. Η καμπύλη απόδοσης και η τεχνική του περιγραφή παρουσιάζονται αντίστοιχα στην **Εικόνα 4.6** και την **Εικόνα 4.7**. Το σύστημα συνδέεται με κεντρικούς συλλέκτες (manifolds) διατομής DN100 και τροφοδοτείται από σωλήνες αναρρόφησης 2 1/2" από τις δεξαμενές.

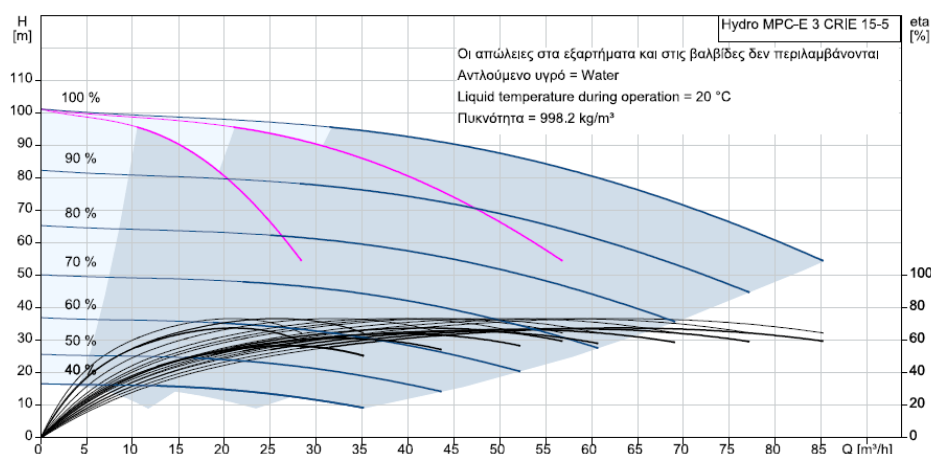


Hydro MPC-E 3 CRIE 15-5

Πιεστικά συγκροτήματα με αντλίες ελεγχόμενης συχνότητας

Σημειώνεται ότι οι πιέσεις καθορίζονται σύμφωνα με το παρακάτω γράφημα.

Όροι Σέρβις		Χαρακτηριστικά Αντλίας		Χαρακτηριστικά Κινητήρα	
Υγρό:	Water	Μέγιστη πίεση λειτουργίας:	16 bar	Συχνότητα δικτύου:	50 / 60 Hz
Θερμοκρασία:	20 °C	Περιοχή θερμοκρασίας υγρού:	5 .. 60 °C	Βαθμός προστασίας:	IP54
Ειδικό βάρος:	1.000	Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος:	40 °C		
		Αριθμός προϊόντος:	99170069		



Εικόνα 4.6: Διάγραμμα και ονομαστικά του τριπλού πιεστικού συγκροτήματος του οίκου GRUNDFOS

Αντλίες:

Διαμορφώσαμε το συγκρότημα ώστε να αποτελείται από τρεις (3) κατακόρυφες πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες CRIE 15-5. Κάθε αντλία φέρει ενσωματωμένο μετατροπέα συχνότητας (VFD) και ηλεκτροκινητήρα τεχνολογίας μόνιμων μαγνητών, ισχύος 7.5 kW (Κλάση IE5 – 92.5% απόδοση). Το σύστημα συνολικά μπορεί να παραδώσει μέγιστη παροχή 85 m³/h και μανομετρικό 102 m.

Βαλβίδες, φίλτρα και λοιπός υδραυλικός εξοπλισμός:

- **Αμμόφιλτρα:** Συστοιχία 4 βιομηχανικών φίλτρων άμμου εν παραλλήλω (λειτουργία με ταχύτητα διήθησης < 40 m/h) για τη μηχανική συγκράτηση στερεών και θολερότητας.⁴³
- **Αποσκληρυντές (Water Softeners):** Δίδυμο σύστημα εναλλαγής ιόντων (Duplex) το οποίο επεξεργάζεται το φιλτραρισμένο νερό, προστατεύοντας ολόκληρο το κτίριο από επικαθίσεις ανθρακικού ασβεστίου.⁴⁴

Hydro MPC-E 3 CRIE 15-5



Σημείωση! Η φωτογραφία του προϊόντος ενδέχεται να διαφέρει από το πραγματικό προϊόν

Κωδ. Προϊόντος: 99170069

Σύστημα ενίσχυσης πίεσης που προμηθεύεται ως συμπαγές συγκρότημα κατά το πρότυπο DIN 1988/T5.

Όλες οι αντλίες είναι αντλίες ελεγχόμενης ταχύτητας.

Από 0,37 ως 11 kW, το πιεστικό συγκρότημα είναι εξοπλισμένο με αντλίες CR, CRE, CRI, CRIE με ηλεκτρονικά ελεγχόμενους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη εξαιρετικά υψηλής απόδοσης. Η συνολική απόδοση του κινητήρα, περιλαμβανόμενου του μετατροπέα συχνότητας, εφαρμόζεται κατά την IE5 σύμφωνα με το πρότυπο IEC60034-31.

Από 15 ως 22 kW, το πιεστικό συγκρότημα είναι εξοπλισμένο με αντλίες CR, CRE, CRI, CRIE που διαθέτουν κινητήρες με ενσωματωμένο μετατροπέα συχνότητας.

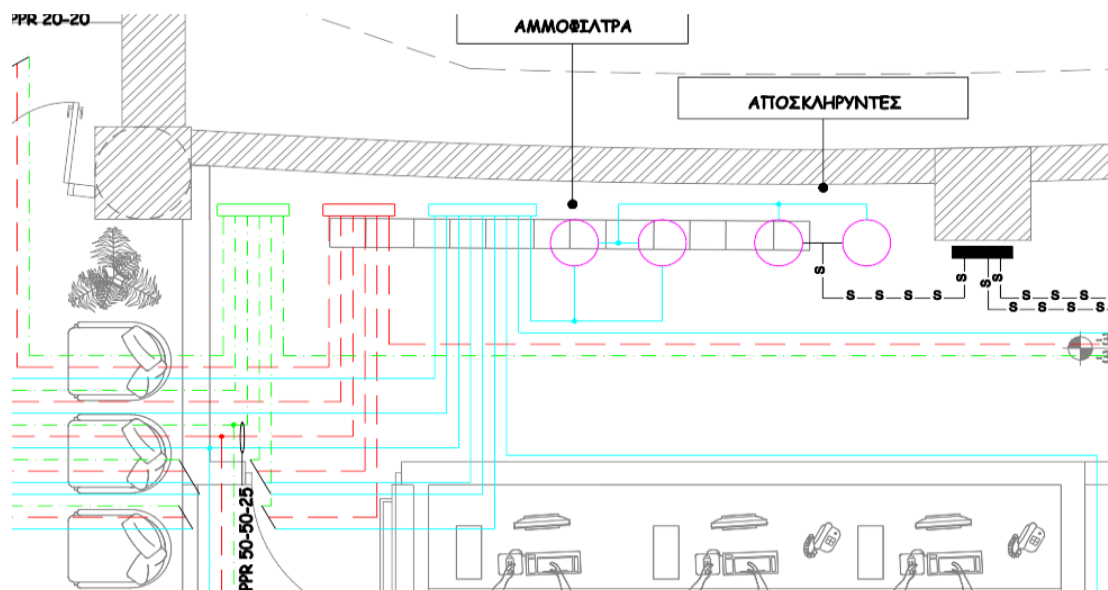
Η συνολική απόδοση του κινητήρα, περιλαμβανόμενου του μετατροπέα συχνότητας, είναι καλύτερη από την IE3 σύμφωνα με το IEC60034-31, ακόμη κι αν αυτό το πρότυπο εφαρμόζεται μόνο στον κινητήρα.

- * Το Hydro MPC-E διατηρεί σταθερή πίεση μέσω της συνεχούς προσαρμογής της ταχύτητας των αντλιών.
- * Η απόδοση του συστήματος προσαρμόζεται στη ζήτηση εκκινώντας/διακόπτοντας τον απαιτούμενο αριθμό των αντλιών καθώς και μέσω παράλληλου ελέγχου των αντλιών σε λειτουργία.
- * Η εναλλαγή των αντλιών είναι αυτόματη και εξαρτάται από το φορτίο, το χρόνο και τις βλάβες.

Το σύστημα αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- κατακόρυφες πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες, τύπου CRIE 15-5
- * Τα μέρη της αντλίας που έρχονται σε επαφή με το αντλούμενο υγρό είναι από ανοξείδωτο χάλυβα EN DIN 1.4301.
- * Οι βάσεις και οι κεφαλές της αντλίας είναι είτε από χυτοσίδηρο/ανοξείδωτο χάλυβα (CR) ή από χυτοσίδηρο EN-GJS-500-7 (CR), ανάλογα με τον τύπο της αντλίας, ενώ άλλα σημαντικά εξαρτήματα είναι από ανοξείδωτο χάλυβα EN DIN 1.4301.
- * Οι αντλίες είναι εξοπλισμένες με στυπιοθλίπτη άξονα τύπου φυσίγγιου, HQQE (SiC/SiC/EPDM) που διακρίνεται για το εύκολο σέρβις του.
- * Δύο συλλέκτες από ανοξείδωτο χάλυβα κατά EN DIN 1.4571.
- * Πλαίσιο βάσης από ανοξείδωτο χάλυβα κατά EN DIN 1.4301 μέχρι CR 64. Πάνω από CR 64, οι αντλίες τοποθετούνται σε πλαίσιο με γαλβανίζε προφίλ C.
- * Μία βαλβίδα αντεπιστροφής (POM) και δύο βάνες απομόνωσης για κάθε αντλία.
- * Οι βαλβίδες αντεπιστροφής είναι πιστοποιημένες κατά DVGW ενώ οι βάνες απομόνωσης είναι κατά DIN και DVGW.
- * Προσαρμογέας με βάνα απομόνωσης για σύνδεση με δοχείο μεμβράνης
- * Μανόμετρο και αισθητήριο πίεσης (αναλογική έξοδος 4-20 mA).
- * Ελεγκτής MPC σε πίνακα από χάλυβα, IP 54, που περιλαμβάνει κεντρικό διακόπτη, όλες τις απαιτούμενες ασφάλειες, προστασία κινητήρα, εξοπλισμό μεταγωγής και ελεγχόμενη από μικροεπεξεργαστή CU 352.

Εικόνα 4.7: Τεχνική έκθεση του τριπλού πιεστικού συγκροτήματος



Σχέδιο 4.13: Διάταξη συστήματος προ επεξεργασίας νερού (Αμμόφιλτρα & Δίδυμοι Αποσκληρυντές)

4.6.5 ΈΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Εξασφάλιση συνεχούς παροχής:

Με τις διπλές δεξαμενές των 90 m³ εξασφαλίζουμε πολυήμερη αυτονομία σε περίπτωση βλάβης του δημοτικού δικτύου. Παράλληλα, ο δίδυμος αποσκληρυντής (Duplex) εγγυάται ότι κατά την αναγέννηση της πρώτης στήλης ρητίνης με άλμη, η δεύτερη στήλη εξυπηρετεί αδιάλειπτα 100% τη ζήτηση της κλινικής.⁴⁴

Εφεδρικά συστήματα:

Σχεδιάσαμε το πιεστικό σύστημα ακολουθώντας αρχιτεκτονική N+1 (ή N+2 ανάλογα με τη ζήτηση). Ακόμα και σε περίπτωση συντήρησης της μίας αντλίας CRIE 15-5 (απομόνωση μέσω των δικών της σφαιρικών βαλβίδων), οι υπόλοιπες αναλαμβάνουν το πλήρες φορτίο.

Προστασία από υπερπιέσεις και υδραυλικό πλήγμα:

Πραγματοποιούμε τον έλεγχο του συστήματος από τον προηγμένο μικροεπεξεργαστή CU 352 της Grundfos. Λειτουργώντας ως PID ελεγκτής, μεταβάλλει τις στροφές των αντλιών εξασφαλίζοντας λειτουργία "Soft pressure build-up" (ομαλή εκκίνηση). Αυτό εκμηδενίζει το υδραυλικό πλήγμα, προστατεύοντας τις ενώσεις των σωλήνων PPR στον 1^ο όροφο από ρηγματώσεις.

Ευκολία συντήρησης:

Η χωροθέτηση των φίλτρων και του πιεστικού στο μεγάλο υπόγειο που επιλέξαμε, καθώς και η χρήση συλλεκτών διανομής στον 1^ο όροφο με ανεξάρτητα μίνι διακοπτάκια, επιτρέπει τη συντήρηση τοπικών βλαβών σε ένα WC χωρίς να κλείνει η παροχή στις κλινικές πολυθρόνες.

4.6.6 ΈΛΕΓΧΟΣ ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ

Ποιότητα πόσιμου νερού:

Με την αλυσίδα "Δημοτικό δίκτυο → Αμμόφιλτρα → Αποσκληρυντές" εγγυόμαστε άριστη ποιότητα νερών, χωρίς αιωρούμενα σωματίδια και σκληρότητα, προσφέροντας ασφάλεια στον ακριβό ιατρικό εξοπλισμό της κλινικής.

Πρόληψη στάσιμου νερού:

Με την προσεκτική μας διαστασιολόγηση αποφεύγουμε τη δημιουργία σωλήνων "τυφλών άκρων" μεγάλων διατομών (oversizing) όπου η χαμηλή ταχύτητα ρευστού ($< 0.2 \text{ m/s}$) θα μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα με στασιμότητα και κατ' επέκταση ανάπτυξη βακτηρίων.

Προστασία από ανάπτυξη Legionella:

Με τον ξεκάθαρο χωροταξικό διαχωρισμό KNX και ZNX και τη χρήση μονωτικού ελαστομερούς υλικού γύρω από τους σωλήνες PPR εμποδίζουμε τη θέρμανση του κρύου νερού (διατήρηση $< 20^\circ\text{C}$). Το ZNX κυκλοφορεί αδιάλειπτα μέσω του δικτύου ανακυκλοφορίας ($> 50^\circ\text{C}$), αποτρέποντας τις συνθήκες πολλαπλασιασμού της Λεγεωνέλλας.

Συμμόρφωση με τους ισχύοντες κανονισμούς:

Ο σχεδιασμός μας βρίσκεται σε απόλυτη ταύτιση με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2411/86 (υδραυλική επάρκεια), το DIN 1988⁴⁰ και τις οδηγίες ενεργειακού σχεδιασμού KENAK (χρήση αντλιών IE5, VFD).

4.6.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών:

Μέσα από τους υδραυλικούς υπολογισμούς μας επιβεβαιώνουμε ότι οι διατομές που επιλέξαμε (π.χ. PPR 75 για στήλες και PPR 40 για διαδρόμους) ικανοποιούν τις μέγιστες παροχές σχεδιασμού με ταχύτητες αυστηρά κάτω των 2.0 m/s .⁴² Διατηρούμε ελεγχόμενη την πτώση πίεσης και το μανομετρικό των 102 m του Hydro MPC-E επαρκεί με τεράστιο συντελεστή ασφαλείας.

Αξιολόγηση της λειτουργίας του δικτύου:

Με το σύστημα Grundfos Hydro MPC-E και τον ελεγκτή CU 352 επιτυγχάνουμε ιδανική λειτουργία αδρανείας. Όταν η κλινική υπολειτουργεί το βράδυ, οι αντλίες χαμηλώνουν στροφές ή διακόπτουν τη λειτουργία τους εντελώς, μειώνοντας την κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος.

Πλεονεκτήματα και πιθανοί περιορισμοί:

- **Πλεονεκτήματα:** Τεράστια εξοικονόμηση ενέργειας (κινητήρες IE5), απόλυτη ασφάλεια από διακοπές (90m^3 δεξαμενές + 3 αντλίες), προστασία σωληνώσεων από πλήγματα, κορυφαία ποιότητα νερού.
- **Περιορισμοί:** Υψηλό αρχικό κόστος κτήσης (CAPEX) για τον εξοπλισμό VFD, τα δίδυμα συστήματα αποσκλήρυνσης και τους αυτοματισμούς. Απαιτούμε επίσης εξειδικευμένο προσωπικό για τη συντήρηση των βιομηχανικών φίλτρων.

Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης:

Το σύστημα ύδρευσης που μελετήσαμε συνιστά την επιτομή του σύγχρονου μηχανολογικού σχεδιασμού, εξισορροπώντας την ενεργειακή απόδοση με την ασφάλεια ενός κλινικού χώρου. Ως πρόταση μελλοντικής βελτίωσης, ειδικά αν οι "πολυθρόνες" της εγκατάστασης εξυπηρετήσουν μονάδες αιμοκάθαρσης, προτείνουμε την τοποθέτηση Φίλτρων Ενεργού Άνθρακα (για κατακράτηση χλωραμινών) και τοπικού συστήματος Αντίστροφης Ωσμωσης (RO) αμέσως μετά την αποσκλήρυνση, ώστε να επιτύχουμε την παραγωγή υπερκάθαρου νερού (Ultrapure water) με μηδενικό μικροβιακό φορτίο.³⁹ Πάντα είναι ανάλογα την χρήση που διατηρεί το νοσοκομείο, ανάλογα με την χρήση του αυξάνονται και τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας του όπως είναι ένα σύστημα αντιστροφής ώσμωσης.

4.7 ΔΙΚΤΥΟ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ

Θα επικεντρωθούμε στον μηχανολογικό σχεδιασμό της Ενεργητικής Πυροπροστασίας του κτηρίου. Σε ένα νοσοκομειακό περιβάλλον, όπου η εκκένωση ευπαθών ασθενών είναι δύσκολη έως αδύνατη, η ύπαρξη ενός αξιόπιστου και αυτόνομου μόνιμου υδροδοτικού δικτύου πυρόσβεσης δεν είναι απλώς νομική υποχρέωση, αλλά η ύψιστη εγγύηση για τη διαφύλαξη της ανθρώπινης ζωής. Η παρούσα μελέτη περίπτωσης αναλύει τον σχεδιασμό του δικτύου για τον 1^ο όροφο και το υπόγειο του κτηρίου, ενσωματώνοντας τις πληροφορίες από τα κατασκευαστικά σχέδια (CAD) και τον επιλεγμένο εξοπλισμό.

4.7.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ

Ο χώρος μελέτης αναπτύσσεται σε δύο κύρια επίπεδα. Το υπόγειο του κτηρίου λειτουργεί ως η «καρδιά» των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, φιλοξενώντας το κεντρικό πυροσβεστικό συγκρότημα και τις εφεδρικές δεξαμενές αποθήκευσης ύδατος. Ο 1^{ος} όροφος, επιφάνειας 1.000 τ.μ., φιλοξενεί θαλάμους νοσηλείας, χώρους με καρέκλες θεραπείας, γραφεία ιατρών και την υποδοχή. Η λειτουργική απαίτηση είναι η άμεση καταστολή οποιασδήποτε εστίας πυρκαγιάς στην εν τη γενέσει της μορφή.

Ο σχεδιασμός εκπονήθηκε σε απόλυτη εναρμόνιση με το ισχύον νομικό πλαίσιο:

- Π.Δ. 41/2018 (Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων): Κατηγορία Ε1 «Υγεία και Κοινωνική Πρόνοια».
- Πρότυπο EN 12845: Ευρωπαϊκές προδιαγραφές για σχεδιασμό μόνιμων συστημάτων πυρόσβεσης και καταιονισμού.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2451/86: Για τον υπολογισμό και την εγκατάσταση μόνιμων πυροσβεστικών συστημάτων με νερό.

Με βάση το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 12845, οι χώροι ενός νοσοκομείου ταξινομούνται στην κατηγορία κινδύνου Ordinary Hazard Group 1 (OH1). Ο κίνδυνος είναι τεράστιος λόγω της εκτεταμένης χρήσης ηλεκτρονικού ιατρικού εξοπλισμού, εύφλεκτων ιατρικών αερίων, και της δυσκολίας άμεσης εκκένωσης των κλινών.

4.7.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.

Σύμφωνα με τις κατόψεις του 1^{ου} ορόφου και του υπογείου όπου στεγάζεται και το πυροσβεστικό συγκρότημα μιλάμε για ένα μόνιμο δίκτυο:

- 1 Δίκτυο Νερού & Πυροσβεστικές Φωλιές (ΠΦ): Στον 1^ο όροφο, σε στρατηγικά και προσβάσιμα σημεία, έχουν χωροθετηθεί πυροσβεστικές φωλιές.
- 2 Δεξαμενές Πυρόσβεσης (Υπόγειο): Στο υπόγειο έχουν κατασκευαστεί δύο ανεξάρτητες δεξαμενές νερού (Δεξαμενή Νερού Νο1 & Νο2) χωρητικότητας 45 m³ έκαστη, προσφέροντας συνολικά 90 m³.
- 3 Δίκτυο Σωληνώσεων: Ο κεντρικός κορμός (Riser) αποτελείται από βαρύ χαλβδοςωλήνα διαμέτρου 4 ιντσών. Στις ψευδοροφές του 1ου ορόφου, διακλαδίζεται προοδευτικά σε σωλήνες διαμέτρου 3 ιντσών, 2 1/2 ιντσών και τελικά 2 ιντσών για την τροφοδοσία των φωλεών.
- 4 Σύστημα Κατάσβεσης CO₂: Προβλέπεται συστοιχία 6 φιαλών CO₂ των 45 kg για την προστασία των ηλεκτρομηχανολογικών χώρων του υπογείου. (βλ. **Εικόνα 4.8**)



Εικόνα 4.8: Συστοιχία φιαλών συστήματος κατάσβεσης CO₂.

4.7.3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Θα πρέπει να εφαρμόσουμε τους κανόνες της ρευστομηχανικής σύμφωνα με τα πρότυπα EN 12845 για να αιτιολογήσουμε τις διαμέτρους των σωληνώσεων και των όγκων δεξαμενών.

Υπολογισμός Παροχής και Όγκου Δεξαμενών (90m³)

Για ένα σύστημα **Κατηγορίας II, η TOTEE και το EN 12845** απαιτούν από κάθε πυροσβεστική φωλιά παροχή νερού 380 lt/min. Για λόγους ασφαλείας, σχεδιάζουμε το δίκτυο με βάση το χειρότερο σενάριο: την ταυτόχρονη λειτουργία 2 πυροσβεστικών φωλεών. Η απαιτούμενη παροχή είναι :

$$Q = 2 * 380 \text{ lt/min} = 760 \text{ lt/min} = \mathbf{45.6 \text{ m}^3/\text{h}}$$

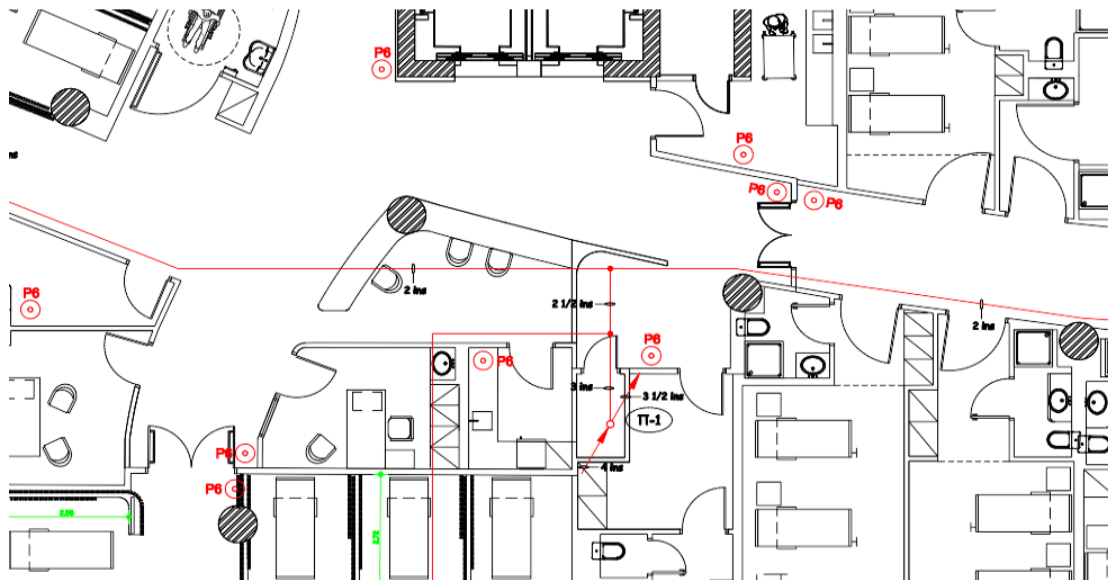
Συνυπολογίζοντας και την ενδεχόμενη ταυτόχρονη ενεργοποίηση ενός μικρού αριθμού αυτόματων sprinklers, η συνολική ζήτηση νερού φτάνει περίπου τα 50-55m³/h.

Το πρότυπο EN 12845 για χώρους κινδύνου OH1 ορίζει ρητά πως η παροχή του νερού πρέπει να είναι εξασφαλισμένη αδιάλειπτα για τουλάχιστον 60 λεπτά (1 ώρα). Επομένως, ο ελάχιστος απαιτούμενος όγκος νερού είναι:

$$V_{min} = \frac{55 \text{ m}^3}{h} * 1h = 55 \text{ m}^3$$

Επιλέξαμε την κατασκευή δύο δεξαμενών των 45 m³ (συνολικά 90 m³). Αυτή η ποσότητα αφενός υπερκαλύπτει τα 55 m³ με μία εξαιρετική ασφάλεια, και αφετέρου δίνει τη δυνατότητα στο πυροσβεστικό συγκρότημα, το οποίο έχει μέγιστη ικανότητα

άντλησης τα $102 \text{ m}^3/\text{h}$ να τροφοδοτήσει το δίκτυο στο απόλυτο μέγιστο των δυνατοτήτων του για 53 ολόκληρα λεπτά χωρίς να ξεμείνει από νερό.



Σχέδιο 4.14: Διανομή Δικτύου Πυρόσβεσης για τον 1^ο Όροφο από το κεντρικό Shaft

Διαστασιολόγηση Σωληνώσεων (4 ίντσες και 2 ίντσες)

Η διαστασιολόγηση προκύπτει από τον περιορισμό της ταχύτητας του νερού στις σωλήνες. Το πρότυπο EN 12845 απαγορεύει ρητά ταχύτητες ρευστού άνω των 10 m/s μέσα στις σωληνώσεις (και άνω των 6 m/s στις βάνες) προκειμένου να αποτραπεί η καταστροφή του δικτύου από τα απότομα υδραυλικά πλήγματα (water hammer) όταν κλείνουν απότομα οι μάνικες.

- Κεντρική Στήλη (Riser) 4'' :

Ο σωλήνας αυτός (εσωτερική διάμετρος $D = 100\text{mm} = 0.1\text{m}$) καλείται να μεταφέρει το σύνολο της παροχής του συγκροτήματος. Έστω ότι η αντλία σπρώχνει τη μέγιστη παροχή των $102\text{m}^3/\text{h}$. Αυτό ισοδυναμεί σε παροχή όγκου ανά δευτερόλεπτο με $V = 0.0283 \text{ m}^3/\text{s}$. Η ταχύτητα ροής υπολογίζεται από τον τύπο:

$$u = \frac{V}{A}, \text{ Όπου } A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Και προκύπτει έπειτα:

$$V_{\text{riser}} = \frac{0.0283}{\pi \cdot \frac{0.1^2}{4}} = \frac{0.0283}{0.00785} = 3.6 \text{ m/s}$$

Η ταχύτητα των 3,6 m/s είναι εξαιρετική και βρίσκεται πολύ κάτω από το απαγορευτικό όριο των 10 m/s του EN 12845.

- Τελικοί Κλάδοι Φωλεών (2 ιντσών). Στο **Σχέδιο 4.14** φαίνεται η διανομή του δικτύου πυρόσβεσης από το κεντρικό φρεάτιο προς τις φωλιές του 1ου ορόφου. Ο τελικός σωλήνας που τροφοδοτεί τη μία φωλιά έχει εσωτερική διάμετρο $D=50\text{mm} = 0.05\text{m}$ και καλείται να περάσει τα 380 λίτρα/λεπτό

$$V = 0.00633\text{m}^3/\text{h}$$

και :

$$V_{branch} = \frac{0.00633}{\pi * \frac{0.05^2}{4}} = \frac{0.00633}{0.00196} = 3.2\text{ m/s}$$

Και πάλι, η επιλογή των 2 ιντσών εξασφαλίζει μια εξαιρετικά ασφαλή ταχύτητα (3,2 m/s), προσφέροντας απρόσκοπτη ροή χωρίς υπερβολικές απώλειες τριβών.

Πυροσβεστικό Συγκρότημα(Μανομετρικό)

Για τον υπολογισμό του μανομετρικού πήραμε ως βάση την απαίτηση των 4.5 bar (45 Μ.Σ.Υ). στην πιο απομακρυσμένη φωλιά του 1^{ου} Ορόφου. Υπολογίζοντας και την υψομετρική διαφορά από το υπόγειο σε 1^ο όροφο μέχρι και το δώμα, καθώς και τις απώλειες τριβών στις σωληνώσεις και στα εξαρτήματα (οι οποίες με βάση τις ταχύτητες των 3 m/s κυμαίνονται περίπου στο 1,5 με 2 bar), η συνολική πίεση που πρέπει να υπερνικήσει το συγκρότημα υπολογίζεται στα:

$$P_{total} = 4.5\text{bar} + 2.0\text{ bar} = 6.5\text{ bar} = 65\text{ ΜΣΥ}$$

Για την κάλυψη αυτών των αναγκών, επιλέχθηκε το προκατασκευασμένο πυροσβεστικό συγκρότημα **Grundfos Hydro EN 50-250/249 S2JS ADL-U1 (Κωδ. 99843958)**. Το σύστημα προσφέρει όπως αναφέραμε και προηγούμενος ονομαστική παροχή 102m³/h και ονομαστικό μανομετρικό 70.6 Μ.Σ.Υ. Με τέτοια χαρακτηριστικά καλύπτουμε απόλυτα και με ασφάλεια τις απαιτήσεις του δικτύου. Στον **Πίνακα 4.5** δίνονται τα χαρακτηριστικά της αντλίας Jockey, ενώ στην **Εικόνα 4.9** παρουσιάζονται τα πλήρη ονομαστικά στοιχεία του συγκροτήματος. Τέλος, στο **Σχέδιο 4.15** αποτυπώνεται η χωροθέτηση των δεξαμενών.

Hydro EN 50-250 /249 S2JS ADL-U1



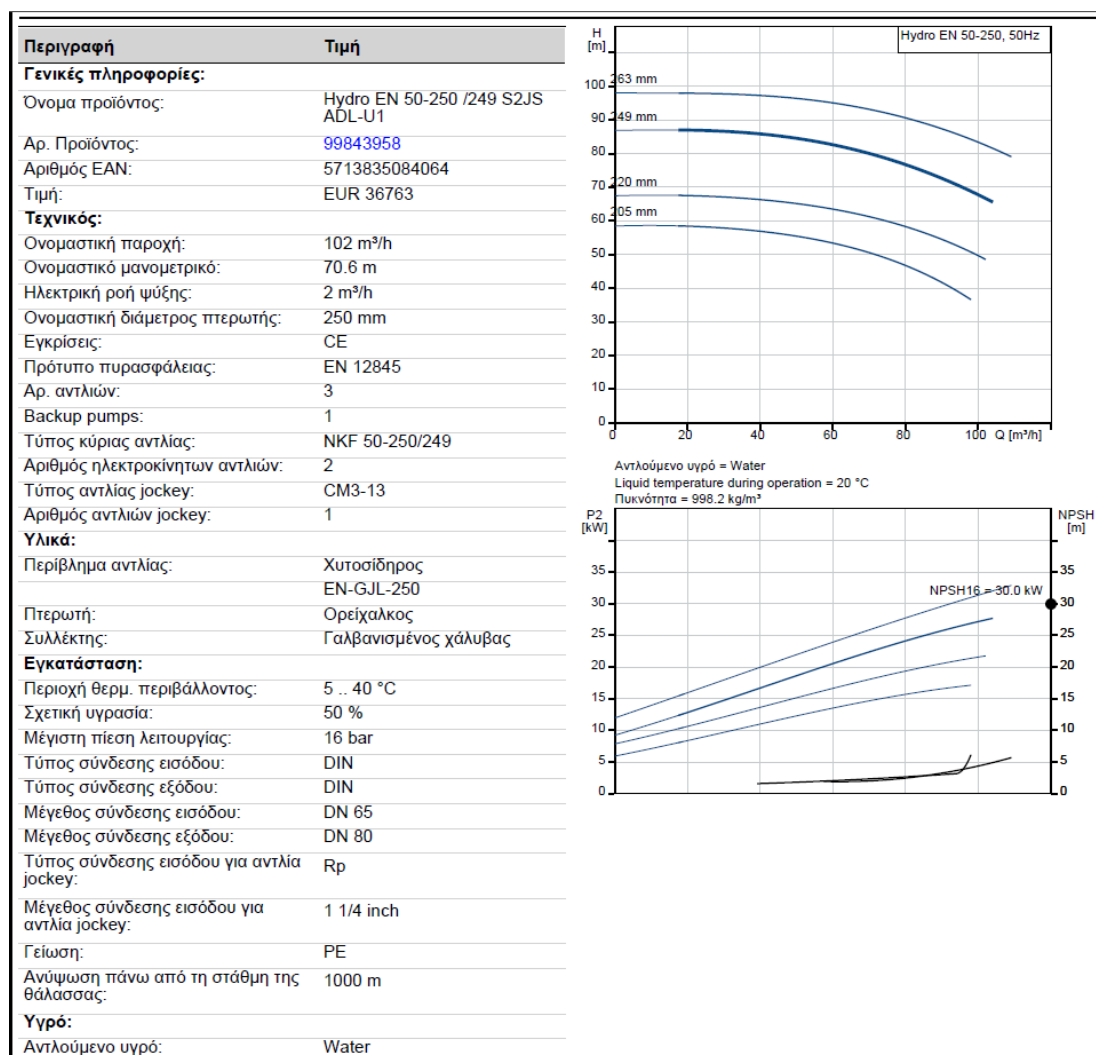
Ση
πι

Κωδ. Προϊόντος: 99843958

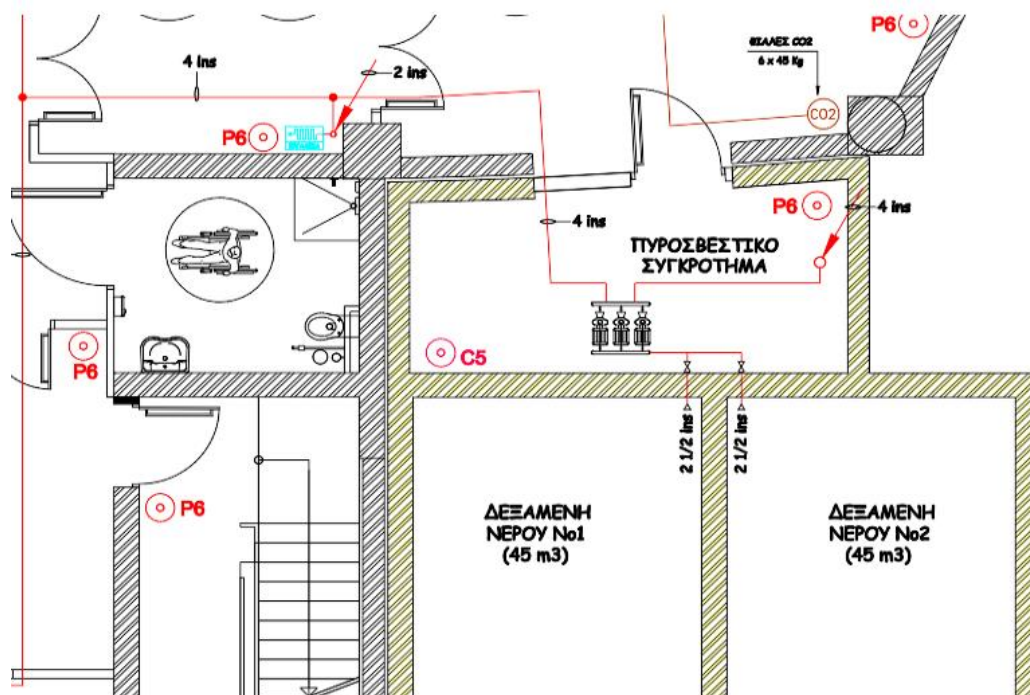
Εικόνα 4.9: Πυροσβεστικό Σύστημα που χρησιμοποιήθηκε

Πίνακας 4.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά βοηθητικής αντλίας Jockey (Grundfos CM3-13)

	
Περιγραφή	Τιμή
Πρότυπο κινητήρα για αντλία jockey:	IEC
Παροχή δικτύου για κινητήρα jockey:	3 x 400 V
Ονομαστική ισχύς - P2 για αντλία Jockey:	2.2 kW
Ονομαστικό ρεύμα για αντλία jockey:	4.6 A
Αριθμός πόλων για αντλία jockey:	2
Μέθοδος εκκίνησης για αντλία jockey:	Direct-on-line (DOL)
Άλλα:	
Καθαρό βάρος:	1270 kg
Μεικτό βάρος:	1460 kg
Χώρα προέλευσης:	IT
Δασμολογική κατηγορία:	84137059



Εικόνα 4.10: Ονομαστικά του Πυροσβεστικού Συγκροτήματος από τα οποία αντλήσαμε τα δεδομένα)



Σχέδιο 4.15: Κάτοψη δεξαμενών ύδρευσης-πυρόσβεσης στο μηχανοστάσιο.

4.7.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.

Οι κύριοι ηλεκτροκινητήρες των 30 kW που φέρει το συγκρότημα της Grundfos συμμορφώνονται με την αυστηρή κλάση ενεργειακής απόδοσης IE3. Η παρουσία της μικρής αντλίας συντήρησης πίεσης (Jockey Pump - 2,2 kW) είναι το κλειδί της καθημερινής εξοικονόμησης, καθώς διατηρεί το δίκτυο υπό πίεση αποτρέποντας την άσκοπη, κοστοβόρα εκκίνηση των μεγάλων αντλιών.

Το επιλεγμένο αντλιοστάσιο είναι πιστοποιημένο κατά CE και εναρμονισμένο με το EN 12845. Το σύστημα είναι "έξυπνο" (διαθέτει Module Modbus) και συνδέεται με το Κεντρικό Σύστημα Διαχείρισης Κτηρίου (BMS) του νοσοκομείου. Αυτό μας διευκολύνει να έχουμε την πλήρη επιτήρηση του συστήματος και μέσω επικοινωνιών με τις κεντρικές παραμέτρους να εξοικονομούμε ρεύμα.

4.7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.

Ο σχεδιασμός που υλοποιήθηκε κρίνεται εξαιρετικά επιτυχημένος. Η χωρητικότητα των 90 m³ και το βαρύ δίκτυο των 4" (που κρατά την ταχύτητα στο νερό κάτω από 4 m/s), εξασφαλίζουν ότι το κτήριο διαθέτει πλεόνασμα ισχύος για την καταπολέμηση της φωτιάς. Η εγκατάσταση σχεδιάστηκε με τα υψηλότερα πρότυπα ασφαλείας. Προτείνεται η αυστηρή τήρηση εβδομαδιαίων ελέγχων των κύριων αντλιών (zero-flow test) και η περιοδική ζύγιση των φιαλών του συστήματος CO₂ στο υπόγειο.

4.8 ΔΙΚΤΥΟ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

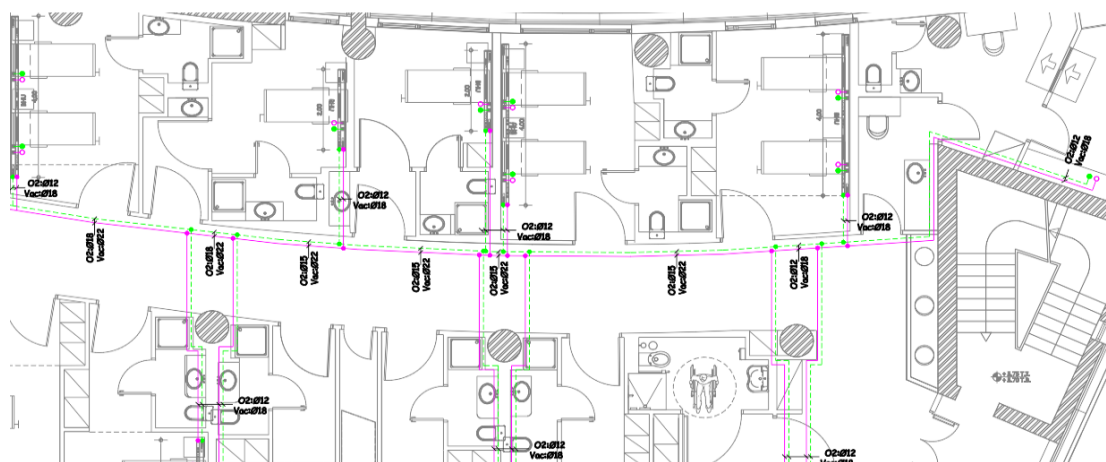
Σε ένα σύγχρονο νοσοκομείο, το δίκτυο ιατρικών αερίων δεν μιλάμε απλώς ως μια «παροχή», αλλά ως ένα κυριολεκτικό σύστημα υποστήριξης της ζωής (Life Support System). Σκοπός μας σε αυτή την ενότητα είναι να αναλύσουμε και να τεκμηριώσουμε μαθηματικά τον σχεδιασμό των δικτύων Οξυγόνου (O_2) και Ιατρικού Κενού (Medical Vacuum) για τον 1ο όροφο, καθώς και την επιλογή των κεντρικών μονάδων παραγωγής στο υπόγειο, με γνώμονα την απόλυτη ασφάλεια και τον «πράσινο» χαρακτήρα του κτηρίου.

Τα δύο αέρια που μελετήσαμε για τον 1ο όροφο εξυπηρετούν τελείως διαφορετικούς σκοπούς, γεγονός που επηρεάζει καθοριστικά τη ρευστομηχανική τους ανάλυση:

- Ιατρικό Οξυγόνο (O_2): Χρησιμοποιείται για την οξυγονοθεραπεία και τη μηχανική υποστήριξη αναπνοής. Παρέχεται υπό θετική πίεση (ονομαστικά 4-5 bar στις τελικές λήψεις). Λόγω της συμπίεσης, ο ειδικός του όγκος μειώνεται, επιτρέποντας τη χρήση μικρότερων σωλήνων.
- Ιατρικό Κενό (Vacuum): Το κενό αποτελεί δίκτυο αρνητικής πίεσης (τουλάχιστον -40 kPa έως -80 kPa), απαραίτητο για την αναρρόφηση υγρών. Επειδή ο αέρας σε υποπίεση αραιώνει δραματικά (ο ειδικός όγκος του αυξάνεται), το δίκτυο απαιτεί πολύ μεγαλύτερες διατομές σωλήνων για να μεταφέρει την ίδια μάζα αέρα χωρίς να φράζει.

4.8.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.

Σύμφωνα με τα αρχιτεκτονικά σχέδια, στο Υπόγειο φιλοξενούνται τα κεντρικά συγκροτήματα παραγωγής. Από εκεί, μέσω κεντρικών κατακόρυφων στηλών (risers), τα δίκτυα ανέρχονται στον 1ο όροφο (των 1.000 τ.μ.), οδεύουν εντός των ψευδοροφών και διακλαδίζονται προς τους Θαλάμους Νοσηλείας (Ζώνη 1) και τους Χώρους Θεραπείας (Ζώνη 2), καταλήγοντας στις επιτοίχιες μονάδες (Bed Head Units - BHU). Συνολικά στον 1ο όροφο προβλέφθηκαν 24 κλίνες νοσηλείας και 20 καρέκλες θεραπείας, όπως αποτυπώνονται αντίστοιχα στα **Σχέδια 4.16 και 4.17.**"



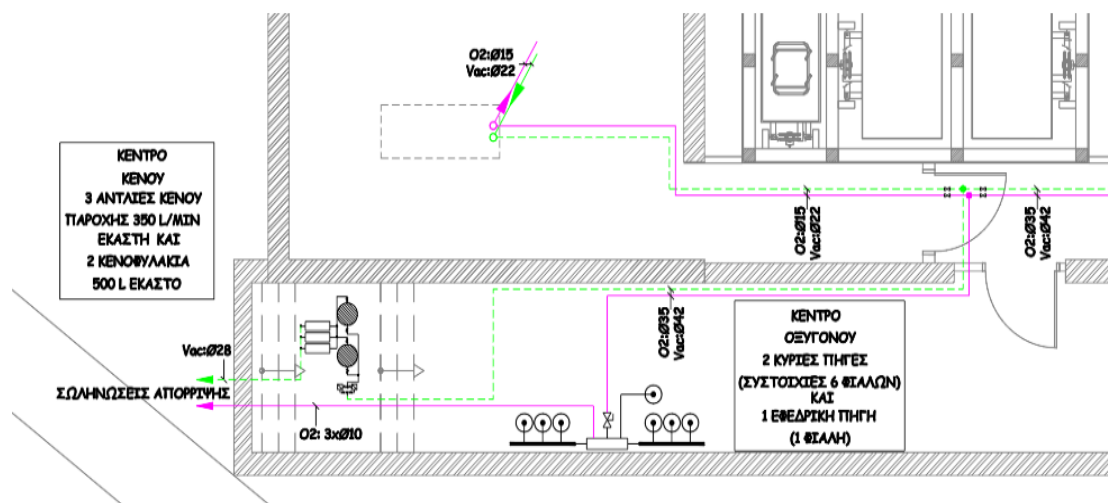
Σχέδιο 4.16: Δίκτυο ιατρικών αερίων Ζώνης 1 (Λήψεις BHU στους θαλάμους).



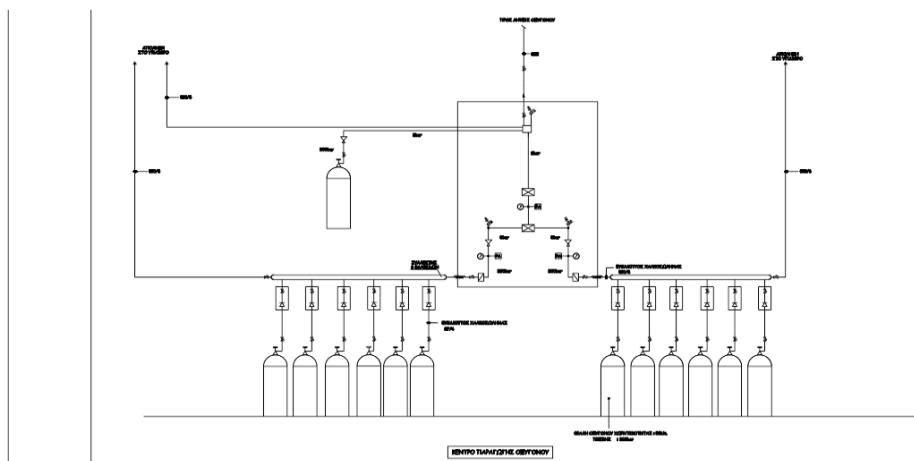
Σχέδιο 4.17: Δίκτυο ιατρικών αερίων Ζώνης 2 (Λήψεις στις καρέκλες θεραπείας).

Για τον σχεδιασμό του συστήματος:

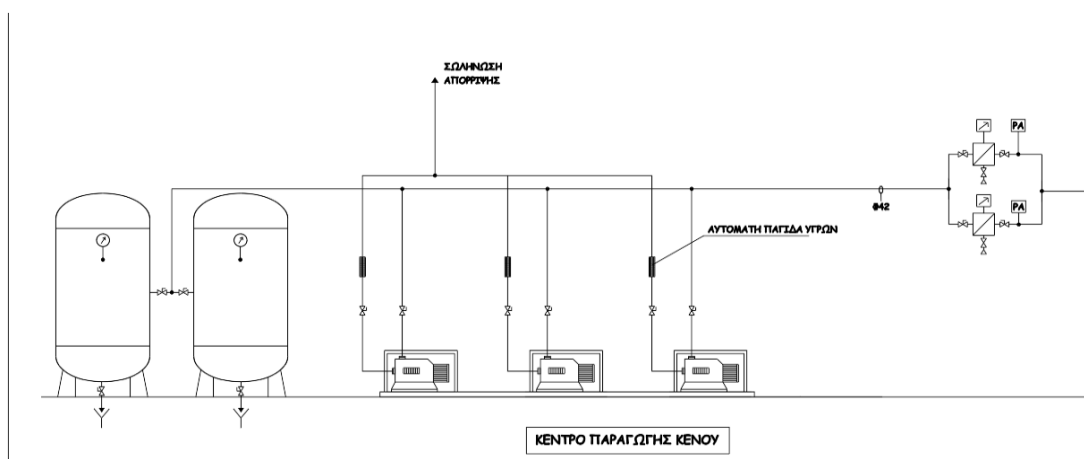
- Κέντρο Οξυγόνου: Το σύστημα τροφοδοσίας σχεδιάστηκε με δύο συστοιχίες (manifolds) των 6 φιαλών η καθεμία (Duty/Standby) και 1 εφεδρική πηγή (1 φιάλη). Αυτό εγγυάται αδιάλειπτη παροχή ακόμα και κατά την αλλαγή των φιαλών.
- Κέντρο Κενού: Αποτελείται από ένα τριπλό (triplex) αντλιοστάσιο κενού ξηρού τύπου (oil-free). Περιλαμβάνει 3 αντλίες κενού με παροχή 350 L/min η καθεμία. Συνοδεύονται από 2 αεροφυλάκια υποπίεσης των 500 L το καθένα και διπλά βακτηριολογικά φίλτρα για την προστασία του περιβάλλοντος απόρριψης. Στο Σχέδιο 4.18 φαίνεται η γενική κάτοψη των κέντρων οξυγόνου και κενού στο υπόγειο, ενώ στα Σχέδια 4.19 και 4.20 παρουσιάζονται τα αναλυτικά σχηματικά τους.



Σχέδιο 4.18: Κάτοψη Κέντρου Παραγωγής Οξυγόνου & Κενού στο υπόγειο.



Σχέδιο 4.19: Σχηματικό διάγραμμα Κέντρου Παραγωγής Οξυγόνου.



Σχέδιο 4.20: Σχηματικό διάγραμμα Κέντρου Κενού.

4.8.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ.

Στην νοσοκομειακή μονάδα συνήθως δεν χρησιμοποιούν όλοι τα ιατρικά αέρια ταυτόχρονα στην μέγιστη ροή. Εφαρμόσαμε συνεπώς τους συντελεστές ταυτοχρονισμού:

- 1 **Υπολογισμός Ετεροχρονισμένης Παροχής Οξυγόνου.** (Το Πρότυπο HTM 02-01 ορίζει για θαλάμους νοσηλείας, την σχεδιαστική παροχή 10L/min για την 1^η λήψη και n για τις υπόλοιπες.)

$$Q_w = 10 + \frac{6 * (n - 1)}{4}$$

Εφαρμόζοντας για τον τύπο του κτηρίου μας:

- Για τους Θαλάμους Νοσηλείας (24 Λήψεις):

$$Q_{w1} = 10 + \frac{6 * 23}{4} = 10 + 34.5 = 44.5 L/min$$

- Για τις καρέκλες Θεραπείας (20 Λήψεις):

$$Q_{w2} = 10 + \frac{6 * 19}{4} = 10 + 28.5 = 38.5 L/min$$

Συνολική απαιτούμενη παροχή: $44.5 + 38.5 = 83 L/min$

- 2 Υπολογισμός Ετεροχρονισμένης Παροχής Κενού**(Το κενό απαιτεί πολύ υψηλότερες παροχές αιχμής. Το πρότυπο ορίζει 40 L/min για την πρώτη λήψη με τον εξής τύπο υπολογισμού.)

$$Q_d = 40 + \frac{40 * (n - 1)}{4}$$

- Για τους Θαλάμους Νοσηλείας (24 Λήψεις):

$$Q_{d1} = 40 + \frac{40 * 23}{4} = 40 + 230 = 270 L/min$$

- Για τις καρέκλες Θεραπείας (20 Λήψεις):

$$Q_{d2} = 40 + \frac{40 * 19}{4} = 40 + 190 = 230 L/min$$

Συνολική απαιτούμενη παροχή Κενού: $270 + 230 = 500 L/min$

Με απαιτούμενη παροχή αιχμής 500 L/min, οι 3 αντλίες των 350 L/min που επιλέξαμε επαρκούν πλήρως. Το σύστημα θα λειτουργεί με 2 αντλίες να δίνουν 700 L/min καλύπτοντας τον όροφο, ενώ η 3η παραμένει σε ασφαλή εφεδρεία).

- **Αιτιολόγηση Διαστασιολόγησης Σωληνώσεων (Κατά EN 13348 & ISO 7396-1)** Για την αποφυγή υπερβολικής πτώσης πίεσης (το ISO 7396-1 απαγορεύει πτώση >5%, επιλέξαμε απολυμασμένους χαλκοσωλήνες EN 13348 με τις εξής διατομές:

Για το Οξυγόνο:

Η κεντρική στήλη (Riser) έχει διατομή $\Phi 35 \times 1.5$ mm (εσωτερική διάμετρος 32 mm). Η ροή είναι 83 L/min «ελεύθερου αέρα». Επειδή το δίκτυο βρίσκεται υπό πίεση 4 bar (5 bar απόλυτη), ο συμπιεσμένος όγκος είναι 5 φορές μικρότερος, άρα η πραγματική παροχή είναι περίπου 16,6 L/min (ή 0,000276 m³/s). Η ταχύτητα μέσα στη σωλήνα διατομής 32 mm είναι:

$$u = \frac{Q}{a} = \frac{0.000276}{\pi * (0.016)^2} = 0.34 \text{ m/s}$$

Αυτή η εξαιρετικά χαμηλή ταχύτητα εγγυάται πρακτικά μηδενική πτώση πίεσης, επιτρέποντας στο μέλλον την προσθήκη νέων θαλάμων χωρίς να χρειαστεί αντικατάσταση της κεντρικής στήλης. Μετά τον διάδρομο, η διατομή μειώνεται κλιμακωτά σε Φ28, Φ22, και τελικά στα BHU φτάνει με Φ12 mm.

Για το Κενό:

Η κεντρική στήλη αναρρόφησης (Riser) επιλέχθηκε αισθητά μεγαλύτερη, στα Φ42x1.5 mm (εσωτερική διάμετρος 39 mm). Εδώ, η ζήτηση των 500 L/min, βρίσκεται σε υποπίεση -0.5 bar, διογκώνεται (διπλασιάζεται ο όγκος), φτάνοντας τα 1000 L/min πραγματικής ροής. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο του φρακαρίσματος (clogging) από αναρροφώμενα υγρά που ίσως περάσουν τις παγίδες, και για να τηρηθεί το αυστηρό όριο της μικρότερης δυνατής πτώσης υποπίεσης, η μεγάλη διατομή των Φ42 εξασφαλίζει ιδανική ταχύτητα (γύρω στα 13,9 m/s, που είναι η συνιστώμενη περιοχή για δίκτυα Vacuum). Προοδευτικά καταλήγει στα κρεβάτια με σωλήνα Ø18 mm.

4.8.3 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

- Μη-εναλλαξιμότητα (Non-interchangeability): Κάθε πρίζα αερίου (Terminal unit) πάνω από το κρεβάτι έχει διαφορετικό, μοναδικό γεωμετρικό σχήμα κατά ISO, κάνοντας αδύνατη τη λάθος σύνδεση από τον νοσηλευτή (π.χ. μάσκα οξυγόνου στην πρίζα του κενού).
- Διαχείριση Κινδύνων: Το σύστημα του κενού λειτουργεί σε διάταξη N+1 (3 αντλίες). Οι σωληνώσεις χαλκού είναι βαμμένες με τους διεθνείς χρωματικούς κώδικες (λευκό για το Οξυγόνο, κίτρινο για το Κενό) για άμεση οπτική αναγνώριση.
- Συντήρηση: Τα δοχεία κενού (2x500L) μειώνουν δραματικά τις συχνές και άσκοπες εκκινήσεις των κινητήρων των αντλιών, πολλαπλασιάζοντας τη διάρκεια ζωής τους.

4.8.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η αξιολόγηση του σχεδιασμού των Ιατρικών Αερίων κρίνεται απόλυτα επιτυχημένη. Το δίκτυο των χαλκοσωλήνων διαστασιολογήθηκε μέσω των τύπων του HTM 02-01. Η χρήση αγωγών Φ35 mm για το οξυγόνο και Φ42 mm για το κενό αποδείχθηκε μαθηματικά ότι εξαλείφει τις τριβές, προστατεύοντας τους ασθενείς σε περιόδους ακραίας ζήτησης.

Το έργο παραδίδεται πλήρως εναρμονισμένο με τις διατάξεις της TOTEE 2491/86, του ISO 7396-1 και του HTM 02-01. Πρόταση βελτίωσης για το μέλλον: Αν σε δεύτερο χρόνο το νοσοκομείο επεκταθεί κατασκευάζοντας και νέες πτέρυγες, η κατανάλωση οξυγόνου θα αυξηθεί ραγδαία. Σε μια τέτοια περίπτωση, προτείνεται η αντικατάσταση της συστοιχίας των φιαλών στο υπόγειο με μία κεντρική Δεξαμενή Υγρού Οξυγόνου (Vacuum Insulated Evaporator - VIE), η οποία τοποθετείται σε εξωτερικό χώρο, προσφέροντας τεράστια αυτονομία και πολύ χαμηλότερο λειτουργικό κόστος.

4.9 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ.

Η μελέτη των μηχανολογικών συστημάτων (κλιματισμός, αερισμός, ύδρευση πυρόσβεση, ιατρικά αέρια) αποκτά πλήρη υπόσταση μόνο όταν ολοκληρωθεί ο ηλεκτρολογικός σχεδιασμός που εγγυάται τη λειτουργία τους. Η σχεδιαστική μας φιλοσοφία εδράζεται στην υλοποίηση ενός συστήματος διανομής με μηδενική ανοχή σε αστοχίες (fault-tolerant System), το οποίο ταυτόχρονα ελαχιστοποιεί το περιβαλλοντικό και ενεργειακό αποτύπωμα. Ακολουθώντας τις αυστηρές διατάξεις του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384 και τις κατευθύνσεις του ΚΕΝΑΚ, εστιάσαμε στη μείωση των Joule απωλειών (θερμικές απώλειες μεταφοράς) στα καλώδια, στη βελτίωση του συντελεστή ισχύος ($\cos\varphi$) και στη χρήση αποκλειστικά "πράσινου" ηλεκτρολογικού εξοπλισμού υψηλής απόδοσης.

- Από την Μέση Τάση στη Χαμηλή Τάση.

Η ρευματοδότηση του νοσοκομείου ξεκινά από το εθνικό δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) του ΔΕΔΔΗΕ, το οποίο εισέρχεται στην εγκατάστασή μας υπό τάση 20 kV. Η σύνδεση αυτή υλοποιείται μέσω καλωδιακού βρόχου στον Ιδιωτικό Υποσταθμό του νοσοκομείου, ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος στο υπόγειο του κτηρίου.

Η πορεία του ρεύματος ακολουθεί τα εξής στάδια:

- 1 **Κυψέλη Μέσης Τάσης (ΔΕΔΔΗΕ):** Η γραμμή MT 20 kV καταλήγει στην κυψέλη του Διαχειριστή, η οποία περιλαμβάνει τον μετρητικό εξοπλισμό (μετασχηματιστές έντασης και τάσης μέτρησης) και τα μέσα ζεύξης-προστασίας (ασφαλειοαποζεύκτες και αποζεύκτες).
- 2 **Κυψέλη Προστασίας και Διανομής Καταναλωτή:** Από την κυψέλη της ΔΕΔΔΗΕ, το ρεύμα οδηγείται στην κυψέλη MT του νοσοκομείου, η οποία είναι εφοδιασμένη με διακόπτη ισχύος SF6 και ψηφιακούς ηλεκτρονόμους προστασίας (ANSI 50/51 - προστασία υπερέντασης, και ANSI 50N/51N - προστασία σφάλματος γης).
- 3 **Υποβιβασμός Τάσης (Μετασχηματιστής 2000 kVA):** Από την κυψέλη MT, το ρεύμα οδηγείται στον κεντρικό Μετασχηματιστή (Μ/Σ) ισχύος 2.000 kVA. Επιλέξαμε Μ/Σ ξηρού τύπου (χυτορητίνης - cast resin), ο οποίος πλεονεκτεί έναντι του ελαίου, καθώς προσφέρει μέγιστη ασφάλεια έναντι πυρκαγιάς, μηδενικό κίνδυνο διαρροής ρύπων και εξαιρετικά χαμηλές απώλειες κενού

φορτίου (no-load Losses) και Losses χαλκού, μειώνοντας δραματικά το ενεργειακό αποτύπωμα του υποσταθμού.

Ο μετασχηματιστής αναλαμβάνει να υποβιβάσει την τάση από τα 20 kV στα 400 V (πολική τάση) / 230 V (φασική τάση) για τριφασική διανομή με γειωμένο ουδέτερο. Εφαρμόζοντας τη θεμελιώδη σχέση της τριφασικής φαινόμενης ισχύος:

$$S = \sqrt{3} * V_{LL} * I_n$$

Σύμφωνα με το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να αποδώσει ο Μ/Σ στην χαμηλή Τάση είναι:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * V_{LL}} = \frac{2000 * 1000}{1.732 * 400} = \frac{2.000.000}{692,8} \cong 2.886,75 \text{ A}$$

Αυτό το ρεύμα μεταφέρεται με ασφάλεια από τον Μ/Σ στον Γ.Π.Χ.Τ μέσω συμπαγών, εγκιβωτισμένων χάλκινων ζυγών (Busbars) διατομής 3x(160x10 mm) ανά φάση⁵¹, μειώνοντας στο ελάχιστο τις απώλειες.

4.9.1 ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ (Γ.Π.Χ.Τ 3200Α)

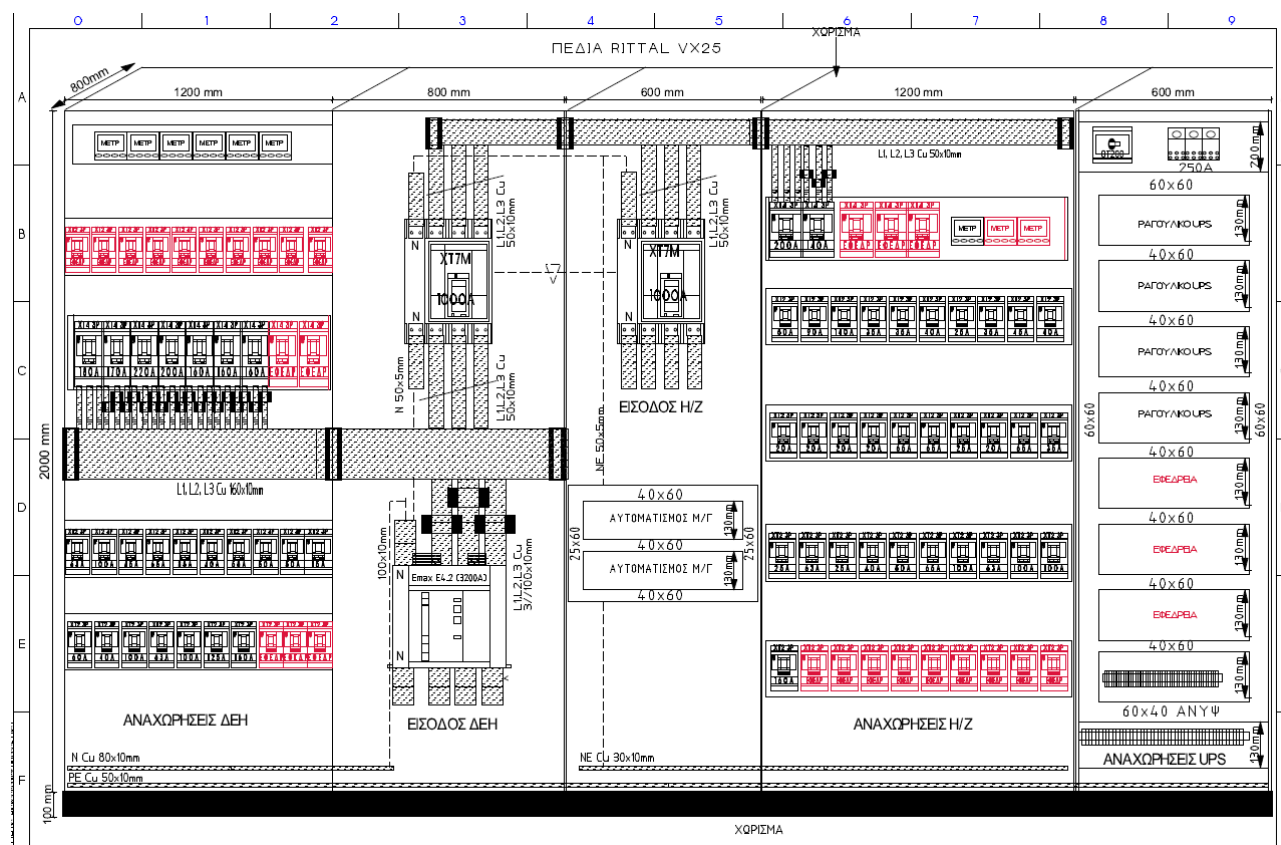
Ο Γενικός Πίνακας Χαμηλής Τάσης (ΓΠΧΤ) αποτελεί τον "διανομέα" και τον προστάτη όλης της ηλεκτρικής ενέργειας του κτηρίου.

- **Κατασκευαστική Δομή:** Ο πίνακας έχει σχεδιαστεί και δομηθεί σε μεταλλικά ερμάρια Rittal TS8⁵¹, με συνολικές διαστάσεις πλάτους 2.000 mm, βάθους 800 mm και ύψους 2.060 mm.⁵¹ Η εσωτερική του διαρρύθμιση ακολουθεί τον αυστηρό διαχωρισμό Form 4b (σύμφωνα με το πρότυπο EN 61439-2).⁵¹ Αυτό σημαίνει ότι οι κύριοι ζυγοί, οι μονάδες διακοπής (διακόπτες) και τα τερματικά των καλωδίων βρίσκονται σε εντελώς ανεξάρτητα, μεταλλικά στεγανά διαμερίσματα. Έτσι, το προσωπικό συντήρησης μπορεί να επέμβει σε μια αναχώρηση χωρίς να διατρέχει κίνδυνο ηλεκτροπληξίας από γειτονικά, υπό τάση πεδία.
- **Γενικός Διακόπτης Εισόδου (ACB):** Για την παραλαβή του ρεύματος των 2.887 A από τον μετασχηματιστή, εγκαταστήσαμε στο Πεδίο Νο2 (ΕΙΣΟΔΟΣ ΔΕΗ)⁵¹ τον κορυφαίο αυτόματο διακόπτη αέρος (Air Circuit Breaker - ACB) ABB SACE Emax E4.2N 3200, withdrawable (συρόμενου) τύπου (WMP). Ο διακόπτης έχει ονομαστικό ρεύμα 3.200 A και φέρει την ψηφιακή μονάδα προστασίας Ekip Touch LSI.⁵¹ Διαθέτει ικανότητα διακοπής:

Προστασία Overload : $I_1 = 0.9 * I_n$, με $t = 3 \text{ sec}$

Προστασία Short time delay: $I_2 = 5.4 * I_n$, με $t = 0.1 \text{ sec}$

Προστασία Instantaneous: $I_3 = 7.3 * I_n$



Σχέδιο 4.20: Γ.Π.Χ.Τ Αναχωρήσεις ΔΕΗ, Η/Ζ, UPS

- Αναχωρήσεις και Πεδία Διανομής (ΠΕΔΙΟ Νο1 - ΑΝΑΧΩΡΗΣΕΩΝ ΔΕΗ): Μέσα από τον ΓΠΧΤ, το ρεύμα διανέμεται στις επιμέρους αναχωρήσεις, οι οποίες προστατεύονται από αυτόματους διακόπτες ισχύος μαγνητοθερμικού τύπου (MCCB) σειράς ABB Tmax XT⁵¹

ΠΑΡΟΧΗ ΠΙΝΑΚΑ ΠΥΚΝΩΤΩΝ (Πεδίο Νο1): Αναχώρηση προς τον πίνακα αντιστάθμισης άεργου ισχύος.⁵¹ Φέρει διακόπτη XT4S250/R250 Ekip LS/H ($I_{cu} = 50\text{ka}$)⁵¹, με ρύθμιση θερμικού $I1 = 0.72 \cdot I_n$ (180 A).1 Η τροφοδοσία γίνεται με καλώδιο J1VVR 3x120 + 120 mm².⁵¹ Η αντιστάθμιση είναι καταλυτική καθώς εξαλείφει το άεργο ρεύμα, διατηρώντας το $\cos\phi \geq 0.98$

ΠΙΝΑΚΑΣ Α1 ΟΡΟΦΟΥ (Ο δικός μας όροφος μελέτης): Προστατεύεται από διακόπτη XT4S250/R250 Ekip LSI⁵¹, ρυθμισμένο στα 220 A ($I1 = 0.88 \cdot I_n$)⁵¹, με καλώδιο J1VVR 2x5x(1x95) mm².⁵¹

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΔΡΟΣΤΑΣΙΟΥ (Πυρόσβεση & Πιεστικά): Προστατεύεται από διακόπτη XT4S250/R250 Ekip LS/I⁵¹, ρυθμισμένο στα 200 A ($I1 = 0.80 \cdot I_n$)⁵¹, με καλώδιο J1VVR 2x5x(1x95) mm².⁵¹

ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΩΡΟΥ ΚΚΜ-Ν (Κλιματισμός): Προστατεύεται από διακόπτη XT4S250/R250 Ekip LS/I 1, ρυθμισμένο στα 160 A ($I_l = 0.64 \cdot I_n$)⁵¹, με καλώδιο J1VVR 5x(1x120) mm².⁵¹

ΠΙΝΑΚΑΣ ΛΕΒΗΤΟΣΤΑΣΙΟΥ: Προστατεύεται από διακόπτη XT2S160/R100 Ekip LS/I 1, ρυθμισμένο στα 60 A ($I_l = 0.60 \cdot I_n$)⁵¹, με καλώδιο J1VVR 5x25 mm².⁵¹

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ: Προστατεύεται από διακόπτη XT2S160/R160 Ekip LS/I 1, ρυθμισμένο στα 125 A ($I_l = 0.78 \cdot I_n$)⁵¹, με καλώδιο J1VVR 5x(1x70) mm².⁵¹

4.6.1 Το Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος (Η/Ζ) ΚΑΙ Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

Για την εξασφάλιση της εφεδρικής τροφοδοσίας του νοσοκομείου σε περίπτωση πλήρους διακοπής του δικτύου ΔΕΔΔΗΕ, εγκαταστήσαμε το βιομηχανικό Η/Ζ ECOGEN D580E της Petrogen (Πέτρος Πετρόπουλος Α.Ε.Β.Ε.).⁵¹

- Τεχνικά Χαρακτηριστικά Η/Ζ:
 1. Ισχύς Εφεδρικής Λειτουργίας (Standby): 580 kVA / 464 kW (με)⁵¹
 2. Ισχύς Συνεχούς Λειτουργίας (Prime): 525 kVA / 420 kW.⁵¹
 3. Κινητήρας: Οκτακύλινδρος σε διάταξη V (8-V), τετράχρονος, υδρόψυκτος πετρελαιοκινητήρας DOOSAN DP158LD.1 Διαθέτει κυβερνήτη (governor) ηλεκτρονικού τύπου⁵¹ και σύστημα αναπνοής Turbocharged & Intercooled (Air-to-Air), με κυλινδρισμό 14,61 Λίτρα.⁵¹
 4. Κατανάλωση Καυσίμου: 115,1 Λίτρα/ώρα σε 100% Prime φορτίο (και 83,4 Λίτρα/ώρα σε 75% Prime). Η ενσωματωμένη δεξαμενή καυσίμου στη βάση του Η/Ζ έχει χωρητικότητα 700 Λίτρα.⁵¹
 5. Γεννήτρια: Τετραπολική, σύγχρονη, αυτοδιεγείρομενη χωρίς ψήκτρες (brushless) της MECC ALTE .Διαθέτει ηλεκτρονικό αυτόματο ρυθμιστή τάσης (AVR) με ακρίβεια $\pm 0,5\%$ ⁵¹, κλάση μόνωσης Η και βαθμό προστασίας IP23.⁵¹
- Πεδίο Αυτόματης Μεταγωγής ΔΕΗ – Η/Ζ (Πεδίο 3°)

Η μεταγωγή υλοποιείται εντός του ΓΠΧΤ (Πεδίο Νο3) μέσω δύο ηλεκτροκίνητων αυτόματων διακοπών ισχύος (QN για τη ΔΕΗ και QG για το Η/Ζ).⁵¹ Και οι δύο διακόπτες είναι τύπου ABB XT7S1000/R1000M Ekip/Dip LS/I, ονομαστικής έντασης 1.000 A, ρυθμισμένοι στο:

$$I_1 = 0.8 \cdot I_n = 800 \text{ A.}$$

Οι διακόπτες φέρουν μηχανική και ηλεκτρική μανδάλωση (interlocking)⁵¹ καθιστώντας αδύνατο το ταυτόχρονο κλείσιμο και των δύο, αποτρέποντας την καταστροφική παράλληλη σύνδεση της γεννήτριας με τη ΔΕΔΔΗΕ.⁵¹

- **Η Φυσική και η Διαδικασία της Μεταγωγής βήμα προς βήμα:**

Η αυτόματη λειτουργία ελέγχεται από τον τριφασικό επιτηρητή τάσης CM-MPS.41⁵¹ και μια σειρά χρονικών καθυστερήσεων (timers)⁵¹ που έχουν ρυθμιστεί ως εξής:

1. Ανίχνευση Σφάλματος: Σε κατάσταση ηρεμίας, ο QN (ΔΕΗ) είναι κλειστός και ο QG (H/Z) ανοιχτός. Όταν ο επιτηρητής CM-MPS.41 ανιχνεύσει πτώση τάσης κάτω από τα 370V, υπέρταση πάνω από τα 430V ή ασυμμετρία φάσεων >10%⁵¹, ξεκινά η διαδικασία.
2. Χρονική Υστέρηση Εκκίνησης (Off Delay): Ο επιτηρητής έχει ρυθμιστεί με καθυστέρηση 10 δευτερολέπτων (Off Delay).⁵¹ Αυτό γίνεται για να φιλτραριστούν τυχόν στιγμιαίες βυθίσεις της τάσης του δικτύου, ώστε να αποφευχθεί η άσκοπη εκκίνηση του DOOSAN κινητήρα.
3. Άνοιγμα QN & Εκκίνηση H/Z: Μόλις παρέλθουν τα 10 δευτερόλεπτα, ο διακόπτης QN (ΔΕΗ) ανοίγει (αποσύμπλεξη). Ταυτόχρονα, κλείνει η επαφή της εντολής εκκίνησης (DA)⁵¹ και ο ηλεκτρικός εκκινητής 24VDC του H/Z τίθεται σε λειτουργία⁵¹, χρησιμοποιώντας την ισχύ των μπαταριών.⁵¹
4. Σταθεροποίηση Γεννήτριας: Ο κινητήρας DOOSAN DP158LD εκκινεί και φτάνει τις 1.500 σ.α.λ..⁵¹ Η γεννήτρια Mecc Alte παράγει τάση, η οποία σταθεροποιείται στα 400V μέσω του AVR μέσα σε 7-8 δευτερόλεπτα.⁵¹
5. Κλείσιμο QG (On Delay - TLG): Ο χρονικός αναμεταδότης TLG έχει ρυθμιστεί στα 7 δευτερόλεπτα (On Delay).⁵¹ Μόλις ο επιτηρητής επιβεβαιώσει τη σταθερότητα της τάσης της γεννήτριας, το πηνίο κλεισίματος (closing release) του QG ενεργοποιείται και ο QG κλείνει, ρευματοδοτώντας τις κρίσιμες καταναλώσεις του νοσοκομείου.
6. Επαναφορά Δικτύου ΔΕΔΔΗΕ: Όταν το εθνικό δίκτυο επανέλθει, ο επιτηρητής CM-MPS.41 ανιχνεύει την παρουσία υγιούς τάσης.
7. Χρονική Υστέρηση Επαναφοράς (On Delay - TLN): Για να σιγουρευτούμε ότι η επαναφορά της ΔΕΗ είναι μόνιμη και σταθερή, ο χρονικός αναμεταδότης TLN έχει ρυθμιστεί στα 180 δευτερόλεπτα (3 λεπτά).⁵¹ Κατά τη διάρκεια αυτών των 3 λεπτών, το νοσοκομείο συνεχίζει να τροφοδοτείται με ασφάλεια από το H/Z.
8. Μεταγωγή στη ΔΕΗ: Μόλις παρέλθουν τα 180 δευτερόλεπτα, ο διακόπτης QG (H/Z) ανοίγει. Μετά από μια ασφαλή νεκρή ζώνη (dead-time) για την απόσβεση των επαγωγικών ρευμάτων των κινητήρων, ο QN (ΔΕΗ) κλείνει.
9. Ψύξη Κινητήρα (Cooling Down): Το H/Z δεν σβήνει αμέσως. Λειτουργεί εν κενό (χωρίς φορτίο) για 3-5 λεπτά (Cooling Down phase). Αυτό είναι απαραίτητο για τη σταδιακή και ομοιόμορφη μείωση της θερμοκρασίας του turbocharger και των κυλίνδρων DOOSAN, αποτρέποντας θερμικά σοκ και

παρατείνοντας τη ζωή του.⁵¹ Μετά το πέρας της ψύξης, το Η/Ζ σβήνει και τίθεται σε κατάσταση αναμονής (Standby).

ECOGEN D580E



Εικόνα 4.11: Η/Ζ που θα χρησιμοποιηθεί

Πίνακας 4.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά Η/Ζ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

• Ισχύς εφεδρικής λειτουργίας	580 KVA
• Ισχύς συνεχούς λειτουργίας	525 KVA
• Κατασκευαστής πετρελαιοκινητήρα	DOOSAN
• Τύπος πετρελαιοκινητήρα	DP158LD
• Στροφές	1500 σ.α.λ.
• Αριθμός και διάταξη κυλίνδρων	8-V
• Κυλινδρισμός	14.61 Λίτρα
• Αναπνοή κινητήρα	TURBO - INTERCOOLED
• Κατανάλωση καυσίμου	83 Λίτρα/Ωρα
• Αέρας ψύξης κινητήρα	762 (κυβ.μ./λεπτό)
• Αέρας καύσης κινητήρα	33,1 (κυβ.μ./λεπτό)
• Κατασκευαστής γεννήτριας	MECCALTE ή LEROY SOMER
• Κλάσης Μονώσεως	Κλάση H
• Ρυθμιστής τάσεως γεννήτριας	Ηλεκτρονική
• Ρεύμα	3Φ, 230/400 V
• Συχνότητα	50 Hz
• Τάση συσσωρευτών	24 V
• Λίτρα ενσωματωμένης δεξαμενής καυσίμου	700 Λίτρα *
• Διαστάσεις Μ Χ Π Χ Υ	3020 x 1550 x 2060 mm *
• Βάρος (πλήρες με νερό, λάδι)	3400 kg *

4.10 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΔΙΑΛΕΙΠΤΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (UPS) ΚΑΙ ΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΤΟΥ.

Παρότι η αυτόματη μεταγωγή του Η/Ζ ολοκληρώνεται σε λιγότερο από 20 δευτερόλεπτα, αυτή η σύντομη διακοπή είναι απαγορευτική για τις ζωτικές λειτουργίες του νοσοκομείου (χειρουργικά monitor, αναπνευστήρες, ιατρικά αέρια, υπολογιστές BMS). Για τον λόγο αυτό, εγκαταστήσαμε το modular UPS VERTIV LIEBERT APM PLUS 250.(βλ. Εικόνα 4.11.)



Εικόνα 4.11: Modular UPS που χρησιμοποιήθηκε.

- **Τεχνολογία True On-Line Double Conversion (VFI):** Το Liebert APM Plus λειτουργεί με τη μέθοδο της διπλής μετατροπής. Το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) της εισόδου μετατρέπεται αρχικά σε συνεχές (DC) μέσω του ανορθωτή (Rectifier/PFC). Το DC ρεύμα τροφοδοτεί τον Inverter και ταυτόχρονα διατηρεί πλήρως φορτισμένο το block των συσσωρευτών (μπαταρίες). Στη συνέχεια, ο Inverter μετατρέπει το DC ρεύμα ξανά σε AC, παράγοντας μια πεντακάθαρη, σταθεροποιημένη ημιτονοειδή κυματομορφή, εντελώς απαλλαγμένη από τις βυθίσεις, τις αρμονικές και τις αιχμές του δικτύου. Όταν κοπεί το ρεύμα της ΔΕΗ, ο Inverter συνεχίζει να τροφοδοτείται ακαριαία (0 ms) από τις μπαταρίες, διασφαλίζοντας ότι ο ευαίσθητος ιατρικός εξοπλισμός δεν θα "καταλάβει" τη διακοπή.
- **Modular Σχεδιασμός και πράσινη Φιλοσοφία:** Το Liebert APM Plus έχει εγκατασταθεί σε ερμάριο μέγιστης χωρητικότητας 250 kW. Ωστόσο, για την κάλυψη των υφιστάμενων αναγκών, τοποθετήσαμε αρχικά μόνο δύο modules ισχύος 50 kW έκαστο (Σύνολο 100 kW / 100 kVA). Αυτή η modular (αρθρωτή) προσέγγιση είναι ο ορισμός του πράσινου σχεδιασμού: τα UPS παρουσιάζουν το

μέγιστο βαθμό απόδοσής τους (έως 97% σε Double Conversion) όταν λειτουργούν σε υψηλά ποσοστά φόρτισης. Αν είχαμε εγκαταστήσει εξ αρχής ένα μονομπλόκ UPS 250 kW, αυτό θα λειτουργούσε σε πολύ χαμηλό φορτίο (κάτω του 20%), όπου η απόδοση πέφτει δραματικά, προκαλώντας άσκοπες απώλειες ενέργειας υπό μορφή θερμότητας. Με το APM Plus, η απόδοση παραμένει σταθερά στο 97%, ενώ η ισχύς μπορεί να επεκταθεί έως τα 250 kW με απλή προσθήκη modules ("hot-swappable") στο μέλλον.

- Σύνδεση στον ΓΠΧΤ: Το UPS τροφοδοτείται από το ΠΕΔΙΟ Νο5 (ΑΝΑΧΩΡΗΣΕΩΝ UPS) του ΓΠΧΤ⁵¹, μέσω του χειροκίνητου διακόπτη φορτίου OT200E04WP 4P 200A 1, με καλώδιο J1VVR 4xC1x120 mm².⁵¹

4.11 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.

Για να επιβεβαιώσουμε τον «πράσινο» χαρακτήρα του 1^{ου} ορόφου του νοσοκομείου, διενεργήσαμε αναλυτικούς ηλεκτρολογικούς υπολογισμούς για τον Μηχανολογικό Εξοπλισμό που επιλέξαμε στα προηγούμενα στάδια της μελέτης.

Η γενική σχέση που συνδέει την ηλεκτρική ισχύ (P) με την ένταση του ρεύματος (I) σε τριφασικό εναλλασσόμενο σύστημα (400V) είναι:

$$I = \frac{Pelectrical}{\sqrt{3} * VLL * \cos\varphi}$$

Αντίστοιχα, η φαινόμενη ισχύς (S, σε kVA) και η άεργος ισχύς (Q, σε kVAR) υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$S = \sqrt{3} * VLL * I$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = P * \tan(\arccos(\cos\varphi))$$

Εφαρμόζοντας τις εξισώσεις αυτές για κάθε μηχανήμα:

4.11.1 ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ (GRUNDFOS TPE 100-200/4 S-A-F-A-BQQE-MWA):

1. Ηλεκτρική Ισχύς (P): 7.500 W (7,5 kW).
2. Συντελεστής Ισχύος (cosφ): Λόγω του υπερσύγχρονου κινητήρα μόνιμων μαγνητών IE5, ο συντελεστής είναι εξαιρετικός, ίσος με 0,93.
3. Υπολογισμός Ρεύματος:

$$I_{tpe} = \frac{7500}{1.73 * 400 * 0.93} = \frac{7500}{644.3} \approx 11.64A$$

4. Φαινομενική Ισχύς (S):

$$S_{tpe} = 1.732 * 400 * 11.64 \approx 8.06kVA$$

5. Άεργος Ισχύς(Q) :

$$Q_{tpe} = \sqrt{8.06^2 - 7.5^2} \approx 2.95 \text{ kVAR}$$

4.11.2 ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΗΣ ΨΥΞΗΣ (GRUNDFOS MAGNA3 65-150 F):

1. Ηλεκτρική Ισχύς (P): Η μέγιστη ισχύς εισόδου είναι 1.377W(1.38kW).
2. Συντελεστής Ισχύος (cosφ): Λόγω της Inverter τεχνολογίας cosφ=0.95
3. Υπολογισμός Ρεύματος:

$$I_{magna} = \frac{1377}{1.732 * 400 * 0.95} = \frac{1377}{658.16} \approx 2.09A$$

4. Φαινομενική Ισχύς (S):

$$S_{magna} = 1.732 * 400 * 2.09 \approx 1.45kVA$$

5. Άεργος Ισχύς(Q) :

$$Q_{magna} = \sqrt{1.45^2 - 1.38^2} \approx 0.44kVAR$$

4.11.3 ΚΥΡΙΑ ΑΝΤΑΙΑ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ (GRUNDFOS HYDRO EN NKF 50-250/249):

1. Ηλεκτρική Ισχύς (P): 30.000W(30kW).
2. Συντελεστής Ισχύος (cosφ) : Κινητήρας κλάσης IE3, cosφ =0.85
3. Υπολογισμός Ρεύματος:

$$I_{fire} = \frac{30000}{1.732 * 400 * 0.85} = \frac{30000}{588.88} \approx 51.0A$$

4. Φαινομενική Ισχύς (S)

$$S_{fire} = 1.732 * 400 * 51.0 \approx 35.33kVA$$

5. Άεργος Ισχύς (Q):

$$Q_{fire} = \sqrt{35.33^2 - 30^2} \approx 18.60kVAR$$

4.11.4 ΒΟΗΘΗΤΙΚΗ ΑΝΤΑΙΑ JOCKEY (GRUNDFOS CM3-13):

1. Ηλεκτρική Ισχύς (P): 2.200W (2.2kW).
2. Συντελεστής Ισχύος (cosφ): 0.82
3. Υπολογισμός Ρεύματος:

$$I_{jockey} = \frac{2200}{1.732 * 400 * 0.82} = \frac{2200}{568.1} \approx 3.87 A$$

4.11.5 ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ (SYSTEMAIR)

1. Ηλεκτρική Ισχύς (P) : Λόγω των EC ανεμιστήρων μεταβλητών στροφών, η μέγιστη ισχύς της είναι 15.000 W (15 kW).
2. Συντελεστής Ισχύος($\cos\phi$) = 0.90
3. Υπολογισμός Ρεύματος:

$$I_{\text{κκμ}} = \frac{15000}{1.732 * 400 * 0.90} = \frac{15000}{623.5} \approx 24.05A$$

4. Φαινομενική Ισχύς (S) :

$$S_{\text{κκμ}} = 1.732 * 400 * 24.05 \approx 16.66kVA$$

5. Άεργος Ισχύς(Q):

$$Q_{\text{κκμ}} = \sqrt{16.66^2 - 15^2} \approx 7.25 kVAR$$

4.11.6 ΚΑΝΑΛΑΤΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ FAN COILS (44 X SYSTEMAIR VCE 73):

1. Ηλεκτρική Ισχύς (P): Κάθε μονάδα VCE 73 φέρει EC ανεμιστήρα που καταναλώνει μόλις 100 W σε μεσαία σκάλα λειτουργίας.

$$P_{\text{total}} = 44 * 100W = 4.400W = 4.4kW$$

2. Συντελεστής Ισχύος($\cos\phi$) = 0.95
3. Υπολογισμός Ρεύματος:

$$I_{\text{fcu}} = \frac{4400}{1.732 * 400 * 0.95} = \frac{4400}{658.16} \approx 6.68A$$

4. Φαινομενική Ισχύς (S):

$$S_{\text{fcu}} = 1.732 * 400 * 6.68 \approx 4.63kVA$$

5. Άεργος Ισχύς (Q):

$$Q_{\text{fcu}} = \sqrt{4.63^2 - 4.4^2} \approx 1.44kVAR$$

4.11.7 ΑΝΤΛΙΕΣ ΙΑΤΡΙΚΟΥ ΚΕΝΟΥ (3 X 350 L/MIN):

1. Ηλεκτρική Ισχύς (P): 1.500W (1,5 kW) ανά αντλία. Σε μέγιστη ζήτηση λειτουργούν ταυτόχρονα οι 2 αντλίες (3,0 kW).
2. Συντελεστής Ρεύματος $\cos\phi$: 0.80
3. Υπολογισμός ρεύματος:

$$I_{vacuum} = \frac{3000}{1.732 * 400 * 0.80} = \frac{3000}{554.24} \approx 5.41A$$

4. Φαινόμενη Ισχύς (S):

$$S_{vacuum} = 1.732 * 400 * 5.41 \approx 3,75kVA$$

5. Άεργος Ισχύς (Q):

$$Q_{vacuum} = \sqrt{3.75^2 - 3.0^2} \approx 2.25kVAR$$

Συγκεντρωτικός Πίνακας Ηλεκτρομηχανολογικών Φορτίων 1^{ου} Ορόφου

Συνοψίζοντας τους παραπάνω υπολογισμούς, καταρτίσαμε τον συγκεντρωτικό Πίνακα 4.7 των Η/Μ φορτίων του ορόφου μας, ο οποίος αποτελεί τη βάση για τη διαστασιολόγηση του τοπικού Υποπίνακα.

Πίνακας 4.6: Συγκεντρωτικός Πίνακας Ηλεκτρομηχανολογικών Φορτίων 1ου Ορόφου.

Εξοπλισμός	Εγκατεστημένη Ισχύς P (kW)	Συντελεστής Ισχύος cosφ	Φαινόμενη Ισχύς S (kVA)	Άεργος Ισχύς Q (kVAR)	Ένταση Ρεύματος I (A)
Κυκλοφορητής TPE	7,50	0,93	8,06	2,95	11,64
Κυκλοφορητής MAGNA3	1,38	0,95	1,45	0,44	2,09
KKM Systemair Geniox	15,00	0,90	16,67	7,26	24,06
44 FCU Systemair VCE 73	4,40	0,95	4,63	1,44	6,68
Αντλία Κενού (2 σε λειτ.)	3,00	0,80	3,75	2,25	5,41
Σύνολο Μηχανικών Φορτίων	31,28	0,91 (Μ.Ο)	34,56	14,34	49,88

4.12 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του ηλεκτρολογικού σχεδιασμού αποδεικνύει την επίτευξη του στόχου για Χαμηλό Ενεργειακό Αποτύπωμα:

- 1 **Δραστική Μείωση Ρευμάτων:** Για τον πλήρη κλιματισμό, αερισμό και την υποστήριξη ιατρικού κενού ενός ορόφου 1.000 τ.μ., το συνολικό απαιτούμενο ρεύμα λειτουργίας του μηχανολογικού εξοπλισμού είναι μόλις 50 A (τριφασικό). Αυτό οφείλεται αποκλειστικά στη χρήση Inverter κινητήρων IE5 της Grundfos και ανεμιστήρων EC της Systemair.

- 2 **Μείωση Απωλειών Μεταφοράς (Joule Losses):** Με το ρεύμα να διατηρείται τόσο χαμηλά, οι απώλειες ισχύος στα καλώδια τροφοδοσίας ($P_{loss} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{cable}$) εκμηδενίζονται. Αυτό μας επέτρεψε να χρησιμοποιήσουμε μικρότερες διατομές καλωδίων (μειώνοντας το αρχικό κόστος κατασκευής / CAPEX) χωρίς να ρισκάρουμε πτώσεις τάσης ή άσκοπη θέρμανση των αγωγών.
- 3 **Βελτίωση Συντελεστή Ισχύος:** Μέσω του κεντρικού πίνακα πυκνωτών (που τροφοδοτείται από τον διακόπτη Q1 του ΓΠΧΤ)⁵¹, εξαλείφουμε πλήρως τα άεργα φορτία ($Q=14.34\text{kVAR}$) των κινητήρων. Έτσι, ο μετασχηματιστής των 2000 kVA επιβαρύνεται μόνο με την καθαρή ενεργό ισχύ, βελτιώνοντας τη σταθερότητα της τάσης και γλιτώνοντας το νοσοκομείο από σπατάλες άεργου ισχύος των παρόχων ενέργειας.
- 4 **Ψηφιακή Εποπτεία και Έξυπνο Δίκτυο:** Η ενσωμάτωση των ψηφιακών πολυοργάνων ABB M4M 2X Modbus 1 σε κάθε πεδίο του ΓΠΧΤ μας επιτρέπει να στέλνουμε σε πραγματικό χρόνο όλα τα ηλεκτρικά δεδομένα (τάση, ένταση, αρμονικές, THD, $\cos\phi$) στο κεντρικό σύστημα BMS του νοσοκομείου. Αυτό επιτρέπει τη βελτιστοποίηση των φορτίων και την έγκαιρη πρόγνωση βλαβών (predictive maintenance), διασφαλίζοντας την απόλυτη «πράσινη» λειτουργία της εγκατάστασης.

4.13 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ασφάλεια και Αδιάλειπτη Λειτουργία: Διασφαλίσαμε ότι σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, το νοσοκομείο είναι απόλυτα θωρακισμένο. Το πυροσβεστικό συγκρότημα Grundfos Hydro EN (102 m³/h) 1, υποστηριζόμενο από απόθεμα 90 m³ νερού, καλύπτει κάθε κίνδυνο ΟΗ1, ενώ η αυτόματη μεταγωγή του Η/Ζ DOOSAN 580 kVA (εντός 15 δευτερολέπτων) 1 σε συνδυασμό με το UPS VERTIV (0 ms μετάβαση) εγγυάται ότι καμία ανθρώπινη ζωή δεν θα τεθεί σε κίνδυνο λόγω διακοπής ρεύματος.

5 ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Ο σύγχρονος μηχανολογικός σχεδιασμός κτιριακών υποδομών υγείας, πέραν της αυστηρής τήρησης των υγειονομικών και τεχνικών προδιαγραφών, οφείλει να αξιολογείται συστηματικά μέσα από το πρίσμα της μακροπρόθεσμης οικονομικής βιωσιμότητας. Για την πλήρη και αντικειμενική αποτίμηση της επένδυσης, υιοθετείται η μεθοδολογία του Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Costing - LCC), όπως αυτή ορίζεται και τυποποιείται από τα διεθνή πρότυπα ISO 15686-5 και EN 15459⁵⁵. Η προσέγγιση του Κόστους Κύκλου Ζωής ενσωματώνει στο αναλυτικό μοντέλο αποτίμησης όλες τις χρηματοροές που σχετίζονται με το έργο, από τη σύλληψη και τον σχεδιασμό του έως την τελική του απόσυρση⁵⁶. Σε ένα νοσοκομειακό συγκρότημα, η φάση της λειτουργίας και της συντήρησης αντιπροσωπεύει συχνά περισσότερο από το 70% έως 80% του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership - TCO)⁵⁷. Συνεπώς, εξοπλισμός που ενδέχεται να φέρει υψηλότερο αρχικό κόστος αγοράς, όπως οι κυκλοφορητές τεχνολογίας μόνιμων μαγνητών κλάσης IE5, τα συστήματα εναλλακτών ανάκτησης θερμότητας υψηλής απόδοσης και ο προηγμένος ιατροτεχνολογικός εξοπλισμός, αποδεικνύεται εν τέλει η πλέον οικονομικά συμφέρουσα επιλογή λόγω της δραστηκής μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και των απαιτήσεων συντήρησης⁵⁵. Στο πλαίσιο του παρόντος έργου, η μαθηματική διατύπωση για τον υπολογισμό του LCC, λαμβάνοντας υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος μέσω της προεξόφλησης, ορίζεται ως εξής⁵⁸:

$$LCC = C1 + \sum_{t=1}^N \frac{Co,t + CM,t + CE,t}{(1+r)^t} - \frac{s}{(1+r)^N}$$

Στην εξίσωση αυτή, η παράμετρος **C1** αντιπροσωπεύει το αρχικό κόστος επένδυσης (Κεφαλαιουχική Δαπάνη - CAPEX), το οποίο περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, την αγορά των υλικών και τις εργασίες εγκατάστασης⁵⁹. Η παράμετρος **Co,t** υποδηλώνει το ετήσιο κόστος λειτουργίας, ενώ η παράμετρος **CM,t** το ετήσιο κόστος συντήρησης, συμπεριλαμβανομένης της προληπτικής συντήρησης και των επισκευών. Το ενεργειακό κόστος εκφράζεται μέσω της παραμέτρου **CE,t**, η οποία είναι άμεσα συνυφασμένη με τον βαθμό απόδοσης των επιλεγμένων συστημάτων. Η μεταβλητή **r** αφορά το προεξοφλητικό επιτόκιο, το οποίο σταθμίζει τον πληθωρισμό και το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου σε βάθος χρόνου **N** ετών⁶⁰. Τέλος, το **S** εκφράζει την υπολειμματική αξία της εγκατάστασης στο τέλος της περιόδου ανάλυσης. Η εφαρμογή αυτού του μαθηματικού μοντέλου διασφαλίζει ότι οι αποφάσεις που ελήφθησαν κατά τον σχεδιασμό του συστήματος κλιματισμού, αερισμού, ύδρευσης και ελέγχου εναρμονίζονται πλήρως με τις αρχές της εξοικονόμησης πόρων⁶¹.

5.2 ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (CAPEX) ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ο αναλυτικός προϋπολογισμός κεφαλαιουχικών δαπανών (CAPEX) των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων συντάχθηκε με βάση τις αυστηρές τεχνικές προδιαγραφές που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια της μελέτης. Η κοστολόγηση βασίστηκε σε τρέχοντα εμπορικά δεδομένα, σε αναλυτικά τιμολόγια υλικών, καθώς και στις κατευθυντήριες γραμμές του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΕΕ) και των Αναλυτικών Τιμολογίων Έργων (ΑΤΟΕ) για την εκτίμηση του κόστους εργασιών⁶². Το μέγεθος του συγκροτήματος (συνολικής επιφάνειας περίπου 4.800 m², με τον εξεταζόμενο 1ο όροφο να καταλαμβάνει 1.200 m²) και η φύση των κλινικών χώρων επέβαλαν την επιλογή εξοπλισμού ιατρικών προδιαγραφών (medical grade).

Ο τομέας του Κλιματισμού και του Αερισμού (HVAC) απορροφά σημαντικό μέρος του προϋπολογισμού, γεγονός που δικαιολογείται από την ανάγκη συμμόρφωσης με το πρότυπο ASHRAE 170. Το εν λόγω πρότυπο επιβάλλει αυστηρούς ρυθμούς ανανέωσης αέρα (Air Changes per Hour - ACH), υψηλές βαθμίδες φιλτραρίσματος (χρήση φίλτρων MERV 14 έως MERV 16 και τερματικών φίλτρων HEPA σε ευαίσθητους χώρους), καθώς και τη διατήρηση αυστηρών διαφορικών πιέσεων για τον έλεγχο των ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων⁶³. Οι Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες (KKM) της Systemair (σειρά Geniox) επιλέχθηκαν για την εσωτερική τους υγιεινή κατασκευή και τους ανεμιστήρες Plug Fan με κινητήρες EC, οι οποίοι, παρά το υψηλότερο αρχικό κόστος, προσφέρουν κορυφαία ενεργειακή απόδοση⁶⁴. Αντίστοιχα, για τη διανομή των ρευστών επιλέχθηκαν σωληνώσεις πολυπροπυλενίου ανώτερης κρυσταλλικής δομής (PP-RCT), οι οποίες παρουσιάζουν ελάχιστη τραχύτητα μόλις 0,007 mm, εκμηδενίζοντας τις απώλειες τριβών και τις ανάγκες επισκευής λόγω διάβρωσης⁶⁵. Στον τομέα των ηλεκτρολογικών υποδομών, η χρήση μετασχηματιστών ξηρού τύπου (χυτορητίνης), βιομηχανικών Ηλεκτροπαραγωγών Ζευγών (H/Z) με κινητήρες Doosan και διακοπτικού υλικού προηγμένης προστασίας (π.χ., ABB SACE Emax) ανεβάζει το CAPEX, αλλά προσφέρει την απαραίτητη ανοχή σε σφάλματα (fault tolerance)⁶⁶.

Ο Πίνακας 5.1 παραθέτει τον συγκεντρωτικό προϋπολογισμό των βασικών κατηγοριών του έργου, χωρισμένο σε κόστος υλικών και κόστος εργασιών.

Πίνακας 5.1: Συνοπτικός Προϋπολογισμός Βασικού Η/Μ Εξοπλισμού (CAPEX).

Κατηγορία Εγκατάστασης	Κύριος Εξοπλισμός / Περιγραφή	Εκτιμώμενο Κόστος Υλικών (€)	Εκτιμώμενο Κόστος Εργασιών (€)	Συνολικό Κόστος (€)
Κλιματισμός (HVAC)	Ψύκτες υψηλού SEER, Λέβητες συμπύκνωσης Φ.Α., ΚΚΜ (Systemair Geniox), Τοπικές Μονάδες FCU (VCE 73)	285.000,00	85.000,00	370.000,00
Δίκτυα Διανομής & Αντλίες	Κυκλοφορητές Grundfos (MAGNA3, TPE IE5), Σωληνώσεις PP-RCT, Μονώσεις ελαστομερούς	95.000,00	45.000,00	140.000,00
Αερισμός & Ανάκτηση	Εναλλάκτες (VAM), δίκτυα αεραγωγών, ηχοπαγίδες, συστοιχίες φίλτρων (MERV 8/14/16, HEPA)	120.000,00	55.000,00	175.000,00
Υδρευση & Επεξεργασία	Δεξαμενές 90m ³ , Πιεστικά Inverter (Hydro MPC-E), Αμμόφιλτρα, Δίδυμοι Αποσκληρυντές (Duplex)	80.000,00	30.000,00	110.000,00
Ενεργητική Πυροπροστασία	Πυροσβεστικό συγκρότημα (Grundfos Hydro EN 50-250), Δεξαμενές, Δίκτυο Sprinklers, Κατάσβεση CO ₂	105.000,00	40.000,00	145.000,00
Ιατρικά Αέρια	Σταθμοί Οξυγόνου, Αντλίες Κενού (Triplex), δίκτυα απολιπασμένου χαλκού (ISO 7396-1), BHUs	90.000,00	35.000,00	125.000,00
Ηλεκτρολογικά Ισχύος	Υποσταθμός (M/Σ 2000 kVA), ΓΠΧΤ, Η/Ζ 580 kVA (Doosan), UPS (Liebert APM Plus 100kW), Πυκνωτές	185.000,00	65.000,00	250.000,00
ΣΥΝΟΛΟ CAPEX ΒΑΣΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ		960.000,00	355.000,00	1.315.000,00

Το συνολικό κόστος επένδυσης του βασικού εξοπλισμού, προ Φ.Π.Α. και χωρίς να υπολογίζεται το σύστημα κεντρικού ελέγχου που αναλύεται παρακάτω, εκτιμάται στα 1.315.000,00 €. Η επένδυση αυτή κρίνεται απολύτως δικαιολογημένη για ένα κτίριο υγειονομικού ενδιαφέροντος, καθώς εξασφαλίζει την πλήρη θωράκιση έναντι βλαβών και την ελαχιστοποίηση της μελλοντικής κατανάλωσης πόρων.

5.3 ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ (BMS).

Το Σύστημα Διαχείρισης Κτιρίου (BMS - Building Management System) συνιστά τον ψηφιακό εγκέφαλο του νοσοκομειακού συγκροτήματος και τον κύριο μοχλό για τη δραστική μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος. Σε ένα περιβάλλον όπου οι συνθήκες θερμικής άνεσης και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα πρέπει να τηρούνται με αυστηρότητα βάσει του προτύπου ASHRAE 170, το BMS ξεπερνά τον παραδοσιακό ρόλο της απλής επιτήρησης. Λειτουργεί ως ένας δυναμικός, προγνωστικός μηχανισμός που συλλέγει, αναλύει και προσαρμόζει σε πραγματικό χρόνο τις παραμέτρους λειτουργίας όλων των υποσυστημάτων, μετατρέποντας τις σχεδιαστικές προθέσεις σε μετρήσιμη εξοικονόμηση και ασφάλεια.

Για την υλοποίηση αυτής της στρατηγικής, η αρχιτεκτονική του συστήματος δομήθηκε σε τρία διακριτά επίπεδα (Field Layer, Automation Layer, Management Layer), όπως ακριβώς προστάζουν τα σύγχρονα πρότυπα έξυπνων κτιρίων⁶⁷. Το σύστημα σχεδιάστηκε για να επιτηρεί και να ελέγχει περισσότερα από 400 φυσικά και διαδικτυακά σημεία (data points), κατανομημένα γεωγραφικά στο κτίριο μέσω

πολλαπλών Αυτόνομων Κέντρων Ελέγχου (ΑΚΕ). Η λεπτομερής ανάλυση της καλωδιολίστας και του απαιτούμενου εξοπλισμού αποτελεί τη βάση για τον προϋπολογισμό του συστήματος.

5.3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ (ΑΚΕ).

Ο ελεγκτικός εξοπλισμός δεν τοποθετείται συγκεντρωτικά, αλλά ακολουθεί μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική, εξασφαλίζοντας υψηλή αξιοπιστία. Σε περίπτωση απώλειας επικοινωνίας με τον κεντρικό διακομιστή, κάθε ΑΚΕ διατηρεί την αυτονομία του, συνεχίζοντας να εκτελεί το τοπικό πρόγραμμα ελέγχου. Η ανάλυση των κυριότερων κόμβων έχει ως εξής:

Οι πίνακες ΑΚΕ E1 και ΑΚΕ E2 είναι επιφορτισμένοι με τον κρίσιμο έλεγχο των κεντρικών κλιματιστικών μονάδων (KKM) και των συστημάτων προ κλιματισμού με εναλλάκτες ανάκτησης θερμότητας (VAM). Η στρατηγική ελέγχου περιλαμβάνει τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας τόσο στην προσαγωγή όσο και στην επιστροφή του αέρα (μέσω αισθητηρίων τύπου SHT-1301-UD1). Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην παρακολούθηση της διαφορικής πίεσης στα στάδια φιλτραρίσματος (μέσω πρεσσοστατών και αναλογικών αισθητηρίων PREMASGARD 2121), γεγονός που επιτρέπει στο σύστημα να γνωρίζει επακριβώς τον βαθμό ρύπανσης των σακόφιλτρων³⁸. Αυτό όχι μόνο εξασφαλίζει την ποιότητα του αέρα, αλλά αποτρέπει και την άσκοπη λειτουργία των ανεμιστήρων σε υψηλές στροφές, μειώνοντας την κατανάλωση. Παράλληλα, οι ελεγκτές (όπως ο FX-PCA4911-0, ο οποίος διαθέτει 10 Universal Inputs, 6 Binary Inputs, 4 Binary Outputs και 4 Analog Outputs) ρυθμίζουν με ακρίβεια τις τριόδες αναλογικές βάνες των θερμικών και ψυκτικών στοιχείων και διαχειρίζονται τα διαφράγματα (dampers) για την εκμετάλλευση του εξωτερικού αέρα, όταν οι συνθήκες επιτρέπουν τη λειτουργία Free Cooling.

Οι ηλεκτρικοί πίνακες ΑΚΕ εξυπηρετούν τους ορόφους του κτιρίου, ελέγχοντας τους θαλάμους νοσηλείας, τους ανελκυστήρες και τη διασύνδεση με το δίκτυο των ιατρικών αερίων. Το κρίσιμο στοιχείο εδώ είναι η δικτυακή ολοκλήρωση (Integration). Αντί για δεκάδες αναλογικά καλώδια, η επικοινωνία με τους θερμοστάτες των τοπικών μονάδων Fan Coils (FCUs) γίνεται μέσω πρωτοκόλλου Modbus, χρησιμοποιώντας συσκευές gateway όπως η iSMA-B-8I-IP. Η δικτύωση αυτή επιτρέπει στο BMS να επιτηρεί τις συνθήκες σε κάθε δωμάτιο (π.χ., 40-46 μονάδες FCU ανά όροφο) και να προσαρμόζει τα setpoints κεντρικά. Επιπλέον, κρίσιμα σήματα συναγερμού, όπως η πτώση πίεσης στο δίκτυο οξυγόνου ή ιατρικού κενού, μεταφέρονται άμεσα στο κεντρικό σύστημα για την άμεση ειδοποίηση του τεχνικού προσωπικού⁶⁸.

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας ελέγχονται από τον ΑΚΕ Y1 (Υποσταθμός) και τους ΑΚΕ Y7 & Y8 (Λεβητοστάσιο και Ψυχροστάσιο). Ο ΑΚΕ Y1 διασυνδέεται με τους ψηφιακούς μετρητές ενέργειας (analyzers) του Γενικού Πίνακα Χαμηλής Τάσης (ΓΠΧΤ), παρέχοντας συνεχή καταγραφή των ηλεκτρικών φορτίων και επιτρέποντας την ανάλυση της ποιότητας ισχύος (π.χ., cosφ, αρμονικές). Το λεβητοστάσιο (ΑΚΕ Y7) παρακολουθείται στενά μέσω αισθητηρίων θερμοκρασίας

καυσαερίων (PT1000) και ελέγχου των καυστήρων φυσικού αερίου, βελτιστοποιώντας τη λειτουργία της συμπύκνωσης. Στο Ψυχοστάσιο (AKE Y8), η ενσωμάτωση θερμιδόμετρων (όπως το GMDM-I 1") και η επικοινωνία δεδομένων με τους ψύκτες επιτρέπει στο BMS να υπολογίζει σε πραγματικό χρόνο τον βαθμό απόδοσης (COP/EER) της εγκατάστασης και να επιλέγει τη βέλτιστη αλληλουχία λειτουργίας (sequencing) των μονάδων παραγωγής ψυχρού νερού⁶³. Τέλος, ο πίνακας AKE Y6 (Υδροστάσιο και Ψυροσβεστικό Συγκρότημα) εξασφαλίζει την ομαλή διανομή νερού, παρακολουθώντας τη στάθμη των κεντρικών δεξαμενών μέσω αισθητηρίων υπερήχων (KTU51B0D) και την πίεση λειτουργίας των κυκλωμάτων.

Το ανώτατο επίπεδο (Management Layer) απαρτίζεται από τον Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου, Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζεται μια ενδεικτική καλωδιολίστα για τον πίνακα AKE Y1, αναλύοντας τα σημεία ελέγχου (BMS points) όπου εγκαθίσταται το λογισμικό εποπτείας. Για το έργο αυτό επιλέχθηκε η πλατφόρμα FX80 της Johnson Controls (με άδεια για 5.000 Proxy points), η οποία υποστηρίζεται από το πανίσχυρο λογισμικό Niagara Framework. Μέσω αυτού του συστήματος, ο διαχειριστής της εγκατάστασης έχει πρόσβαση σε διαδραστικά γραφικά, ιστορικά δεδομένα (trend logs) και συστήματα διαχείρισης συναγερμών (alarms).

Πίνακας 5.2: Ενδεικτική καλωδιολίστα του AKE Y1 ανά σημείο BMS.

Περιγραφή	ΣΗΜΕΙΟ	ΟΡΓΑΝΑ	TE	A	AI	D	D/I	Column9	ΚΑΛΩΔΙΟ	ΤΥΠΟΣ
AKE Y1										
Περιγραφή σημείου ελέγχου	Έλεγχος	Όργανο	Τεμ.	A/I	A/O	D/I	D/O	Θέση	Καλώδιο	Τύπος Καλωδίου
Οκλιματισμού με εναλλάκτη θερμότητας με Free Cooling										
Εναλλάκτης αέρα/αέρα	Μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα εισόδου στο χώρο (oC) μετά τον εναλλάκτη πριν τα στοιχεία	SHT-1301-UD1	1	2				Επί του κιβώτιο του εναλλάκτη προς τα στοιχεία	4x1mm ²	LiYCY
	Μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα επιστροφής από το χώρο (oC) πριν τον εναλλάκτη	SHT-1301-UD1	1	2				Στον αεραγωγό επιστροφής πριν τον εναλλάκτη	4x1mm ²	LiYCY
	Μέτρηση θερμοκρασίας αέρα εξόδου (oC) Μετά τον εναλλάκτη προς τον περιβάλλοντα χώρο στο τμήμα απόρριψης	TS-6360D-C10	1	1				Μετά τον εναλλάκτη προς τον περιβάλλοντα χώρο στο τμήμα απόρριψης	2x1mm ²	LiYCY
	Μέτρηση-ένδειξη διαφορικής πίεσης πρό-φίλτρου και έλεγχος (alarm) ρυπαρότητας (Pa)	Από Διαφορικό πρεσοστάτη	1			1		Στο αντίστοιχο κιβώτιο φίλτρου	2x1mm ²	NyLHY
Σακκόφίλτρο	Μέτρηση-ένδειξη διαφορικής πίεσης σακκόφίλτρου και έλεγχος (alarm) ρυπαρότητας (Pa)	PREMASGARD 2121	1	1				Στο αντίστοιχο κιβώτιο φίλτρου	4x1mm ²	LiYCY
Ψυκτικό Στοιχείο	Έλεγχος αναλογικής τριόδου ανάμιξης ψυκτικού στοιχείου (από τη θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου-αεραγωγού επιστροφής). Ενδειξη % ανοικτή	Βάνα	1		1			Επί της βαλβίδας του ψυκτικού στοιχείου νερού	4x1mm ²	LiYCY
Θερμαντικό Στοιχείο	Έλεγχος αναλογικής τριόδου ανάμιξης θερμαντικού στοιχείου (από τη θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου-αεραγωγού επιστροφής). Ενδειξη % ανοικτή	Βάνα	1		1			Επί της βαλβίδας του θερμού στοιχείου νερού	4x1mm ²	LiYCY
Ανεμιστήρας προσαγωγής	Μέτρηση-ένδειξη ταχύτητας ροής και θερμοκρασία στον αεραγωγό προσαγωγής (m/s) / t	AVT υπολογιστικά	1	2				Στον αεραγωγό προσαγωγής σε ευθύγραμμο τμήμα τουλάχιστον 5X της διαγώνιου	4x1mm ²	LiYCY
	Μέτρηση-ένδειξης παροχής στον αεραγωγό προσαγωγής (m ³ /h)									
	Εντολή On/Off ανεμιστήρα προσαγωγής		1				1	Επί του κιβωτίου του ανεμιστήρα	2x1mm ²	NyLHY
	Βλάβη ανεμιστήρα προσαγωγής		1			1		Επί του κιβωτίου του ανεμιστήρα	2x1mm ²	NyLHY
Ανεμιστήρας απόρριψης	Ρύθμιση στροφών ανεμιστήρα προσαγωγής	0-10V	1		1			Επί του κιβωτίου του ανεμιστήρα	2x1mm ²	LiYCY
	Μέτρηση ταχύτητας ροής στον αεραγωγό επιστροφής (m/s)	AVT υπολογιστικά	1	1				Στον αεραγωγό επιστροφής σε ευθύγραμμο τμήμα τουλάχιστον 5X της διαγώνιου	4x1mm ²	LiYCY
	Μέτρηση παροχής στον αεραγωγό επιστροφής (m ³ /h)									
	Εντολή On/Off ανεμιστήρα επιστροφής		1				1	Επί του κιβωτίου του ανεμιστήρα	2x1mm ²	NyLHY
FREE COOLING	Βλάβη ανεμιστήρα επιστροφής		1			1		Επί του κιβωτίου του ανεμιστήρα	2x1mm ²	NyLHY
	Ρύθμιση στροφών ανεμιστήρα επιστροφής	0-10V	1		1			Επί του κιβωτίου του ανεμιστήρα	2x1mm ²	LiYCY
	Έλεγχος dampers για λειτουργία Free Cooling		1			1		Στη θέση του διαφραγμάτος	5x1mm ²	NyLHY
	Ενδειξη θέσης damper		1				1	Στη θέση του διαφραγμάτος		

5.3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ BMS

Βασίζόμενοι στην εκτενή προμέτρηση του εξοπλισμού και των απαιτούμενων εργασιών, ο προϋπολογισμός του συστήματος BMS συντάχθηκε με ακρίβεια. Το κόστος χωρίζεται στον εξοπλισμό πεδίου (αισθητήρια, κινητήρες, βάνες), στους ελεγκτές επιπέδου αυτοματισμού, στον κεντρικό σταθμό διαχείρισης (λογισμικό/άδειες χρήσης) και, φυσικά, στις εργασίες προγραμματισμού, καλωδίωσης και θέσης σε λειτουργία (commissioning)⁶⁹. Η αξία της εργασίας προγραμματισμού (περίπου 14.000 €) αντικατοπτρίζει την τεχνογνωσία που απαιτείται για τη σύνταξη πολύπλοκων

αλγορίθμων ελέγχου, οι οποίοι μεταφράζουν τα φυσικά μεγέθη σε στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας. Ο Πίνακας 5.3 παρουσιάζει το αναλυτικό κόστος του συστήματος BMS (CAPEX).

Πίνακας 5.3: Αναλυτικό κόστος του συστήματος BMS (CAPEX).

A/A	Κατηγορία & Περιγραφή Υλικού / Εργασίας	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος (€)	Συνολική Δαπάνη (€)
1	Αισθητήρια Πεδίου & Μετρητικός Εξοπλισμός			
1.1	Αισθητήρια ταχύτητας αέρα στους αεραγωγούς (AVT)	25	123,19	3.079,75
1.2	Αισθητήρια θερμοκρασίας εμφαπίσεως σωληνώσεων (LP-A99S000-C)	21	26,97	566,29
1.3	Εξωτερικό αισθητήριο θερμοκρασίας/υγρασίας (SHT-1301-UO)	1	145,47	145,47
1.4	Αισθητήρια θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων (A99RY-1C, A99EY-1C)	9	73,61 (M.O.)	702,50
1.5	Αισθητήρια πίεσης υδραυλικών δικτύων (P499VBS-401C, -404C)	11	77,35	850,86
1.6	Αισθητήρια διαφορικής πίεσης αέρα (PREMAGARD 2121)	15	114,70	1.720,45
1.7	Αισθητήρια θερμοκρασίας/υγρασίας αεραγωγών & καυσασείων (SHT-1301-UD1, TS-6360D, PT1000)	26	Διάφορες	4.427,43
1.8	Αισθητήρια στάθμης υπερήχων για δεξαμενές (KTU51B0D)	2	694,98	1.389,95
2	Ελεγκτές Αυτοματισμού (Controllers) & Επεκτάσεις I/O			
2.1	FX-PCA4911-0 (Κύριος ελεγκτής με 10 UI, 6 BI, 4 BO, 4 AO, 4 CO)	14	976,32	13.668,49
2.2	IOM Modules επέκτασης (CH-PCX2723-0, CH-PCX3723-0)	6	206,16 (M.O.)	1.236,95
2.3	iSMA-B-AAC20 (Advanced Application Controller)	5	426,80	2.134,00
2.4	iSMA-B-BHP (Gateway επικοινωνίας Modbus/BACnet TCP/IP)	22	165,60	3.643,16
3	Κεντρικός Σταθμός Διαχείρισης (Supervisory System)			
3.1	FX80 Bundle (JCI Niagara) - Άδεια για 5000 proxy points	1	5.155,36	5.155,36
3.2	FX80 Expansion / Άδειες Analytics (Niagara Analytics)	3	Διάφορες	1.913,99
3.3	Κατασκευή ΑΚΕ κεντρικού ελεγκτή (Hardware πίνακα)	1	252,20	252,20
4	Ενεργοποιητές (Actuators), Βάνες & Λοιπός Εξοπλισμός			
4.1	Τρίοδες αναλογικές βάνες ανάμιξης με κινητήρα (DN65, 2", 1 1/2", 1 1/4")	16	237,15 (M.O.)	3.796,15
4.2	Ηλεκτροβάνες πλήρωσης 2 1/2" & Κινητήρες διαφραγμάτων (Dampner actuators 5-10Nm)	10	Διάφορες	1.356,89
4.3	Θερμιδόμετρο υδραυλικών δικτύων (GMDM-1 1" AC)	1	398,44	398,44
5	Υπηρεσίες Μηχανικού & Commissioning			
5.1	Εργασίες προγραμματισμού, ανάπτυξη γραφικών, Integration & Commissioning	1	14.065,00	14.065,00
6	Ηλεκτρικοί Πίνακες ΑΚΕ & Δίκτυο Καλωδιώσεων			
6.1	Κατασκευή τοπικών πινάκων ΑΚΕ (περιβλήματα, ρελέ, τροφοδοτικά 24VDC)	1	7.500,00	7.500,00
6.2	Δίκτυο καλωδιώσεων (LiYCY, NyLhY, UTP Cat6A), τερματισμοί και εργασία εγκατάστασης	1	6.550,00	6.550,00
ΣΥΝ.	ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ BMS (Προ Φ.Π.Α.)			74.613,31

Το συνολικό κόστος επένδυσης (CAPEX) του συστήματος BMS ανέρχεται στο ποσό των 74.613,31 €. Η αρχιτεκτονική του συστήματος, όπως αναλύθηκε, δεν εστιάζει απλώς στον έλεγχο, αλλά δημιουργεί το υπόβαθρο για μια ολιστική ενεργειακή διαχείριση. Παρότι το ποσό αυτό προστίθεται στον αρχικό προϋπολογισμό της κατασκευής, τα οφέλη που προκύπτουν στη φάση της λειτουργίας, όπως θα τεκμηριωθεί στην ενότητα της οικονομοτεχνικής αξιολόγησης, καθιστούν την επένδυση αυτή μια από τις πλέον αποδοτικές του συνολικού έργου⁶⁹.

5.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (ΟΡΕΧ) ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο πυρήνας της ανάλυσης του Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC) εντοπίζεται στον υπολογισμό των ετήσιων λειτουργικών εξόδων (Operating Expenditure - OPEX). Σε ένα νοσοκομειακό περιβάλλον, το OPEX διαχωρίζεται κυρίως στις δαπάνες για την κατανάλωση ενέργειας (ηλεκτρισμός και καύσιμα) και στα έξοδα συντήρησης των πολύπλοκων συστημάτων. Η αξιολόγηση των μεγεθών αυτών είναι θεμελιώδης για να αντιληφθούμε την αξία των σχεδιαστικών επιλογών που έγιναν στα προηγούμενα στάδια.

5.4.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΕΝΑΚ

Τα νοσοκομειακά κτίρια αποτελούν μια από τις πλέον ενεργοβόρες περιπτώσεις του τριτογενούς τομέα. Οι αυξημένες ανάγκες για αερισμό με 100% νωπό αέρα, ο συνεχής κλιματισμός, η παραγωγή ατμού και ζεστού νερού χρήσης (ZNX), καθώς και ο βαρύς ιατρικός εξοπλισμός, εκτοξεύουν την ενεργειακή ένταση. Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) και τις Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017)²⁹, η μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε τυπικά υφιστάμενα νοσοκομεία στην Ελλάδα συχνά υπερβαίνει τις 350-400 kWh/m², ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνά και τις 740 kWh/m²⁷⁰.

Στην εξεταζόμενη περίπτωση, η συνολική επιφάνεια του 4όροφου νοσοκομειακού συγκροτήματος εκτιμάται στα 4.800 m². Ωστόσο, ο μηχανολογικός σχεδιασμός ενσωμάτωσε προηγμένες πρακτικές παθητικού και ενεργητικού σχεδιασμού. Η χρήση εξαιρετικής αεροστεγανότητας στο κέλυφος, σε συνδυασμό με την εγκατάσταση εναλλακτών ανάκτησης θερμότητας (VAM) με βαθμό απόδοσης άνω του 68% στον αερισμό³⁸, μειώνει δραματικά τα θερμικά και ψυκτικά φορτία. Επιπλέον, οι ψύκτες με υψηλό εποχιακό βαθμό απόδοσης (SEER) και οι λέβητες τεχνολογίας συμπύκνωσης επιτρέπουν τη λειτουργία του συστήματος σε χαμηλές θερμοκρασίες προσαγωγής (π.χ. 45°C για τη θέρμανση), βελτιστοποιώντας την απόδοση (COP)⁶³.

Ως αποτέλεσμα αυτών των παρεμβάσεων, η εκτιμώμενη "βασική" θεωρητική κατανάλωση τελικής ενέργειας (base case) του κτιρίου, δηλαδή η κατανάλωση χωρίς τη συμβολή των προηγμένων αλγορίθμων του BMS, υπολογίζεται στο πολύ ικανοποιητικό επίπεδο των 220 kWh/m²/έτος. Ο επιμερισμός αυτής της κατανάλωσης ανά πηγή ενέργειας, βασιζόμενος στο προφίλ φορτίου ενός τυπικού νοσοκομείου⁷¹, εκτιμάται ως εξής:

- Ηλεκτρική Ενέργεια (Ψύξη, ανεμιστήρες, κυκλοφορητές, φωτισμός, ιατρικός εξοπλισμός): 140 kWh/m²/έτος. Για τα 4.800 m², η ετήσια κατανάλωση ανέρχεται σε **672.000 kWh/έτος**.
- Φυσικό Αέριο (Θέρμανση χώρων, παραγωγή ZNX, αποστείρωση): 80 kWh/m²/έτος. Η αντίστοιχη ετήσια κατανάλωση διαμορφώνεται στις **384.000 kWh/έτος**.

5.4.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για τη μετατροπή της καταναλισκόμενης ενέργειας σε χρηματικό κόστος, χρησιμοποιούνται τα επικαιροποιημένα εμπορικά τιμολόγια που ισχύουν στην ελληνική αγορά (με αναφορά στην περίοδο 2025/2026).

Ηλεκτρική Ενέργεια: Η νοσοκομειακή μονάδα τροφοδοτείται μέσω του ιδιωτικού της Υποσταθμού (Μ/Σ 2000 kVA). Επομένως, υπάγεται σε επαγγελματικά τιμολόγια για παροχές ισχύος μεγαλύτερες των 25 kVA (όπως το αντίστοιχο τιμολόγιο Γ22 της ΔΕΗ)³⁶. Η μέση χρέωση της καταναλισκόμενης ενέργειας (συμπεριλαμβανομένων των ρυθμιζόμενων χρεώσεων δικτύου και ΥΚΩ) εκτιμάται σε 0,15 €/kWh. Επιπρόσθετα, υπάρχει η χρέωση ισχύος (capacity charge), η οποία επιβάλλεται βάσει της μέγιστης μηνιαίας ζήτησης (peak demand) και ανέρχεται σε 2,2 €/kW/μήνα. Η πάγια μηνιαία χρέωση ανέρχεται σε 5,00 €.

Φυσικό Αέριο: Ως βιομηχανικός/εμπορικός καταναλωτής, το νοσοκομείο απολαμβάνει ευνοϊκότερη τιμολόγηση. Η συνολική τελική τιμή προμήθειας και χρήσης δικτύου διανομής εκτιμάται μεσοσταθμικά στα 0,08 €/kWh.

5.4.3 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΡΙΝ ΤΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΕΙΣ (BASE CASE - BMS CLASS C)

Για να κατανοήσουμε την αξία του συστήματος αυτοματισμού που μελετήσαμε, οφείλουμε αρχικά να κοστολογήσουμε τη λειτουργία του κτιρίου υπό ένα συμβατικό καθεστώς. Έστω ότι το νοσοκομείο λειτουργούσε με έναν τυπικό, απλό αυτοματισμό (ο οποίος αντιστοιχεί στην Κλάση C του προτύπου ISO 52120-1)⁶⁹. Σε αυτή την περίπτωση, η λειτουργία των συστημάτων γίνεται κυρίως με χρονοπρογράμματα, χωρίς προσαρμογή στα πραγματικά φορτία και την πληρότητα των χώρων⁷².

- Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας: $672.000\text{kWh} \times 0.15 \text{ €/kWh} = 100.800\text{€}$
- Χρέωση Ισχύος: Με μια εκτιμώμενη μέγιστη μηνιαία αιχμή ζήτησης της τάξης των 350 kW, το κόστος ανέρχεται σε:
 $350\text{kWh} \times 2.2\text{€/kW} \times 12 \text{ μήνες} = 9.240\text{€}$
- Κόστος Φυσικού Αερίου: $384\text{kWh} \times 0.08\text{€/kWh} = 30.720\text{€}$
- Συνολικό Ετήσιο Ενεργειακό Κόστος (Base Case): **140.760 €/έτος**.

5.4.4 ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (MAINTENANCE OPEX)

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός ενός νοσοκομείου είναι εξαιρετικά πολύπλοκος και η συντήρησή του δεν επιδέχεται εκπτώσεις, καθώς άπτεται της ασφάλειας των ασθενών. Για παράδειγμα, το δίκτυο των ιατρικών αερίων απαιτεί αυστηρούς ελέγχους και πιστοποιήσεις διαρροών βάσει του ISO 7396-1⁶⁶. Αντίστοιχα, τα φίλτρα HEPA πρέπει να ελέγχονται τακτικά, και οι εφεδρικές μηχανές (όπως η αντλία Diesel του πυροσβεστικού και το H/Z) οφείλουν να δοκιμάζονται περιοδικά (zero-flow tests).

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία της ανάλυσης LCC και έρευνες στον κλάδο του facility Management νοσοκομειακών μονάδων, ο ετήσιος προϋπολογισμός για την προληπτική

και διορθωτική συντήρηση (parts & labor) του Η/Μ εξοπλισμού εκτιμάται τυπικά στο 2,5% έως 3,5% του αρχικού κεφαλαίου κατασκευής (CAPEX). Υιοθετώντας τον μέσο όρο του 3% επί του CAPEX των 1.315.000 € (Πίνακας 5.1), το ετήσιο κόστος συντήρησης διαμορφώνεται:

$$CM, base = 1.315.000€ \times 3\% = \frac{39.450€}{\text{έτος}}$$

5.4.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΕΣΩ BMS (ΠΡΟΤΥΠΟ ISO 52120-1).

Η μετάβαση από ένα συμβατικό σύστημα ελέγχου (Class C) σε ένα έξυπνο Σύστημα Διαχείρισης Κτιρίου (Class A), όπως αυτό που περιεγράφηκε αναλυτικά στην καλωδιολίστα της μελέτης, επιφέρει ριζικές αλλαγές στο ενεργειακό προφίλ του κτιρίου. Το διεθνές πρότυπο EN ISO 52120-1:2021 (το οποίο αντικατέστησε το παλαιότερο EN 15232) παρέχει μια τεκμηριωμένη και τυποποιημένη μεθοδολογία για τον υπολογισμό της επιρροής των συστημάτων κτιριακού αυτοματισμού (BACS) στην ενεργειακή απόδοση⁶⁷.

Το πρότυπο κατατάσσει τα συστήματα BACS σε τέσσερις κλάσεις απόδοσης, από την ενεργειακά αναποτελεσματική Κλάση D έως την Κλάση A, η οποία αντιπροσωπεύει συστήματα «υψηλής ενεργειακής απόδοσης» (High Energy Performance BACS)⁶⁷. Η εγκατάσταση που σχεδιάσαμε ικανοποιεί πλήρως τις απαιτήσεις της Κλάσης A. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συνεχούς παρακολούθησης των παραμέτρων άνεσης και της εφαρμογής ελέγχου βάσει ζήτησης (Demand-Controlled Ventilation - DCV). Για παράδειγμα, το σύστημα δεν παρέχει σταθερή παροχή νωπού αέρα, αλλά τη μεταβάλλει δυναμικά ρυθμίζοντας τις στροφές των ανεμιστήρων (μέσω Inverter), αναλύοντας τα δεδομένα ποιότητας αέρα. Επιπρόσθετα, το BMS επιτυγχάνει θερμοκρασιακή ολίσθηση (setpoint adjustment) στους χώρους όταν αυτοί δεν είναι κατειλημμένοι, ενώ παράλληλα ελέγχει κεντρικά την αλληλουχία λειτουργίας των ψυκτών, διατηρώντας τους στο βέλτιστο εύρος του εποχιακού βαθμού απόδοσης (SEER)⁶⁹.

5.4.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΕΩΝ (OPEX ME BMS CLASS A)

Η στατιστική μεθοδολογία του ISO 52120-1 (BACS efficiency factor method) αποδεικνύει ότι για κτίρια τύπου νοσοκομείων (όπου η λειτουργία είναι 24ωρη και τα φορτία υψηλά), η αναβάθμιση από την Κλάση C στην Κλάση A επιφέρει μια μέση μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας για HVAC και φωτισμό της τάξης του 18% έως 25%⁶⁷.

Εφαρμόζοντας έναν συντηρητικό συντελεστή εξοικονόμησης 18% επί των αρχικών υπολογισμών, προκύπτουν τα εξής οφέλη:

- Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής Ενέργειας: $100.800€ \times 18\% = 18.144€$
- Εξοικονόμηση Φυσικού Αερίου: $30.720€ \times 18\% = 5.530€$
- Συνολική Ετήσια Εξοικονόμηση Ενέργειας: 23.674 €/έτος.

Αντίστοιχα, το νέο μειωμένο ενεργειακό κόστος διαμορφώνεται πλέον στα **117.086€** ετησίως.

Οι συνέπειες του BMS, όμως, δεν περιορίζονται μόνο στην ενέργεια. Το σύστημα λειτουργεί ως πλατφόρμα Διαγνωστικής Συντήρησης (Fault Detection and Diagnostics - FDD). Καταγράφοντας τις ώρες λειτουργίας των μηχανημάτων, ανιχνεύοντας μη φυσιολογικές πτώσεις πίεσης στα δίκτυα ή αυξημένες τριβές στα φίλτρα μέσω των διαφορικών πρεσσοστατών⁷³, το σύστημα ειδοποιεί το τεχνικό προσωπικό πριν επέλθει καταστροφική βλάβη. Σύμφωνα με πρακτικές Facility Management, η μετάβαση από την αντιδραστική (reactive) στην προβλεπτική (predictive) συντήρηση μέσω εργαλείων BACS μειώνει το κόστος συντήρησης κατά περίπου 10%⁷⁴. Κατά συνέπεια, το ετήσιο OPEX συντήρησης μειώνεται από 39.450 € σε 35.505 €, προσφέροντας μια έμμεση εξοικονόμηση 3.945 €/έτος.

Το Συνολικό Ετήσιο Όφελος Ρευστότητας (Cash Flow Savings) για το νοσοκομείο, ως άμεσο αποτέλεσμα της εφαρμογής του BMS Κλάσης A, ανέρχεται σε:

$$23.674€ \text{ (Ενέργεια)} + 3.945€ \text{ (Συντήρηση)} = 27.619€/έτος.$$

5.5 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΤΟ BMS (ROI & NPV)

Έχοντας καθορίσει την αρχική επένδυση του συστήματος ελέγχου (CAPEX = 74.613,31 €, βάσει του Πίνακα 5.3) και τις ετήσιες εξοικονομήσεις, προχωρούμε στην αξιολόγηση της επένδυσης χρησιμοποιώντας τους καθιερωμένους δείκτες οικονομικής αποδοτικότητας.

Απλή Περίοδος Αποπληρωμής: Ο δείκτης αυτός εκφράζει τον χρόνο που απαιτείται για να ανακτηθεί το αρχικό κεφάλαιο από τις καθαρές ταμειακές εισροές (εξοικονομήσεις)⁶⁷.

$$Payback = \frac{CAPEX_{bms}}{Annual Savings} = \frac{74.613,31€}{27.619€/έτος} \approx 2,7 \text{ έτη}$$

Ο χρόνος απόσβεσης των 2,7 ετών είναι εντυπωσιακά μικρός. Στα κτιριακά έργα υποδομής, επενδύσεις που αποσβένονται σε λιγότερο από 5 έτη θεωρούνται εξαιρετικά κερδοφόρες και χαμηλού ρίσκου⁶⁷.

Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value - NPV): Η μέθοδος NPV λαμβάνει υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος, προσφέροντας μια πιο ρεαλιστική εικόνα της κερδοφορίας σε βάθος χρόνου. Θεωρώντας ως λογικό κύκλο ζωής του ηλεκτρονικού εξοπλισμού BMS την 15ετία (N=15έτη)⁷⁵ και εφαρμόζοντας ένα συντηρητικό προεξοφλητικό επιτόκιο $r = 5\%$, ο υπολογισμός έχει ως εξής⁵⁸:

$$NPV = \sum_{t=1}^{15} \frac{Cash\ Flow}{(1 + r)^t} - CAPEX_{bms}$$

$$NPV = \sum_{t=1}^{15} \frac{27619}{(1 + 0.05)^t} - 74.613,31$$

Ο συντελεστής παρούσας αξίας ράντας για 15 έτη με 5% ισούται περίπου με 10,3812.
Συνεπώς:

$$NPV = 27.619 \times 10,38 - 74.613,31$$

$$NPV = 286.685,22 - 74.613,31 = 212.071,91\text{€}$$

Η ανάλυση καταδεικνύει ότι το Καθαρό Παρόν Όφελος υπερβαίνει τις 212.000 €. Αυτό αποδεικνύει πέραν πάσης αμφιβολίας ότι η εγκατάσταση ενός προηγμένου συστήματος ελέγχου BACS Κλάσης Α δεν αποτελεί απλώς μια προσθήκη πολυτελείας ή μια «καλή πρακτική», αλλά μια επιβεβλημένη οικονομική στρατηγική. Η επένδυση χρηματοδοτεί πλήρως τον εαυτό της, απελευθερώνοντας σημαντικούς οικονομικούς πόρους οι οποίοι μπορούν να διοχετευθούν στην αναβάθμιση των καθαρά ιατρικών και νοσηλευτικών υπηρεσιών του νοσοκομείου.

6 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στην εκπόνηση ενός ολοκληρωμένου ηλεκτρομηχανολογικού σχεδιασμού για ένα σύγχρονο νοσοκομειακό συγκρότημα. Ο σχεδιασμός τέτοιων υποδομών αποτελεί μια από τις πλέον απαιτητικές προκλήσεις της μηχανικής, καθώς απαιτείται η επίτευξη μιας λεπτής, αλλά κρίσιμης, ισορροπίας: της απόλυτης και αδιαπραγμάτευτης διασφάλιση της υγείας, της άνεσης και της ασφάλειας των ασθενών και του ιατρικού προσωπικού, από τη μία πλευρά, και από την άλλη, η επιτακτική ανάγκη για ριζική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και του λειτουργικού κόστους.

Μέσα από την αναλυτική μελέτη των συστημάτων κλιματισμού, αερισμού, ύδρευσης, πυρόσβεσης, ιατρικών αερίων και ελέγχου, εξάγονται πολύτιμα συμπεράσματα που επιβεβαιώνουν ότι η τεχνολογική πρόοδος καθιστά εφικτή την επίτευξη και των δύο αυτών φαινομενικά αντικρουόμενων στόχων.

6.1 ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ASHRAE 170

Στο περιβάλλον μιας μονάδας υγείας, το σύστημα κλιματισμού και αερισμού (HVAC) δεν έχει ως πρωταρχικό σκοπό την απλή θερμική άνεση, αλλά λειτουργεί ως το βασικό μέσο ελέγχου και πρόληψης των ενδονοσοκομειακών λοιμώξεων (Healthcare-Associated Infections - HAIs).

Η μελέτη κατέδειξε την απόλυτη αναγκαιότητα αυστηρής συμμόρφωσης με το διεθνές πρότυπο ASHRAE 170 (Ventilation of Health Care Facilities)⁶². Ο σχεδιασμός ενσωμάτωσε προσεκτικά τις οδηγίες του προτύπου σχετικά με τους ελάχιστους ρυθμούς ανανέωσης αέρα (Air Changes per Hour - ACH). Στους χώρους ημερήσιας νοσηλείας εξασφαλίστηκαν οι απαραίτητες εναλλαγές νωπού αέρα, ενώ αναδείχθηκε η κρισιμότητα των διαφορικών πιέσεων (Cascading Pressure Design). Για παράδειγμα, η διατήρηση θετικής πίεσης σε ευαίσθητους χώρους, προκειμένου να αποτρέπεται η εισροή μολυσμένου αέρα από τους διαδρόμους, αποτελεί θεμελιώδη σχεδιαστική παράμετρο.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στον καθαρισμό του αέρα. Η εφαρμογή συστημάτων φιλτραρίσματος πολλαπλών σταδίων, ξεκινώντας από πρόφιλτρα (MERV 8), προχωρώντας σε σακόφιλτρα υψηλής απόδοσης (MERV 14 έως MERV 16, ανάλογα με την κρισιμότητα του χώρου) και καταλήγοντας σε απόλυτα φίλτρα HEPA στην απόρριψη του αέρα από τον χώρο χειρισμού κυτταροστατικών φαρμάκων, θωρακίζει το κτίριο έναντι αερογενών παθογόνων μικροοργανισμών. Η επιλογή αυτή, αν και αυξάνει τη στατική πίεση (pressure drop) που καλούνται να υπερνικήσουν οι ανεμιστήρες, αντιμετωπίστηκε αποτελεσματικά με τη χρήση ηλεκτροκινητήρων

τεχνολογίας EC (Electronically Commutated) στις Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες, διατηρώντας την κατανάλωση σε λογικά πλαίσια.

Παράλληλα, η ασφάλεια των ασθενών διασφαλίστηκε και στα υπόλοιπα δίκτυα υποστήριξης της ζωής (Life Support Systems). Το δίκτυο ιατρικών αερίων σχεδιάστηκε με αυστηρή προσήλωση στο πρότυπο ISO 7396-1, ενσωματώνοντας πλεονασμό (redundancy) μέσω του τριπλού συστήματος (triplex) αντλιών κενού και της συστοιχίας φιαλών οξυγόνου²⁵. Η αρχιτεκτονική N+1 εφαρμόστηκε και στις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, με την απρόσκοπτη μεταγωγή στο Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος 580 kVA και τη χρήση συστημάτων UPS τεχνολογίας Double Conversion (True On-Line), διασφαλίζοντας την αδιάλειπτη τροφοδοσία του ευαίσθητου ιατρικού και πληροφοριακού εξοπλισμού⁶⁵.

6.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ (LCC)

Η πρόκληση της δημιουργίας ενός κτιρίου με Χαμηλό Ενεργειακό Αποτύπωμα απαντήθηκε μέσα από μια ολιστική προσέγγιση σχεδιασμού (holistic design approach). Αρχικά, η παθητική θωράκιση του κτιρίου, με έμφαση στην αεροστεγανότητα και τη θερμομόνωση, ελαχιστοποίησε τις βασικές απώλειες. Στο ενεργητικό επίπεδο, η εφαρμογή ενός τετρασωλήνιου συστήματος με τοπικές μονάδες Fan Coils νερού εξασφάλισε τη βέλτιστη προσαρμογή στις μικροκλιματικές απαιτήσεις κάθε ζώνης, αποτρέποντας τη χρήση ενεργοβόρων ψυκτικών ρευστών εντός των θαλάμων. Η παραγωγή ενέργειας βασίστηκε σε υδρόψυκτους και αερόψυκτους ψύκτες με εξαιρετικά υψηλό Εποχιακό Βαθμό Απόδοσης (SEER) και σε λέβητες συμπύκνωσης φυσικού αερίου, οι οποίοι, λειτουργώντας σε χαμηλές θερμοκρασίες προσαγωγής, αγγίζουν βαθμούς απόδοσης άνω του 100% (σε σχέση με την κατώτερη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου)⁶³. Οι καινοτομίες στα δίκτυα διανομής, όπως η χρήση σωληνώσεων PP-RCT, μείωσαν κατακόρυφα τις υδραυλικές αντιστάσεις. Σε συνδυασμό με τους κυκλοφορητές τεχνολογίας μόνιμων μαγνητών (κλάσης υπερ-υψηλής απόδοσης IE5) και τις δυνατότητες προσαρμογής των στροφών τους (Inverter), το κόστος άντλησης συμπίεστηκε σε πρωτοφανή επίπεδα.

Η Οικονομοτεχνική Ανάλυση (Κεφάλαιο 5), βασισμένη στη μεθοδολογία του Κόστους Κύκλου Ζωής (ISO 15686-5), αποτέλεσε το εργαλείο επικύρωσης αυτών των σχεδιαστικών επιλογών. Αποδείχθηκε τεκμηριωμένα ότι στο περιβάλλον ενός νοσοκομείου, τα ετήσια λειτουργικά κόστη (OPEX) της ενέργειας και της συντήρησης κυριαρχούν έναντι του αρχικού κόστους εγκατάστασης (CAPEX). Η επιλογή ακριβότερου, αλλά ενεργειακά ανώτερου εξοπλισμού, δεν αποτελεί απλώς περιβαλλοντική συνείδηση, αλλά τον μοναδικό δρόμο για τη διασφάλιση της μακροχρόνιας οικονομικής βιωσιμότητας της νοσοκομειακής δομής.

6.3 Ο ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (BMS)

Το καθοριστικότερο ίσως συμπέρασμα της μελέτης είναι ότι οι παθητικές λύσεις και ο αποδοτικός εξοπλισμός δεν επαρκούν από μόνα τους. Ο συντονισμός, η εποπτεία και

η δυναμική βελτιστοποίησή τους απαιτούν μια προηγμένη ψηφιακή υποδομή. Η λεπτομερής ανάπτυξη και κοστολόγηση του Συστήματος Διαχείρισης Κτιρίου (BMS), βασισμένη σε ένα εκτεταμένο δίκτυο αισθητήρων και ελεγκτών ανοιχτής αρχιτεκτονικής, ανέδειξε τον ρόλο του ως τον «εγκέφαλο» της εγκατάστασης.

Η ευθυγράμμιση του σχεδιασμού μας με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN ISO 52120-1 και η επίτευξη της ανώτατης Κλάσης A (High Energy Performance BACS) αποδεικνύουν στην πράξη ότι ο σύγχρονος αυτοματισμός μεταφράζεται σε άμεσο οικονομικό όφελος⁶⁷. Αντί να λειτουργεί το κτίριο «τυφλά» βάσει σταθερών ωραρίων, το BMS του προσδίδει ευφυΐα. Διαβάζει τα επίπεδα πληρότητας και CO₂, ενεργοποιεί τον φυσικό δροσισμό (Free Cooling) ανοιγοκλείνοντας τα διαφράγματα ανάλογα με την ενθαλπία του εξωτερικού αέρα, ρυθμίζει δυναμικά τις παροχές των αντλιών (Δp-v control) και διαχειρίζεται το Cascading των ψυκτών.

Η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης (NPV, ROI) επιβεβαιώνουν ότι η απόσβεση ενός πλήρους συστήματος BMS Κλάσης A επέρχεται σε λιγότερο από τρία έτη, μειώνοντας την ετήσια κατανάλωση κατά περίπου 18%⁶⁷. Παράλληλα, τα δεδομένα (Big Data) που συλλέγει ακατάπαυστα το BMS αποτελούν το θεμέλιο για την εφαρμογή του προτύπου ενεργειακής διαχείρισης ISO 500014. Η μετάβαση από τη διαίσθηση στη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων (data-driven decision making) είναι η ουσία του ψηφιακού μετασχηματισμού των κτιρίων.

6.4 ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Κλείνοντας, ο ηλεκτρομηχανολογικός σχεδιασμός που παρουσιάστηκε αποτελεί μια ρεαλιστική και τεχνολογικά ώριμη πρόταση για το παρόν. Ωστόσο, θέτει και τα θεμέλια για το μέλλον.

Οι μελλοντικές επεκτάσεις ενός τέτοιου συγκροτήματος περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning) εντός του BMS⁶⁹. Η δημιουργία ενός "Ψηφιακού Διδύμου" (Digital Twin) του νοσοκομείου θα επέτρεπε στο σύστημα όχι μόνο να αντιδρά, αλλά να προβλέπει τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου βάσει μετεωρολογικών προγνώσεων (predictive weather control) και να προειδοποιεί το τεχνικό προσωπικό για επερχόμενες αστοχίες του εξοπλισμού (predictive maintenance)⁶⁹. Επιπλέον, η σύζευξη των συστημάτων ελέγχου (BACnet/IP) με τα συστήματα πληροφορικής του νοσοκομείου (HIS/PACS) μπορεί να συγχρονίσει τη λειτουργία των μηχανημάτων (π.χ., μαγνητικών τομογράφων, κλιβάνων) με το πραγματικό ημερήσιο πρόγραμμα των ασθενών, ελαχιστοποιώντας την άσκοπη λειτουργία (Standby losses).

Εν κατακλείδι, η μηχανική των νοσοκομειακών εγκαταστάσεων είναι μια επιστήμη βαθιά ανθρωποκεντρική. Οι σωληνώσεις, οι αεραγωγοί, τα καλώδια και οι αλγόριθμοι που μελετήθηκαν σε αυτή την εργασία δεν είναι αυτοσκοπός. Είναι τα συστήματα υποστήριξης της ζωής που εξασφαλίζουν ότι οι ιατροί μπορούν να ασκήσουν το λειτούργημά τους απερίσπαστοι και οι ασθενείς να αναρρώσουν σε ένα ασφαλές, καθαρό και θεραπευτικό περιβάλλον. Όταν αυτός ο στόχος επιτυγχάνεται με σεβασμό

στους φυσικούς και οικονομικούς πόρους, τότε ο μηχανολογικός σχεδιασμός έχει εκπληρώσει την ύψιστη αποστολή του απέναντι στην κοινωνία και το περιβάλλον.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 - KENAK, https://www.kenak.gr/files/TOTEE_20701-1_2017.pdf
2. TOTEE-20701-1-Final-TEE-3rd edition, http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tpree/tottee/TOTEE-20701-1-Final-%D4%CE%95%CE%9D%CE%91%CE%9A_EnergyAudits%20TOTEE/TOTEE?page=1
3. TOTEE - IsZEB, https://iszeb.gr/files/legislation/greek_legislation/%CE%9A%CE%95%CE%9D%CE%91%CE%9A_EnergyAudits%20TOTEE/TOTEE?page=1
4. TOTEE 2421/86, https://web.tee.gr/wp-content/uploads/tottee_2421_2_86.pdf
5. Ποιά η διαφορά μεταξύ δισωλήνιου και τετρασωλήνιου fan coil στα συστήμ - Inventor, <https://www.inventoraircondition.gr/blog/syxnes-erotiseis-kai-apantiseis/poia-i-diafora-metaksy-disoliniou-kai-tetrasoliniou-fan-coil-sta-systimata-klimatismou-aeros-nerou>
6. Fan Coil με Αντλία Θερμότητας: Πλήρης Θέρμανση - Ψύξη για Όλο το Χρόνο - Vimax.gr, <https://vimax.gr/blog/fan-coil-me-antlia-thermotitas>
7. ΟΔΗΓΟΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ - Υπηρεσία Ενέργειας, <https://www.energy.gov.cy/assets/modules/wnp/articles/202303/116/docs/odigosepitheorisissistima-ton.pdf>
8. τ-02. τεχνικές προδιαγραφές signed, https://www.ppel.gov.gr/wp-content/uploads/2025/10/%CE%A4-02.-%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%95%CE%A3-%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%94%CE%99%CE%91%CE%93%CE%A1%CE%91%CE%A6%CE%95%CE%A3_SIGNED.pdf
9. Λέβητας Αερίου για 120 τ.μ.: Πλήρης Οδηγός Επιλογής & Μεγέθους - Dropfix, <https://www.dropfix.gr/levitas-aeriu-120-tetragonika-odigos-megethos-kostos-el/>
10. boiler - Λέβητες Αερίου - BestPrice.gr, https://www.bestprice.gr/cat/2459/levites/f/2598_4/aerio.html?q=boiler
11. Επίτοιχοι λέβητες φυσικού αερίου-υγραερίου - ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ - ΥΓΡΑΕΡΙΟ - Kanellakis B2B, <https://b2b.kanellakis-sa.gr/thermansifysiko-aerio-ygraerio/epitoichoi-lebites-fusikou-aeriu-ugraeriu.html>
12. Τεχνική Οδηγία TOTEE 2423/86 - Συλλογικό - 9789607018410 | Protoporia.gr, <https://www.protoporia.gr/sullogiko-texniki-odigia-tottee-2423-86-115834.html>
13. Κλιματισμός κτιριακών χώρων 2423-86 | PDF - Scribd, <https://www.scribd.com/doc/197413440/%CE%9A%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CE%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82-%CE%BA%CF%84%CE%B9%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CF%87%CF%8E%CF%81%CF%89%CE%BD-2423-86>
14. ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ, <https://www.venizeleio.gr/odigies-gia-tin-chrisi-toy-klimatismoy-stoys-choroys-toy-nosokomeiou/>
15. tottee 2423/86, https://web.tee.gr/wp-content/uploads/tottee_2423_86.pdf
16. ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ Υπολογισμός Εγκατ/σης Μονοσωλήνιου, https://www.chania.gr/wp-content/uploads/2020/12/55/39052/meleti_thermansis-1.pdf
17. [unknown url](#)
18. ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ: ΕΗ1/0/119/88 Έγκριση τεχνικής οδηγίας που αφορά, <https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/177-88.1110972382367.pdf>
19. PPR Pipes Manufacturer | PP RCT Pipes and Fittings | MPI, <https://www.mpi.ae/en/products/pp-r-pp-rct-pipes-fittings.html>
20. The Best Practices for Supporting and Clipping PPR Pipes - IFAN Manufacturer, <https://www.waterpipefactory.com/knowledge/the-best-practices-for-supporting-and-clipping-ppr-pipes/>
21. PPR Piping System Specification & B2B Wholesale Pricing Guide - Ctube, <https://www.ctube-gr.com/news/the-science-behind-ppr-pipe-benefits-a-comprehensive-analysis-for-professionals.html>

22. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ II 3 3,
http://www.epalsyrou.gr/ylikomath/mhxanologia/psiktikoi/egkatastaseis_klimatismoy/biblio_egkatastaseis_klimatismou_g_epal.pdf
23. ΤΙΜΟΚΑΤΑΛΟΓΟΣ - IDATOR, <https://www.idator.gr/wp-content/uploads/2022/12/idator-price-list-2022.pdf>
24. Grundfos Magna1: Electronic Circulators for Large Systems - Ar-Storeshop, <https://ar-storeshop.com/gb/35089-grundfos-magna-1-pumps>
25. ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΡΑΣ ΚΑΜΙΝΑΔΑ TALE 915 MAYRO MAT FRANKE - Παράβαλος, <https://paravalos.gr/aporrofitiras-kaminada-tale-915-mayro-mat-franke-2/>
26. Carrier 42N Idrofan Fan Coil Overview | PDF - Scribd, <https://www.scribd.com/document/268237804/42N-data>
27. Carrier 42N Fan Coil Unit Overview | PDF | Thermostat | Electric Heating - Scribd, <https://www.scribd.com/document/640950301/Carrier-Room-fan-coils-42N>
28. FWV-D - Daikin Applied Europe, <https://www.daikinapplied.eu/products/fwv-d>
29. Fan coil Daikin FWV-D - Ecovent, <https://ecovent.com.mk/wp-content/uploads/2022/08/Fan-coil-Daikin-FWV-D-1.pdf>
30. Hydronic Cassette Fan Coil Units Guide | PDF | Thermostat | Vacuum Tube - Scribd, <https://www.scribd.com/document/867949606/FCU-SPEC>
31. Νόσος των λεγεωναρίων ή «νόσος των κλιματιστικών» - Metropolitan Hospital, <https://www.metropolitan-hospital.gr/el/metropolitan-blog/%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%80%CE%BD%CE%B5%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CF%8C%CF%83%CE%BF%CF%82-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%BD%CE%B1%CF%81%CE%AF%CF%89%CE%BD-%CE%AE-%C2%AB%CE%BD%CF%8C%CF%83%CE%BF%CF%82-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD%C2%BB>
32. Νόσος των Λεγεωνάριων: όλα όσα πρέπει να γνωρίζετε! | Διαγνωστική Αθηνών, <https://athenslab.gr/blog/diagnostikes-exetaseis-diagnostictests/nosos-ton-legeonarian-ola-osa-prepei-na-gnorizete>
33. FWV-DAT | Daikin, https://www.daikin.eu/en_us/products/product.table.html/FWV-DAT.html
34. Syntiritis - Νομοθεσία - Συντηρητών Καυστήρων και, <https://www.syntiritis.gr/nomothesia/>
35. 1 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ Γρ - Περιφέρεια Αττικής, <https://www.patt.gov.gr/wp-content/uploads/2026/03/%CE%91%CF%80%CE%BF%CF%86.-47-%CE%9C%CE%A0%CE%95-%CE%94%CE%99%CE%9A%CE%91%CE%A3%CE%A4.-%CE%A3%CE%A9%CE%A6%CE%A1.-%CE%A3%CE%A5%CE%93%CE%9A%CE%A1.-%CE%91%CE%98%CE%97%CE%9D%CE%A9%CE%9D-%CE%91%CE%A3%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A0%CE%A5%CE%A1%CE%93%CE%9F%CE%A3.pdf>
36. Grundfos Magna1 25-80 99221213 - Anglian Pumping Services, <https://www.anglianpumping.com/product/circulating-pumps/magna-1-25-80/>
37. How Hospitals Can Save Big with Air-to-Water Waste Heat Recovery – ENERVEX <https://enervex.com/insights/how-hospitals-can-save-big-with-air-to-water-waste-heat-recovery>
38. HEALTHCARE-FACILITIES-ASHRAE, https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/si_a19_ch09healthcarefacilities.pdf
39. Wastewater reuse from hemodialysis section by combination of coagulation and ultrafiltration processes: case study in Saveh-Iran https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_193_papers/193_2020_274.pdf
40. Din 1988 3 PDF - Scribd, <https://www.scribd.com/document/453014408/DIN-1988-3-pdf>
41. TECHNICAL PASSPORT OF THE PRODUCT Polypropylene pipe PP-R PN20 Raftec, https://raftec.eu/image/catalog/documentations/new_complect/pn20-rppn20_en_20_01_2025.pdf

42. TOTEE 2411/86, https://web.tee.gr/wp-content/uploads/totee_2411_86.pdf
43. PoolFiltration:Fluidra
<https://www.fluidra.com/wp-content/uploads/2025/06/Pool-filtration-EN.pdf>
44. Duplex Water Softener Overview | PDF – Scribd
<https://www.scribd.com/document/536637163/Duplex-Softeners>
45. Π.Δ. 41/2018 (ΦΕΚ 80/Α/07-05-2018): Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων. (Άρθρο 5: Υγεία και Κοινωνική Πρόνοια, Κατηγορία Ε1).
46. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2451/86: Εγκαταστάσεις σε Κτίρια - Μόνιμα πυροσβεστικά συστήματα με νερό.
47. Grundfos Product Center: Τεχνικό Φυλλάδιο και Καμπύλες Απόδοσης Υδραυλικού Συγκροτήματος Hydro EN 50-250/249 S2JS ADL-U1, 50 Hz (Κωδ. Προϊόντος: 99843958). <https://product-selection.grundfos.com/products/hydro-en/hydro-en-50-250-99843958?pumpsystemid=2921179935&tab=variant-curves>
48. ISO 7396-1: Το κορυφαίο διεθνές πρότυπο για το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τον έλεγχο δικτύων ιατρικών αερίων
49. ΕΛΟΤ EN 13348: Το αυστηρό ευρωπαϊκό πρότυπο για τους απολιπασμένους χαλκοσωλήνες ιατρικής χρήσης
50. HTM 02-01 (Health Technical Memorandum): Οι βρετανικές οδηγίες που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για τους μαθηματικούς υπολογισμούς των ετεροχρονισμένων παροχών (diversified flows) στα νοσοκομεία
51. ΕΛΟΤ HD 384 (IEC 60364): Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις - Κανόνες και πρότυπα διανομής.
52. Τεχνική Προδιαγραφή H/Z: ECOGEN D580E (Κινητήρας DOOSAN DP158LD V-8), Πέτρος Πετρόπουλος Α.Ε.Β.Ε..
53. Τεχνικό Εγχειρίδιο Αντλιών: Grundfos Product Center, Hydro EN 50-250 (Κωδ. 99843958), MAGNA3 65-150 F (Κωδ. 97924299) & TPE 100-200/4 (Κωδ. 99113821).
54. Τεχνικές Προδιαγραφές Εξοπλισμού SYSTEMAIR: KKM Geniox & Καναλάτες Μονάδες VCE 73 (Ventilclima).
55. A REVIEW ON LIFE CYCLE COST ANALYSIS OF BUILDINGS, <https://journals.vilniustech.lt/index.php/JCEM/article/download/18473/11575/72935>
56. Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction, <https://webgate.ec.europa.eu/circabc-ewpp/rest/download/c006f742-3fdb-45e7-a6cc-9510d6fe75cb>
57. Life cycle costing - A case study - Australian Bulk Handling Review, <https://www.bulkhandlingreview.com.au/life-cycle-costing-a-case-study/>
58. Life Cycle Cost Ownership Interactive Calculator - Firgelli Automations, <https://www.firgelliauto.com/blogs/calculators/life-cycle-cost-ownership-calculator>
59. Life Cycle Cost calculator - World Class Manufacturing, https://world-class-manufacturing.com/LCC/lcc_calculation.html
60. LCCA for HVAC systems - Consulting - Specifying Engineer -, <https://www.csemag.com/lcca-for-hvac-systems/>
61. A Method Recommended by ISO 15686-5 for Economic Evaluation, https://www.researchgate.net/publication/360468471_Net_Present_Value_Method_A_Method_Recommended_by_ISO_15686-5_for_Economic_Evaluation_of_Building_Life_Cycle_Costs
62. Εγκύκλιος 8/90 - Τιμές μονάδας για εργασίες αναλυτικού π/υ - Civiltech, <https://www.civiltech.gr/forum/posts/m10349-Egkuklios-8-90---Times-monadas-gia-ergasies-analutikou-p-u>
63. ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021, Ventilation of Health, <https://www.ashe.org/standard170>
64. EER vs COP vs SEER — HVAC Efficiency Metrics Explained, <https://www.cky.com.tw/en/insights/eer-cop-energy-efficiency>
65. Χαμηλότερες από τον μέσο όρο της ΕΕ οι τιμές για ρεύμα και φυσικό, <https://acci.gr/%CF%87%CE%B1%CE%BC%CE%B7%CE%BB%CF%8C%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B5%CF%82-%CE%B1%CF%80%CF%8C-%CF%84%CE%BF%CE%BD-%CE%BC%CE%AD%CF%83%CE%BF-%CF%8C%CF%81%CE%BF-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B5%CE%B5-%CE%BF%CE%B9-%CF%84/>
66. Application of SRI Advanced Evaluation on Auto-DAN Case Study, <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=148251>
67. The impact of building automation on energy efficiency, <https://smartbuildingsmagazine.com/features/the-impact-of-building-automation-on-energy->

efficiency

68. EN ISO 7396-1 | ΕΛΟΤ - Δημόσια Κρίση, <https://standardsdevelopment.elot.gr/projects/18033>
69. ISO 52120-1 for building automation and control systems,
<https://blog.se.com/buildings/2023/10/04/unlocking-energy-efficiency-the-impact-of-iso-52120-1-in-building-automation-controls-and-management/>
70. διερεύνηση ενεργειακής αποδοτικότητας νοσοκομείων. η περίπτωση,
<https://apothesis.eap.gr/archive/download/bac4e0ae-18e8-431c-94ea-296674b59482.pdf>
71. Overview of Energy Savings and Efficiency Strategies at the Hospitals,
<https://publications.waset.org/9997335/overview-of-energy-savings-and-efficiency-strategies-at-the-hospitals>
72. BMS Class A according to standard NF EN ISO 52120-1-2022 - Sinteo,
<https://www.sinteo.fr/en/gtb-classe-a-selon-la-norme-nf-en-iso-52120-1-2022/>
73. Hospital and Healthcare Ductwork: ASHRAE 170 Compliance Guide,
<https://hvacprosales.com/hvac-ductwork/healthcare-ductwork/>
74. Energy Efficiency in Hospitals and Critical Facilities - Siemens Blog,
<https://blog.siemens.com/en/2026/07/energy-efficiency-in-hospitals-and-critical-facilities-how-to-optimize-energy-consumption-without-compromising-safety/>
75. Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction,
<https://webgate.ec.europa.eu/circabc-ewpp/rest/download/c006f742-3fdb-45e7-a6cc-9510d6fe75cb>