



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΜΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΕΡΓΑ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Προγραμματισμός της Λειτουργίας Μονάδας ΣΗΘΥΑ στην Πανεπιστημιούπολη
Αρχαίου Ελαιώνα του ΠαΔΑ, για ένα Ενεργειακά Αυτόνομο Πανεπιστήμιο**

Συγγραφέας

Βασίλειος Βαρδάκης

ΑΜ: 202003

Επιβλέπων

Ιωάννης Καλδέλλης

Αθήνα, Ιούλιος 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

MSc ENERGY AND ENVIRONMENTAL PROJECTS

Diploma Thesis

**Planning of the Operation of the CHP Plant at the Ancient Groove Campus of the
UNIWA, for an Energy Autonomous University**

Student: Vasileios Vardakis

Registration Number: 202003

Supervisor: Ioannis Kaldellis

Athens, July 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΜΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΕΡΓΑ

**Προγραμματισμός της Λειτουργίας Μονάδας ΣΗΘΥΑ στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου
Ελαιώνα του ΠαΔΑ, για ένα Ενεργειακά Αυτόνομο Πανεπιστήμιο**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/a	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΚΟΣΜΑΣ ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΑΙΜΙΛΙΑ ΚΟΝΔΥΛΗ	ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Βασίλειος Βαρδάκης του Χαραλάμπους, με αριθμό μητρώου 202003 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Ενεργειακά και Περιβαλλοντικά Έργα του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας κ. Ιωάννη Καλδέλλη για τις κατευθύνσεις και τις γνώσεις που μου έδωσε, καθώς και τον υποψήφιο διδάκτωρ κ. Εμμανουήλ Κωστόπουλο για τη συμβολή του στην ολοκλήρωση της εργασίας με τα δεδομένα/στοιχεία που μου παρείχε από το λογισμικό της μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, αλλά και για τη συνολική του βοήθεια.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο σχεδιασμός λειτουργίας της μονάδας συμπαραγωγής (ΣΗΘΥΑ) του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, η οποία βρίσκεται στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα, για ένα ενεργειακά αυτόνομο πανεπιστήμιο. Προκειμένου να μη μένει ανεκμετάλλευτη η πλεονάζουσα παραγόμενη θερμική/ψυκτική ενέργεια της μονάδας όταν δεν υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης/ψύξης, στόχος είναι να γίνει ο κατάλληλος προγραμματισμός στις ώρες λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘΥΑ ώστε να λειτουργεί όταν υπάρχει ταυτοχρονισμός στη ζήτηση ηλεκτρικής και θερμικής/ψυκτικής ενέργειας στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα, ενώ τους μήνες που υπάρχει μόνο ηλεκτρικό φορτίο, αυτό να καλύπτεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα που πρόκειται να εγκατασταθεί.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται αρχικά είναι η μελέτη των θερμοκρασιακών δεδομένων της τελευταίας δεκαετίας από την οποία προκύπτουν οι βαθμοήμερες θέρμανσης και ψύξης. Έπειτα, γίνεται η μελέτη του φορτίου της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα σε μηνιαία και ετήσια βάση, όπως προκύπτει από τα δεδομένα που λήφθηκαν από το λογισμικό της μονάδας ΣΗΘΥΑ. Από τις παραπάνω αναλύσεις, προκύπτει ο προγραμματισμός της λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘΥΑ, εξετάζοντας παράλληλα αν τους μήνες που απαιτείται μόνο ηλεκτρικό φορτίο, αυτό μπορεί να καλυφθεί από το φωτοβολταϊκό σύστημα που πρόκειται να εγκατασταθεί. Τέλος, πραγματοποιείται οικονομική σύγκριση ανάμεσα στον υφιστάμενο και το νέο προτεινόμενο τρόπο λειτουργίας της ΣΗΘΥΑ.

Το αναμενόμενο αποτέλεσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σωστός προγραμματισμός του ωραρίου λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, σε συνδυασμό με το φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 400kW_p που πρόκειται να εγκατασταθεί. Η συνδυαστική τους λειτουργία, λαμβάνοντας υπόψη και τις παρεμβάσεις εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης ενέργειας που πρόκειται να πραγματοποιηθούν, έχει σκοπό την πλήρη κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων των Πανεπιστημιούπολεων Αρχαίου Ελαιώνα και Αθηνών υπό το καθεστώς του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού, και μέρος των θερμικών της πρώτης, μειώνοντας το ενεργειακό κόστος του Πανεπιστημίου και μετατρέποντάς το σε ενεργειακά αυτόνομο.

Λέξεις κλειδιά: ΣΗΘΥΑ, Φυσικό Αέριο, Φωτοβολταϊκά, Εξοικονόμηση ενέργειας

Abstract

The subject of this dissertation is the operation planning of the cogeneration plant (CHP) of the University of Western Attica, which is located in the Ancient Groove Campus, for an energy independent university. In order not to leave the surplus thermal/cooling energy produced by the plant unused when there are no heating/cooling needs, the aim is to make the appropriate programming in the operating hours of the CHP plant so that it operates when there is a simultaneity in the demand for electricity and thermal/cooling energy in the Ancient Groove Campus, while in the months when only electrical load is required, this will be covered by the photovoltaic system that is to be installed.

The methodology initially followed is the study of the temperature data of the last decade from which the heating and cooling degree days are derived. Then, the study of the load of the Ancient Groove Campus is done on a monthly and annual basis, as resulting from the data obtained from the software of the CHP. From the above analyses, the programming of the operation of the CHP results, at the same time examining whether in the months when only electrical load is required, this can be covered by the photovoltaic system that is to be installed. Finally, an economic comparison is made between the existing and the new proposed mode of operation of CHP plant.

The expected result of this dissertation is the correct planning of the operating hours of the CHP plant of the University of West Attica, in combination with the 400kWp photovoltaic system to be installed. Their combined operation, taking into account the energy saving and rational use interventions that are to be made, aims to fully cover the electrical and thermal loads of the Ancient Groove Campus and the Athens Campus under virtual net metering, reducing energy costs of the University and turning it into an energy self-sufficient one.

Key words: CHP, Natural Gas, Photovoltaics, Energy saving

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	2
Abstract	3
Περιεχόμενα	4
Λίστα Εικόνων	5
Λίστα Πινάκων.....	5
Λίστα Γραφημάτων	5
Εισαγωγή.....	7
Περιγραφή Ενεργειακού Κόστους	7
Δομή Εργασίας.....	9
Κεφάλαιο 1. Λειτουργία και Τεχνολογίες Συμπαραγωγής-Τριπαραγωγής.....	11
1.1 Χρησιμότητα και Λειτουργία Συμπαραγωγής-Τριπαραγωγής.....	11
1.2 Περιγραφή Τριπαραγωγής.....	13
1.3 Οφέλη Τριπαραγωγής.....	14
1.4 Τεχνολογίες Συμπαραγωγής-Τριπαραγωγής.....	16
Κεφάλαιο 2. Μονάδα Συμπαραγωγής Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.....	27
2.1 Μονάδες Συμπαραγωγής στα Πανεπιστήμια γενικά.....	27
2.2 Μονάδα ΣΗΘΥΑ Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα.....	30
Κεφάλαιο 3. Υφιστάμενη Ενεργειακή Κατάσταση Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα	36
3.1 Ενεργειακές Καταναλώσεις Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα.....	36
3.2 Παραγωγή Ενέργειας από τη Μονάδα ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α.....	43
Κεφάλαιο 4. Προγραμματισμός Νέου Τρόπου Λειτουργίας Μονάδας ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α.....	47
4.1 Βασικές Παραδοχές Προγραμματισμού Νέας Λειτουργίας ΣΗΘΥΑ.....	47
4.2 Βαθμομέρες Θέρμανσης και Ψύξης Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα	48
4.3 Νέος Τρόπος Λειτουργίας ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α.	51
Κεφάλαιο 5. Εξοικονόμηση και Ορθολογική Χρήση Ενέργειας στο Πα.Δ.Α.	58
5.1 Ελάχιστο Φορτίο Κτιρίων Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα	58
5.2 Προτάσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας στα Κτίρια της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα.....	65
Κεφάλαιο 6. Οικονομοτεχνική Ανάλυση Νέου Τρόπου Λειτουργίας Μονάδας ΣΗΘΥΑ.....	68
6.1 Παραδοχές Οικονομοτεχνικής Ανάλυσης.....	68
6.2 Αποτελέσματα Οικονομοτεχνικής Ανάλυσης.....	71
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα.....	74
Βιβλιογραφία.....	77

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Ενεργειακή απόδοση ΣΗΘΥΑ.....	12
Εικόνα 2: Λειτουργία τριπαραγωγής.....	14
Εικόνα 3: Κύκλος Rankine.....	17
Εικόνα 4: Σύστημα ατμοστρόβιλου αντίθλιψης.....	18
Εικόνα 5: Σύστημα ατμοστρόβιλου απομάστευσης.....	19
Εικόνα 6: Σύστημα αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου.....	20
Εικόνα 7: Σύστημα αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου.....	21
Εικόνα 8: Σύστημα συνδυασμένου κύκλου.....	22
Εικόνα 9: Σύστημα παλινδρομικής μηχανής εσωτερικής καύσης.....	23
Εικόνα 10: Μηχανή Sterling.....	24
Εικόνα 11: Κύκλος βάσης Rankine με οργανικά ρευστά.....	25
Εικόνα 12: Κυψέλες καυσίμου.....	26
Εικόνα 13: Μονάδα ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α.....	30
Εικόνα 14: Θέση μονάδας ΣΗΘΥΑ στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα.....	31
Εικόνα 15: Διάγραμμα ροής εγκατάστασης ΣΗΘΥΑ.....	32

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Λέβητες Π-2 (Πηγή: Αυτοψία με τεχνικό προσωπικό).....	35
Πίνακας 2: Συγκεντρωτική ενεργειακή κατανάλωση Π-2 και παραγωγή ΣΗΘΥΑ.....	46
Πίνακας 3: Πραγματικές βαθμομημέρες θέρμανσης Π-2.....	50
Πίνακας 4: Πραγματικές βαθμομημέρες ψύξης Π-2.....	50
Πίνακας 5: Ημέρες νέου τρόπου λειτουργίας μονάδας ΣΗΘΥΑ.....	53
Πίνακας 6: Νέο ωράριο λειτουργίας και αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή ΣΗΘΥΑ.....	54
Πίνακας 7: Ποσοστά συσχετισμού παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής/ψυκτικής ενέργειας ΣΗΘΥΑ.....	55
Πίνακας 8: Βασικές παραδοχές οικονομοτεχνικής ανάλυσης.....	69
Πίνακας 9: Οικονομοτεχνική ανάλυση.....	71

Λίστα Γραφημάτων

Γράφημα 1: Διαχρονική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας Π-2 (2011-2019).....	34
Γράφημα 2: Διαχρονική κατανάλωση φυσικού αερίου Π-2 (2010-2019).....	35
Γράφημα 3: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Ιούλιος 2021).....	36
Γράφημα 4: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Αύγουστος 2021).....	36
Γράφημα 5: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Σεπτέμβριος 2021).....	37
Γράφημα 6: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Οκτώβριος 2021).....	37
Γράφημα 7: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Νοέμβριος 2021).....	37
Γράφημα 8: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Δεκέμβριος 2021).....	38
Γράφημα 9: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Ιανουάριος 2022).....	38
Γράφημα 10: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Φεβρουάριος 2022).....	38
Γράφημα 11: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Μάρτιος 2022).....	39
Γράφημα 12: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Απρίλιος 2022).....	39
Γράφημα 13: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Μάιος 2022).....	39
Γράφημα 14: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Ιούνιος 2022).....	40

Γράφημα 15: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας Π-2	41
Γράφημα 16: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κτίριο (Π-2)	41
Γράφημα 17: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κτιρίων Π-2 (Ιούλιος 2021)	42
Γράφημα 18: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κτιρίων Π-2 (Δεκέμβριος 2021)	42
Γράφημα 19: Διακύμανση παραγωγής γεννήτριας μονάδας ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α. (Ιούλιος 2021)	43
Γράφημα 20: Διακύμανση παραγωγής γεννήτριας μονάδας ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α. (Δεκέμβριος 2021).....	43
Γράφημα 21: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής και ψυκτικής ενέργειας μονάδας ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α.....	44
Γράφημα 22: Ηλεκτρική κατανάλωση Π-2 και καθαρή ωφέλιμη παραγωγή ηλ. ενέργειας ΣΗΘΥΑ	46
Γράφημα 23: Ταυτοχρονισμός ηλεκτρικού φορτίου και ζήτησης θέρμανσης Π-2 (Ιανουάριος 2019).....	49
Γράφημα 24: Ταυτοχρονισμός ηλεκτρικού φορτίου και ζήτησης θέρμανσης Π-2 (Ιούλιος 2019).....	49
Γράφημα 25: Πραγματικές βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης Π-2	51
Γράφημα 26: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης Π-2	52
Γράφημα 27: Μηνιαία παραγωγή θερμικής και ψυκτικής ενέργειας νέου τρόπου λειτουργίας ΣΗΘΥΑ	56
Γράφημα 28: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Ιούλιος).....	58
Γράφημα 29: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Δεκέμβριος).....	59
Γράφημα 30: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Δ (Ιούλιος 2021).....	59
Γράφημα 31: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Ε (Ιούλιος 2021).....	60
Γράφημα 32: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Συνεδριακό Κέντρο (Ιούλιος 2021)	60
Γράφημα 33: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Ζ (Ιούλιος 2021).....	60
Γράφημα 34: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Διοίκησης (Ιούλιος 2021).....	61
Γράφημα 35: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Βιβλιοθήκης (Ιούλιος 2021).....	61
Γράφημα 36: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίρια Α,Β,Γ (Ιούλιος 2021)	61
Γράφημα 37: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Τεχνικής Υπηρεσίας (Ιούλιος 2021)	62
Γράφημα 38: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Δ (Δεκέμβριος 2021).....	62
Γράφημα 39: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Ε (Δεκέμβριος 2021).....	62
Γράφημα 40: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Συνεδριακό Κέντρο (Δεκέμβριος 2021)	63
Γράφημα 41: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Ζ (Δεκέμβριος 2021).....	63
Γράφημα 42: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Διοίκησης (Δεκέμβριος 2021).....	63
Γράφημα 43: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Βιβλιοθήκης (Δεκέμβριος 2021)	64
Γράφημα 44: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίρια Α,Β,Γ (Δεκέμβριος 2021).....	64
Γράφημα 45: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Τεχνικής Υπηρεσίας (Δεκέμβριος 2021).....	64
Γράφημα 46: Υφιστάμενη κατανάλωση Φ.Α. Π-2 (Ιούλιος 2021-Ιούνιος 2022).....	70
Γράφημα 47: Κατανάλωση Φ.Α. Π-2 (νέος τρόπος λειτουργίας ΣΗΘΥΑ).....	71
Γράφημα 48: Ετήσιες χρηματοροές	73
Γράφημα 49: Εξοικονόμηση σε παρούσες αξίες.....	73

Εισαγωγή

Περιγραφή Ενεργειακού Κόστους

Τα ελληνικά πανεπιστήμια και γενικότερα τα κτίρια του δημόσιου τομέα αντιμετωπίζουν την πρόκληση της διαχείρισης της ενεργειακής τους κατανάλωσης και του αντίστοιχου κόστους, για να εξασφαλίσουν την οικονομική τους βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική τους ευθύνη (Balaras et al., 2017). Το ενεργειακό κόστος για τα ελληνικά πανεπιστήμια εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το μέγεθός τους, την τοποθεσία και τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας. Τα μεγάλα πανεπιστήμια με πολλαπλές πανεπιστημιούπολεις και ερευνητικές εγκαταστάσεις μπορεί να έχουν υψηλότερο ενεργειακό κόστος από τα μικρότερα πανεπιστήμια με λιγότερα κτίρια και φοιτητές. Επιπλέον, τα πανεπιστήμια που βρίσκονται σε περιοχές με υψηλότερη ζήτηση για θέρμανση και ψύξη ενδέχεται να αντιμετωπίσουν υψηλότερο ενεργειακό κόστος.

Για να μειώσουν το ενεργειακό τους κόστος, τα ελληνικά πανεπιστήμια μπορούν να εφαρμόσουν μέτρα ενεργειακής απόδοσης για τη βελτίωση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης μπορούν να περιλαμβάνουν συστηματική εκπαίδευση και ενημέρωση-ευαισθητοποίηση του προσωπικού, αναβαθμίσεις στο κέλυφος του κτιρίου όπως βελτίωση της μόνωσης, καθώς και αναβαθμίσεις σε συστήματα φωτισμού και HVAC. Αυτά τα μέτρα μπορούν να βοηθήσουν τα πανεπιστήμια να εξοικονομήσουν ενέργεια και να μειώσουν τους λογαριασμούς ενέργειας. Με την εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης μπορεί να επιτευχθεί έως και 30% εξοικονόμηση ενέργειας. Η εξοικονόμηση μπορεί να είναι ακόμη μεγαλύτερη για παλαιότερα κτίρια που δεν έχουν αναβαθμιστεί εδώ και χρόνια.

Εκτός από τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης, τα ελληνικά πανεπιστήμια μπορούν επίσης να εξετάσουν λύσεις εγκατάστασης συστημάτων αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για να μειώσουν την εξάρτησή τους από παραδοσιακές συμβατικές πηγές ενέργειας και να μειώσουν περαιτέρω το ενεργειακό τους κόστος. Οι λύσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να περιλαμβάνουν για παράδειγμα ηλιακά φωτοβολταϊκά και γεωθερμικά συστήματα. Αυτές οι λύσεις μπορούν να βοηθήσουν τα

πανεπιστήμια να παράγουν τη δική τους ενέργεια και να μειώσουν τους λογαριασμούς ενέργειας.

Επίσης, η αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας είναι απαραίτητη για τα ελληνικά πανεπιστήμια προκειμένου να μειώσουν το ενεργειακό τους κόστος και να βελτιώσουν την ενεργειακή τους απόδοση. Η διαχείριση ενέργειας μπορεί να περιλαμβάνει διάφορες δράσεις, όπως παρακολούθηση και έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας και αξιολόγηση ενεργειακής απόδοσης. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος της κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να βοηθήσει τα πανεπιστήμια να εντοπίσουν πεδία όπου σπαταλιέται ενέργεια και να αναλάβουν δράση για τη μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την εγκατάσταση μετρητών ενέργειας και αισθητήρων για την παρακολούθηση της χρήσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και τον εντοπισμό ευκαιριών για εξοικονόμηση ενέργειας. Η αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης μπορεί να βοηθήσει τα πανεπιστήμια να μετρήσουν την πρόοδό τους στη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης και στη μείωση του ενεργειακού τους κόστους.

Μια δράση λοιπόν εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να εφαρμοστεί στα ελληνικά πανεπιστήμια, είναι η εγκατάσταση μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (ΣΗΘΥΑ) ή ακόμα και τριπαραγωγής, παράγοντας επιπλέον και ψυκτική ενέργεια, όπως συμβαίνει στη μονάδα του Πα.Δ.Α. (Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής) με τη χρήση φυσικού αερίου.

Καθώς τα πανεπιστήμια συνεχίζουν να αναπτύσσονται και να επεκτείνονται, οι ενεργειακές τους ανάγκες μεγαλώνουν. Απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδοσία κτιρίων, φωτισμού και συστημάτων υπολογιστών, καθώς και θέρμανση και ψύξη για τη διατήρηση άνετων θερμοκρασιών σε αίθουσες και ερευνητικά εργαστήρια. Η ζήτηση για ενέργεια μπορεί να είναι ιδιαίτερα υψηλή κατά τη διάρκεια ωρών αιχμής όταν διεξάγονται τα μαθήματα και χρησιμοποιείται ηλεκτρικός εξοπλισμός και συσκευές.

Για να καλύψουν αυτές τις ενεργειακές απαιτήσεις, αρκετά ευρωπαϊκά πανεπιστήμια έχουν στραφεί στη συμπαραγωγή ως ενεργειακή λύση. Η συμπαραγωγή είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από μία μόνο πηγή ενέργειας, όπως το φυσικό αέριο στην περίπτωση του Πα.Δ.Α. Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ανταποκρίνονται στις συγκεκριμένες ενεργειακές απαιτήσεις των πανεπιστημίων,

παρέχοντας ηλεκτρισμό και θερμότητα σε κτίρια και εγκαταστάσεις των πανεπιστημιούπολεων. Παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια επιτόπου, τα πανεπιστήμια μπορούν να μειώσουν την εξάρτησή τους από το δίκτυο και να μειώσουν το ενεργειακό τους κόστος, μειώνοντας ταυτόχρονα το ανθρακικό τους αποτύπωμα. Η αυξημένη τους απόδοση μεταφράζεται σε χαμηλότερο ενεργειακό κόστος και μειωμένα λειτουργικά έξοδα.

Η συμπαραγωγή είναι επίσης μια φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή λύση. Με την ανάκτηση θερμότητας που συνήθως χάνεται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Δομή Εργασίας

Όσον αφορά τη δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αρχικά στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της έννοιας της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας/ψύξης αλλά και των κύριων κατηγοριών της.

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται η μονάδα ΣΗΘΥΑ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής που είναι εγκατεστημένη στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα. Αναλύονται τόσο τα τεχνικά κομμάτια που την απαρτίζουν και οι διεργασίες που πραγματοποιούνται εντός αυτής, όσο και γενικότερα στοιχεία σύμφωνα με τη μέχρι τώρα λειτουργία της, όπως οι ανάγκες που καλύπτει, το ωράριό της κ.λπ.

Έπειτα, στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των ηλεκτρικών φορτίων, οι μηνιαίες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας των κτιρίων της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα και η αντίστοιχη παραγωγή της μονάδας ΣΗΘΥΑ, σύμφωνα με στοιχεία που αντλήθηκαν από το λογισμικό της εν λόγω μονάδας για το διάστημα Ιούλιος 2021 – Ιούνιος 2022, καταλήγοντας σε συμπεράσματα σχετικά με τα μεγέθη αυτά σε ετήσια βάση.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 4 γίνεται ο προτεινόμενος νέος προγραμματισμός της μονάδας ΣΗΘΥΑ, έχοντας προηγηθεί ο υπολογισμός των βαθμομερών θέρμανσης/ψύξης βάσει επεξεργασίας θερμοκρασιακών δεδομένων της τελευταίας δεκαετίας. Το νέο ωράριο λειτουργίας βασίζεται στην αξιοποίηση του ταυτοχρονισμού

ζήτησης ηλεκτρικών και θερμικών/ψυκτικών φορτίων. Γίνεται μια προσπάθεια δηλαδή για να λειτουργήσει η μονάδα τους μήνες όπου υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης/ψύξης, ενώ το υπολειπόμενο ηλεκτρικό φορτίο σχεδιάζεται να καλύπτεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 400kWp που πρόκειται να εγκατασταθεί. Πρέπει να σημειωθεί, πως βάσει του νέου προγραμματισμού, θα καλύπτονται τα ηλεκτρικά φορτία και της Πανεπιστημιούπολης Αθηνών μέσω του virtual net metering. Απώτερος σκοπός του προγραμματισμού αυτού, είναι οι Πανεπιστημιούπολεις Αρχαίου Ελαιώνα και Αθηνών να μην αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια από το εθνικό δίκτυο, για ένα ενεργειακά αυτόνομο πανεπιστήμιο.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται μια αναφορά στο ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο που παρατηρήθηκε από τις αναλύσεις δεδομένων των κτιρίων της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού, παρουσιάζονται μετρήσεις αναφορικά με τα κτίρια που έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης προς περαιτέρω ανάλυση και προτείνονται δράσεις εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης ενέργειας.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 γίνεται η παρουσίαση της οικονομοτεχνικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε, με σκοπό να αποσαφηνιστεί το οικονομικό αποτύπωμα του νέου τρόπου λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘΥΑ. Αναλύεται δηλαδή ποια είναι τα οφέλη του νέου προτεινόμενου προγραμματισμού λειτουργίας της μονάδας (βασισμένος στον ταυτοχρονισμό ηλεκτρικών και θερμικών/ψυκτικών φορτίων) έναντι του υφιστάμενου τρόπου λειτουργίας.

Κεφάλαιο 1. Λειτουργία και Τεχνολογίες Συμπαραγωγής-Τριπαραγωγής

1.1 Χρησιμότητα και Λειτουργία Συμπαραγωγής-Τριπαραγωγής

Οι περιορισμοί στην παραδοσιακή προμήθεια και μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, ο παγκόσμιος ανταγωνισμός, οι ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή, οι αποτυχημένες δικτυακές υποδομές και τα ζητήματα ασφάλειας είναι διάφορα θέματα που επηρεάζουν την ενεργειακή κατάσταση και ως εκ τούτου προκαλούν πρόσθετες περιβαλλοντικές, και οικονομικές συνέπειες. Έτσι, η χρήση ενέργειας πρέπει να βελτιστοποιηθεί μέσω της βελτίωσης της απόδοσης των εφαρμοζόμενων ενεργειακών συστημάτων, επιπλέον της βελτίωσης του σχεδιασμού και των συσκευών των κτιρίων, της εξοικονόμησης ενέργειας και της προώθησης βιώσιμων ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

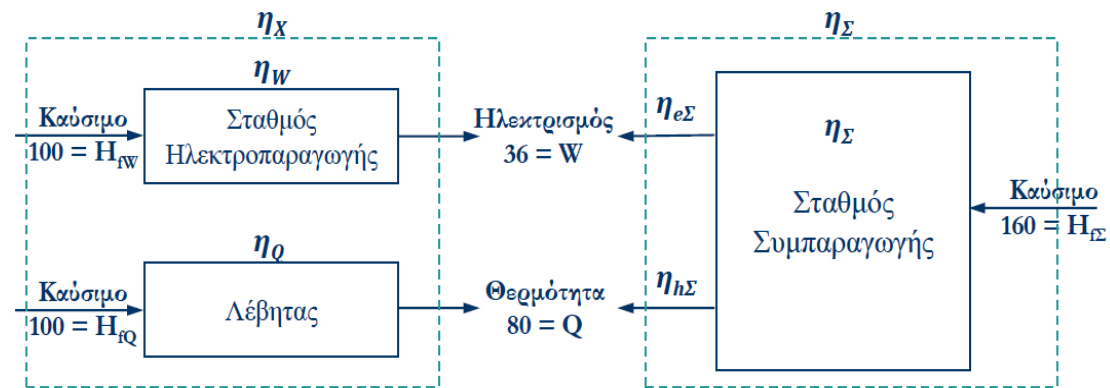
Η χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας είναι ενεργειακά και περιβαλλοντικά αναποτελεσματική. Επομένως, είναι πιο αξιόπιστο να παράγονται και οι δύο μορφές ενέργειας σε μια ενιαία διαδικασία παραγωγής ενέργειας. Η χρήση της χαμηλής ποιότητας απορριπτόμενης θερμότητας από τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση ή/και ψύξη/κλιματισμό είναι μία από τις λύσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας από τις απώλειες, καταλήγοντας έτσι στη χρήση τεχνολογιών συμπαραγωγής ή τριπαραγωγής.

Συστήματα όπως η συμπαραγωγή (CHP) και η τριπαραγωγή (CCHP) είναι ενδιαφέρουσες λύσεις που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση παραγωγής ενέργειας και να διορθώσουν ορισμένα αλληλένδετα ζητήματα αξιοπιστίας, ασφάλειας και ευελιξίας.

Συμπαραγωγή ή παραγωγή συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (ΣΗΘΥΑ) είναι η χρήση μιας μηχανής θερμότητας ή ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας για την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και χρήσιμης θερμότητας. Σε αυτή τη διαδοχική παραγωγή ενέργειας, τόσο οι απαιτήσεις θερμότητας όσο και ισχύος ικανοποιούνται από μία μόνο πηγή καυσίμου (συνήθως φυσικό αέριο). Η θερμότητα που διαφορετικά θα απορριφθεί στη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (στο φυσικό περιβάλλον μέσω πύργων ψύξης, καυσαερίων ή άλλων μέσων) ανακτάται για να παρέχει τις απαιτήσεις θερμότητας της

διεργασίας, διαφορετικά παρέχεται με ξεχωριστή πηγή καυσίμου, παρέχοντας έτσι σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση της ρύπανσης (Al Moussawi et al., 2017). Έτσι, η συμπαραγωγή είναι μια θερμοδυναμικά αποδοτική χρήση καυσίμου.

Η συμπαραγωγή θεωρείται ελκυστική επιλογή ειδικά όταν διαστασιολογείται ώστε να ταιριάζει σε κτίρια ή συγκροτήματα όπου χρειάζονται μόνιμες παροχές ηλεκτρισμού, θέρμανσης και ψύξης (π.χ. πανεπιστήμια). Συγκρίνοντας τη χωριστή παραγωγή συμβατικής ισχύος, θέρμανσης και ψύξης με εκείνη ενός ισοδύναμου συστήματος CHP ή CCHP, υπό τις ίδιες συνθήκες φορτίου, η κατανάλωση καυσίμου είναι χαμηλότερη και η συνολική απόδοση είναι μεγαλύτερη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Από αυτό το θεμελιώδες πλεονέκτημα των συστημάτων CHP/CCHP, πολλά άλλα οφέλη μπορούν να προκύψουν για τις κατάλληλες εγκαταστάσεις.



Εικόνα 1: Ενεργειακή απόδοση ΣΗΘΥΑ

Πηγή: Καραγιάννης, 2021

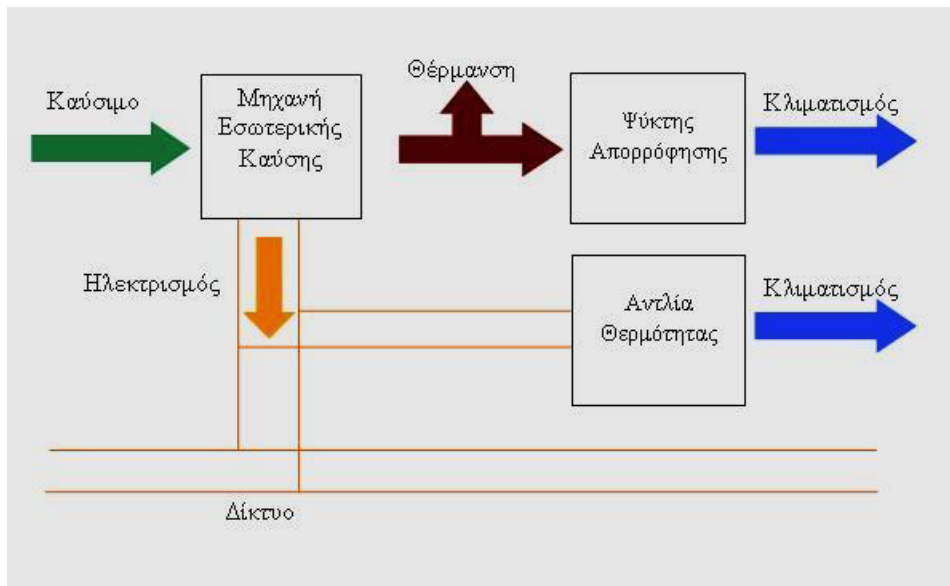
Πρώτον, στα συστήματα συμπαραγωγής και τριπαραγωγής, το καύσιμο και η περίσσεια αέρα αναμειγνύονται και καίγονται προκειμένου να κινηθεί ένας κύριος κινητήρας ο οποίος με τη σειρά του οδηγεί μια ηλεκτρική γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια για τελική χρήση. Η ενέργεια των καυσαερίων υψηλής θερμοκρασίας από τον κύριο κινητήρα ανακτάται κυρίως χρησιμοποιώντας μια μονάδα ανάκτησης θερμότητας. Χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο υγρό μεταφοράς θερμότητας, η ανακτώμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένες διαδικασίες θέρμανσης ή/και να οδηγηθεί σε μια μονάδα ψύξης για διαδικασίες ψύξης σύμφωνα με τις απαιτήσεις της τοποθεσίας. Η ενέργεια των καυσαερίων του κινητήρα υψηλής θερμοκρασίας ή των καυσαερίων χαμηλής θερμοκρασίας από τη μονάδα

ανάκτησης θερμότητας μπορεί να μεταφερθεί ξανά σε έναν δευτερεύοντα κύριο κινητήρα για την παραγωγή περισσότερης ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η συμπληρωματική καύση μπορεί να τροφοδοτηθεί από έναν βοηθητικό λέβητα. Αυτό συμβαίνει σε περιπτώσεις όπου η ηλεκτρική ενέργεια είναι το κυρίαρχο φορτίο. Σε άλλες ειδικές περιπτώσεις, η κύρια εξάτμιση μπορεί να ανακτηθεί απευθείας μέσω της μονάδας ψύξης. Όταν παράγεται μια μορφή ενέργειας, το σύστημα είναι ένα σύστημα ενιαίας παραγωγής. Όταν παράγονται δύο μορφές ενέργειας, το σύστημα γίνεται σύστημα συμπαραγωγής και ομοίως γίνεται σύστημα τριπαραγωγής όταν παράγονται τρεις μορφές ενέργειας ταυτόχρονα.

1.2 Περιγραφή Τριπαραγωγής

Η τριπαραγωγή (ή CCHP) είναι ένα βήμα μετά από τη συμπαραγωγή σχετικά με την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χρήσιμης θέρμανσης και ψύξης από μία μόνο πηγή καυσίμου. Σε σχέση με τη συμπαραγωγή, η κατά τα άλλα χαμένη θερμότητα συλλαμβάνεται και χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει, εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια και τη θερμότητα, ένα ψυχρό αποτέλεσμα. Το τελευταίο μπορεί να παραχθεί είτε από θερμικά κινούμενες αντλίες θερμότητας είτε από συστήματα ξηράνσεως. Τα συστήματα CCHP μπορούν να επιτύχουν υψηλότερη συνολική απόδοση από τους παραδοσιακούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ή τη συμπαραγωγή. Οι έξοδοι θέρμανσης και ψύξης μπορεί να λειτουργούν ταυτόχρονα ή εναλλακτικά ανάλογα με τις ανάγκες και την κατασκευή του συστήματος (Al Moussawi et al., 2017).

Τα συστήματα τριπαραγωγής αποτελούνται συνήθως από έναν αεριοστρόβιλο ή έναν παλινδρομικό κινητήρα που τροφοδοτεί μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η απορριπτόμενη θερμότητα που παράγεται από τη γεννήτρια στη συνέχεια δεσμεύεται και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζεστού νερού ή ατμού, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση. Επιπλέον, η απορριπτόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία ενός ψύκτη απορρόφησης, ο οποίος παράγει κρύο νερό για σκοπούς ψύξης και να καλύψει και τις ανάγκες σε κλιματισμό μιας εγκατάστασης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η αύξηση της αποδοτικότητας της μονάδας και η εκμετάλλευση του καυσίμου, αφού γίνεται δυνατή η χρησιμοποίηση της θερμότητας και την καλοκαιρινή περίοδο (Καραγιάννης, 2021).



Εικόνα 2: Λειτουργία τριπαραγωγής

Πηγή: Καραγιάννης, 2021

Χρησιμοποιώντας και τις τρεις μορφές ενέργειας, τα συστήματα τριπαραγωγής μπορούν να επιτύχουν πολύ υψηλό επίπεδο ενεργειακής απόδοσης. Οι παραδοσιακοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής συνήθως μετατρέπουν μόνο περίπου το ένα τρίτο της ενέργειας από τα καύσιμα σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ τα υπόλοιπα δύο τρίτα χάνονται ως απορριπτόμενη θερμότητα. Αντίθετα, τα συστήματα τριπαραγωγής μπορούν να χρησιμοποιήσουν έως και το 90% της ενέργειας από τα καύσιμα, καθώς η απορριπτόμενη θερμότητα δεσμεύεται και χρησιμοποιείται για θέρμανση και ψύξη (Al Moussawi et al., 2017).

1.3 Οφέλη Τριπαραγωγής

Τα οφέλη μπορεί να διαφέρουν από το ένα σύστημα στο άλλο ανάλογα με το αν το σύστημα είναι CHP ή CCHP ή αν είναι αυτόνομο ή συνδεδεμένο στο δίκτυο. Για παράδειγμα, το κύριο πλεονέκτημα των συστημάτων ΣΗΘ είναι ότι είναι κατάλληλα όπου χρειάζονται δύο μορφές ενέργειας όπως η ηλεκτρική ενέργεια και η θέρμανση χώρων. Ωστόσο, τα συστήματα CCHP είναι απόλυτα κατάλληλα για συστήματα όπου χρειάζονται τρεις μορφές ενέργειας όπως ηλεκτρική ενέργεια, ζεστό νερό, θέρμανση και ψύξη χώρου.

Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους η τριπαραγωγή είναι χρήσιμη, όπως η αυξημένη απόδοση, τα περιβαλλοντικά οφέλη, η ενεργειακή ασφάλεια και η εξοικονόμηση κόστους.

Τα συστήματα τριπαραγωγής είναι εξαιρετικά **αποδοτικά**, καθώς χρησιμοποιούν την απορριπτόμενη θερμότητα που συνήθως χάνεται στην παραδοσιακή παραγωγή ενέργειας. Στην παραδοσιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το καύσιμο καίγεται για να δημιουργηθεί θερμότητα, η οποία παράγει ατμό για να γυρίσει τους στρόβιλους και να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η διαδικασία είναι εξαιρετικά αναποτελεσματική, καθώς έως και το 60% της παραγόμενης ενέργειας χάνεται ως απορριπτόμενη θερμότητα (Murugan and Horak, 2016). Τα συστήματα τριπαραγωγής συλλαμβάνουν αυτή την απώλεια θερμότητας και τη χρησιμοποιούν για την παραγωγή θέρμανσης και ψύξης, με αποτέλεσμα σημαντικά υψηλότερη ενεργειακή απόδοση. Με την παραγωγή τριών μορφών ενέργειας από μία μόνο πηγή, η τριπαραγωγή μπορεί να επιτύχει συνολική απόδοση έως και 90%. Αυτό σημαίνει ότι έως και το 90% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε χρήσιμη ενέργεια, με μόνο το 10% να χάνεται ως απορριπτόμενη θερμότητα.

Τα συστήματα τριπαραγωγής προσφέρουν επίσης **περιβαλλοντικά οφέλη**, καθώς παράγουν λιγότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης και ψύξης από μία μόνο πηγή καυσίμου έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση λιγότερης θερμότητας στο περιβάλλον. Αυτό σημαίνει ότι σπαταλάται λιγότερη ενέργεια και παράγονται λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Τα συστήματα τριπαραγωγής μπορούν επίσης να τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η βιομάζα ή το βιοαέριο. Αυτά τα ανανεώσιμα καύσιμα παράγονται από οργανικά υλικά όπως γεωργικά απόβλητα, δασικά υπολείμματα ή απόβλητα τροφίμων. Με τη **χρήση ανανεώσιμων καυσίμων**, τα συστήματα τριπαραγωγής μπορούν να μειώσουν την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και να μειώσουν περαιτέρω τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τα περιβαλλοντικά οφέλη των συστημάτων τριπαραγωγής τα καθιστούν ελκυστική επιλογή για περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένες επιχειρήσεις και οργανισμούς. Μειώνοντας το αποτύπωμα άνθρακα και συμβάλλοντας στη βιώσιμη παραγωγή ενέργειας, αυτοί οι οργανισμοί

μπορούν να ενισχύσουν τη φήμη τους και να συμβάλουν σε ένα καλύτερο μέλλον για τον πλανήτη.

Επιπλέον, τα συστήματα τριπαραγωγής προσφέρουν **ενεργειακή ασφάλεια**, καθώς μπορούν να παρέχουν εφεδρική ισχύ σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας. Με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης και ψύξης από μία μόνο πηγή καυσίμου, τα συστήματα τριπαραγωγής μπορούν να παρέχουν μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας που είναι λιγότερο επιρρεπής σε διακοπές ρεύματος. Σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας, τα συστήματα τριπαραγωγής μπορούν να μεταβούν σε λειτουργία εφεδρικής τροφοδοσίας, η οποία τους επιτρέπει να συνεχίσουν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και ψύξη. Αυτό μπορεί να είναι κρίσιμο για επιχειρήσεις και οργανισμούς που βασίζονται σε αδιάλειπτη τροφοδοσία, όπως νοσοκομεία, κέντρα δεδομένων ή εγκαταστάσεις παραγωγής.

Τέλος, τα συστήματα τριπαραγωγής μπορούν να βοηθήσουν τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς να εξοικονομήσουν χρήματα στους λογαριασμούς ενέργειάς τους, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και ψύξη από μία μόνο πηγή καυσίμου. Χρησιμοποιώντας λιγότερο καύσιμο για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας, τα συστήματα τριπαραγωγής μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και το κόστος. Η **εξοικονόμηση κόστους** που σχετίζεται με τα συστήματα τριπαραγωγής είναι σημαντική, καθώς μπορούν να μειώσουν τους λογαριασμούς ενέργειας έως και 50% (Al Moussawi et al., 2016). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους με την πάροδο του χρόνου, ειδικά για επιχειρήσεις και οργανισμούς που καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας.

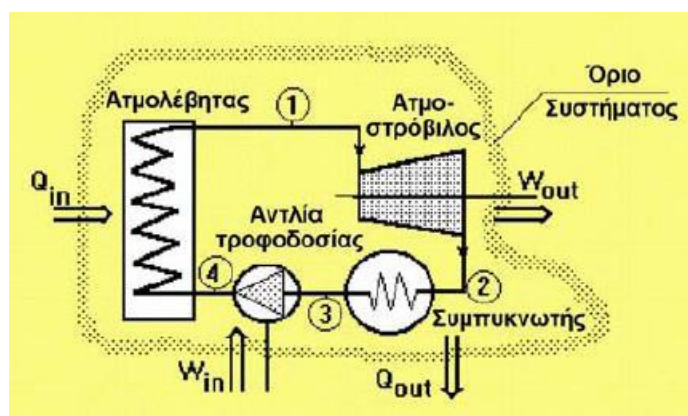
1.4 Τεχνολογίες Συμπαραγωγής-Τριπαραγωγής

Τα συστήματα Συμπαραγωγής-Τριπαραγωγής μπορούν να εγκατασταθούν σε ενεργοβόρες βιομηχανίες, στον τριτογενή τομέα (πανεπιστήμια, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, μεγάλα κτίρια, αθλητικά κέντρα, κ.λπ.), ή να καλύψουν τις θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες μιας αστικής περιοχής, μέσω συστημάτων τηλεθέρμανσης/τηλεψύξης (Καραγιάννης, 2021). Μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικούς τύπους με βάση την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Ακολουθούν ορισμένοι συνήθεις τύποι συμπαραγωγής.

Ατμοστρόβιλοι

Οι ατμοστρόβιλοι θεωρούνται μια από τις πιο πολυχρηστικές και παλαιότερες τεχνολογίες βασικής κίνησης που είναι ακόμα διαθέσιμες στη γενική παραγωγή, και χρησιμοποιούνται εδώ και περίπου 100 χρόνια. Η χωρητικότητά τους μπορεί να κυμαίνεται από 50 kW έως αρκετές εκατοντάδες MW για μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (Al Moussawi et al., 2017) (Καραγιάννης, 2021). Αυτό έκανε τέτοιους στρόβιλους να χρησιμοποιούνται ευρέως για εφαρμογές CHP και CCHP. Ο θερμοδυναμικός κύκλος για τον ατμοστρόβιλο είναι ο κύκλος Rankine, ο οποίος είναι η βάση των συμβατικών σταθμών παραγωγής ενέργειας και γενικά αποτελείται από μια πηγή θερμότητας (λέβητα) που μετατρέπει το νερό σε ατμό υψηλής πίεσης.



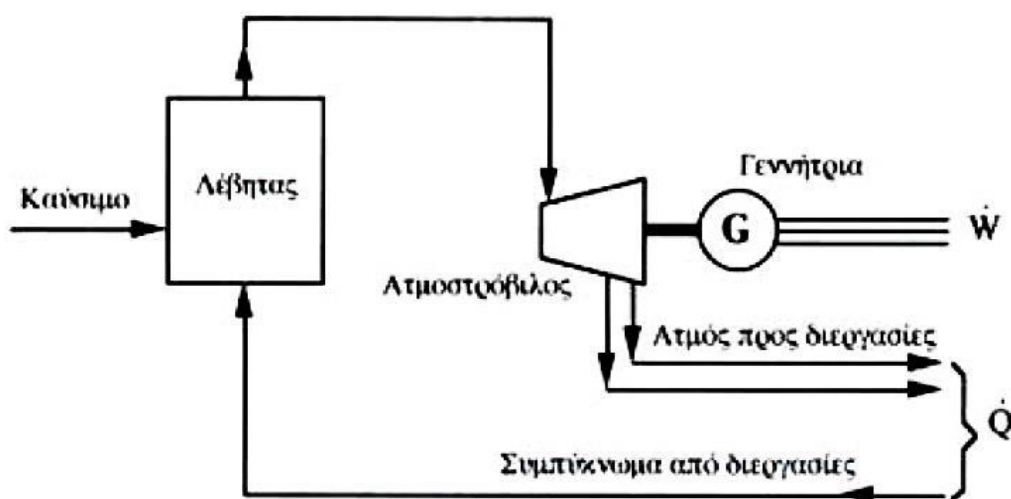
Εικόνα 3: Κύκλος Rankine

Πηγή: Καραγιάννης, 2021

Ειδικότερα, το νερό αντλείται πρώτα σε μέσο υψηλής πίεσης, θερμαίνεται σε θερμοκρασία βρασμού σε αυτή την πίεση, βράζει και υπερθερμαίνεται. Ένας στρόβιλος πολλαπλών σταδίων διαστέλλει τον ατμό υπό πίεση σε χαμηλότερη πίεση. Ο ατμός στη συνέχεια εξαντλείται είτε σε συμπυκνωτή στο κενό είτε σε ένα σύστημα διανομής ατμού ενδιάμεσης θερμοκρασίας που τον παραδίδει σε βιομηχανική ή εμπορική εφαρμογή. Το συμπύκνωμα επιστρέφει στην αντλία τροφοδοσίας νερού για να συνεχίσει τον κύκλο. Διαφορετικές βιομηχανικές ή εμπορικές εφαρμογές απαιτούν θερμότητα σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας και επομένως διακριτά σημεία

εξαγωγής ατμού από τον στρόβιλο. Κατά συνέπεια, μπορούν να διακριθούν δύο τύποι αμοστροβίλων: η αντίθλιψη και η συμπύκνωση εξαγωγής. Η επιλογή μεταξύ τους εξαρτάται κυρίως από τις απαιτούμενες ποσότητες ενέργειας και θερμότητας, την ποιότητα της θερμότητας και τις οικονομικές πτυχές.

Ένας αμοστροβίλος **αντίθλιψης** είναι η απλούστερη διαμόρφωση όπου ο ατμός εξέρχεται από τον στρόβιλο με πίεση υψηλότερη ή τουλάχιστον ίση με την αμοσφαιρική πίεση. Είναι επίσης δυνατή η εξαγωγή ατμού σε ενδιάμεσα στάδια, εάν η πίεση και η θερμοκρασία είναι κατάλληλες για τη θερμική εφαρμογή. Το συμπύκνωμα επιστροφής του συστήματος μπορεί να έχει χαμηλότερο ρυθμό ροής από αυτόν του ατμού που εισέρχεται στον στρόβιλο, καθώς ένα μέρος της μάζας ατμού εξάγεται στην εφαρμογή εκτός από τις απώλειες σωληνώσεων. Για να διατηρηθεί η ισορροπία μάζας του συστήματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί νερό αναπλήρωσης.

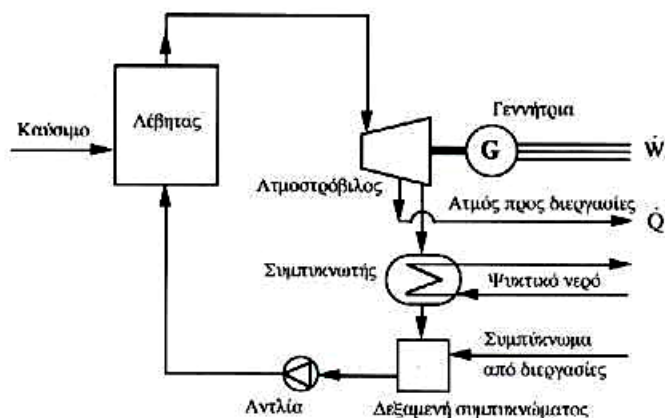


Εικόνα 4: Σύστημα αμοστροβίλου αντίθλιψης

Πηγή: Καραγιάννης, 2021

Στους αμοστροβίλους **απομάστευσης**, ο ατμός για τη θερμική εφαρμογή λαμβάνεται με εκχύλιση από ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα στάδια στην κατάλληλη πίεση και θερμοκρασία. Ο ατμός που απομένει εξαντλείται στην πίεση του συμπυκνωτή, η οποία μπορεί να είναι έως και 0,05 bar με αντίστοιχη θερμοκρασία συμπύκνωσης περίπου 33°C (Al Moussawi et al., 2017). Αυτός ο ατμός συνήθως απορρίπτεται στο περιβάλλον, επειδή τέτοια θερμότητα σε χαμηλή θερμοκρασία δεν μπορεί να είναι χρήσιμη. Σε σύγκριση με τον στρόβιλο αντίθλιψης, ο τύπος συμπύκνωσης έχει

υψηλότερο κόστος κεφαλαίου και συνήθως χαμηλότερη συνολική απόδοση. Ωστόσο, μπορεί να ελέγξει την ηλεκτρική ισχύ ανεξάρτητα από το θερμικό φορτίο ρυθμίζοντας σωστά τον ρυθμό ροής ατμού μέσω του στροβίλου.



Εικόνα 5: Σύστημα ατμοστρόβιλου απομάστευσης

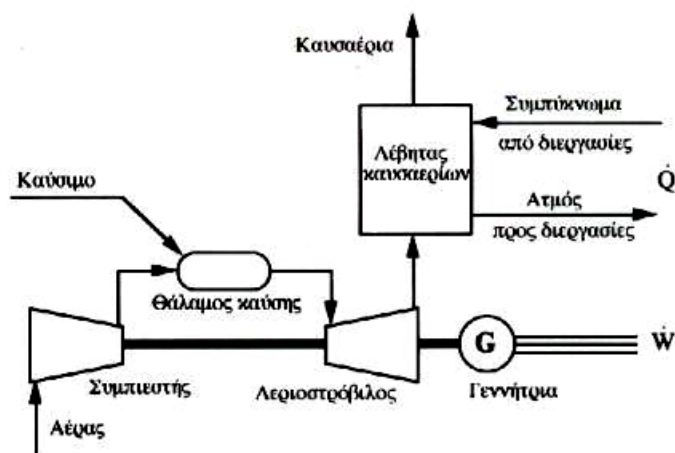
Πηγή: Καραγιάννης, 2021

Αεριοστρόβιλοι

Τα συστήματα αεριοστρόβιλων λειτουργούν στον θερμοδυναμικό κύκλο Brayton, στον οποίο ο ατμοσφαιρικός αέρας συμπιέζεται, θερμαίνεται και διαστέλλεται, παράγοντας πίεση για να κινήσει τον στρόβιλο και επομένως τη γεννήτρια. Συνήθως τροφοδοτούνται από φυσικό αέριο ή από άλλα καύσιμα όπως το ελαφρύ μαζούτ και το ντίζελ. Το τυπικό εύρος των αεριοστρόβιλων μπορεί να ποικίλλει από ένα τμήμα ενός MW έως εκατοντάδες MW (Al Moussawi et al., 2017). Τα συστήματα CHP και CCHP αεριοστρόβιλων μπορούν να διασφαλίσουν ότι οι περισσότερες από τις ενεργειακές απαιτήσεις έχουν μια σημαντικά αυξημένη θερμοκρασία εξόδου θερμότητας. Έτσι, άσχετα με τις οικονομικές πτυχές, η τεχνολογία αυτή γνώρισε ταχεία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια.

Οι περισσότερες αεριοστροβιλικές μονάδες είναι **ανοικτού κύκλου**, όπου αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια εκτονώνονται στον αεριοστρόβιλο (που κινεί τη γεννήτρια), από τον οποίο βγαίνουν σε θερμοκρασία 300–600°C. Η σημαντική ισχύς που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή και η υψηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι οι κύριες αιτίες του μικρού βαθμού απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος

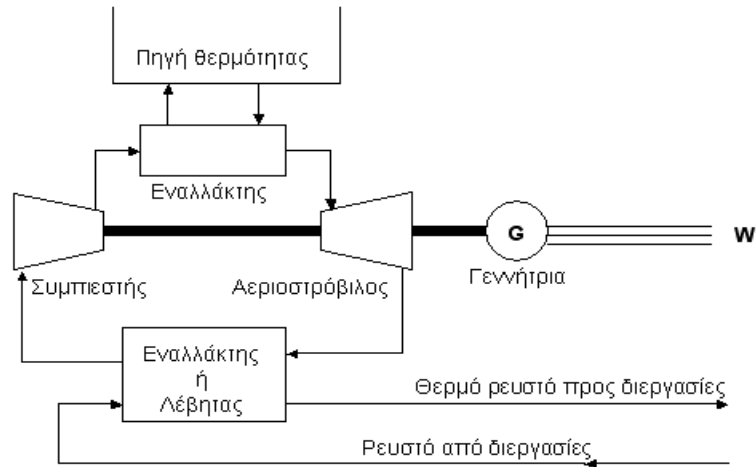
ηλεκτροπαραγωγής (25–35% και σε σύγχρονες προηγμένες μονάδες 40%) (Καραγιάννης, 2021).



Εικόνα 6: Σύστημα αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου

Πηγή: Καραγιάννης, 2021

Στα συστήματα **κλειστού κύκλου**, το λειτουργικό ρευστό που ρέει μέσα από το περίβλημα του στροβίλου δεν είναι τα θερμά προϊόντα καύσης αλλά συνήθως είτε ήλιο είτε αέρας. Αυτό το ρευστό κυκλοφορεί σε έναν κλειστό βρόχο που συνδέει τον αεριοστρόβιλο με έναν εναλλάκτη θερμότητας που βρίσκεται εντός του θαλάμου καύσης ο οποίος μεταφέρει τη θερμική ενέργεια από τα θερμά προϊόντα καύσης στο ρευστό. Δεδομένου ότι το κυκλοφορούν υγρό δεν είναι μολυσμένο, η πιθανότητα φθοράς και ζημιάς του περυγίου του στροβίλου μειώνεται σημαντικά όταν απομονώνεται από το ρεύμα καυσαερίων. Μπορεί επίσης να προστεθεί ένας αναγεννητής για την ανάκτηση θερμότητας από την εξάτμιση και την ανύψωση της θερμοκρασίας του αέρα καύσης (Al Moussawi et al., 2017).



Εικόνα 7: Σύστημα αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου

Πηγή: Καραγιάννης, 2021

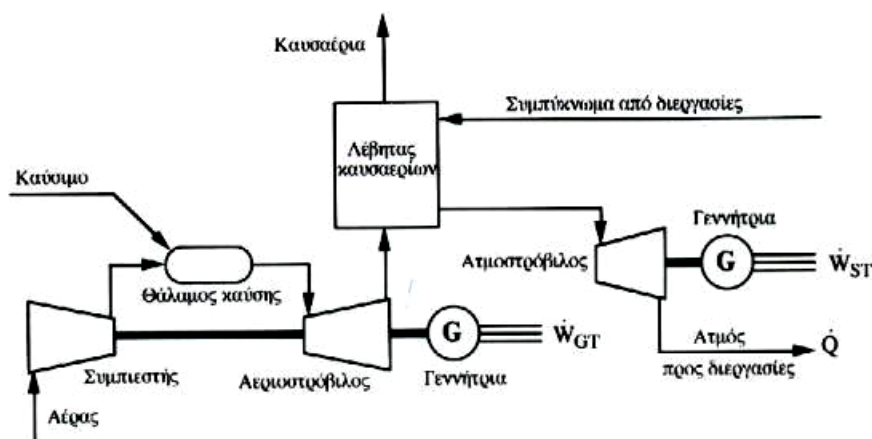
Μικροστρόβιλοι

Οι μικροστρόβιλοι είναι μικροί αεριοστρόβιλοι που κυμαίνονται από 30 έως 350 kW, έχουν μικρό αριθμό κινούμενων μερών και μπορούν να λειτουργούν με διάφορα αέρια και υγρά καύσιμα. Παράγουν επίσης περιστροφή υψηλής ταχύτητας για την κίνηση των ηλεκτρικών γεννητριών και απορρίπτουν τα καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας με θερμότητα υψηλής ποιότητας (Al Moussawi et al., 2017). Ένας μικροστρόβιλος αποτελείται από ένα συμπιεστή, έναν αεριοστρόβιλο και έναν προαιρετικό εσωτερικό ανακτητή για υψηλότερη συνολική ενεργειακή απόδοση. Δύο διαμορφώσεις μικροστρόβιλου είναι διαθέσιμες αυτήν τη στιγμή: μοντέλα μονού άξονα και διπλού άξονα, όπου και τα δύο μπορούν να διαθέτουν λειτουργίες εξασθένησης ήχου για μείωση του θορύβου.

Συστήματα Συνδυασμένου Κύκλου

Συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι αυτά που αποτελούνται από δύο θερμοδυναμικούς κύκλους, που συνδέονται με ένα λειτουργικό ρευστό και λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι αυτά που χρησιμοποιούν αεριοστρόβιλους ατμού, γνωστά και ως συνδυασμένα συστήματα Joule-Rankine. Ένα τέτοιο σύστημα

χρησιμοποιεί την εξάτμιση υψηλής θερμοκρασίας από έναν αεριοστρόβιλο για να παράγει ατμό υψηλής πίεσης ο οποίος στη συνέχεια περνά μέσα από τους ατμοστρόβιλους για να παράγει περισσότερη ισχύ. Αυτός ο συνδυασμός χρησιμοποιείται συνήθως σε μεγάλης κλίμακας παραγωγή ενέργειας παρέχοντας πολύ υψηλή απόδοση ισχύος έως και 55%. Η θερμότητα μπορεί να ανακτηθεί στη συνέχεια από τον κύκλο του ατμοστρόβιλου. Η μέγιστη δυνατή θερμοκρασία ατμού είναι κατά 25–40°C χαμηλότερη από αυτή των καυσαερίων από τον αεριοστρόβιλο, με μέγιστη πίεση 80 bar. Εάν απαιτείται, η πρόσθετη καύση καυσίμου χρησιμοποιώντας συμπληρωματικό λέβητα μπορεί να φτάσει σε επίπεδα θερμοκρασίας και πίεσης 540°C και 100 bar αντίστοιχα (Al Moussawi et al., 2017). Η τυπική ηλεκτρική ισχύς του συστήματος κυμαίνεται από 4 έως 100 MW_e ή και περισσότερο (Καραγιάννης, 2021). Τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου CHP και CCHP μπορούν να έχουν απόδοση 70-90% και λόγο ισχύος προς θερμότητα στην περιοχή από 0,6-2. Ο λόγος ισχύος προς θερμότητα υποδεικνύει την αναλογία ισχύος (ηλεκτρική ή μηχανική ενέργεια) προς θερμική ενέργεια (ατμός, ζεστό νερό, κρύο νερό) που παράγεται στο σύστημα CHP/CCHP. Δεδομένου ότι τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου έχουν ήδη υψηλή ηλεκτρική απόδοση αφού παράγουν ηλεκτρική ενέργεια σε δύο στάδια, οι βελτιώσεις σχετικά με τις τιμές απόδοσης γίνονται στενότερες και ενδέχεται να σταματήσουν στη συμπαραγωγή. Η ενεργειακή απόδοση του συστήματος τριπαραγωγής είναι καλύτερη από αυτή του συστήματος συμπαραγωγής. Ο κύκλος CCHP έχει λιγότερες εκπομπές από τον κύκλο CHP, παρέχοντας ένα σημαντικό κίνητρο για τη χρήση του πρώτου (Al Moussawi et al., 2017).

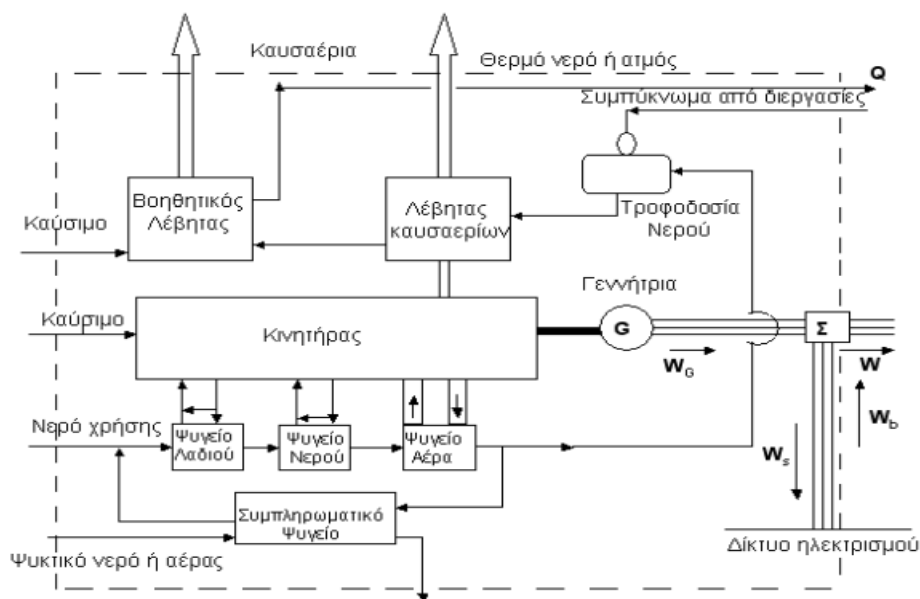


Εικόνα 8: Σύστημα συνδυασμένου κύκλου

Πηγή: Καραγιάννης, 2021

Παλινδρομικές Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

Ένας παλινδρομικός κινητήρας μετατρέπει την πίεση σε περιστροφική κίνηση χρησιμοποιώντας έμβολα που περιέχονται σε κυλίνδρους όπου λαμβάνει χώρα η χημική αντίδραση της καύσης του καυσίμου. Μπορεί να είναι είτε ανάφλεξη με σπινθήρα, που λειτουργεί κυρίως με φυσικό αέριο και βενζίνη, είτε κινητήρας ανάφλεξης με συμπίεση που τροφοδοτείται από προϊόντα πετρελαίου όπως το ντίζελ. Για εφαρμογές κάτω του 1 MW, οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης είναι μακράν ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός παραγωγής ενέργειας. Ένα σύστημα CHP που βασίζεται σε έναν παλινδρομικό κινητήρα περιέχει συνήθως μηχανή εσωτερικής καύσης, λέβητα ανάκτησης θερμότητας και εναλλάκτη θερμότητας στο κύκλωμα ψύξης του κινητήρα. Συνήθως προστίθεται ψύκτης απορρόφησης για συστήματα CCHP. Η θερμότητα παρέχεται κυρίως σε δύο επίπεδα θερμοκρασίας: από τα ψυκτικά υγρά του κινητήρα (80–90°C) και τα καυσαέρια της καύσης (400–600°C) (Καραγιάννης, 2021). Αν και είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί λόγω του χαμηλού επιπέδου θερμοκρασίας, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξει θερμότητα από συστήματα ενδοψύξης και λίπανσης λαδιού. Έτσι, η θερμική ενέργεια παρέχεται γενικά με τη θερμότητα που διατηρείται σε τρεις κύριες πηγές: καυσαέρια, μπλοκ κυλίνδρων και λάδι κινητήρα που θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν το 30%, το 20% και το 15% της ενέργειας καυσίμου αντίστοιχα (Al Moussawi et al., 2017).

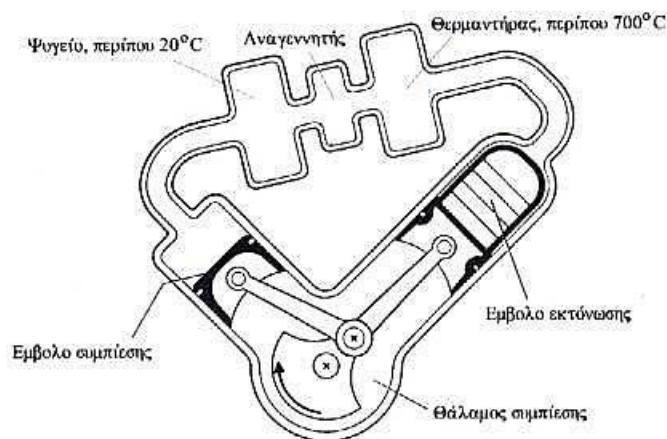


Εικόνα 9: Σύστημα παλινδρομικής μηχανής εσωτερικής καύσης

Πηγή: Καραγιάννης, 2021

Μηχανές Stirling

Η μηχανή Stirling είναι ένας θερμικός κινητήρας που λειτουργεί στον κύκλο Carnot και είναι γνωστός ως κινητήρας εξωτερικής καύσης, καθώς όλη του η θερμότητα ρέει μέσα και έξω μέσω του τοιχώματος του. Περικλείει μια σταθερή ποσότητα μόνιμα αέριου ρευστού όπως αέρα ή ήλιο. Ο γενικός κύκλος του αποτελείται από συμπίεση αερίου, θέρμανση, διαστολή και τελικά ψύξη πριν από την επανάληψη του κύκλου. Σε μια τυπική μηχανή Stirling, περίπου το 30% της εισροής θερμότητας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο απορρίπτεται στο σύστημα ψύξης και στα καυσαέρια. Οι μηχανές Stirling είναι υδρόψυκτες οδηγώντας σε μια σχετικά εύκολη δέσμευση της απορριπτόμενης θερμότητας για εφαρμογές CHP/CCHP χρησιμοποιώντας απλό εναλλάκτη θερμότητας υγρό-υγρό. Μπορούν να επιτύχουν θερμική απόδοση που πλησιάζει το 80% με ανταγωνιστικό λογικό κόστος όταν χρησιμοποιούνται με έναν κατάλληλο θερμικό ξενιστή (Al Moussawi et al., 2017). Τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα υψηλότερου βαθμού απόδοσης, μεγαλύτερη ευελιξία καυσίμου, καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο, χαμηλές εκπομπές ρύπων, χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών (Καραγιάννης, 2021).

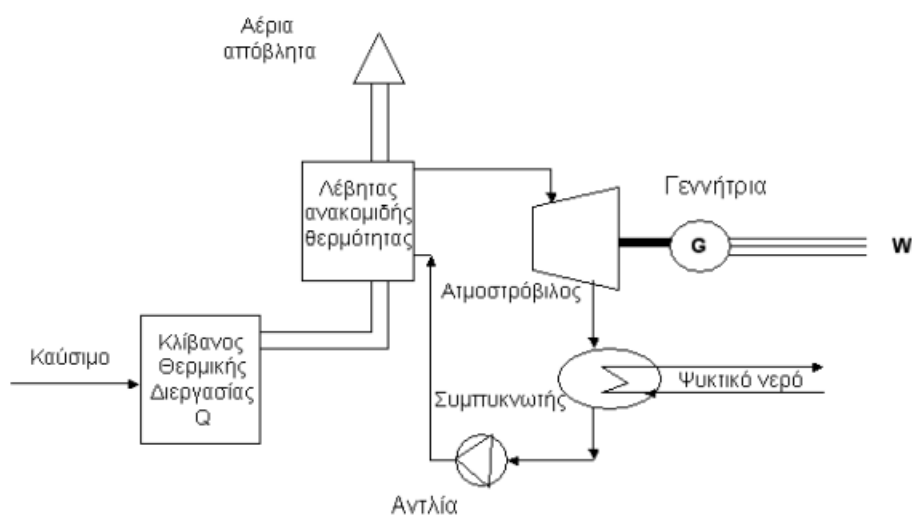


Εικόνα 10: Μηχανή Sterling

Πηγή: Καραγιάννης, 2021

Οργανικοί Κύκλοι Rankine

Ένας οργανικός κύκλος Rankine βασίζεται στην ίδια αρχή των ατμοστροβίλων, αλλά χρησιμοποιεί ένα οργανικό ρευστό (όχι νερό), που έχει είτε χαμηλότερο είτε υψηλότερο σημείο βρασμού. Τα συστήματα αυτά που χρησιμοποιούν ρευστά χαμηλού σημείου βρασμού μπορούν να λειτουργήσουν χρησιμοποιώντας χαμηλής ποιότητας θερμότητα για να παράγουν επιπλέον ισχύ. Αυτά μπορούν να οδηγηθούν από την απορριπτόμενη θερμότητα από συμβατικές CHP/CCHP ή από λέβητες. Ωστόσο, η ανάκτηση θερμότητας από τον ίδιο τον οργανικό κύκλο δεν είναι πρακτική σε πολλές περιπτώσεις, καθώς η θερμοκρασία του συμπυκνωτή είναι πολύ χαμηλή για τις περισσότερες εφαρμογές (περίπου 20°C) (Al Moussawi et al., 2017). Επίσης, η ανάκτηση θερμότητας μεταξύ των σταδίων του στροβίλου θα μείωνε μια ήδη χαμηλή απόδοση κύκλου. Αντίθετα, η θερμότητα που ανακτάται από ένα οργανικό κύκλο Rankine χρησιμοποιώντας ένα υγρό υψηλού σημείου βρασμού όπως το λάδι θα ήταν πιο χρήσιμη (Σκαρμούτσος & Τζαβαλής, 2021). Η ισχύς των συστημάτων αυτών κυμαίνεται στην περιοχή 2 kW–10 MW. Ο βαθμός απόδοσης είναι μικρός, 10-30%, αλλά σημασία έχει το γεγονός ότι ένα τέτοιο σύστημα παράγει πρόσθετη ισχύ χωρίς να ξοδεύει καύσιμο (Καραγιάννης, 2021).

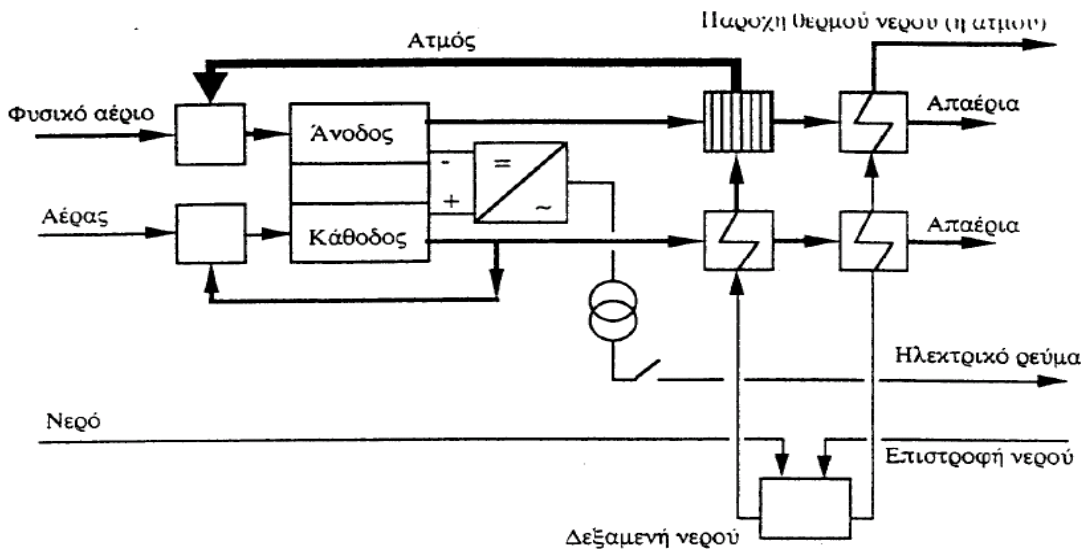


Εικόνα 11: Κύκλος βάσης Rankine με οργανικά ρευστά

Πηγή: Καραγιάννης, 2021

Κυψέλες Καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου αντιπροσωπεύουν μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνολογίες. Μοιάζουν με τις μπαταρίες για την παραγωγή συνεχούς ρεύματος μέσω ηλεκτροχημικής διεργασίας χωρίς άμεση καύση καυσίμου, αλλά μπορούν να λειτουργούν επ' αόριστον, υπό την προϋπόθεση ότι είναι διαθέσιμη μια συνεχής πηγή καυσίμου. Γενικά παρουσιάζουν υψηλή ηλεκτρική απόδοση υπό ποικίλο φορτίο. Μία κυψέλη καυσίμου λειτουργεί όταν το υδρογόνο και το οξυγόνο αντιδρούν παρουσία ηλεκτρολύτη για την παραγωγή νερού, το οποίο δημιουργεί ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που οδηγεί ένα ηλεκτρικό ρεύμα μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος. Τρία βασικά στοιχεία διέπουν τη λειτουργία μίας κυψέλης καυσίμου: ο αναμορφωτής που εξάγει υδρογόνο από ένα αέριο καύσιμο, η εξάτμιση που είναι ένα υλικό ηλεκτρολύτη τοποθετημένο ανάμεσα σε αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια και ο μετατροπέας όπου λαμβάνει χώρα η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (Al Moussawi et al., 2017). Οι κυψέλες καυσίμου είναι θεωρητικά κατάλληλες για συμπαραγωγή στο βιομηχανικό – εμπορικό – κτιριακό τομέα διαθέτοντας πλεονεκτήματα όπως η αρθρωτή (modular) δομή τους, η οποία διευκολύνει την κατασκευή μονάδων με την επιθυμητή ισχύ, η διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης, ακόμη και σε μερικό φορτίο (δηλαδή φορτίο μικρότερο του ονομαστικού), οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου (Καραγιάννης, 2021).



Εικόνα 12: Κυψέλες καυσίμου

Πηγή: Καραγιάννης, 2021

Κεφάλαιο 2. Μονάδα Συμπαραγωγής Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

2.1 Μονάδες Συμπαραγωγής στα Πανεπιστήμια γενικά

Οι πανεπιστημιούπολεις ανήκουν στις εγκαταστάσεις υψηλής ενεργειακής κατανάλωσης για διάφορους λόγους, όπως η απουσία στρατηγικής εξοικονόμησης ενέργειας ή ακόμη και η μηδενική διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας. Κανονικά, οι πανεπιστημιούπολεις θα πρέπει να παρουσιάζουν τη βέλτιστη απόδοση κατανάλωσης ενέργειας, αποτελώντας επίσης ένα επιτυχημένο ζωντανό παράδειγμα για νέους μηχανικούς. Δυστυχώς, αυτό δεν ισχύει για τη συντριπτική πλειονότητα των ελληνικών πανεπιστημίων, όπου η σχεδόν «τυχαία» κατασκευή κτιρίων και η απουσία κεντρικής ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής οδηγούν σε ασυνήθιστα υψηλές τιμές ενεργειακής κατανάλωσης. Η τυπική λύση που έχει υιοθετήσει μέχρι τώρα ο δημόσιος τομέας (π.χ. πανεπιστήμια) είναι η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το εθνικό δίκτυο και η κατανάλωση πετρελαίου ή φυσικού αερίου στην κεντρική θέρμανση της πανεπιστημιούπολης. Επιπλέον, η χρήση μικρών κλιματιστικών για κάθε γραφείο, κυρίως για ψύξη, συμπληρώνει το μοτίβο ενεργειακής κατανάλωσης των ελληνικών πανεπιστημίων (Kostopoulos et al., 2019).

Τα συστήματα συμπαραγωγής, χρησιμοποιούνται ευρέως στα ευρωπαϊκά πανεπιστήμια για την ενεργειακή τους απόδοση και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. Όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 1, σε ένα σύστημα συμπαραγωγής ένας ενιαίος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγει ταυτόχρονα ηλεκτρισμό και θερμότητα, κάτι που είναι χρήσιμο στο πλαίσιο των πανεπιστημίων όπου υπάρχει μεγάλη ζήτηση τόσο για ηλεκτρική ενέργεια όσο και για θέρμανση/ψύξη.

Οι μονάδες ΣΗΘΥΑ παράγουν ηλεκτρική ενέργεια επιτόπου για να καλύψουν την ηλεκτρική ζήτηση του πανεπιστημίου. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της εξάρτησης του πανεπιστημίου από το δίκτυο και στη μείωση του ενεργειακού τους κόστους. Επίσης, μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση του ανθρακικού τους αποτυπώματος, πετυχαίνοντας τους στόχους βιωσιμότητας.

Τα συστήματα συμπαραγωγής είναι διαδεδομένα στα ευρωπαϊκά πανεπιστήμια. Στην πραγματικότητα, η Ευρώπη κατέχει ηγετική θέση στην ανάπτυξη συστημάτων ΣΗΘΥΑ, με πολλές χώρες να εφαρμόζουν πολιτικές και κίνητρα για να ενθαρρύνουν την υιοθέτησή τους. Σύμφωνα με το Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, τα συστήματα ΣΗΘΥΑ αντιπροσωπεύουν περίπου το 11% της δυναμικότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης και το 15% της δυναμικότητας παραγωγής θερμότητας. Στα ευρωπαϊκά πανεπιστήμια, χρησιμοποιούνται συχνά για την κάλυψη της υψηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για ψύξη τους καλοκαιρινούς μήνες μέσω της χρήσης ψυκτών απορρόφησης. Επιπλέον, τα ευρωπαϊκά πανεπιστήμια βρίσκονται συχνά σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές όπου η ζήτηση ενέργειας είναι υψηλή, καθιστώντας τα συστήματα ΣΗΘΥΑ ελκυστική επιλογή για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών (Mura and Innamorati, 2015). Μπορούν επίσης να παρέχουν μια αξιόπιστη πηγή εφεδρικής ισχύος σε περίπτωση διακοπής ρεύματος ή άλλων διακοπών στο δίκτυο.

Ένα πανεπιστήμιο δύναται να γίνει ενεργειακά ανεξάρτητο μέσω της χρήσης μιας μονάδας συμπαραγωγής, αν και θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες, όπως το μέγεθος του πανεπιστημίου, την ενεργειακή του κατανάλωση και τη δυναμικότητα της μονάδας συμπαραγωγής. Μια μονάδα συμπαραγωγής μπορεί να παράγει τόσο ηλεκτρική ενέργεια όσο και θερμότητα, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία και τη θέρμανση/ψύξη των κτιρίων του πανεπιστημίου. Εάν η μονάδα συμπαραγωγής έχει επαρκή δυναμικότητα για να καλύψει την ενεργειακή ζήτηση του πανεπιστημίου, τότε θα μπορούσε να καταστήσει το πανεπιστήμιο ενεργειακά ανεξάρτητο. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η πλήρης ενεργειακή ανεξαρτησία μέσω μιας μονάδας συμπαραγωγής θα απαιτούσε προσεκτικό σχεδιασμό και εξέταση παραγόντων όπως μέτρα ενεργειακής απόδοσης, επιλογές αποθήκευσης ενέργειας και εφεδρικές πηγές ενέργειας σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης του εξοπλισμού. Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να είναι πιο οικονομικό για το πανεπιστήμιο να παραμένει συνδεδεμένο στο δίκτυο και να το χρησιμοποιεί ως εφεδρική ή συμπληρωματική πηγή ενέργειας.

Προκειμένου ένα πανεπιστήμιο να γίνει ενεργειακά ανεξάρτητο μέσω της χρήσης μιας μονάδας συμπαραγωγής, ο πρώτος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η ποσότητα ενέργειας που καταναλώνει το πανεπιστήμιο σε καθημερινή βάση. Η μονάδα

συμπαραγωγής θα πρέπει να έχει επαρκή δυναμικότητα για να καλύψει αυτή τη ζήτηση προκειμένου το πανεπιστήμιο να γίνει ενεργειακά ανεξάρτητο. Αυτό θα απαιτούσε ενδεδειγμένο ενεργειακό έλεγχο των κτιρίων και των εγκαταστάσεων του πανεπιστημίου για να προσδιοριστούν τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας.

Η δυναμικότητα της μονάδας συμπαραγωγής θα εξαρτηθεί από την κατανάλωση ενέργειας του πανεπιστημίου και τον τύπο της τεχνολογίας συμπαραγωγής που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, ένας μικροστρόβιλος ή μια μονάδα συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή μπορεί να είναι κατάλληλη για μικρότερα πανεπιστήμια, ενώ ένα μεγαλύτερο πανεπιστήμιο μπορεί να απαιτεί μια μονάδα συμπαραγωγής που βασίζεται σε αεριοστρόβιλο (Silva et al., 2019).

Για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της μονάδας συμπαραγωγής, ένα πανεπιστήμιο θα πρέπει να εφαρμόσει μέτρα ενεργειακής απόδοσης, όπως η χρήση ενεργειακά αποδοτικού φωτισμού, συστημάτων HVAC και συστημάτων αυτοματισμού κτιρίων (Τσαντίλη, 2022).

Ακόμη και με μια μονάδα συμπαραγωγής ή/και αποθήκευση ενέργειας, είναι σημαντικό να υπάρχουν εφεδρικές πηγές ενέργειας, όπως γεννήτριες ντίζελ ή σύνδεση στο δίκτυο για να διασφαλιστεί ότι το πανεπιστήμιο έχει πρόσβαση στην τροφοδοσία σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης του εξοπλισμού (Λουκαδοπούλου, 2009).

Το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας μιας μονάδας συμπαραγωγής θα πρέπει να σταθμιστεί έναντι της πιθανής εξοικονόμησης κόστους και των περιβαλλοντικών οφελών από την ενεργειακή ανεξαρτησία. Αυτό θα απαιτούσε λεπτομερή οικονομική ανάλυση του έργου, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το κόστος κεφαλαίου και το λειτουργικό κόστος.

Συνοπτικά, η ενεργειακή ανεξαρτησία μέσω της χρήσης μιας μονάδας συμπαραγωγής θα απαιτούσε προσεκτικό σχεδιασμό και εξέταση των ενεργειακών αναγκών του πανεπιστημίου και των διαθέσιμων πόρων. Με τον σωστό σχεδιασμό και τις κατάλληλες επενδύσεις, είναι δυνατό ένα πανεπιστήμιο να γίνει ενεργειακά ανεξάρτητο και να μειώσει τις περιβαλλοντικές του επιπτώσεις.

2.2 Μονάδα ΣΗΘΥΑ Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα

Προκειμένου να βελτιώσει την ενεργειακή του απόδοση και να μειώσει το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα, το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (Πα.Δ.Α.) αποφάσισε να εγκαταστήσει μια μεσαίου μεγέθους μονάδα συμπαραγωγής για την κάλυψη των αναγκών του σε ηλεκτρική ενέργεια και θέρμανση/ψύξη, χρησιμοποιώντας φυσικό αέριο χαμηλής ρύπανσης.

Το καλοκαίρι του 2016, τέθηκε σε δοκιμαστική λειτουργία η μονάδα συμπαραγωγής στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα (τότε ΤΕΙ Πειραιά), καλύπτοντας αρχικά ένα μεγάλο μέρος από το ηλεκτρικό φορτίο του ιδρύματος, αλλά κι έπειτα κάποιο μερίδιο από το αντίστοιχο θερμικό. Το 2018, αφού ολοκληρώθηκαν οι απαραίτητες υποδομές, η μονάδα ΣΗΘΥΑ (Εικόνα 13) ξεκίνησε να αξιοποιείται και τους θερινούς μήνες, καλύπτοντας πλέον και σημαντικό μέρος του ψυκτικού φορτίου του ιδρύματος (Κωστόπουλος et al., 2021).



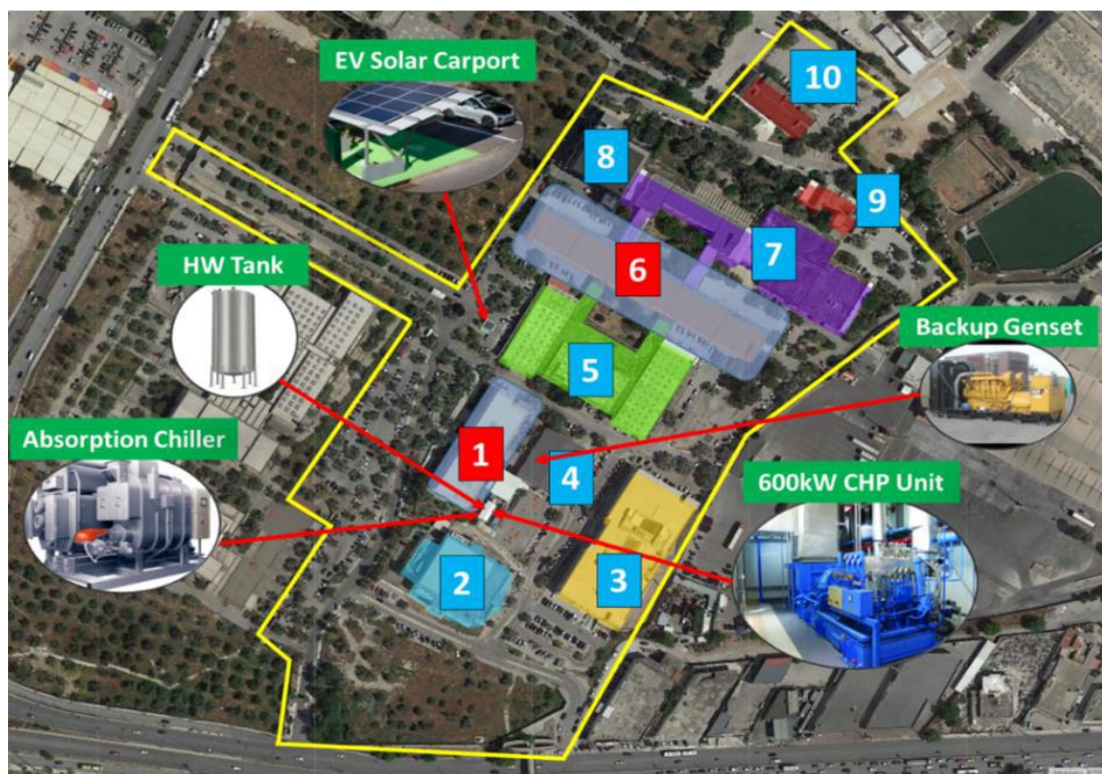
Εικόνα 13: Μονάδα ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α.

Πηγή: Κωστόπουλος et al., 2021

Η μονάδα αυτή λειτουργεί περιοδικά έως και σήμερα (12.000 ώρες λειτουργίας μέχρι το 2021). Συγκεκριμένα, στο αρχικό της στάδιο και μέχρι τις αρχές του 2021, η μονάδα λειτουργούσε υπό το καθεστώς της αυτοπαραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι η περίσσεια παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χαριζόταν στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο όταν η παραγωγή της ΣΗΘΥΑ ήταν περισσότερη από τη σχετική ζήτηση, με την αντίστοιχη πλεονάζουσα θερμική ενέργεια να απορρίπτεται στο περιβάλλον, όταν δεν υπήρχαν ανάγκες θέρμανσης/ψύξης. Με το καθεστώς αυτό λοιπόν, προκειμένου η αξιοποίηση

της μονάδας να είναι ανταγωνιστική και συμφέρουσα για το ίδρυμα, ήταν απαραίτητο να εφαρμόζεται ένα συγκεκριμένο πλάνο λειτουργίας, όπου η παραγωγή θα ακολουθεί τη ζήτηση, επιδιώκοντας έναν ωριαίο ταυτοχρονισμό ηλεκτρικών και θερμικών/ψυκτικών φορτίων.

Πλέον, από τον Ιούνιο του 2021, η μονάδα ΣΗΘΥΑ λειτουργεί υπό το νομικό καθεστώς της αυτοπαραγωγής με εφαρμογή εικονικού ενεργειακού συμφηφισμού (Virtual Net Metering) με χρήση φυσικού αερίου, για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών (ηλεκτρικών και θερμικών/ψυκτικών φορτίων) της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα (Π-2) και των ηλεκτρικών φορτίων της Πανεπιστημιούπολης Αθηνών (Π-3). Υπό το καθεστώς αυτό, η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εγχέεται στο δίκτυο όταν η ζήτηση είναι μικρότερη της παραγωγής, και δίνεται πίσω στο πανεπιστήμιο στην αντίθετη περίπτωση, πραγματοποιώντας ενεργειακό συμφηφισμό.



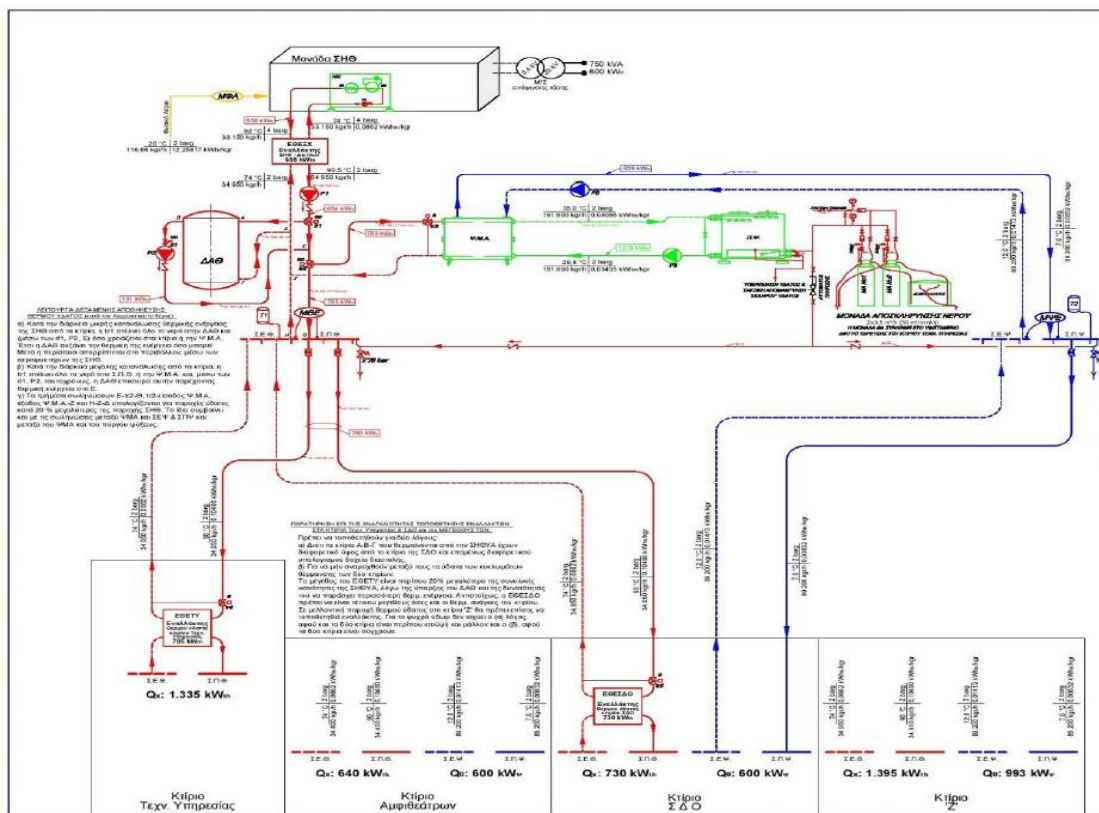
Εικόνα 14: Θέση μονάδας ΣΗΘΥΑ στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα

Πηγή: Κωστόπουλος et al., 2021

Η ηλεκτρική ισχύς της μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α. είναι 600kW_e , η θερμική ισχύς της είναι 658kW_{th} ενώ η αντίστοιχη ψυκτική ισχύς της ισούται με 844kW_c (38% ηλεκτρική απόδοση και 50% θερμική) (Κωστόπουλος et al., 2021).

Τα γενικά στοιχεία που απαρτίζουν τη συγκεκριμένη μονάδα συμπαρογωγής όπως περιγράφεται στην Εικόνα 15 είναι τα εξής (Γκιόγκεζας, 2018):

- Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος αποτελούμενο από κινητήρα αερίου και γεννήτρια, συμπεριλαμβάνοντας όλους τους απαραίτητους αυτοματισμούς λειτουργίας και διασύνδεσης
- Γραμμή τροφοδοσίας φυσικού αερίου
- Ψυκτική μονάδα νερού με απορρόφηση και πύργος ψύξης
- Αυτόματο σύστημα αποσκλήρυνσης ύδατος
- Δίκτυο κυκλοφορίας ζεστού νερού προς συλλέκτες λεβητοστασίων
- Δίκτυο κυκλοφορίας κρύου νερού προς συλλέκτες ψυχοστασίων
- Μετασχηματιστής ανύψωσης
- Βοηθητικά συστήματα (πυρανίχνευση, πυρόσβεση κ.λπ.)



Εικόνα 15: Διάγραμμα ροής εγκατάστασης ΣΗΘΥΑ

Πηγή: Γκιόγκεζας, 2018

Πιο συγκεκριμένα, τα κύρια στοιχεία του συστήματος ΣΗΘΥΑ της Πανεπιστημιούπολης του Αρχαίου Ελαιώνα περιγράφονται παρακάτω (Kostopoulos et al., 2019):

- Εμβολοφόρος υδρόψυκτος κινητήρας εσωτερικής καύσης που καταναλώνει φυσικό αέριο και λειτουργεί στις 1500 rpm. Η αντίστοιχη ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι $0,25 \text{ Nm}^3/\text{kWh}_e$
- Μία σύγχρονη τριφασική ηλεκτρογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 750 kVA, 50 Hz και τάσεως εξόδου 400 V
- Ολοκληρωμένο σύστημα εναλλακτών θερμότητας, για την ανάκτηση της αποβαλλόμενης θερμότητας ισχύος 658 kW_{th} , και σύστημα αερόψυκτων ψυκτών σε περίπτωση απόρριψης του θερμικού φορτίου του κινητήρα χωρίς χρήση από τα συστήματα θέρμανση/ψύξης της πανεπιστημιούπολης
- Πίνακας ελέγχου/αυτοματισμού όλης της εγκατάστασης, υποστηρίζοντας τόσο την αυτόνομη όσο και την παράλληλη λειτουργία της ΣΗΘΥΑ με το ηλεκτρικό δίκτυο

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια της μονάδας, μετά από ανύψωση από το μετασχηματιστή ξηρού τύπου (400V/20kV) καταναλώνεται υπό τη μορφή ενέργειας υψηλής τάσης 20kV/50Hz, ενώ η θερμική ενέργεια διοχετεύεται για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης και ψύξης των κτηρίων της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα, παρεχόμενη στις αντίστοιχες θέσεις συλλεκτών θερμού και ψυχρού ύδατος (Κωστόπουλος et al., 2021). Σε περιπτώσεις που η παραγόμενη θερμική ενέργεια δεν καταναλώνεται από τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης της πανεπιστημιούπολης, απορρίπτεται στο περιβάλλον, μέσω των εγκατεστημένων αερόψυκτων ψυκτών επείγουσας αποβολής της μονάδας, χάνοντας όμως στην περίπτωση αυτή το πλεονέκτημα της συμπαραγωγής.

Η μονάδα λειτουργεί παράλληλα και σε συγχρονισμό με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο, επιτρέποντας την αμφίδρομη ροή ηλεκτρικού ρεύματος από το κεντρικό σύστημα, το οποίο δύναται να καλύπτει μέρος του φορτίου της πανεπιστημιούπολης, αλλά και να δέχεται την περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Net Metering). Σε περιπτώσεις διακοπής της ηλεκτροδότησης από τη Δ.Ε.Η., η μονάδα έχει τη δυνατότητα (μέσω των διαθέσιμων κατάλληλων αυτοματισμών προστασίας)

αυτόνομης λειτουργίας (σε μορφή Island Mode), ηλεκτροδοτώντας την Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα, σε συνεργασία με το υφιστάμενο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος EHZ 800 kVA (Κωστόπουλος et al., 2021).

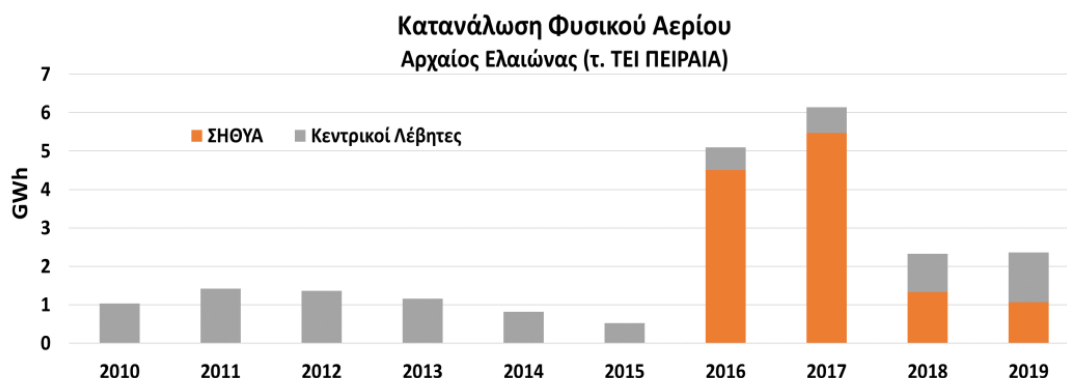
Όπως φαίνεται στο Γράφημα 1, η λειτουργία της μονάδας ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2016, και έως το Σεπτέμβριο του 2017 λειτούργησε συστηματικά υπό την εποπτεία της εταιρείας εγκατάστασης της ΣΗΘΥΑ. Τα επόμενα χρόνια η αξιοποίηση της μονάδας ήταν περιορισμένη λόγω απουσίας ειδικευμένου προσωπικού εποπτείας και λειτουργίας της ΣΗΘΥΑ.



Γράφημα 1: Διαχρονική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας Π-2 (2011-2019)

Πηγή: Κωστόπουλος et al., 2021

Όμοια, στο Γράφημα 2 απεικονίζεται η αντίστοιχη κατανάλωση φυσικού αερίου για την Π-2. Όπως φαίνεται λοιπόν, το 2016 και το 2017 η κατανάλωση από τη ΣΗΘΥΑ ήταν μεγάλη λόγω της συστηματικής της λειτουργίας, ενώ το επόμενο χρονικό διάστημα μειώθηκε λόγω της περιοδικής της χρήσης, αυξάνοντας έτσι τη συμμετοχή των υφιστάμενων λεβήτων στην κατανάλωση φυσικού αερίου για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα.



Γράφημα 2: Διαχρονική κατανάλωση φυσικού αερίου Π-2 (2010-2019)

Πηγή: Κωστόπουλος et al., 2021

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι λέβητες των κτιρίων της Π-2, οι οποίοι συμβάλλουν στην κάλυψη των αναγκών θέρμανσης της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα. Από τα κτίρια αυτά, μόνο τα Α,Β,Γ και Δ καλύπτουν τα θερμικά τους φορτία μέσω της μονάδας ΣΗΘΥΑ, καθώς οι υποδομές είναι κατασκευασμένες κατ' αυτόν τον τρόπο προς το παρόν. Για τον ίδιο λόγο αντίστοιχα, η μονάδα δύναται να καλύπτει τα ψυκτικά φορτία των κτιρίων Α,Β και Δ.

Πίνακας 1: Λέβητες Π-2 (Πηγή: Αυτοψία με τεχνικό προσωπικό)

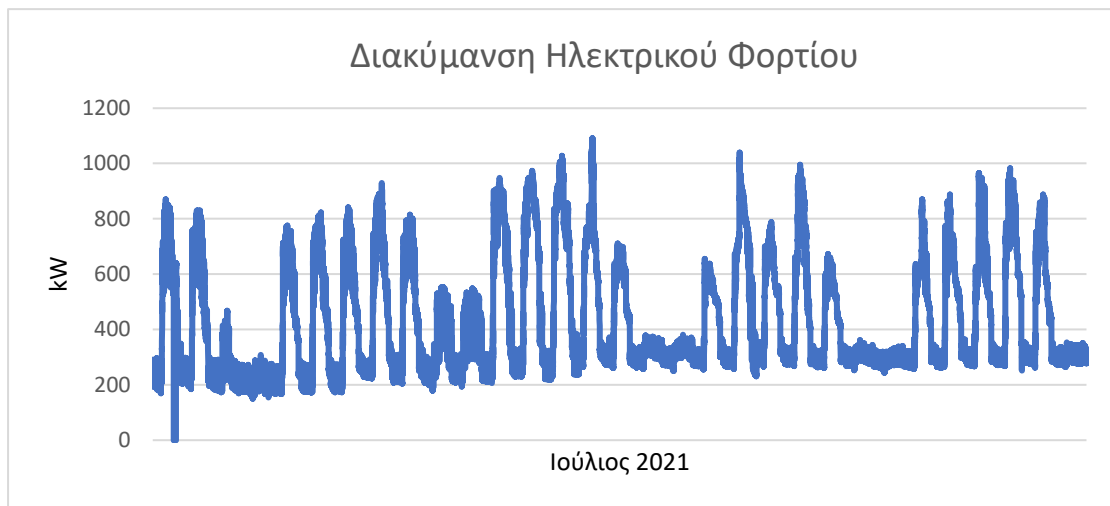
Τοποθεσία λέβητα	Κτίριο που τροφοδοτεί	Καύσιμο		Ισχύς (kW)	Απόδοση (%)
Τεχνική Υπηρεσία	Τεχνική Υπηρεσία	Φ.Α.	Πετρέλαιο	1358	92,8
	Α, Β, Γ	Φ.Α.	Πετρέλαιο	1358	92,8
Συνεδριακό Κτίριο	Συνεδριακό	Φ.Α.		652	92,6
Κτίριο Ζ	Ζ	Φ.Α.	Πετρέλαιο	1400	94,1
Κτίριο Δ	Δ	Φ.Α.		730	91,5
Κτίριο Διοίκησης	Διοίκηση	Φ.Α.		270	92,6

Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται πλήρως ο υφιστάμενος τρόπος λειτουργίας αναλύοντας την παραγωγή της μονάδας ΣΗΘΥΑ για το εξεταζόμενο διάστημα 2021-2022, παρουσιάζοντας παράλληλα τα αντίστοιχα ηλεκτρικά φορτία.

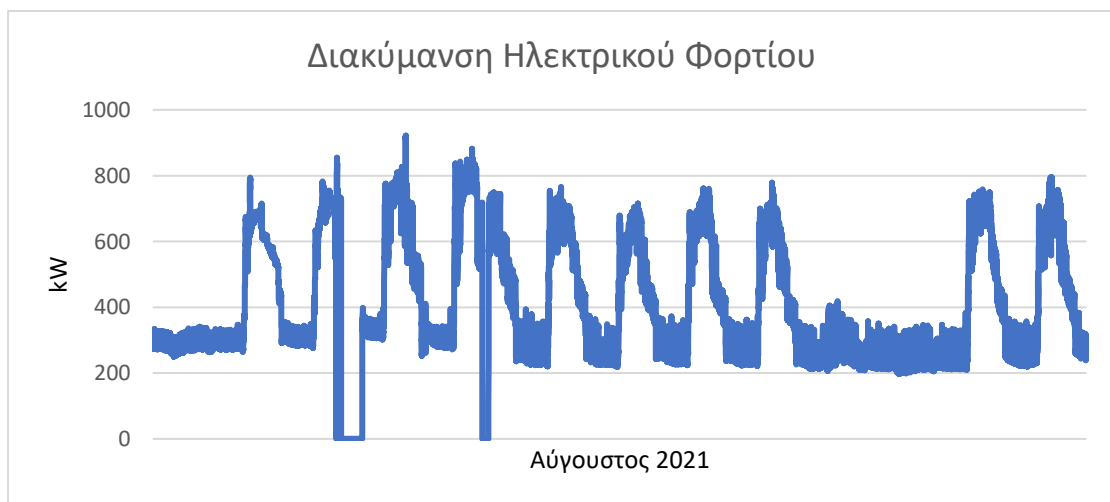
Κεφάλαιο 3. Υφιστάμενη Ενεργειακή Κατάσταση Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα

3.1 Ενεργειακές Καταναλώσεις Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα

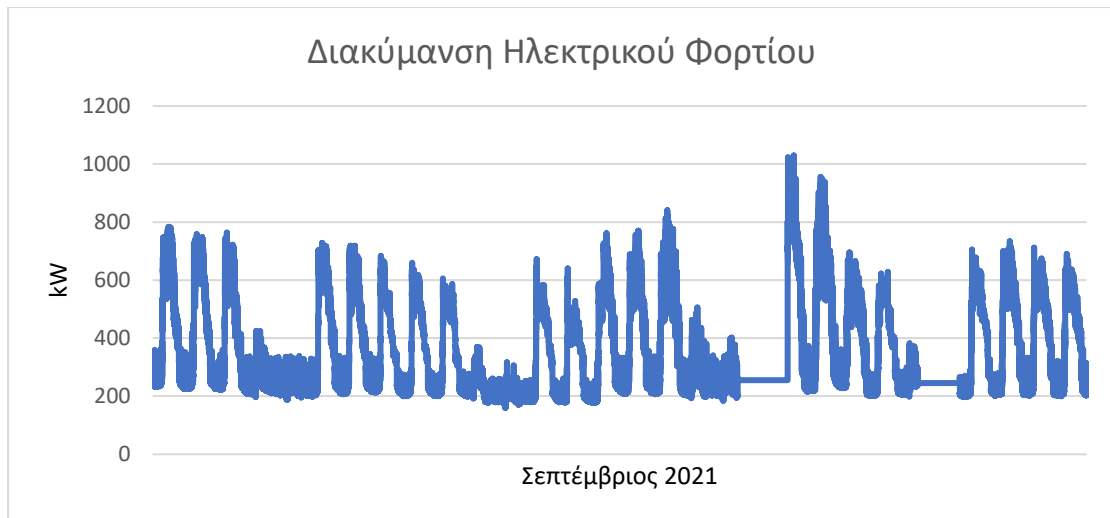
Ως έτος βάσης προς μελέτη λήφθηκε το διάστημα από τον Ιούλιο του 2021 έως τον Ιούνιο του 2022. Αρχικά, παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα με τη διακύμανση του συνολικού ηλεκτρικού φορτίου της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα (Π-2), για κάθε μήνα του παραπάνω χρονικού διαστήματος. Τα δεδομένα αντλήθηκαν από το λογισμικό της μονάδας ΣΗΘΥΑ.



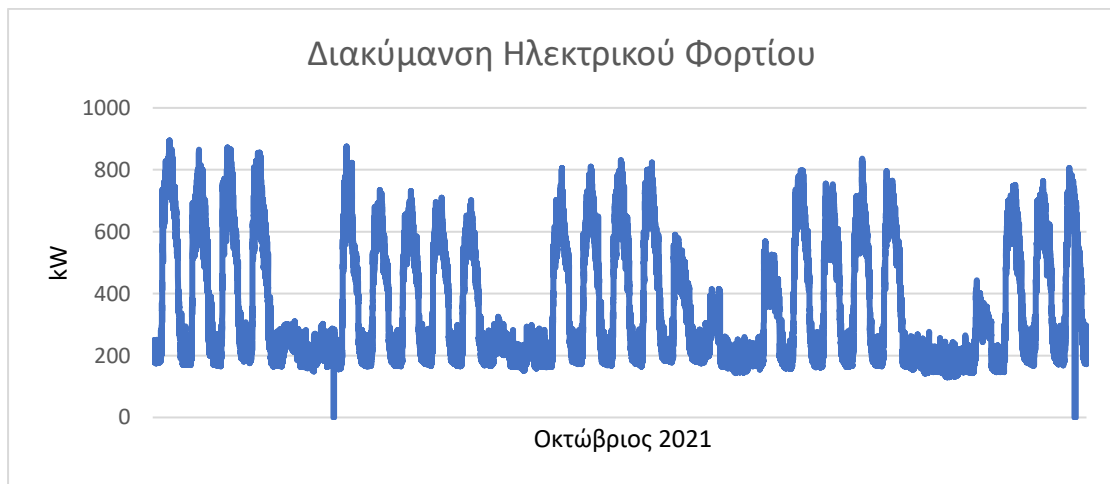
Γράφημα 3: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Ιούλιος 2021)



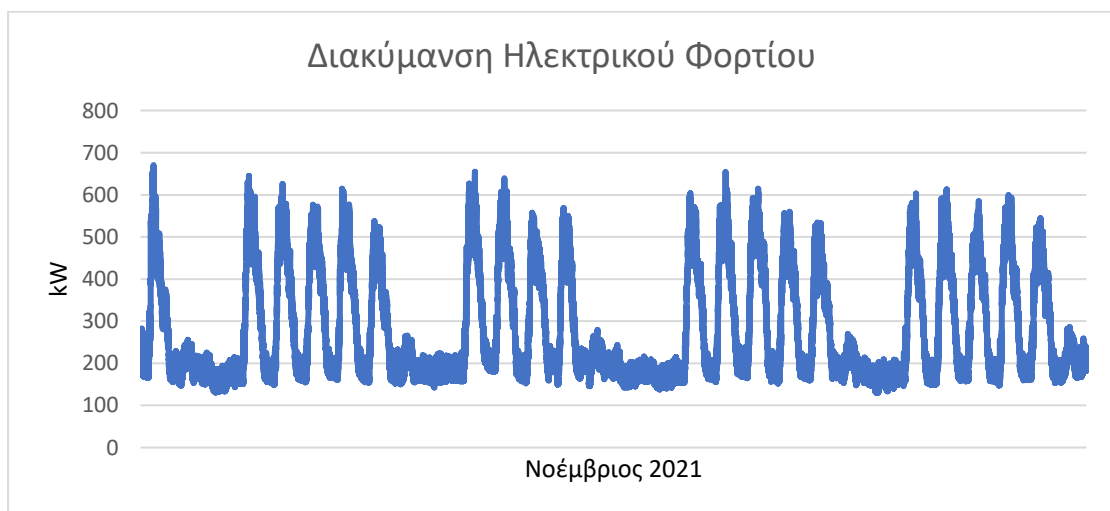
Γράφημα 4: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Αύγουστος 2021)



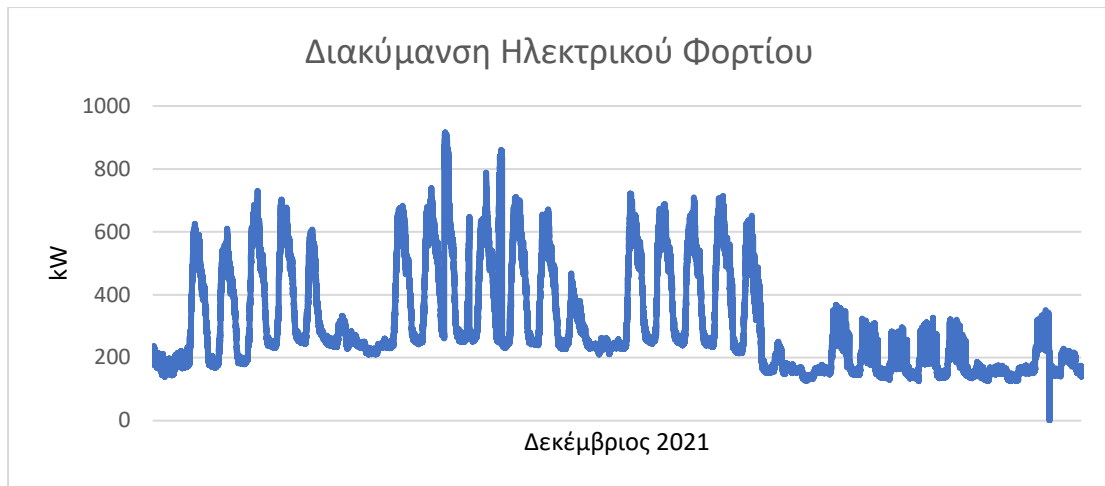
Γράφημα 5: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Σεπτέμβριος 2021)



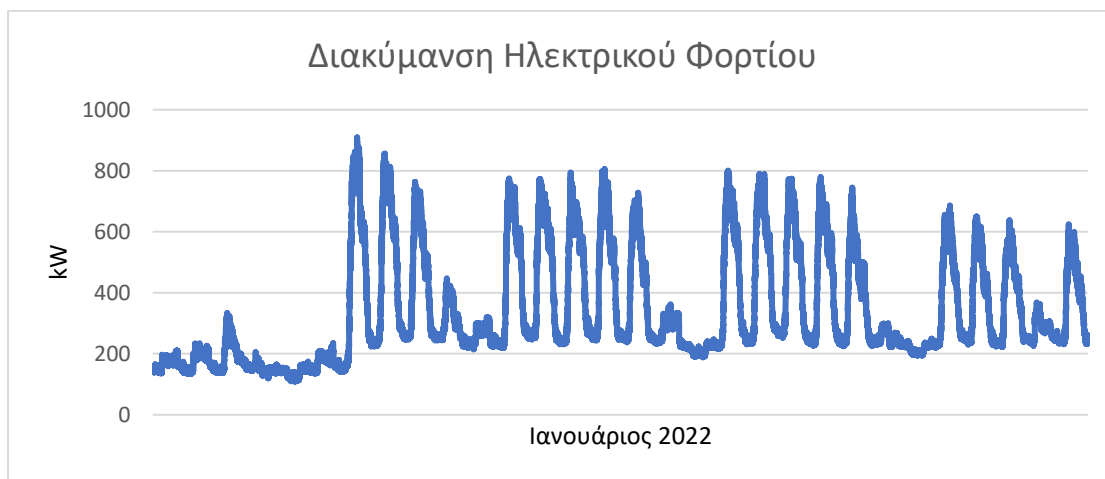
Γράφημα 6: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Οκτώβριος 2021)



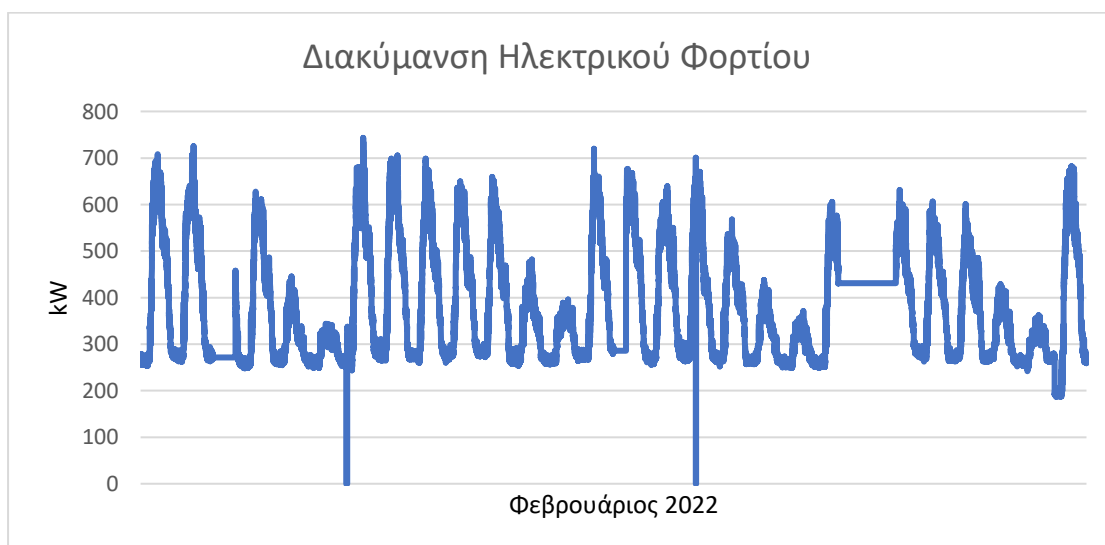
Γράφημα 7: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Νοέμβριος 2021)



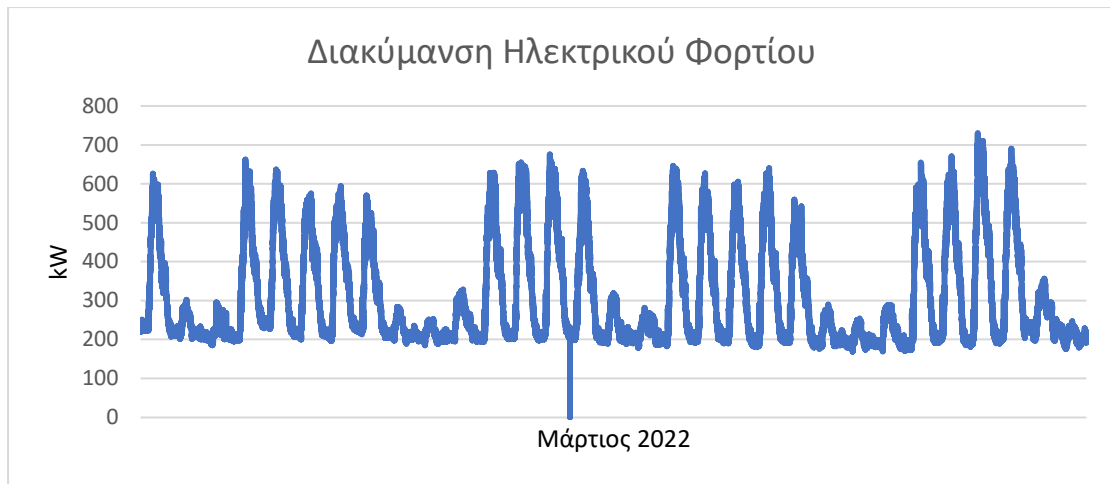
Γράφημα 8: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Δεκέμβριος 2021)



Γράφημα 9: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Ιανουάριος 2022)



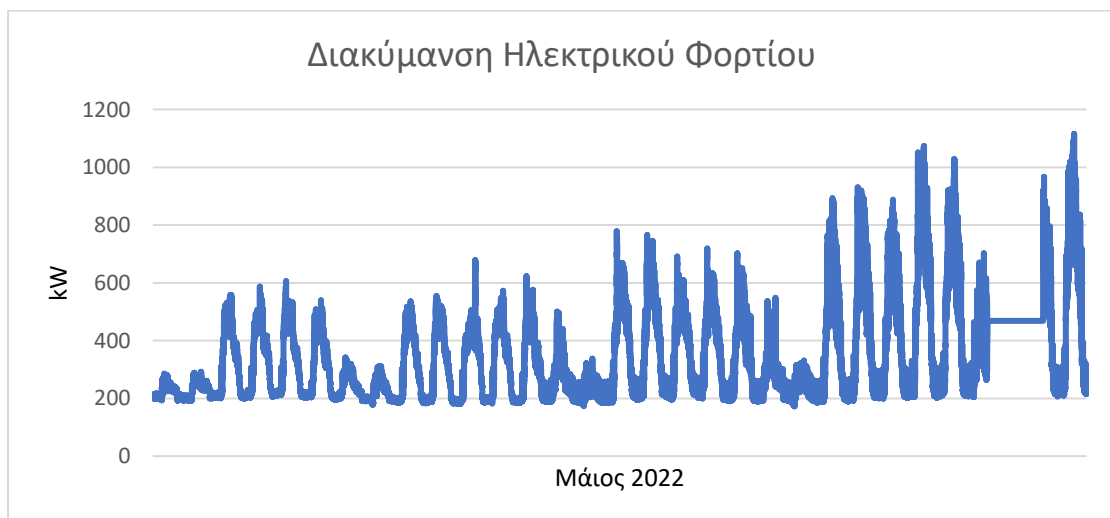
Γράφημα 10: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Φεβρουάριος 2022)



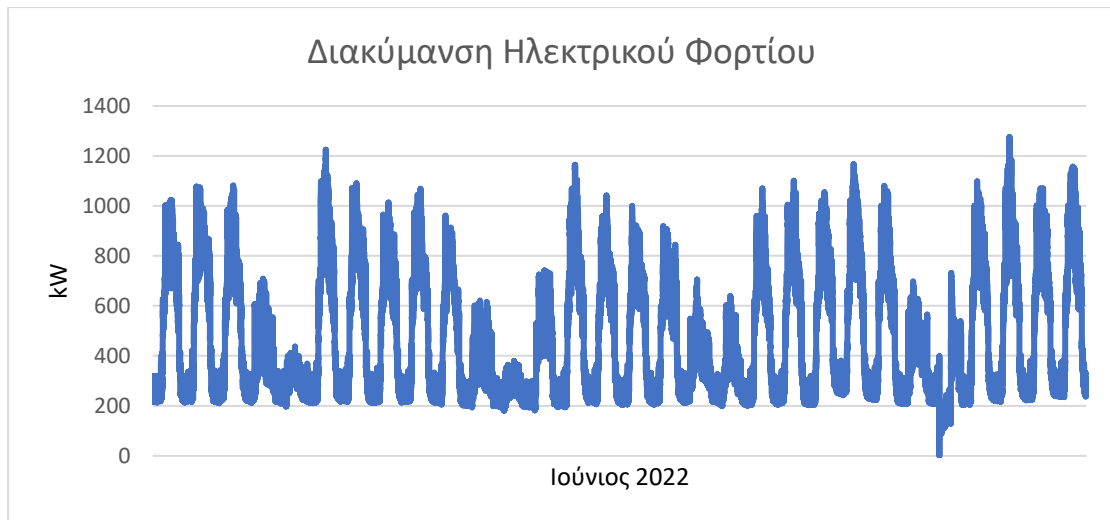
Γράφημα 11: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Μάρτιος 2022)



Γράφημα 12: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Απρίλιος 2022)



Γράφημα 13: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Μάιος 2022)



Γράφημα 14: Ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Ιούνιος 2022)

Αρχικά, αυτό που παρατηρείται από τα παραπάνω γραφήματα διακύμανσης ηλεκτρικού φορτίου, είναι ότι όλους τους μήνες υπάρχει ένα ελάχιστο φορτίο της τάξεως των 200 kW, γεγονός που οφείλεται σε διάφορους παράγοντες κακής ενεργειακής διαχείρισης και αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο. Επίσης, παρατηρείται ότι τους χειμερινούς και ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες το ηλεκτρικό φορτίο παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές του, κοντά στο 1 MW, ενώ τον Ιούνιο μάλιστα κάποιες στιγμές υπερβαίνει την τιμή αυτή. Αυτό συμβαίνει καθώς τις εποχές αυτές, η παρουσία των φοιτητών στο πανεπιστήμιο είναι αυξημένη, κυρίως λόγω της εξεταστικών περιόδων. Τους υπόλοιπους μήνες, το ηλεκτρικό φορτίο κυμαίνεται μεταξύ 200 και 700 με 800 kW περίπου.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που λήφθηκαν από το λογισμικό της μονάδας ΣΗΘΥΑ, η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα το εξεταζόμενο διάστημα (Ιούλιος 2021-Ιούνιος 2022), ισούται με 2.890 MWh. Όπως φαίνεται στο Γράφημα 15, η μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της χρήσης του εξοπλισμού κλιματισμού, με τους χειμερινούς μήνες να έπονται.



Γράφημα 15: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας Π-2

Στο Γράφημα 16 απεικονίζεται η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας όσον αφορά το εξεταζόμενο διάστημα (Ιούλιος 2021-Ιούνιος 2022), για όλα τα κτίρια της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα ξεχωριστά.



Γράφημα 16: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κτίριο (Π-2)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω γράφημα, τη μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ετήσια βάση την έχουν τα κτίρια Α, Β, Γ με το κτίριο Ζ να ακολουθεί.

Για περαιτέρω ανάλυση, παρακάτω παρατίθενται τα αντίστοιχα γραφήματα για τους μήνες Ιούλιο και Δεκέμβριο, ώστε να εντοπιστούν τυχόν διαφορές στην ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων της Π-2, ανάμεσα σε καλοκαίρι και χειμώνα.



Γράφημα 17: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κτιρίων Π-2 (Ιούλιος 2021)

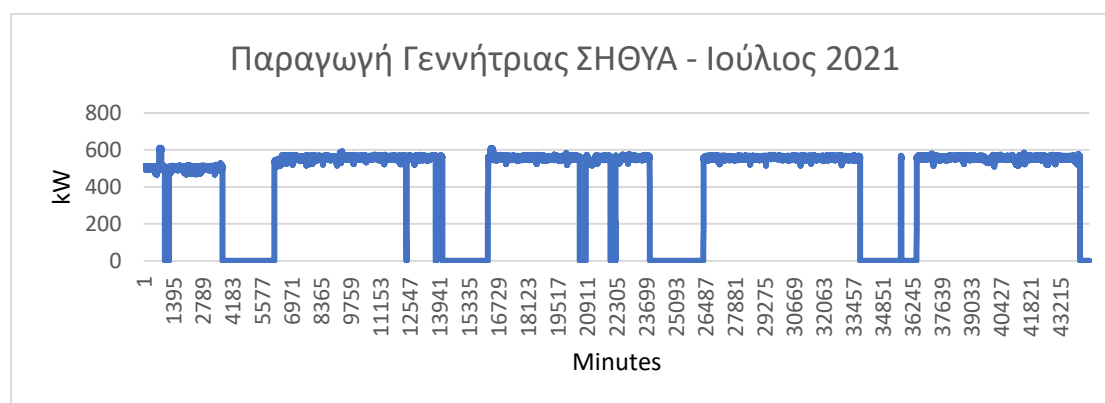


Γράφημα 18: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κτιρίων Π-2 (Δεκέμβριος 2021)

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τη σύγκριση των γραφημάτων 17 και 18 είναι ότι το καλοκαίρι οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας των κτιρίων Z και Διοίκησης είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του χειμώνα.

3.2 Παραγωγή Ενέργειας από τη Μονάδα ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α.

Όπως έχει αναφερθεί, η μονάδα συμπαραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής στην ουσία αποτελεί μία μονάδα τριπαραγωγής, παράγοντας παράλληλα ηλεκτρική, θερμική και ψυκτική ενέργεια. Αρχικά, στα Γραφήματα 19 και 20 παρουσιάζεται η λειτουργία της γεννήτριας της μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α. για τον Ιούλιο και το Δεκέμβριο του 2021. Όπως φαίνεται, τους μήνες αυτούς η μονάδα ήταν σε πλήρη λειτουργία τις καθημερινές (24 ώρες το 24ωρο), διακόπτοντας τη λειτουργία της τα σαββατοκύριακα και κάποιες μεμονωμένες ημέρες λόγω αργιών, διακοπών ή συντήρησης. Σε αντίθεση, με τους δύο αυτούς μήνες, τους περισσότερους από τους υπόλοιπους μήνες η χρησιμοποίηση της μονάδας ήταν περιορισμένη για λόγους που εξηγούνται παρακάτω. Επίσης, όπως φαίνεται και στα δύο γραφήματα, η μονάδα δεν λειτουργεί με την ονομαστική ισχύ της (600 kW), αλλά λόγω απωλειών λειτουργεί στα 560 kW περίπου.

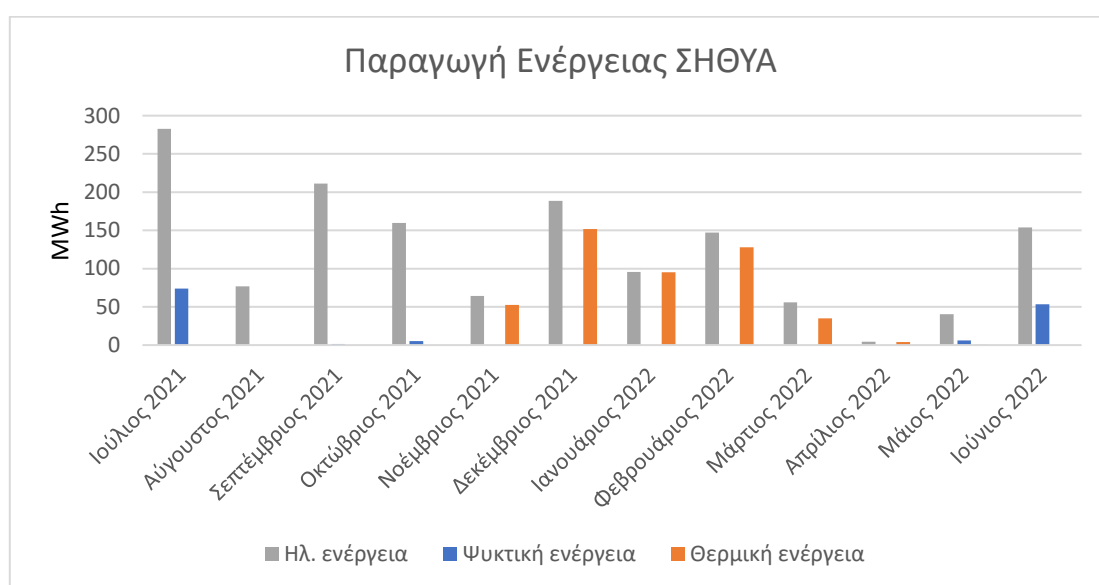


Γράφημα 19: Διακόμανση παραγωγής γεννήτριας μονάδας ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α. (Ιούλιος 2021)



Γράφημα 20: Διακόμανση παραγωγής γεννήτριας μονάδας ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α. (Δεκέμβριος 2021)

Στο Γράφημα 21 παρουσιάζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής και ψυκτικής ενέργειας από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα, για το εξεταζόμενο διάστημα Ιούλιος 2021 – Ιούνιος 2022, αθροίζοντας τις μονόλεπτες μετρήσεις του κάθε μήνα, σύμφωνα με τα δεδομένα που αντλήθηκαν από το λογισμικό της μονάδας. Αρχικά, όπως προκύπτει από το εν λόγω γράφημα, η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας ισούται με 1.480 MWh_e, ενώ η ετήσια παραγόμενη θερμική και ψυκτική ενέργεια ισούται με 466 MWh_{th} και 140 MWh_c αντίστοιχα.



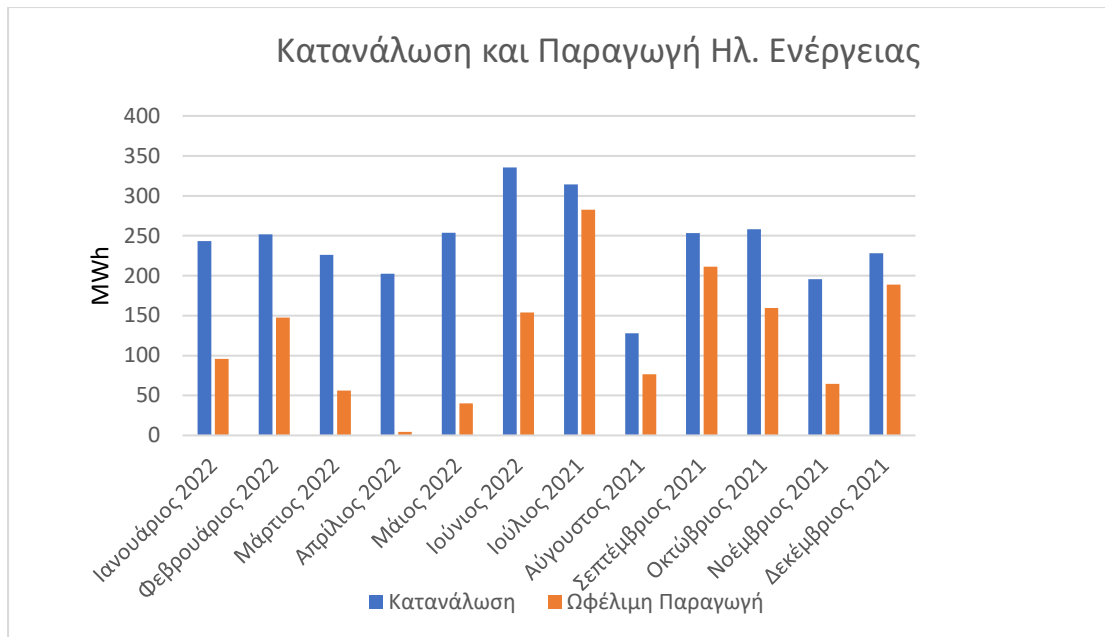
Γράφημα 21: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής και ψυκτικής ενέργειας μονάδας ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α.

Η παραγωγή της θερμικής ενέργειας προκύπτει από τα καυσαέρια της μηχανής εσωτερικής καύσης η οποία παράγει την ηλεκτρική ενέργεια. Τα καυσαέρια αυτά θερμαίνουν το μέσο (νερό), το οποίο αφού περάσει από τον εναλλάκτη θερμότητας, θερμαίνεται στους 90°C και καταλήγει στα fan coils των κτιρίων Α,Β,Γ και Δ για τη θέρμανση των χώρων τους. Αντίστοιχα, για την παραγωγή της ψυκτικής ενέργειας, το νερό αφού περάσει από τον αντίστοιχο εναλλάκτη, μεταφέρεται στον ψύκτη όπου μέσω μιας χημικής αντίδρασης ψύχεται στους 7°C και καταλήγει fan coils των κτιρίων Α,Β, και Δ για την ψύξη των χώρων τους.

Είναι εμφανές ότι τους καλοκαιρινούς μήνες δεν υπάρχει παραγωγή θερμικής ενέργειας και αντίστοιχα τους χειμερινούς μήνες δε γίνεται παραγωγή ψυκτικής ενέργειας.

Έπειτα, παρατηρείται ότι η σχέση ανάμεσα στην παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια είναι πολύ καλύτερη από την αντίστοιχη ανάμεσα σε ηλεκτρική και ψυκτική ενέργεια. Συγκεκριμένα, τους χειμερινούς μήνες η παραγόμενη θερμική ενέργεια είναι σχεδόν ίση με την αντίστοιχη ηλεκτρική, τη στιγμή που τους καλοκαιρινούς μήνες η παραγόμενη ψυκτική ενέργεια είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη ηλεκτρική. Αυτή η κατάσταση λοιπόν αποτυπώνει και τη διαφορά στην απόδοση της μονάδας ΣΗΘΥΑ, όσον αφορά τους μηχανισμούς της σχετικά με την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής/ψυκτικής ενέργειας, αλλά και την πρόθεση των υπευθύνων να μην παραχθεί ψυκτική ενέργεια από τη μονάδα κάποιους μήνες, καλύπτοντας τα ψυκτικά φορτία είτε με κεντρικές μονάδες κλιματισμού είτε με αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες, επιβαρύνοντας τη ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου.

Στο Γράφημα 22 παρουσιάζεται η σχέση ανάμεσα στην καθαρή ωφέλιμη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α. και της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας των κτιρίων της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα. Παρατηρείται ότι η ωφέλιμη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κάποιων μηνών δεν παρουσιάζει ομαλά αποτελέσματα και διαφέρει από την αντίστοιχη ηλεκτρική κατανάλωση των κτιρίων της Π-2, γεγονός που οφείλεται στην περιορισμένη και σποραδική χρήση της ΣΗΘΥΑ λόγω διαφόρων αιτιών όπως η διακοπή για συντήρηση. Για τα συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, τα ηλεκτρικά φορτία καλύφθηκαν με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο μέσω του Net Metering, ενώ τα αντίστοιχα θερμικά/ψυκτικά από τους λέβητες φυσικού αερίου, τις αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες και από τις κεντρικές μονάδες κλιματισμού.



Γράφημα 22: Ηλεκτρική κατανάλωση Π-2 και καθαρή ωφέλιμη παραγωγή ηλ. ενέργειας ΣΗΘΥΑ

Πίνακας 2: Συγκεντρωτική ενεργειακή κατανάλωση Π-2 και παραγωγή ΣΗΘΥΑ

Μήνες	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας Π-2 (MWh)	Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας ΣΗΘΥΑ (MWh)	Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας ΣΗΘΥΑ (MWh)	Παραγωγή Ψυκτικής Ενέργειας ΣΗΘΥΑ (MWh)
Ιανουάριος 2022	243	96	95	0
Φεβρουάριος 2022	252	147	128	0
Μάρτιος 2022	226	56	35	0
Απρίλιος 2022	202	4	4	0
Μάιος 2022	254	40	0	6
Ιούνιος 2022	336	154	0	53
Ιούλιος 2021	314	283	0	74
Αύγουστος 2021	128	77	0	0
Σεπτέμβριος 2021	253	211	0	1
Οκτώβριος 2021	258	160	0	5
Νοέμβριος 2021	196	64	52	0
Δεκέμβριος 2021	228	189	152	0
Ετήσιο Σύνολο	2.890	1.480	466	140

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, τα οποία προέκυψαν από δεδομένα του μετρητικού συστήματος της μονάδας, για την εξεταζόμενη περίοδο (Ιούλιος 2021-Ιούνιος 2022), όσον αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των κτιρίων της Π-2, αλλά και την παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής και ψυκτικής ενέργειας από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α. στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με το συντελεστή αξιοποίησης της μονάδας να ισούται με $CF=28\%$, προκύπτοντας από τη σχέση $E_y = P_o * CF * 8.760$, για $E_y=1.480 \text{ MWh}_e$ και $P_o=600 \text{ kW}_e$.

Κεφάλαιο 4. Προγραμματισμός Νέου Τρόπου Λειτουργίας Μονάδας ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α.

4.1 Βασικές Παραδοχές Προγραμματισμού Νέας Λειτουργίας ΣΗΘΥΑ

Η βασική παραδοχή που τίθεται ώστε να προγραμματιστεί ο νέος τρόπος λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, είναι η πλήρης κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα (Π-2) και της Πανεπιστημιούπολης Αθηνών (Π-3) από τη μονάδα, μέσω αποκλειστικά της δικής της παραγόμενης ενέργειας υπό το υφιστάμενο καθεστώς του Virtual Net Metering, χωρίς την ανάγκη για αγορά επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας από το εθνικό δίκτυο, για ένα ενεργειακά αυτόνομο πανεπιστήμιο. Επίσης, η μονάδα ΣΗΘΥΑ θα καλύπτει και μέρος των θερμικών/ψυκτικών φορτίων της Π-2, όπως ήδη συμβαίνει.

Στις 2.890 MWh_e ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που υπολογίστηκαν για την Π-2, προστίθενται και οι αντίστοιχες της Πανεπιστημιούπολης Αθηνών. Βάσει δεδομένων προ πανδημίας (κατανάλωση περίπου 1.500 MWh_e ετησίως για την Π-3) (Κωστόπουλος et al., 2021), καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας για Π-2 και Π-3 ισούνται περίπου με 4.400 MWh_e.

Να σημειωθεί ότι πρόκειται να γίνουν παρεμβάσεις εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης ενέργειας στα κτίρια και των δύο πανεπιστημιούπολεων, οι οποίες αναμένεται να περιορίσουν σημαντικά (έως και 30%) (Κωστόπουλος et al., 2021) τη συνολική ηλεκτρική κατανάλωση των εγκαταστάσεων του πανεπιστημίου.

Επίσης, πρόκειται να εγκατασταθεί φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 400 kWp στο χώρο της Π-2, όπου με ετήσια παραγόμενη ενέργεια περίπου 1.500 kWh/kW (Kaldellis et al., 2012) (Kaldellis et al., 2014) για την περιοχή της Αττικής, θα υπάρξει εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας περίπου 600.000 kWh_e/έτος (Λάλα, 2020), με τη διαδικασία του Virtual Net Metering.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω μέτρα, η τελική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας που θα πρέπει να καλύψει η μονάδα ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α. με το νέο προτεινόμενο προγραμματισμό λειτουργίας, ισούται περίπου με 2.480 MWh_e/έτος.

Ταυτόχρονα, θα καλύπτεται μέρος των θερμικών φορτίων (κτίρια Α,Β,Γ και Δ) εφόσον αυτά είναι περίπου ίσα με τα αντίστοιχα ηλεκτρικά για τους χειμερινούς μήνες (Κωστόπουλος et al., 2021). Προφανώς, δύναται να καλύπτονται και τα αντίστοιχα ψυκτικά φορτία των συγκεκριμένων κτιρίων, αν και ούτως η άλλως, θα καλύπτονται πλήρως τα ψυκτικά φορτία όλων των κτιρίων εφόσον αυτά ικανοποιούνται από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια της μονάδας ΣΗΘΥΑ, μέσω των αυτόνομων κλιματιστικών μονάδων και των κεντρικών μονάδων κλιματισμού.

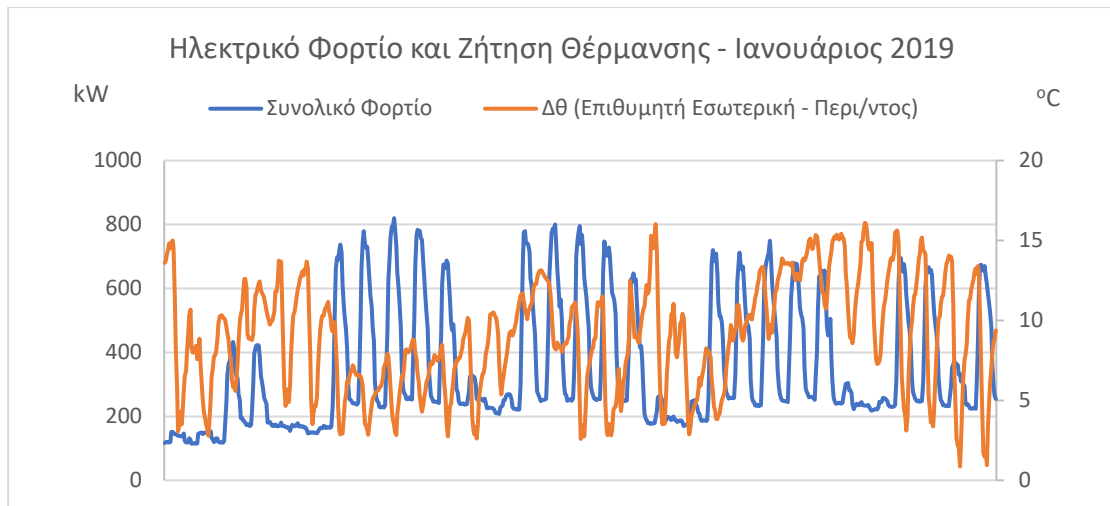
Προκειμένου να ικανοποιηθεί η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για τις Π-2 και Π-3 όπως υπολογίστηκε παραπάνω και χρησιμοποιώντας τη σχέση $E_y = P_o * CF * 8.760$ για $E_y = 2.480 \text{ MWh}_e$ και $P_o = 600 \text{ kW}_e$, προκύπτει ότι ο νέος συντελεστής αξιοποίησης της μονάδας θα ισούται περίπου με $CF = 47\%$, αρκετά μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο του υφιστάμενου τρόπου λειτουργίας ($CF = 28\%$), πράγμα που σημαίνει ότι θα αυξηθεί σημαντικά η αξιοποίηση της μονάδας ΣΗΘΥΑ.

4.2 Βαθμομηρές Θέρμανσης και Ψύξης Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα

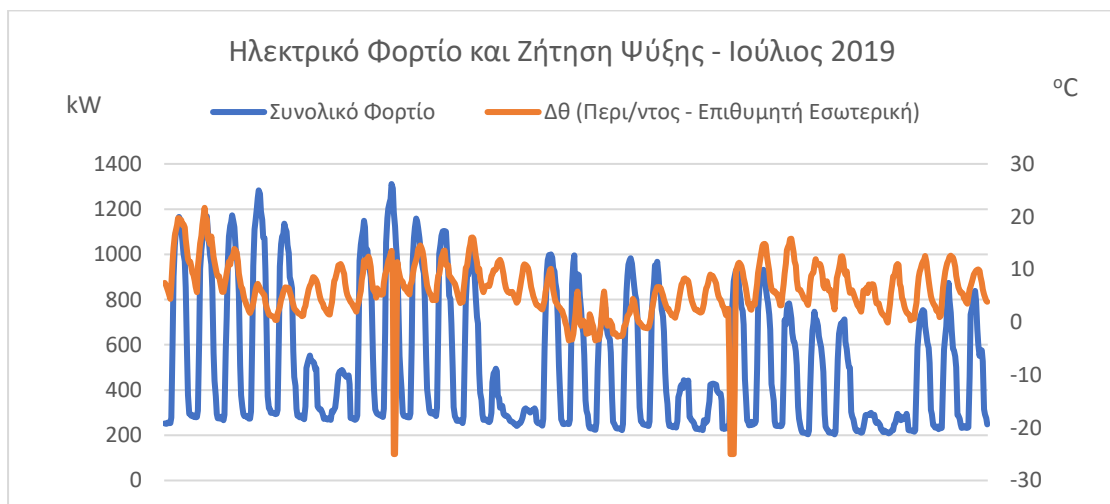
Ο νέος προγραμματισμός της μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α. θα πραγματοποιηθεί με γνώμονα τον ταυτοχρονισμό των ηλεκτρικών φορτίων με των αντίστοιχων θερμικών/ψυκτικών. Αυτό στην ουσία σημαίνει η μονάδα να λειτουργεί, αν είναι εφικτό, μόνο τους μήνες που υπάρχουν ανάγκες για θέρμανση/ψύξη στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα.

Για να γίνει πιο κατανοητή η έννοια του ταυτοχρονισμού των φορτίων, στα Γραφήματα 23 και 24 που παρατίθενται παρακάτω, παρουσιάζεται μια σύγκριση των ωριαίων ηλεκτρικών φορτίων της Π-2 για τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο του 2019 με την αντίστοιχη ζήτηση θερμικών/ψυκτικών φορτίων (επιθυμητή θερμοκρασία μείον θερμοκρασία περιβάλλοντος).

Ωστόσο, στην υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση όπου βρίσκεται η Π-2 (Virtual Net Metering), δεν είναι απαραίτητος ο ωριαίος ταυτοχρονισμός των ηλεκτρικών φορτίων με τα αντίστοιχα θερμικά/ψυκτικά, καθώς πλέον η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ αποθηκεύεται στο δίκτυο υπό το καθεστώς του ενεργειακού συμψηφισμού.



Γράφημα 23: Ταυτοχρονισμός ηλεκτρικού φορτίου και ζήτησης θέρμανσης Π-2 (Ιανουάριος 2019)



Γράφημα 24: Ταυτοχρονισμός ηλεκτρικού φορτίου και ζήτησης θέρμανσης Π-2 (Ιούλιος 2019)

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω γραφήματα, είναι ότι τον Ιανουάριο (χειμερινή περίοδος) δεν υπάρχει ταυτοχρονισμός ανάμεσα στο ηλεκτρικό φορτίο και τη ζήτηση θέρμανσης, καθώς το ηλεκτρικό φορτίο μεγιστοποιείται τις μεσημβρινές και τις βραδινές ώρες, ενώ η ζήτηση θέρμανσης είναι υψηλή τις πρωινές και τις απογευματινές-βραδινές ώρες. Αντιθέτως, τον Ιούλιο (θερινή περίοδος) υπάρχει σημαντικός ταυτοχρονισμός ανάμεσα στο ηλεκτρικό φορτίο και τη ζήτηση ψύξης κυρίως τις μεσημβρινές ώρες.

Όπως όμως αναφέρθηκε, πλέον μέσω του Net Metering σημασία έχει ο ταυτοχρονισμός των ηλεκτρικών και θερμικών/ψυκτικών φορτίων σε μηνιαία βάση, εφόσον ο

συμψηφισμός πραγματοποιείται σε ετήσια βάση και η εκκαθάριση με τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται κάθε τρία χρόνια, αλλά καθώς επίσης η μονάδα θα λειτουργεί σε 24ωρη βάση, χρίζοντας τον ωριαίο ταυτοχρονισμό μη απαραίτητο.

Για να επιτευχθεί λοιπόν ο επιθυμητός μηνιαίος ταυτοχρονισμός στα ηλεκτρικά και θερμικά/ψυκτικά φορτία της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα, χρειάζεται να γίνει αρχικά ο υπολογισμός των βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης της Π-2. Για το σκοπό αυτό, έγινε επεξεργασία θερμοκρασιακών δεδομένων της τελευταίας δεκαετίας από έναν κατάλληλο σταθμό του Περιστερίου και θεωρώντας ένα συντελεστή χρήσης της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα, αφαιρώντας Κυριακές, αργίες και διακοπές, υπολογίστηκαν οι πραγματικές βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης όπως φαίνεται αναλυτικά στους παρακάτω Πίνακες 3 και 4.

Πίνακας 3: Πραγματικές βαθμομέρες θέρμανσης Π-2

	ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ											
	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
2012												200,1
2013	212	158,2	111,3	20,5	0	0	0	0	0	12,2	55,5	225,8
2014	163	142	124	46,1	0,2	0	0	0	0	29,6	98	173,7
2015	263,9	235,2	192,6	83,3	0,5	0	0	0	0	16,7	41,6	214,3
2016	224	105,5	130,1	5,9	3,6	0	0	0	0	13,2	89,7	277,1
2017	321,2	184,8	115,7	46,5	1,6	0	0	0	0	8,8	95,1	177,3
2018	214,1	156,2	81,6	15,4	0	0	0	0	1,8	4,6	77,6	229
2019	267,4	215,2	127,7	78	5,2	0	0	0	0	0	22	172,1
2020	259	183,1	132,4	74,1	3,5	0	0	0	0	1,3	81,3	127,9
2021	190,6	170,8	172,8	69,4								
Μέση τιμή βαθμομερών	235,0	172,3	132,0	48,8	1,8	0,0	0,0	0,0	0,2	10,8	70,1	199,7
Συντελεστής χρήσης	0,61	0,86	0,77	0,47	0,81	0,83	0,84	0,45	0,87	0,81	0,87	0,65
Τελικές βαθμομέρες	143,4	148,2	101,7	22,9	1,5	0,0	0,0	0,0	0,2	8,7	61,0	129,8
Ποσοστό βαθμομερών	23,2%	24,0%	16,5%	3,7%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,4%	9,9%	21,0%

Πίνακας 4: Πραγματικές βαθμομέρες ψύξης Π-2

	ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΨΥΞΗΣ											
	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
2012												0
2013	0	0	0	0	3,4	43,9	96,2	115,1	9,9	0	0	0
2014	0	0	0	0	0,2	23,1	59,4	85,9	3,7	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	8,9	80,3	95,3	32,6	0	0	0
2016	0	0	0	0	0,7	66,2	107,3	95,5	8,4	0	0	0
2017	0	0	0	0	1,2	37,7	115,8	116,1	17,1	0	0	0
2018	0	0	0	0	0	24,8	84,3	86	23,2	0	0	0
2019	0	0	0	0	0	58,3	84,9	118,9	15,5	0	0	0
2020	0	0	0	0	12,4	20,4	98,3	92,3	35,6	0	0	0
2021	0	0	0	0								
Μέση τιμή βαθμομερών	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	35,4	90,8	100,6	18,3	0,0	0,0	0,0
Συντελεστής χρήσης	0,61	0,86	0,77	0,47	0,81	0,83	0,84	0,45	0,87	0,81	0,87	0,65
Τελικές βαθμομέρες	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	29,4	76,3	45,3	15,9	0,0	0,0	0,0
Ποσοστό βαθμομερών	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	17,4%	45,2%	26,9%	9,4%	0,0%	0,0%	0,0%

Τα στοιχεία των δύο παραπάνω πινάκων απεικονίζονται στο Γράφημα 25, από το οποίο προκύπτουν με πιο ευκρινή τρόπο οι πραγματικές βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης της Π-2.



Γράφημα 25: Πραγματικές βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης Π-2

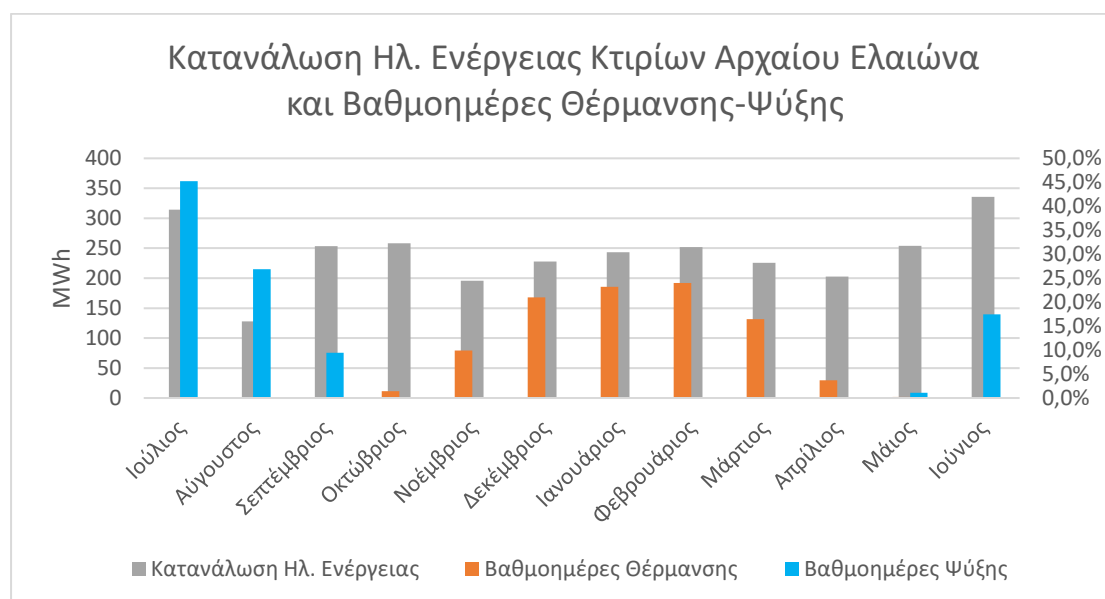
4.3 Νέος Τρόπος Λειτουργίας ΣΗΘΥΑ Πα.Δ.Α.

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, ο προγραμματισμός του νέου τρόπου λειτουργίας της Μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α. θα γίνει με γνώμονα τον μηνιαίο ταυτοχρονισμό των ηλεκτρικών φορτίων της Π-2 με τα αντίστοιχα θερμικά/ψυκτικά.

Σε αντίθετη περίπτωση, όπως συμβαίνει στην υφιστάμενη κατάσταση του εξεταζόμενου διαστήματος όπου η μονάδα λειτουργεί περιοδικά όλους τους μήνες, όταν η ΣΗΘΥΑ λειτουργεί σε περιόδους όπου δεν υπάρχουν ανάγκες ψύξης και κυρίως θέρμανσης, η παραγόμενη θερμική ενέργεια χάνεται απορριπτόμενη στο περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο δεν εκμεταλλεύεται το σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, καθιστώντας τη μονάδα ΣΗΘΥΑ μη ανταγωνιστική.

Με τον ταυτοχρονισμό που πρόκειται να πραγματοποιηθεί, θα επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμου, καθώς με την ίδια ποσότητα φυσικού αερίου που θα

χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θα παράγεται και η απαραίτητη θερμική και ψυκτική ενέργεια μέσω της τριπαραγωγής, ικανοποιώντας τις θερμικές και ψυκτικές ανάγκες των κτιρίων Α,Β,Γ και Δ της Π-2. Όπως ήδη συμβαίνει, οι λέβητες φυσικού αερίου αυτών των κτιρίων θα τίθενται εκτός λειτουργίας, εξοικονομώντας επιπλέον καύσιμο. Αντίστοιχα, στα κτίρια Α,Β και Δ δε θα καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια από τα κλιματιστικά για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων, αλλά θα αξιοποιείται η παραγόμενη ψυκτική ενέργεια της ΣΗΘΥΑ μέσω των fan coils. Στην περίπτωση του νέου τρόπου λειτουργίας, θα υπάρξει παραγωγή ψυκτικής ενέργειας από τη ΣΗΘΥΑ και τον Αύγουστο, όπου όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο από τις μετρήσεις του λογισμικού της μονάδας, η παραγόμενη ψυκτική ενέργεια ήταν μηδενική. Έτσι, σε συνδυασμό με την αύξηση της παραγωγής ψυκτικής ενέργειας και το Σεπτέμβριο, θα επιτευχθεί επιπλέον εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.



Γράφημα 26: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και βαθμομημέρες θέρμανσης και ψύξης Π-2

Το παραπάνω γράφημα μας βοηθάει στον προγραμματισμό του νέου τρόπου λειτουργίας της ΣΗΘΥΑ, καθώς απεικονίζει το συσχετισμό της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με τις πραγματικές βαθμομημέρες θέρμανσης και ψύξης της Π-2 και τον ταυτοχρονισμό μεταξύ αυτών όπου υπάρχει. Η μονάδα θα λειτουργεί τον Ιούνιο, τον Ιούλιο, τον Αύγουστο, το Σεπτέμβριο (θερινή περίοδος) και το Νοέμβριο,

το Δεκέμβριο, τον Ιανουάριο, το Φεβρουάριο και το Μάρτιο (χειμερινή περίοδος). Όπως φαίνεται, τους μήνες αυτούς υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης και ψύξης για τα κτίρια της Π-2 και ο μεγαλύτερος δυνατός ταυτοχρονισμός με το ηλεκτρικό φορτίο.

Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται οι μέρες των εν λόγω μηνών που θα λειτουργεί η μονάδα ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α., συνυπολογίζοντας και το συντελεστή χρήσης της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα. Η μονάδα λοιπόν θα λειτουργεί τις Δευτέρες (ή τις πρώτες μέρες λειτουργίας έπειτα από διακοπή) 17 ώρες (εκκίνηση στις 07:00), τις υπόλοιπες καθημερινές 24 ώρες και τα Σάββατα 15 ώρες (μέχρι τις 15:00 όπου και λήγουν τα μαθήματα των Μεταπτυχιακών Προγραμμάτων).

Πιο συγκεκριμένα, σχετικά με τον παρακάτω πίνακα, με πορτοκαλί χρώμα είναι οι ημέρες με ανάγκες θέρμανσης (24 ώρες λειτουργίας), με μπλε χρώμα οι ημέρες με ανάγκες ψύξης (24 ώρες λειτουργίας), με γκρι χρώμα οι Δευτέρες ή ημέρες εκκίνησης (17 ώρες λειτουργίας), με κίτρινο χρώμα τα Σάββατα (15 ώρες λειτουργίας) και με λευκό χρώμα είναι οι ημέρες που δε θα λειτουργεί η ΣΗΘΥΑ είτε γιατί δεν υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης/ψύξης είτε γιατί είναι Κυριακές ή/και αργίες ή/και διακοπές.

Πίνακας 5: Ημέρες νέου τρόπου λειτουργίας μονάδας ΣΗΘΥΑ

	Θέρμανση				Ψύξη					Θέρμανση		
	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Συντελεστής χρήσης	0,61	0,86	0,77	0,47	0,81	0,83	0,84	0,45	0,87	0,81	0,87	0,65

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται το νέο ωράριο λειτουργίας και η αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή της μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α., σύμφωνα με την προτεινόμενη λειτουργία της.

Πίνακας 6: Νέο ωράριο λειτουργίας και αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή ΣΗΘΥΑ

Περιγραφή	Μήνες λειτουργίας ΣΗΘΥΑ									Σύνολο
	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	
Από Δευτέρα/ημέρα εκκίνησης 07:00 έως Σάββατο 15:00										
Δυτέρες/ημέρες εκκίνησης	4	4	4	5	4	3	5	5	3	37
Καθημερινές	12	16	17	16	17	9	17	17	14	135
Σάββατα	3	4	3	4	5	2	4	4	3	32
Ώρες λειτουργίας (h)	401	512	521	529	551	297	553	553	432	4349
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MWh)	225	287	292	296	309	166	310	310	242	2435
Παραγωγή θερμικής ενέργειας (MWh)	223	249	182	-	-	-	-	252	194	1101
Παραγωγή ψυκτικής ενέργειας (MWh)	-	-	-	74	77	42	77	-	-	270

Για τον υπολογισμό των μεγεθών του παραπάνω πίνακα και συγκεκριμένα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της ΣΗΘΥΑ, πολλαπλασιάζονται οι εκτιμώμενες ώρες λειτουργίας της μονάδας για κάθε μήνα (σύμφωνα με τον Πίνακα 5) με την ισχύ λειτουργίας της μονάδας (560 kW_e). Ο υπολογισμός της παραγόμενης θερμικής ενέργειας της ΣΗΘΥΑ έγινε εμπειρικά, λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία από το λογισμικό της μονάδας για το διάστημα Ιούλιος 2021–Ιούνιος 2022 σχετικά με τη σχέση παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, πολλαπλασιάζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια με το ανάλογο ποσοστό, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7. Όμοια έγινε και ο υπολογισμός της παραγόμενης ψυκτικής ενέργειας, με τη διαφορά ότι για το εν λόγω εξεταζόμενο διάστημα η παραγωγή ψυκτικής ενέργειας ήταν σχεδόν μηδενική τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο. Για το λόγο αυτό, για όλους τους μήνες της θερινής περιόδου όπου υπάρχουν ανάγκες ψύξης, η παραγόμενη ψυκτική ενέργεια υπολογίστηκε ως το 25% της αντίστοιχης ηλεκτρικής, ποσοστό που προκύπτει από τις μετρήσεις του εξεταζόμενου διαστήματος για τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο.

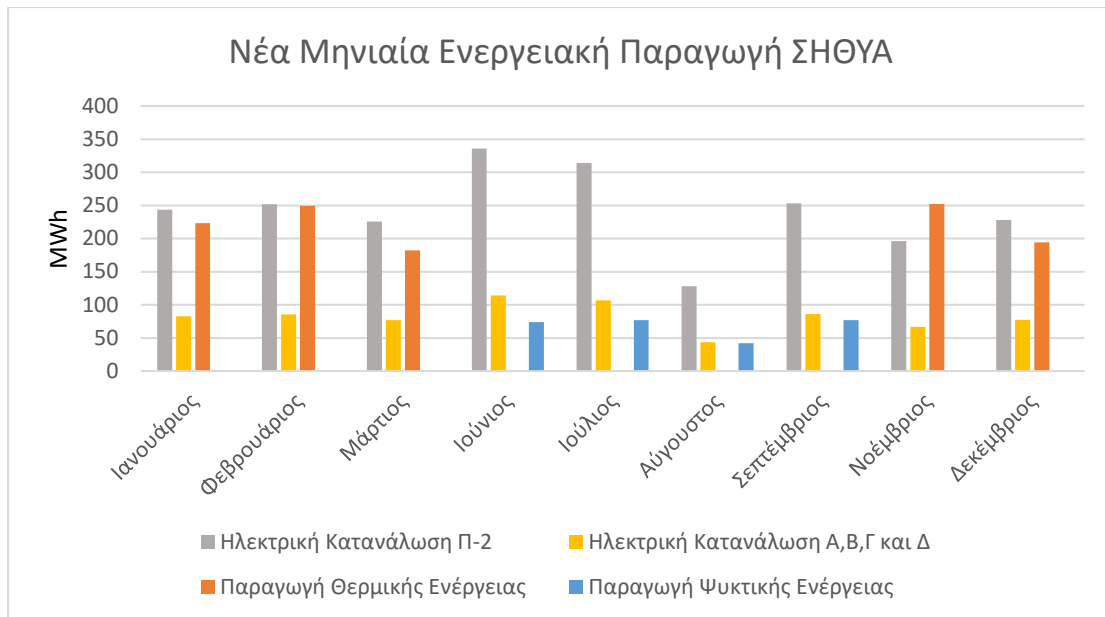
Πίνακας 7: Ποσοστά συσχετισμού παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής/ψυκτικής ενέργειας ΣΗΘΥΑ

Μήνες	Ποσοστό Συσχετισμού Παραγόμενης Ψυκτικής και Ηλεκτρικής Ενέργειας	Ποσοστό Συσχετισμού Παραγόμενης Θερμικής και Ηλεκτρικής Ενέργειας
Ιούλιος	25%	0%
Αύγουστος	25%	0%
Σεπτέμβριος	25%	0%
Οκτώβριος	0%	0%
Νοέμβριος	0%	81%
Δεκέμβριος	0%	80%
Ιανουάριος	0%	99%
Φεβρουάριος	0%	87%
Μάρτιος	0%	62%
Απρίλιος	0%	0%
Μάιος	0%	0%
Ιούνιος	25%	0%

Όπως φαίνεται λοιπόν στον Πίνακα 6, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια της μονάδας ΣΗΘΥΑ σύμφωνα με το προτεινόμενο πλάνο θα είναι 2.435 MWh_e. Επιπρόσθετα, θα παράγονται 130 MWh_e ψυκτικής ενέργειας επιπλέον σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, όπου θεωρώντας ένα μέσο COP=2 για τις κλιματιστικές μονάδες των κτιρίων Α, Β και Δ, προκύπτει εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας 65 MWh_e. Αφαιρώντας αυτό το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας από τις συνολικές 2.480 MWh_e που έχει τεθεί ως στόχος για τις Π-2 και Π-3, λαμβάνοντας πάντα υπόψη την αναμενόμενη εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 400 kWp (παραγωγή 600 MWh_e ετησίως) αλλά και τις παρεμβάσεις ορθολογικής χρήσης ενέργειας που θα επιτύχουν εξοικονόμηση έως και 30%, καταλήγουμε στις 2.415 MWh_e ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες καλύπτονται από τις 2.435 MWh_e παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ.

Χρησιμοποιώντας τη σχέση $E_y = P_o \cdot CF \cdot 8.760$ για $E_y = 2.435 \text{ MWh}_e$ και $P_o = 600 \text{ kW}_e$, προκύπτει ότι ο τελικός συντελεστής αξιοποίησης της μονάδας για το νέο ωράριο λειτουργίας της, ισούται περίπου με $CF = 46\%$.

Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 27, με το νέο προτεινόμενο ωράριο λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘΥΑ, η παραγόμενη θερμική ενέργεια βρίσκεται περίπου στα ίδια επίπεδα με τη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της Π-2 για τους χειμερινούς μήνες.



Γράφημα 27: Μηνιαία παραγωγή θερμικής και ψυκτικής ενέργειας νέου τρόπου λειτουργίας ΣΗΘΥΑ

Γνωρίζοντας λοιπόν ότι τους χειμερινούς μήνες τα θερμικά φορτία είναι περίπου ίσα με τα αντίστοιχα ηλεκτρικά (Κωστόπουλος et al., 2021), οι θερμικές ανάγκες των κτιρίων Α,Β,Γ και Δ οι οποίες αποτελούν περίπου το 34% της συνολικής κατανάλωσης της Π-2, καλύπτονται πλήρως από τη μονάδα. Αν και τα συγκεκριμένα κτίρια είναι τα μόνα που «συνδέονται» θερμικά με τη ΣΗΘΥΑ, με το νέο τρόπο λειτουργίας η μονάδα δύναται να καλύψει πλήρως τις ανάγκες θέρμανσης όλων των κτιρίων της Π-2.

Όσον αφορά την παραγόμενη ψυκτική ενέργεια, αυτή δύναται να καλύψει τις ανάγκες ψύξης των κτιρίων Α,Β και Δ, τα οποία είναι τα μόνα που ικανοποιούνται ψυκτικά από τη μονάδα. Τα χαμηλά επίπεδα παραγωγής ψυκτικής ενέργειας από τη ΣΗΘΥΑ δεν είναι ανησυχητικά, καθώς μέρος του ψυκτικού φορτίου της Π-2 συμπεριλαμβάνεται στο αντίστοιχο ηλεκτρικό και δύναται να καλυφθεί εν μέρει από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια της μονάδας μέσω των αυτόνομων κλιματιστικών μονάδων και των κεντρικών μονάδων κλιματισμού, υπό το καθεστώς του Net Metering.

Ανακεφαλαιώνοντας, ο νέος προγραμματισμός της μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α. σε συνδυασμό με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 400 kWp στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα και με την επικείμενη ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση ενέργειας (έως και 30%) στα κτίρια των Π-2 και Π-3, θα επιφέρει τα παρακάτω αποτελέσματα:

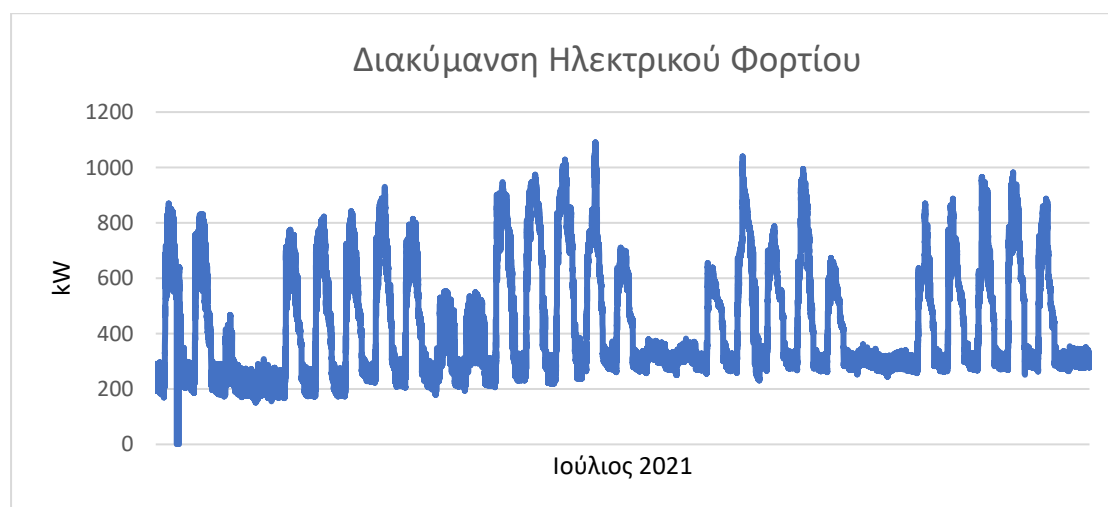
- Λειτουργία της μονάδας ΣΗΘΥΑ μόνο τους μήνες όπου υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης/ψύξης (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος, Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτιος) με συνεχή λειτουργία από Δευτέρα (ή ημέρα εκκίνησης) 07:00 έως Σάββατο 15:00.
- Παραγωγή 2.435 MWh_e ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ, καλύπτοντας τη ζήτηση των 2.480 MWh_e για Π-2 και Π-3 μέσω του Virtual Net Metering, με τη βοήθεια των επιπλέον 130 MWh_e ψυκτικής ενέργειας οι οποίες συνεπάγονται εξοικονόμηση 65 MWh_e ηλεκτρικής ενέργειας, για COP=2 (από τις 4.400 MWh_e ζήτησης αφαιρούνται οι 600 MWh_e που θα παράγονται από το φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 400 kW_p και από την εξοικονόμηση έως 30% της ορθολογικής χρήσης ενέργειας).
- Παραγωγή 1.101 MWh_{th} θερμικής ενέργειας από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ, καλύπτοντας τις ανάγκες θέρμανσης των κτιρίων Α,Β,Γ και Δ της Π-2, και 270 MWh_e ψυκτικής ενέργειας, καλύπτοντας μέρος των αναγκών ψύξης των εν λόγω κτιρίων (πλην του κτιρίου Γ).
- Λειτουργία της μονάδας ΣΗΘΥΑ 4.349 ώρες ετησίως (από 2.644 ώρες ετησίως με τον παλιό τρόπο λειτουργίας), αυξάνοντας την αξιοποίησή της, με το σχετικό συντελεστή αξιοποίησης να ισούται με CF=46% (από 28% με τον παλιό τρόπο λειτουργίας).

Κεφάλαιο 5. Εξοικονόμηση και Ορθολογική Χρήση Ενέργειας στο Πα.Δ.Α.

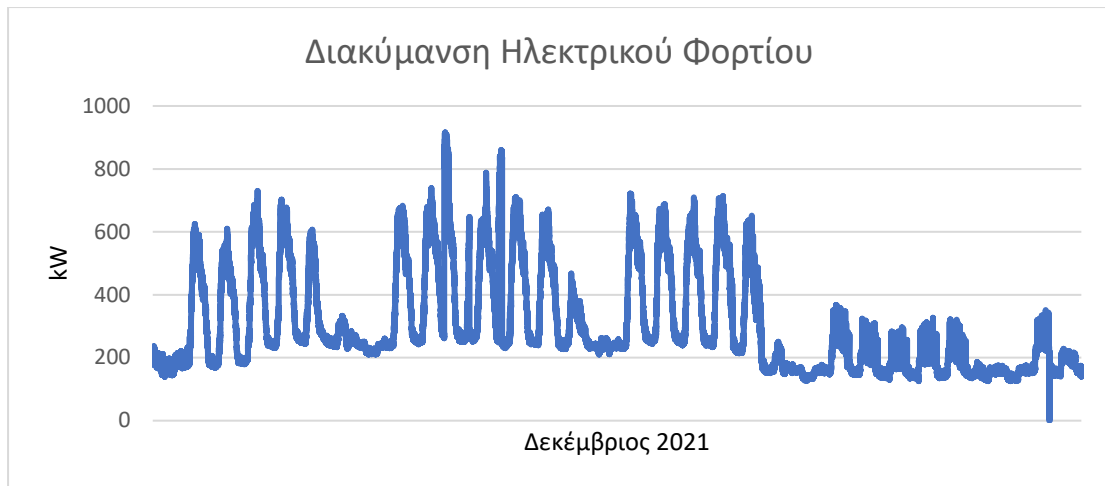
5.1 Ελάχιστο Φορτίο Κτιρίων Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα

Όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, υπάρχει σκοπός να πραγματοποιηθούν δράσεις ορθολογικής χρήσης ενέργειας στα κτίρια των Πανεπιστημιούπολεων Αρχαίου Ελαιώνα και Αθηνών, οι οποίες μπορούν να αποφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας έως και 30%. Η παραδοχή αυτή, έχει ληφθεί υπόψη και στον προγραμματισμό της λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α., όπως παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4.

Για το σκοπό αυτόν λοιπόν, μελετήθηκαν τα ηλεκτρικά φορτία της Π-2 και εντοπίστηκε το πρόβλημα του σταθερού ελάχιστου φορτίου στα σχετικά γραφήματα όλων των μηνών (Κεφάλαιο 3). Παρουσιάζονται ενδεικτικά εκ νέου τα γραφήματα για Ιούλιο και Δεκέμβριο, ώστε να γίνει αντιληπτό το φαινόμενο αυτό για τη θερινή αλλά και τη χειμερινή περίοδο. Όπως φαίνεται, υπάρχει ένα ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο, με την τιμή να μην πέφτει κάτω από τα 200 kW_e για τη μεγαλύτερη διάρκεια των μηνών, ακόμα και σε περιόδους αργιών, γεγονός που σημαίνει πως κάτι δε λειτουργεί σωστά στα κτίρια της Π-2 όσον αφορά της ηλεκτρικές καταναλώσεις και θα πρέπει να εξεταστεί περαιτέρω.



Γράφημα 28: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Ιούλιος)

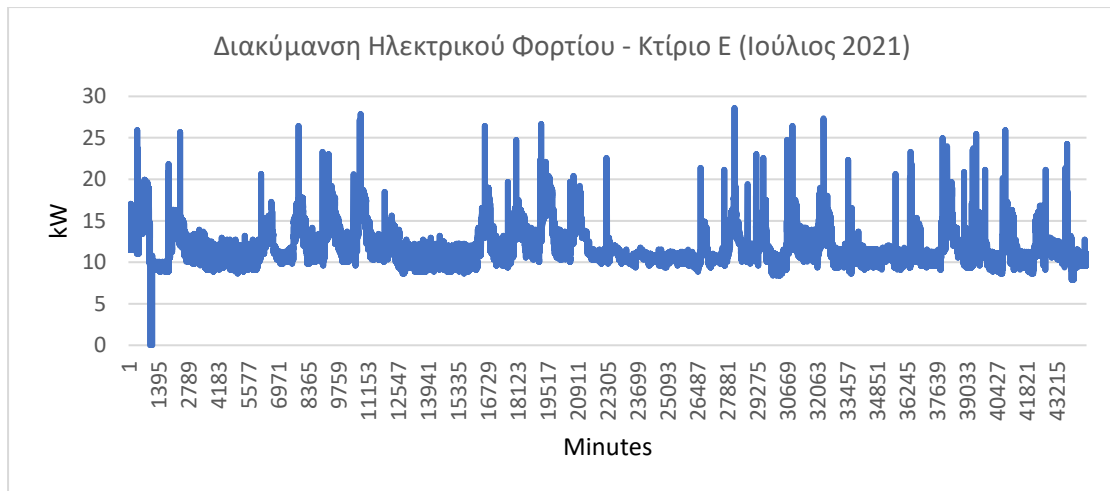


Γράφημα 29: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο Π-2 (Δεκέμβριος)

Για τη διεύθυνση του συγκεκριμένου θέματος, αναλύθηκαν τα ηλεκτρικά φορτία βάσει των μονόλεπτων μετρήσεων του λογισμικού της μονάδας ΣΗΘΥΑ, όλων των κτιρίων της Π-2 ενδεικτικά για τον Ιούλιο (θερινή περίοδος) και το Δεκέμβριο (χειμερινή περίοδος), ώστε να εντοπιστεί ποια κτίρια έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης στη διαμόρφωση του ελάχιστου φορτίου.



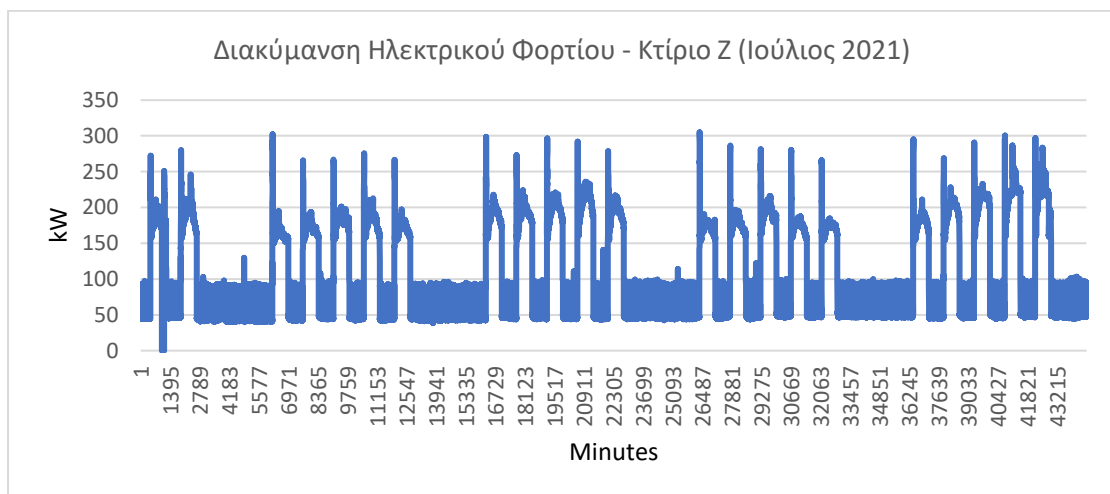
Γράφημα 30: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Δ (Ιούλιος 2021)



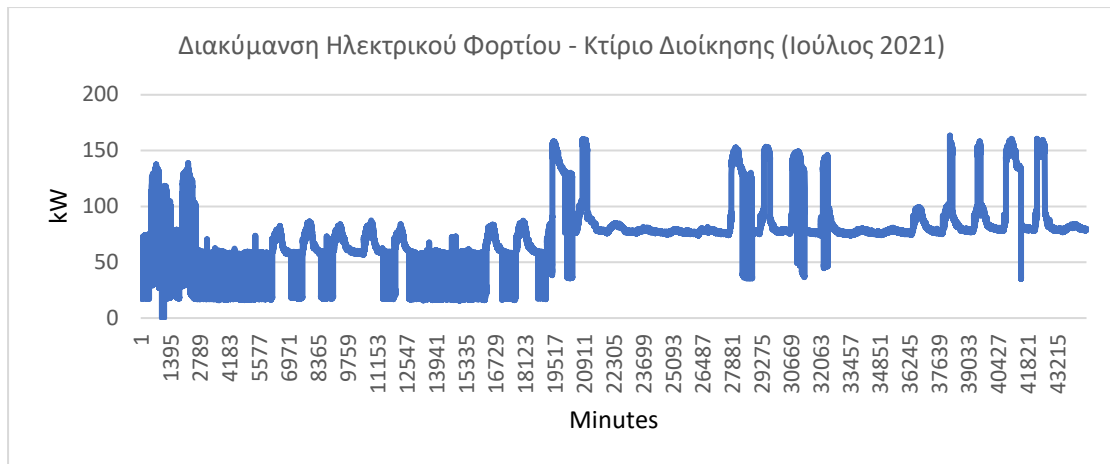
Γράφημα 31: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο E (Ιούλιος 2021)



Γράφημα 32: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Συνεδριακό Κέντρο (Ιούλιος 2021)



Γράφημα 33: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Z (Ιούλιος 2021)



Γράφημα 34: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Διοίκησης (Ιούλιος 2021)



Γράφημα 35: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Βιβλιοθήκης (Ιούλιος 2021)



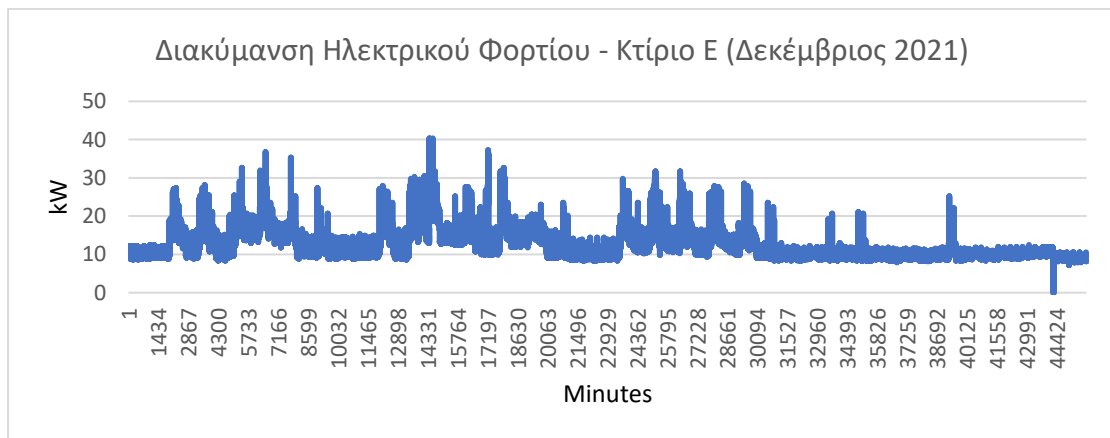
Γράφημα 36: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίρια Α,Β,Γ (Ιούλιος 2021)



Γράφημα 37: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Τεχνικής Υπηρεσίας (Ιούλιος 2021)



Γράφημα 38: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Δ (Δεκέμβριος 2021)



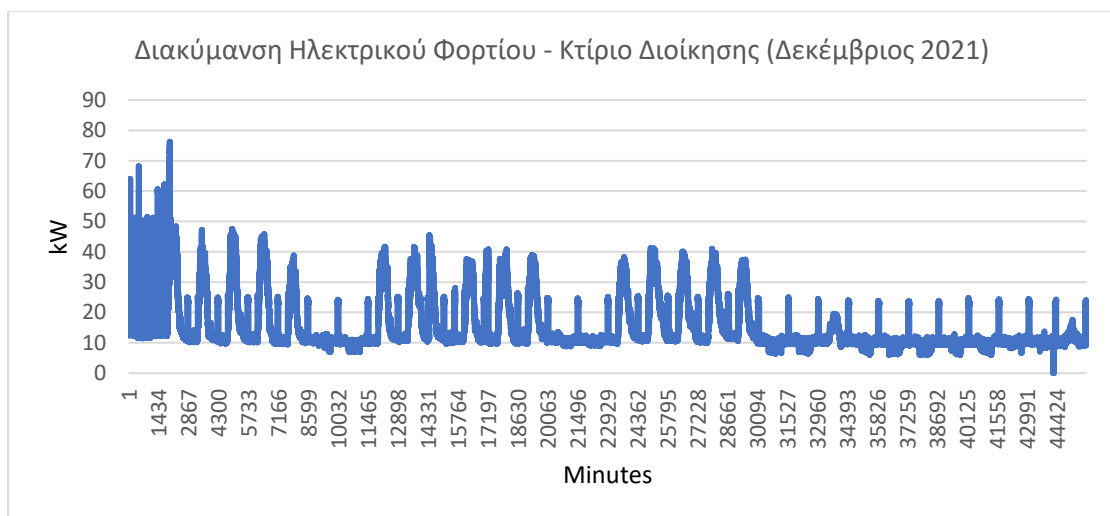
Γράφημα 39: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Ε (Δεκέμβριος 2021)



Γράφημα 40: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Συνεδριακό Κέντρο (Δεκέμβριος 2021)



Γράφημα 41: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Z (Δεκέμβριος 2021)



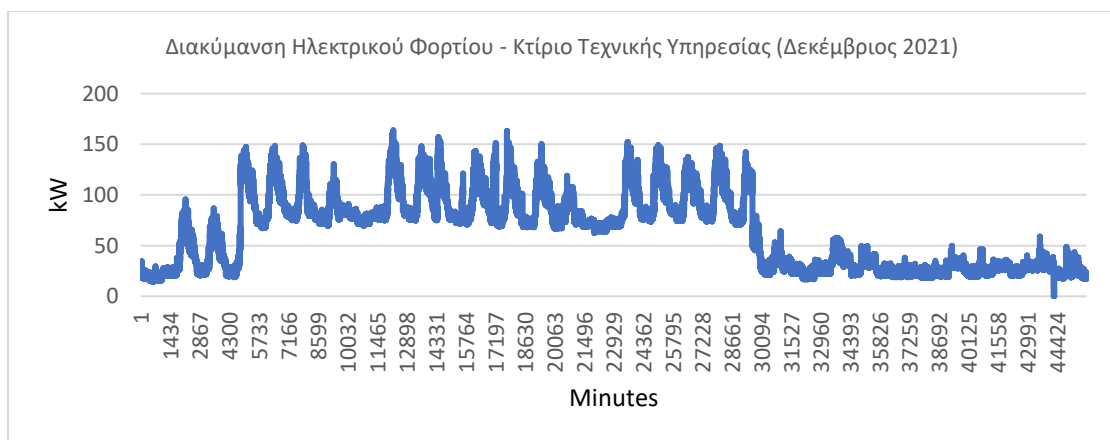
Γράφημα 42: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Διοίκησης (Δεκέμβριος 2021)



Γράφημα 43: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Βιβλιοθήκης (Δεκέμβριος 2021)



Γράφημα 44: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίρια Α,Β,Γ (Δεκέμβριος 2021)



Γράφημα 45: Ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο – Κτίριο Τεχνικής Υπηρεσίας (Δεκέμβριος 2021)

Βάσει των παραπάνω γραφημάτων, τον Ιούλιο (θερινή περίοδος) την κύρια ευθύνη για το φαινόμενο του συνολικού μηνιαίου ελάχιστου φορτίου των 200 kW_e έχει το Κτίριο Διοίκησης το οποίο εμφανίζει για το μισό μήνα ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο 80 kW_e περίπου, ενώ έπονται τα κτίρια Α,Β,Γ και το Κτίριο Ζ με 50 kW_e αντίστοιχα. Το Δεκέμβριο (χειμερινή περίοδος), το μεγαλύτερο ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο εμφανίζει το Κτίριο Τεχνικής Υπηρεσίας με 70 kW_e περίπου για το μεγαλύτερο διάστημα του μήνα, με τα κτίρια Α,Β,Γ να ακολουθούν με 50 kW_e αντίστοιχα . Στα κτίρια αυτά λοιπόν θα πρέπει να επικεντρωθούν οι αρμόδιοι για δράσεις εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης ενέργειας.

5.2 Προτάσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας στα Κτίρια της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα

Τα πανεπιστήμια και τα ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη ενός βιώσιμου μέλλοντος καταπολεμώντας την κλιματική αλλαγή. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα πανεπιστήμια σε όλο τον κόσμο επικεντρώνονται ολοένα και περισσότερο στη μείωση του ενεργειακού τους κόστους και στη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης. Πολλά πανεπιστήμια επενδύουν σε τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας και υιοθετούν βιώσιμες πρακτικές για να μειώσουν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπό τους και να εξοικονομήσουν χρήματα από ενεργειακές δαπάνες.

Η αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας είναι απαραίτητη για τα ελληνικά πανεπιστήμια προκειμένου να μειώσουν το ενεργειακό τους κόστος και να βελτιώσουν την ενεργειακή τους απόδοση. Η διαχείριση ενέργειας μπορεί να περιλαμβάνει διάφορες δραστηριότητες, όπως ενεργειακούς ελέγχους, παρακολούθηση και έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας και αξιολόγηση ενεργειακής απόδοσης.

Η ενεργειακή επιθεώρηση είναι μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της χρήσης ενέργειας και των ευκαιριών ενεργειακής απόδοσης του πανεπιστημίου. Ο ενεργειακός έλεγχος μπορεί να εντοπίσει πεδία όπου σπαταλάται ενέργεια και να παρέχει συστάσεις για μέτρα ενεργειακής απόδοσης που μπορούν να βοηθήσουν το πανεπιστήμιο να εξοικονομήσει ενέργεια και να μειώσει το ενεργειακό του κόστος. Η αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης μπορεί να βοηθήσει τα πανεπιστήμια να μετρήσουν την πρόοδό

τους στη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης και στη μείωση του ενεργειακού τους κόστους.

Παρακάτω παρατίθενται κάποια από τα βασικά μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια και της εγκαταστάσεις της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα:

- Κατασκευή συστήματος διαχείρισης ενέργειας με εγκατάσταση μετρητών ενέργειας και αισθητήρων για την παρακολούθηση της χρήσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και τον εντοπισμό ευκαιριών για εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό το σύστημα μπορεί να έχει χρησιμότητες, ελέγχοντας τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της καταγραφής δεδομένων, παρακολουθώντας για παράδειγμα την ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας και τη βάση χρέωσης στο σταθμό φόρτισης της Π-2 αλλά και την παραγόμενη ενέργεια του φωτοβολταϊκού συστήματος που πρόκειται να εγκατασταθεί. Επίσης, μπορεί να ελέγχει και να ρυθμίζει εγκαταστάσεις θέρμανσης, κλιματισμού, φωτισμού, υδραυλικών, αερισμού, συναγερμού, πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης (Wai, 2022).
- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και δυναμικότητας στα συστήματα κλιματισμού. Στα κτίρια Α, Β και Δ της Π-2 δύναται η ψύξη των χώρων μέσω των ενεργειακά αποδοτικότερων fan coils που συνδέονται με τη μονάδα ΣΗΘΥΑ.
- Βελτιστοποίηση του φωτισμού των χώρων μέσω νέων μετρήσεων.
- Καλύτερη εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού μέσω εγκατάστασης αισθητήρων.
- Αντικατάσταση υφιστάμενων εσωτερικών και εξωτερικών λαμπτήρων με ενεργειακά αποδοτικότερους τύπου LED.
- Εγκατάσταση διακοπών καθυστέρησης φωτισμού εξοικονόμησης ενέργειας σε κοινόχρηστους χώρους, οι οποίοι μπορούν να λύσουν αποτελεσματικά το πρόβλημα της σπατάλης ενέργειας που προκαλείται από τα φώτα που ξεχνιούνται ανοιχτά από της χρήστες των χώρων (Θωμόπουλος, 2018).

Πέρα από τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που περιγράφονται παραπάνω, απαραίτητες είναι και οι δράσεις ορθολογικής χρήσης ενέργειας από όλα τα μέλη της πανεπιστημιακής κοινότητας, ώστε να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο του ελάχιστου

ηλεκτρικού φορτίου των 200 kW_e που παρατηρείται στα κτίρια της Π-2. Παρακάτω παρατίθενται οι πιο βασικές από αυτές:

- Μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης φωτισμού, κλείνοντας τα φώτα όταν δε χρειάζονται σε χώρους ευθύνης του καθενός (γραφεία, εργαστήρια, αποθήκες, τουαλέτες, κατά την αποχώρηση από αίθουσες διδασκαλίας κ.λπ.). Όπου είναι δυνατό, πρέπει να προτιμάται ο φυσικός φωτισμός αντί του τεχνητού, με άνοιγμα των συστημάτων σκίασης (περσίδων κ.λπ.).
- Απενεργοποίηση εξοπλισμού (κλιματιστικών, οθονών, Η/Υ, εργαστηριακών μηχανημάτων κ.λπ.) κατά το χρονικό διάστημα που δε χρησιμοποιείται (π.χ. κατά την αποχώρηση του καθενός από τον εκάστοτε χώρο εργασίας) σε γραφεία, εργαστήρια, αίθουσες διδασκαλίας κ.λπ. και προφανώς σε μη εργάσιμες ημέρες.
- Τήρηση των κανόνων/ορίων εσωτερικής θερμοκρασίας των γραφείων, εργαστηρίων κ.λπ. που διαθέτουν αυτόνομο κλιματισμό (κλιματιστικές μονάδες, split units κ.λπ.) στα όρια που καθορίζονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15251:2007, δηλαδή κατά τη θερινή περίοδο της 27°C και κατά τη χειμερινή περίοδο της 19°C, μέσω της σχετικής ρύθμισης από το χειριστήριο των συσκευών (Amaral et al., 2023).
- Κλείσιμο των ανοιγμάτων των χώρων (παραθύρων, θυρών κ.λπ.) όταν λειτουργεί ο κλιματισμός (θέρμανση/ψύξη).
- Τακτική συντήρηση των κλιματιστικών με συχνό καθαρισμό των φίλτρων τους.

Κεφάλαιο 6. Οικονομοτεχνική Ανάλυση Νέου Τρόπου Λειτουργίας Μονάδας ΣΗΘΥΑ

6.1 Παραδοχές Οικονομοτεχνικής Ανάλυσης

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία σύγκριση μεταξύ του υφιστάμενου και του νέου προτεινόμενου τρόπου λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πα.Δ.Α., λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες παραμέτρους, ώστε να αποσαφηνιστεί και το οικονομικό αποτύπωμα της πρότασης για ένα ενεργειακά αυτόνομο πανεπιστήμιο.

Η οικονομοτεχνική ανάλυση θα γίνει αποκλειστικά για τη λειτουργία της ΣΗΘΥΑ, θεωρώντας (για να είναι δίκαιη η σύγκριση) πως το φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 400 kWp και οι δράσεις ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας έως και 30% υφίστανται και στους δύο τρόπους λειτουργίας της μονάδας (παλιός και νέος).

Στον υφιστάμενο (ή παλιό) τρόπο λειτουργίας της μονάδας στο εξεταζόμενο διάστημα (Ιούλιος 2021-Ιούνιος 2022), η αρχική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για τις Π-2 και Π-3 ισούται με 4.400 MWh_e. Θεωρώντας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ότι ισχύει η εξοικονόμηση από το φωτοβολταϊκό σύστημα (600 MWh_e) και από τις δράσεις ορθολογικής χρήσης (1.320 MWh_e), η τελική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για τις Π-2 και Π-3 είναι 2.480 MWh_e. Η παραγωγή της μονάδας ΣΗΘΥΑ ήταν 1.480 MWh_e ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, απομένουν 1000 MWh_e ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες αγοράζονται από το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Στο νέο προτεινόμενο τρόπο λειτουργίας της μονάδας, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας όπως και παραπάνω έπειτα από τις παρεμβάσεις είναι 2.480 MWh_e. Από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ θα παράγονται 130 MWh_e ψυκτικής ενέργειας, όπου για COP=2 συνεπάγονται εξοικονόμηση 65 MWh_e ηλεκτρικής ενέργειας, κάνοντας την τελική ζήτηση 2.415 MWh_e ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή της μονάδας ΣΗΘΥΑ θα είναι 2.435 MWh_e ηλεκτρικής ενέργειας, ποσό που καλύπτει την παραπάνω ζήτηση, γεγονός που σημαίνει πως δε θα υπάρχει αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές παραδοχές, βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκε η οικονομοτεχνική ανάλυση.

Πίνακας 8: Βασικές παραδοχές οικονομοτεχνικής ανάλυσης

Παραδοχές Οικονομοτεχνικής Ανάλυσης		
Διάρκεια ζωής επένδυσης	25	years
Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας	147	€/MWh
Τιμή Φ.Α. (ΣΗΘΥΑ)	40	€/MWh
Ετήσιος συντελεστής προσαύξησης τιμών	0,01	
Κόστος συντήρησης ΣΗΘΥΑ ανά 2000 ώρες	1500	€
Ωρες λειτουργίας ΣΗΘΥΑ (πριν)	2644	h
Ωρες λειτουργίας ΣΗΘΥΑ (μετά)	4349	h
Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ΣΗΘΥΑ (πριν)	1480	MWh
Ετήσια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο (πριν)	1000	MWh
Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ΣΗΘΥΑ (μετά)	2435	MWh
Ετήσια κατανάλωση Φ.Α. ΣΗΘΥΑ (πριν)	4441	MWh
Ετήσια κατανάλωση Φ.Α. ΣΗΘΥΑ (μετά)	7307	MWh
Για παραγωγή 1 MWh _e καθαρής ωφέλιμης από ΣΗΘΥΑ, χρειάζονται:	3	MWh _{NG}
Επιτόκιο αναγωγής	0,06	

Όπως φαίνεται λοιπόν στον Πίνακα 8, πρόκειται για μία επένδυση διάρκειας 25 ετών, όσο διαρκεί η σύμβαση συμψηφισμού για το φωτοβολταϊκό σύστημα που πρόκειται να εγκατασταθεί στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα.

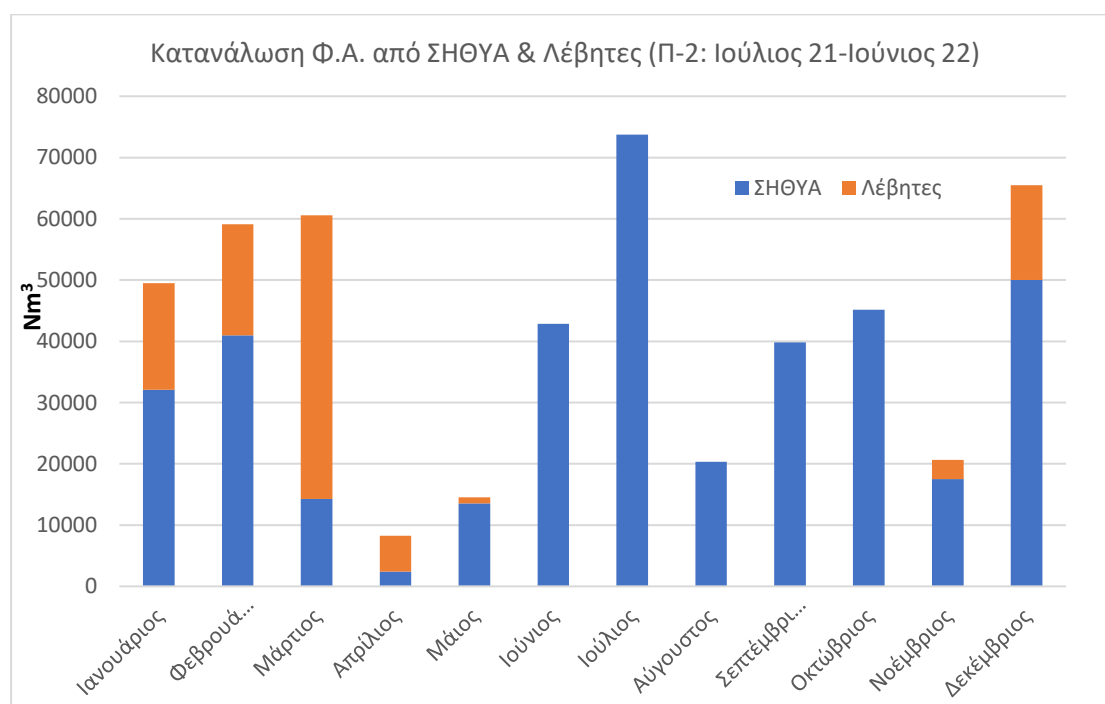
Ο τελευταίος λογαριασμός ρεύματος για την Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα ήταν τον Ιανουάριο 2023 όπου η χρέωση προμήθειας ήταν ίση με 448 €/MWh_e. Την ίδια περίοδο, το κόστος φυσικού αερίου για τη μονάδα ΣΗΘΥΑ ήταν ίσο με 122 €/MWh_{NG}, με την αναλογία τιμής φυσικού αερίου ΣΗΘΥΑ και ηλεκτρικής ενέργειας που προκύπτει να είναι 1/3,67. Εφαρμόζοντας αυτή την αναλογία τιμών για τα κόστη του σήμερα (Ιούνιος 2023) όπου το φυσικό αέριο κοστίζει 40 €/MWh_{NG}, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με 147 €/MWh_e. Έπειτα, για την πραγματοποίηση των υπολογισμών σε βάθος 25ετίας, θεωρήθηκε ετήσιος συντελεστής προσαύξησης 1% για τις τιμές αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου για τη ΣΗΘΥΑ.

Επίσης, λήφθηκαν υπόψη τα έξοδα συντήρησης της μονάδας ΣΗΘΥΑ, τα οποία ισούνται με 1.500 € ανά 2.000 ώρες λειτουργίας. Όπως είναι λογικό, στο νέο τρόπο λειτουργίας το κόστος αυτό είναι μεγαλύτερο στο βάθος της 25ετίας καθώς η μονάδα θα λειτουργεί 4.349 ώρες ετησίως σε αντίθεση με τον υφιστάμενο τρόπο λειτουργίας όπου λειτουργεί 2.644 ώρες ετησίως.

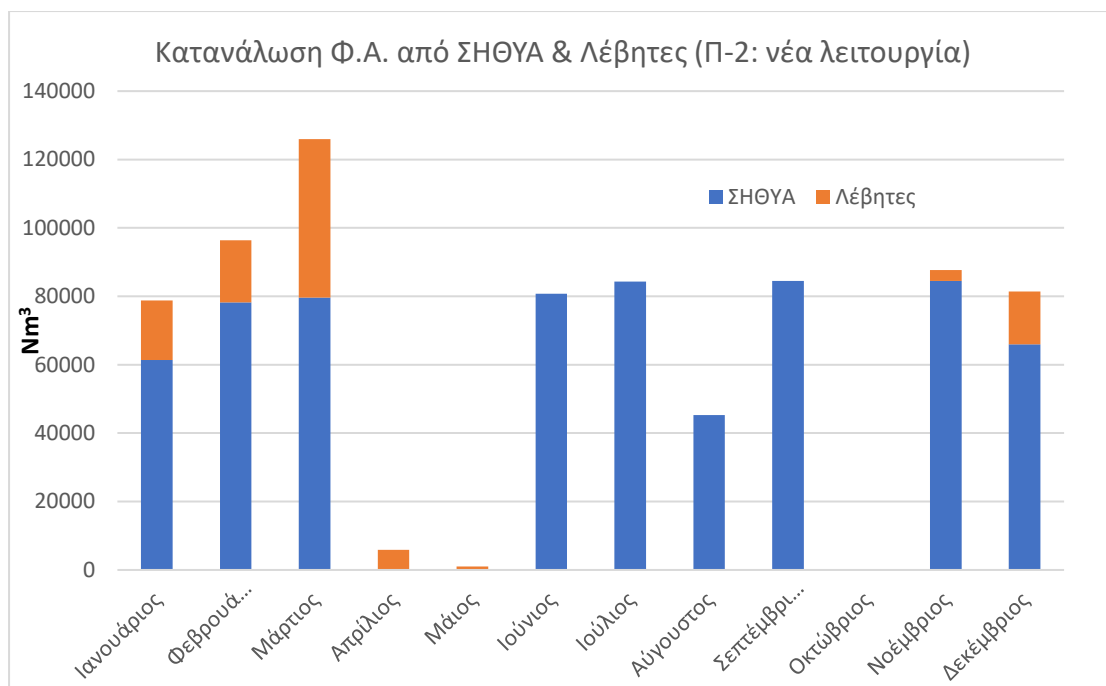
Το επιτόκιο αναγωγής θεωρήθηκε ως $i = 6\%$ καθώς πρόκειται για μία επένδυση που δεν εμπεριέχει ρίσκο, διότι η μονάδα ΣΗΘΥΑ βρίσκεται ήδη σε λειτουργία αρκετά χρόνια με αποδεδειγμένη τη λειτουργικότητα της χρήσης της.

Αξίζει να αναφερθεί πως η κατανάλωση φυσικού αερίου από τους λέβητες θα παραμείνει ίδια, καθώς ήδη στον υφιστάμενο τρόπο λειτουργίας της ΣΗΘΥΑ, η μονάδα καλύπτει τις θερμικές ανάγκες των κτιρίων Α,Β,Γ και Δ, με τις θερμικές ανάγκες των υπόλοιπων κτιρίων της Π-2 να καλύπτονται από τους σχετικούς λέβητες, καταναλώνοντας 1.250 MWh φυσικού αερίου. Η ίδια κατάσταση θα συνεχίσει να ισχύει και στο νέο προτεινόμενο τρόπο λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘΥΑ.

Για να γίνει πιο αντιληπτή η τροποποίηση στο ενεργειακό μίγμα της Π-2, στο Γράφημα 46 παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατανάλωση φυσικού αερίου (392.720 Nm³ από τη ΣΗΘΥΑ και 107.298 Nm³ από τους λέβητες), ενώ στο Γράφημα 47 η κατανάλωση φυσικού αερίου υπό το νέο προτεινόμενο τρόπο λειτουργίας της μονάδας, με τη μεγαλύτερη αξιοποίηση της ΣΗΘΥΑ και την ίδια χρήση των λεβήτων (664.636 Nm³ από τη ΣΗΘΥΑ και 107.298 Nm³ από τους λέβητες).



Γράφημα 46: Υφιστάμενη κατανάλωση Φ.Α. Π-2 (Ιούλιος 2021-Ιούνιος 2022)



Γράφημα 47: Κατανάλωση Φ.Α. Π-2 (νέος τρόπος λειτουργίας ΣΗΘΥΑ)

6.2 Αποτελέσματα Οικονομοτεχνικής Ανάλυσης

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη όλα τα παραπάνω, πραγματοποιήθηκε η οικονομοτεχνική ανάλυση, τα αναλυτικά αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 9: Οικονομοτεχνική ανάλυση

Έτος	Τιμή ηλ. ενέργειας (€/MWh)	Τιμή Φ.Α. ΣΗΘΥΑ (€/MWh)	Ενεργειακό κόστος υφιστάμενης λειτουργίας ΣΗΘΥΑ (Current Values)	Ενεργειακό κόστος νέας λειτουργίας ΣΗΘΥΑ (Current Values)	Ετήσιες Χρηματοροές	Εξοικονόμηση μέσω της νέας λειτουργίας ΣΗΘΥΑ (Present Values)
1	147 €	40 €	325.940 €	295.266 €	30.674 €	28.938 €
2	148 €	40 €	329.184 €	298.188 €	30.996 €	27.586 €
3	150 €	41 €	333.961 €	301.140 €	32.821 €	27.557 €
4	151 €	41 €	337.271 €	305.622 €	31.649 €	25.069 €
5	153 €	42 €	340.614 €	308.633 €	31.981 €	23.898 €
6	154 €	42 €	345.490 €	311.674 €	33.815 €	23.839 €
7	156 €	42 €	348.900 €	316.246 €	32.654 €	21.716 €
8	157 €	43 €	352.344 €	319.349 €	32.995 €	20.702 €
9	159 €	43 €	357.322 €	322.482 €	34.840 €	20.622 €
10	161 €	44 €	360.835 €	327.147 €	33.688 €	18.811 €
11	162 €	44 €	364.384 €	330.343 €	34.040 €	17.932 €
12	164 €	45 €	369.467 €	333.572 €	35.896 €	17.839 €
13	165 €	45 €	373.087 €	338.332 €	34.755 €	16.294 €

14	167 €	46 €	376.743 €	341.626 €	35.117 €	15.532 €
15	169 €	46 €	381.935 €	346.452 €	35.483 €	14.806 €
16	170 €	46 €	385.665 €	349.812 €	35.853 €	14.113 €
17	172 €	47 €	389.431 €	353.205 €	36.227 €	13.453 €
18	174 €	47 €	394.736 €	358.132 €	36.604 €	12.824 €
19	176 €	48 €	398.578 €	361.593 €	36.985 €	12.224 €
20	177 €	48 €	402.459 €	365.089 €	37.370 €	11.652 €
21	179 €	49 €	407.878 €	370.120 €	37.759 €	11.107 €
22	181 €	49 €	411.837 €	373.686 €	38.151 €	10.587 €
23	183 €	50 €	415.836 €	377.288 €	38.548 €	10.092 €
24	185 €	50 €	421.374 €	382.426 €	38.948 €	9.619 €
25	186 €	51 €	425.453 €	386.100 €	39.353 €	9.169 €

Η καθαρά παρούσα αξία της επένδυσης/νέας λειτουργίας για επιτόκιο αναγωγής 6% και διάρκεια ζωής 25 χρόνια, ισούται περίπου με NPV = 436.000 €, ποσό πολύ ενθαρρυντικό για να υλοποιήσει το ίδρυμα τον προτεινόμενο τρόπο λειτουργίας.

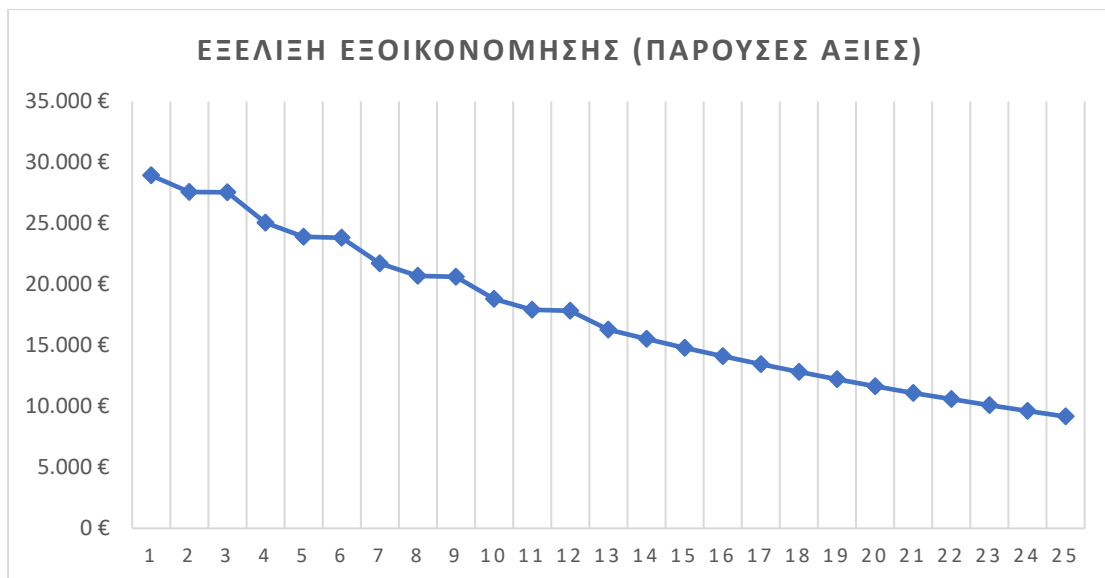
Στη συγκεκριμένη περίπτωση το ποσό αυτό της NPV δεν μηδενίζεται ώστε να υπολογιστεί ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR), διότι δεν υπάρχει αρχικό κόστος στη συγκεκριμένη επένδυση, μιας και η μονάδα βρίσκεται ήδη σε λειτουργία, πραγματοποιώντας τροποποίηση αυτής.

Στο Γράφημα 48 παρουσιάζονται οι ετήσιες χρηματοροές όπως υπολογίστηκαν στον Πίνακα 9, οι οποίες όπως φαίνεται αυξάνονται σταδιακά ξεκινώντας από τα 30.700 € περίπου, με το ενεργειακό κόστος του υφιστάμενου τρόπου λειτουργίας της ΣΗΘΥΑ στην παρούσα φάση να ισούται με 325.940 € και το αντίστοιχο κόστος του νέου τρόπου λειτουργίας της ΣΗΘΥΑ να ισούται με 295.266 €. Στο τέλος της 25ετίας οι ετήσιες χρηματοροές φτάνουν τις 39.300 € περίπου, γεγονός που οφείλεται στην ετήσια αύξηση των τιμών της ενέργειας που έχει προβλεφθεί, με τη συνολική εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους όσον αφορά τη μονάδα ΣΗΘΥΑ μέσω του νέου προτεινόμενου τρόπου λειτουργίας της να ισούται με 9%.

Στο Γράφημα 49 παρουσιάζεται και η ετήσια εξοικονόμηση μέσω του νέου τρόπου λειτουργίας, η οποία όπως φαίνεται ξεκινάει από τις 29.000 € και φτάνει τις 9.200 € περίπου στο τέλος της 25ετίας. Η σταδιακή αυτή μείωση οφείλεται στο ότι το ποσό της ετήσια εξοικονόμησης χρημάτων έχει υπολογιστεί σε παρούσες αξίες για επιτόκιο αναγωγής 6%.



Γράφημα 48: Ετήσιες χρηματοροές



Γράφημα 49: Εξοικονόμηση σε παρούσες αξίες

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα

Η εξοικονόμηση ενέργειας στις πανεπιστημιούπολεις μπορεί να αποτελέσει ένα ζωντανό παράδειγμα για τους φοιτητές τους σχετικά με την υιοθέτηση στόχων όσον αφορά τη βιώσιμη ανάπτυξη. Προκειμένου να κατανοηθεί και να τονωθεί η έννοια της βιωσιμότητας στα πανεπιστήμια, είναι σημαντικό να πραγματοποιούνται μελέτες, να παρέχονται χρηματοδοτήσεις και πόροι, και κυρίως να υπάρχει στήριξη από τις εκάστοτε διοικήσεις ώστε να γίνονται δράσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων και γενικότερα προσπάθειες εξοικονόμησης ενέργειας.

Σε αντίθεση λοιπόν με την πλειοψηφία των ελληνικών πανεπιστημίων τα οποία παρουσιάζουν έλλειψη ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής, το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (Πα.Δ.Α.) λειτουργεί από το 2016 μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας-ψύξης (ΣΗΘΥΑ) με φυσικό αέριο. Από το 2019 μάλιστα, η μονάδα ΣΗΘΥΑ λειτουργεί υπό το καθεστώς του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού (Virtual Net Metering) καλύπτοντας μέρος των ενεργειακών αναγκών της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα (Π-2) και της Πανεπιστημιούπολης Αθηνών (Π-3).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων της τεχνολογίας της συμπαραγωγής, μέσω του μηνιαίου ταυτοχρονισμού των ηλεκτρικών και θερμικών/ψυκτικών αναγκών της Π-2. Ουσιαστικά, πραγματοποιήθηκε νέος προγραμματισμός στη λειτουργία της ΣΗΘΥΑ, με σκοπό να μην αγοράζεται ηλεκτρική ενέργεια από το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο για ένα ενεργειακά αυτόνομο πανεπιστήμιο, και βασική παραδοχή η μονάδα να τίθεται σε λειτουργία τους μήνες όπου υπάρχουν πραγματικές ανάγκες θέρμανσης και ψύξης. Μέσω λοιπόν αυτού του νέου τρόπου λειτουργίας, η ΣΗΘΥΑ θα καλύπτει πλήρως τα ηλεκτρικά φορτία των Π-2 και Π-3, αυξάνοντας τις ετήσιες ώρες λειτουργίας της, με το συντελεστή αξιοποίησή της να ισούται πλέον με $CF=46\%$. Στην πλήρη κάλυψη των εν λόγω ηλεκτρικών φορτίων, θα συμβάλλει η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος 400 kW και οι δράσεις ορθολογικής χρήσης ενέργειας οι οποίες προβλέπεται να αποφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας έως και 30%.

Όσον αφορά την κάλυψη των θερμικών φορτίων της Π-2, όπως ήδη συμβαίνει, η ΣΗΘΥΑ θα καλύπτει πλήρως τις ανάγκες θέρμανσης των κτιρίων Α,Β,Γ και Δ, καθώς μόνο με αυτά τα κτίρια είναι συνδεδεμένος ο εξοπλισμός θέρμανσης της μονάδας, εξοικονομώντας φυσικό αέριο.

Αντίστοιχα, η ΣΗΘΥΑ θα συμβάλλει με την παραγόμενη ψυκτική ενέργεια στην κάλυψη των ψυκτικών φορτίων των κτιρίων Α,Β και Δ, εξοικονομώντας ένα ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούταν από κλιματιστικές μονάδες και κεντρικές μονάδες κλιματισμού.

Από οικονομικής άποψης, οι βασικές παράμετροι που καθόρισαν τα αποτελέσματα, είναι ότι πλέον δε θα αγοράζεται ηλεκτρική ενέργεια από το εθνικό δίκτυο στις Π-2 και Π-3, ενώ θα αυξηθεί η κατανάλωση φυσικού αερίου από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ κατά 39% περίπου. Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, προβλέπεται κατά μέσο όρο ετησίως εξοικονόμηση 35.000 € περίπου, όπου συνολικά αυτό μεταφράζεται με μείωση του ενεργειακού κόστους των Π-2 και Π-3 κατά 9% σε βάθος 25ετίας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η μονάδα ΣΗΘΥΑ έχει τη δυνατότητα της πλήρους κάλυψης των αναγκών θέρμανσης όλων των κτιρίων της Π-2, πράγμα που προϋποθέτει την αναβάθμιση των υποδομών ώστε να μπορούν όλα τα κτίρια να εξυπηρετούνται από το σύστημα θέρμανσης της μονάδας. Επιπλέον, αν αυξηθεί ο συντελεστής αξιοποίησής της, δύναται μελλοντικά να καλυφθεί και μέρος των ηλεκτρικών φορτίων της Πανεπιστημιούπολης Άλσος Αιγάλεω (Π-1) μέσω του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού.

Εν κατακλείδι, ο νέος τρόπος λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘΥΑ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής που προτείνει η παρούσα διπλωματική εργασία, προάγει τη λογική ενός «πράσινου» και ενεργειακά αυτόνομου πανεπιστημίου, παράγοντας τη δική του ενέργεια, ανεξαρτημένο από το ηλεκτρικό δίκτυο και εν δυνάμει από μεμονωμένο εξοπλισμό όπως λέβητες και κλιματιστικά. Μέσω αυτής της νέας λειτουργίας, αλλά και σε συνδυασμό με την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος και με τις δράσεις ορθολογικής χρήσης ενέργειας, θα μειωθεί και το ανθρακικό αποτύπωμα του πανεπιστημίου μειώνοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση σε εθνικό επίπεδο.

Όλες οι παραπάνω δράσεις αποτελούν ένα ζωντανό παράδειγμα για τους φοιτητές του Πα.Δ.Α. ώστε να αναπτύξουν το αίσθημα της εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης ενέργειας, και μπορούν να δώσουν κίνητρο και σε άλλα ελληνικά ιδρύματα να προβούν σε ανάλογους σχεδιασμούς για τη μετάβαση σε ένα «πράσινο» πανεπιστήμιο.

Βιβλιογραφία

- Balaras, C., Dascalaki, E., Droutsa, P., Micha, M., Kontoyiannidis, S., Argiriou, A.A. (2017) *Energy Use Intensities for Non-Residential Buildings*.
- Al Moussawi, H., Fardoun, F., Louahlia, H. (2017) *Selection based on differences between cogeneration and trigeneration in various prime mover technologies*. University Institute of Technology, Department GIM, Lebanese University, Saida, Lebanon. Normandie Univ, UNICAN, LUSAC, France.
- Καραγιάννης, Φ. (2021) *Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)*. Παρουσίαση 2021. ΠΜΣ Ενεργειακά και Περιβαλλοντικά Έργα, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
- Murugan, S., Horak, B. (2016) *Tri and polygeneration systems – A review*. Department of Cybernetics and Biomedical Engineering, VSB Technical University, Ostrava, Czech Republic. Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela, India.
- Al Moussawi, H., Fardoun, F., Louahlia-Gualous, H. (2016) *Review of tri-generation technologies: Design evaluation, optimization, decision-making, and selection approach*. University Institute of Technology, Department GIM, Lebanese University, Saida, Lebanon. Caen of Normandie Univ, LUSAC, France.
- Σκαρμούτσος, Μ., Τζαβαλής, Ηλ. (2021) *Συστήματα Ανάκτησης Θερμότητας*. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.
- Kostopoulos, E., Kaloutsas, M., Kondili, E., Kaldellis, J. (2019) *Cogeneration Unit Optimum Sizing for a University Campus*. Mechanical Engineering Department, University of West Attica.
- Mura, P., Innamorati, R. (2015) *Design of a new system of high-power efficiency conditioning cogeneration energy for a building of the University of Cagliari with fossil fuel plants*. University of Cagliari.
- Silva, H.C.N., Dutra, J.C.C., Costa, J.A.P., Ochoa, A.A.V., Dos Santos, C.A.C. (2019) *Modeling and simulation of cogeneration systems for buildings on a university campus in Northeast Brazil – A case study*. Federal Institute of

Technology of Pernambuco. Federal University of Pernambuco. Federal University of Paraiba, Cidade Unversitaria.

- Τσαντίλη, Αγγ. (2022) *Ενεργειακή Αξιολόγηση Πανεπιστημιακών Κτηρίων*. Μεταπτυχιακή Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΔΠΜΣ Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας.
- Λουκαδοπούλου, Ευγ. (2009) *Μελέτη Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού – Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης για το Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και το Νοσοκομείο ΑΧΕΠΑ*. Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ενέργειας, Εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Κωστόπουλος, Εμ., Καλδέλλης, Κλ., Καλούτσα, Μ., Κονδύλη, Αιμ., Καλδέλλης, Ι. (2021) *Η Συμβολή Μονάδας Συμπαραγωγής Υψηλής Απόδοσης στην Ενεργειακή Μετάβαση για Ένα Πράσινο Πανεπιστήμιο*. Εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας & Προστασίας Περιβάλλοντος, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. Τεχνική Υπηρεσία, Παν. Δυτικής Αττικής. Εργαστήριο Αριστοποίησης Παραγωγικών Συστημάτων, Παν. Δυτικής Αττικής.
- Γκιόγκεζας, Μ. (2018) *Ενεργειακή Ανάλυση & Αξιολόγηση Λειτουργίας της Μονάδας Συμπαραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής*. Πτυχιακή Εργασία. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.
- Λάλα, Κλ. (2020) *Μελέτη φωτοβολταϊκού συστήματος με και χωρίς αποθήκευση ενέργειας στο κτίριο Ζ' του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής*. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών.
- Kaldellis, J., Kavadias, K., Zafirakis, D. (2012) *Experimental Validation of the Optimum Photovoltaic Panels' Tilt Angle for Remote Consumers*. Lab of Soft Energy Applications & Environmental Protection, TEI of Piraeus.
- Kaldellis, J., Kapsali, M., Kavadias, K. (2014) *Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece*. Lab of Soft Energy Applications & Environmental Protection, TEI of Piraeus.

- Wai, R.J. (2022) *Systematic Design of Energy-Saving Action Plans for Taiwan Campus by Considering Economic Benefits and Actual Demands*. Department of Electronic and Computer Engineering, National Taiwan University of Science and Technology.
- Θωμόπουλος, Γ. (2018) *Προηγμένο Σύστημα για την Ενεργειακή Αποτύπωση, Πρόβλεψη και Εξοικονόμηση της Ενεργειακής Κατανάλωσης Κτιρίων Τμημάτων στην Πανεπιστημιούπολη του Πανεπιστημίου Πατρών*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. ΔΠΜΣ Καταναεμημένη πράσινη ηλεκτρική ενέργεια και οι προηγμένες δικτυακές υποδομές για τη διαχείριση και την οικονομία της, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Amaral, A., Rodrigues, E., Rodrigues Gaspar, A., Gomes, A. (2023) *How organizational constraints undermine sustainability actions in a university's campuses: A case study*. Univ Coimbra, ADAI, Department of Mechanical Engineering. Univ Coimbra, INESC Coimbra, Department of Electrical and Computer Engineering.