

Ενεργειακή αναβάθμιση κτηρίου Δημαρχείου Κάσου

Author: Dimitris Al. Katsaprakakis (Hellenic Mediterranean University)

Reviewers: Marie Angot (3E), Myriam Castanié (Rescoop), Carlos Guerrero (3E)

Date : 30/03/2020

CLEAN ENERGY FOR EU ISLANDS

Secretariat • Rue d'Arlon 63, BE-1000 Brussels

Phone +32 2 400 10 67 • E-mail info@euislands.eu • Website euislands.eu

DISCLAIMER

This study has been prepared for the European Commission by the Clean Energy for EU Islands Secretariat. It reflects the views of the authors only. These views have neither been adopted nor in any way approved by the Commission and should not be relied upon as a statement of the Commission's or DG ENER's views. The results of this study do not bind the Commission in any way. The Commission does not guarantee the accuracy of the data included in the study. Neither the Commission nor any person acting on the Commission's behalf may be held responsible for the use which may be made of the information contained therein.

This document is based on an application submitted by an island-related organization to a Call for 'Project specific support' organized as part of the Clean Energy for EU Island Secretariat, and entered into solely between the Clean Energy for EU Island Secretariat and the island-related organization for whom it was drafted, and no third-party beneficiaries are created hereby. This document may be communicated or copied to third parties, and third parties may make use of this document without the prior written consent of the Clean Energy for EU Island Secretariat and/or its author. The Clean Energy for EU Island Secretariat and the author will not be liable to any parties (the island-related organization or third-parties) for services rendered to the island-related organization, or for the consequences of the use by the island-related organization or a third party of this document.

EUROPEAN COMMISSION

Directorate-General for Energy
Directorate B — Internal Energy Market
Unit B2 — Wholesale markets; electricity & gas
Contact: Nicole Versijp
E-mail: Nicole.Versijp@ec.europa.eu
European Commission

Πίνακας περιεχομένων

Η Γραμματεία της δράσης «Καθαρή Ενέργεια για τα Νησιά της Ευρωπαϊκής Ένωσης»	2
Ποιοι είμαστε	2
Ευχαριστίες	3
Πρόλογος	4
Αντικείμενο της έκθεσης	4
1. Υφιστάμενη κατάσταση – σύνοψη παρεμβάσεων	5
Γεωγραφικά στοιχεία	5
Υφιστάμενες καταναλώσεις ενέργειας	6
Προτεινόμενες παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης	7
2. Κλιματικά δεδομένα	10
3. Φορτία κλιματισμού	14
Φορτία κλιματισμού στην υφιστάμενη κατάσταση	14
Περιγραφή παθητικών μέτρων	21
Φορτία κλιματισμού μετά την εφαρμογή των παθητικών παρεμβάσεων	25
Μείωση φορτίων κλιματισμού λόγω παθητικών παρεμβάσεων	27
Ενεργητικές παρεμβάσεις κλιματισμού	28
Διαστασιολόγηση – χωροθέτηση συστήματος	29
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	31
4. Σύστημα φωτισμού κτηρίου	34
Υφιστάμενες καταναλώσεις	34
Προτεινόμενες παρεμβάσεις	35
5. Σύνοψη εξοικονόμησης ενέργειας – Άεργες καταναλώσεις	37
6. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε.	40
Γενική περιγραφή	40
Ο προτεινόμενος εξοπλισμός	41
Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο	41
Έδραση – εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων	41
Ο αντιστροφέας ισχύος του φωτοβολταϊκού σταθμού	43
Υπολογισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	44
Διαμόρφωση και διασύνδεση φωτοβολταϊκού σταθμού	45
Χωροθέτηση συστημάτων	46
7. Σύνοψη ενεργειακών αποτελεσμάτων	48
8. Οικονομικά στοιχεία	49
9. Δείκτες αξιολόγησης έργου	51

Συμπεράσματα

53

Αναφορές

55

Η Γραμματεία της δράσης «Καθαρή Ενέργεια για τα Νησιά της Ευρωπαϊκής Ένωσης»

Ποιοι είμαστε

Η θέσπιση της πρωτοβουλίας «Καθαρή Ενέργεια για τα Νησιά της Ευρωπαϊκής Ένωσης» το Μάιο του 2017 αποδεικνύει τη βούληση της Ευρωπαϊκής Ένωσης να επιταχύνει την ενεργειακή μετάβαση προς τις καθαρές μορφές ενέργειας σε περισσότερα από 1.400 κατοικημένα νησιά στην Ευρώπη. Η πρωτοβουλία αποσκοπεί στο να περιορίσει την εξάρτηση των Ευρωπαϊκών Νησιών από τις εισαγωγές ενέργειας με την αποδοτικότερη και ορθολογική αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μέσω μοντέρνων και καινοτόμων ενεργειακών τεχνολογιών και συστημάτων. Η Γραμματεία της συγκεκριμένης πρωτοβουλίας συστήθηκε υποστηρικτικά για να δράσει ως μία πλατφόρμα ανταλλαγής γνώσης και πληροφοριών μεταξύ των εμπλεκόμενων νησιωτικών φορέων και για να παράσχει επικεντρωμένες συμβουλευτικές υπηρεσίες προς την τεχνική ενημέρωση και την κατάρτιση του κοινού.

Η Γραμματεία της δράσης «Καθαρή Ενέργεια για τα Νησιά της Ευρωπαϊκής Ένωσης» υποστηρίζει την ενεργειακή μετάβαση στα νησιά με τους ακόλουθους τρόπους:

- με την παροχή υποστήριξης σε επίπεδο μεθοδολογίας και σε τεχνικό επίπεδο, με απώτερο στόχο την ανάπτυξη σχεδίων ενεργειακής μετάβασης για το σύνολο της νησιωτικής κοινότητας και επιμέρους έργα εξοικονόμησης ενέργειας και παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές
- με τη συνδιοργάνωση συναντήσεων εργασίας (workshops) και ηλεκτρονικών σεμιναρίων (webinars) με στόχο την κατάρτιση και την ενημέρωση των νησιωτικών κοινοτήτων στις τεχνολογίες αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εξοικονόμησης ενέργειας, στην ανεύρεση χρηματοδότησης έργων, στην ενεργητική συμμετοχή των νησιωτικών κοινοτήτων στην ανάπτυξη των απαιτούμενων έργων ενεργειακής μετάβασης, ώστε να ισχυροποιηθεί ο ρόλος του τοπικού, νησιωτικού παράγοντα στη διαδικασία ενεργειακής μετάβασης
- με την ανάπτυξη ενός δικτύου σε Πανευρωπαϊκό επίπεδο μέσω του οποίου τα νησιά θα μπορούν να κοινοποιούν τις εμπειρίες και τα αποτελέσματα από τις όποιες δράσεις υλοποιούνται στα πλαίσια της ενεργειακής μετάβασης, συμβάλλοντας, έτσι, στην ανάπτυξη ενός Πανευρωπαϊκού κινήματος.

Η Γραμματεία της πρωτοβουλίας «Καθαρή Ενέργεια για τα Νησιά της Ευρωπαϊκής Ένωσης» αποτελεί ένα μέσο κοινοποίησης και διάδοσης των σχεδίων ενεργειακής μετάβασης στα Ευρωπαϊκά νησιά, στην ευρύτερη Ευρωπαϊκή κοινότητα και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες ευχαριστίες για την εκπόνηση της διερευνητικής εργασίας αποδίδονται στο Δήμο της Ηρωικής Νήσου Κάσου και στην Κάσιος Κοινωνική Συνεταιριστική Επιχείρηση για την παροχή των απαιτούμενων στοιχείων και δεδομένων. Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνονται στον κ. Μηνά Μαλανδρή, ιδρυτικό μέλος της Κάσιος ΚΟΙΝ.Σ.ΕΠ. για την πολύ σημαντική συμβολή του στη συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων του κτηρίου.

Πρόλογος

Αντικείμενο της έκθεσης

Η παρούσα τεχνική έκθεση εκπονήθηκε στα πλαίσια της δεύτερης ανοιχτής πρόσκλησης της Γραμματείας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την πρωτοβουλία «Καθαρή Ενέργεια για τα Νησιά της Ευρωπαϊκής Ένωσης» (Γραμματεία) για την παροχή τεχνικής – συμβουλευτικής υποστήριξης σε νησιωτικές κοινότητες και πρωτοβουλίες στην Ευρώπη σε συγκεκριμένα έργα που εντάσσονται στην ευρύτερη προσέγγιση της ενεργειακής μετάβασής τους από τα ορυκτά καύσιμα προς τις καθαρές πηγές ενέργειας και την ορθολογική χρήση ενέργειας. Η έκθεση εκπονήθηκε με βάση την υποβληθείσα αίτηση από το Δήμο της Ηρωικής Νήσου Κάσου και την Κάσιος Κοινωνική Συνεταιριστική Επιχείρηση, η οποία εγκρίθηκε από τη Γραμματεία, για τη Νήσο Κάσο. Σύμφωνα με την υποβληθείσα αίτηση, η παρούσα έκθεση θα μελετήσει την ενεργειακή αναβάθμιση ενός τυπικού κτηρίου στην Κάσο, με στόχο τούτο να αποτελέσει οδηγό για την εφαρμογή αντίστοιχων συστημάτων και τεχνικών σε κτήρια με παρόμοια τεχνικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά στο νησί. Μετά από επικοινωνία με τους φορείς της αίτησης, υποδείχθηκε ως κτήριο αναφοράς το Δημαρχείο Κάσου.

1. Υφιστάμενη κατάσταση – σύνοψη παρεμβάσεων

Γεωγραφικά στοιχεία

Η νήσος Κάσος είναι το νοτιότερο νησί των Δωδεκανήσων, νοτιοδυτικά της Καρπάθου και βορειοανατολικά της Κρήτης. Έχει έκταση 66,4 km² και μόνιμο πληθυσμό 1.084 κατοίκους, με βάση την απογραφή του 2011 [1]. Το κτήριο του Δημαρχείου Κάσου βρίσκεται στη χώρα της νήσου Φρυ, σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 13 m και σε γεωγραφικές συντεταγμένες 35° 25' 1'' Β και 26° 55' 19'' Α. Η ακριβής θέση του κτηρίου παρουσιάζεται στο Χάρτη 1.



Χάρτης 1: Ακριβής θέση του Δημαρχείου Κάσου.

Γενική άποψη του κτηρίου δίδεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Δημαρχείο Κάσου.

Υφιστάμενες καταναλώσεις ενέργειας

Στο Δημαρχείο Κάσου σήμερα καταναλώνεται μόνο ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών φωτισμού και κλιματισμού του κτηρίου, για τη λειτουργία των συσκευών μηχανοργάνωσης της υπηρεσίας (ηλεκτρονικοί υπολογιστές, εκτυπωτές, φωτοτυπικά μηχανήματα, βιντεοπροβολείς) και για τη λειτουργία των όποιων λοιπών μικροσυσκευών του κτηρίου. Η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο κτήριο, με βάση τα παραχωρημένα στοιχεία από το Δήμο της Ηρωικής Νήσου Κάσου, παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Χρονικό σημείο μέτρησης	Ένδειξη μέτρησης (kWh)	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Κόστος προμήθειας (€)
Μάρτιος 2019	15.914		
Ιούλιος 2019	19.612	3.698	639,4
Νοέμβριος 2019	25.111	5.499	950,8
Μάρτιος 2020	29.312	4.201	726,4
Ετήσια σύνολα:		13.398	2.316,5

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 1, η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο Δημαρχείο Κάσου για την περίοδο Μάρτιος 2019 – Μάρτιος 2020 υπολογίζεται στις **13.398 kWh**. Η τιμή αυτή θα ληφθεί ως χαρακτηριστική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες της παρούσας. Το ετήσιο συνολικό κόστος προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας για το Δημαρχείο Κάσου, συμπεριλαμβανόμενων φόρων και τελών, προκύπτει ίσο με **2.316,5 €**. Συνεπώς, η μέση τιμή προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας για το Δημαρχείο Κάσου υπολογίζεται ίση με **0,1729 €/kWh**.

Δυστυχώς η μέγιστη χρονική ανάλυση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι τετράμηνη, όπως ακριβώς διατίθεται από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, με βάση τη διαθέσιμη ανάλυση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορούν να εξαχθούν πιο συγκεκριμένα συμπεράσματα αναφορικά με τη χρονική διακύμανση της ζήτησης, πέραν της σαφούς αύξησής της κατά τη θερινή περίοδο, χαρακτηριστικό κοινό για όλα τα ελληνικά νησιά [2-4]. Η αύξηση αυτή αποδίδεται ευλόγως στις αυξημένες ανάγκες ψύξης, οι οποίες είναι οι κυρίαρχες ανάγκες κλιματισμού γενικότερα για τη γεωγραφική θέση του κτηρίου και το μικροκλίμα της περιοχής. Οι ψυκτικές ανάγκες του κτηρίου επιτείνονται και λόγω της αυξημένης προσέλευσης κοινού κατά τους θερινούς μήνες, λόγω τουρισμού.

Είναι, συνεπώς, αυτονόητο, ότι οι όποιες παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης του κτηρίου θα πρέπει να επικεντρωθούν στη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των φορτίων κλιματισμού του κτηρίου. Επίσης, θα εξεταστεί και η αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού, προς εξοικονόμηση της αντίστοιχα καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών φωτισμού εσωτερικών και εξωτερικών χώρων του κτηρίου.

Οι συνολικά εγκατεστημένες συσκευές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο Δημαρχείο Κάσου παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Γίνεται κατανοητό, με βάση τις παρουσιαζόμενες συσκευές του Πίνακα 2, ότι η κύρια εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς στο κτήριο προκύπτει από τις συσκευές κλιματισμού. Στις συσκευές μηχανοργάνωσης δεν είναι εφικτή η εφαρμογή κάποιων τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας.

Πίνακας 2: Βασικές συσκευές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο Δημαρχείο Κάσου.

Κλιματισμός					
A/A	Περιγραφή	Αποδιδόμενη ονομαστική τελική θερμική ισχύ σε θέρμανση / ψύξη (kW)	Ονομαστική κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος σε θέρμανση / ψύξη (W)	Τεμάχια	Συνολική ονομαστική κατανάλωση ισχύος σε θέρμανση / ψύξη (kW)
1	Αυτόνομη αντλία θερμότητας αέρος-αέρος, διαιρούμενου τύπου	2,60 / 2,60	1.200 / 1.200	4	4,8 / 4,8
Φωτισμός					
A/A	Περιγραφή	Ονομαστική κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος (W)	Τεμάχια	Συνολική κατανάλωση ισχύος (W)	
2	Σποτ LED γραφείου Δημάρχου	5	29	145	
3	Λαμπτήρες γραφείων LED τύπου φθορίου	15	8	120	
4	Λαμπτήρες LED W.C.	8	6	48	
Συσκευές μηχανοργάνωσης					
A/A	Περιγραφή	Ονομαστική κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος (W)	Τεμάχια	Συνολική κατανάλωση ισχύος (kW)	
5	Ηλεκτρονικοί υπολογιστές	500	5	2,5	
6	Laptop	300	7	2,1	
7	Εκτυπωτές, φωτοτυπικά κλπ			2,0	

Προτεινόμενες παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης

Με βάση τη διεξαχθείσα έρευνα και τα παραχωρηθέντα στοιχεία από το Δήμο της Ηρωικής Νήσου Κάσου, προτείνονται οι ακόλουθες παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης των εγκαταστάσεων του Δημαρχείου Κάσου. Οι παρεμβάσεις που παρουσιάζονται στη συνέχεια έχουν εμπλουτιστεί με στόχο, πέρα από την τεχνικοοικονομική και ενεργειακή σκοπιμότητά τους, να προσεγγίζεται η εφαρμογή κατά το δυνατόν περισσότερων τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε. και εξοικονόμησης ενέργειας ώστε, δεδομένης της χρήσης και της επισκεψιμότητας του Δημαρχείου από μεγάλο αριθμό πολιτών, να μεγιστοποιείται η επιδεικτικότητα τους, συμβάλλοντας έτσι στην καλλιέργεια ενεργειακής παιδείας στην Κοινωνία της Κάσου.

- Κτηριακό κελύφος

Το κτηριακό κελύφος δεν είναι μονωμένο. Προτείνεται η εγκατάσταση εξωτερικής θερμομόνωσης στην εξωτερική τοιχοποιία του κτηρίου και στο δώμα.

Λόγω της ήδη διαμορφωμένης επιφάνειας του κτηριακού κελύφους και της χρήσης των εσωτερικών χώρων του κτηρίου σε καθημερινή βάση, δεν είναι εφικτή η εγκατάσταση

παθητικών συστημάτων βιοκλιματικού χαρακτήρα (π.χ. ηλιακό θερμοκήπιο, θερμικός τοίχος, ηλιακή καμινάδα). Ωστόσο, θα ληφθεί μέριμνα ώστε να εγκατασταθούν οριζόντιοι πρόβολοι για τη σκίαση όσων ανοιγμάτων έχουν νότιο και δυτικό προσανατολισμό, με δεδομένη μάλιστα τη μεγιστοποίηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι, λόγω των αυξημένων φορτίων κλιματισμού. Για την ανατολική όψη του κτηρίου, στην οποία βρίσκεται και η είσοδος του κτηρίου, δεν θα χρειαστεί κάποια παρέμβαση σκίασης καθώς τούτη σκιάζεται ήδη από τον υφιστάμενο ημιυπαίθριο χώρο υποδοχής.

- Ανοιγματα

Το σύνολο των ανοιγμάτων (παράθυρα και πόρτες) του κτηρίου αποτελούνται από ξύλινο πλαίσιο, χωρίς θερμοδιακοπή και μονό υαλοπίνακα, είναι δε όλα παλαιάς κατασκευής με χαμηλή αεροστεγανότητα.

Στα πλαίσια της παρούσας προτείνεται η αντικατάσταση του συνόλου των ανοιγμάτων με νέα ανοίγματα με κάσα συνθετικού υλικού, με διπλό υαλοπίνακα πάχους 4 mm και διάκενο αέρα 12 mm.

Με δεδομένο το ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μεγιστοποιείται κατά τη θερινή περίοδο και όχι κατά τη χειμερινή, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν ανακλαστικοί υαλοπίνακες.

- Κλιματισμός κτηρίου

Το κτήριο σήμερα κλιματίζεται (θέρμανση και ψύξη) από αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες μικρής ισχύος, διαιρούμενου τύπου, οι οποίες σχεδόν στο σύνολό τους χαρακτηρίζονται από χαμηλή απόδοση και ενεργοβόρα λειτουργία. Με δεδομένη τη χρήση του κτηρίου σε δεδομένες χρονικές περιόδους (ώρες εργασίας δημοσίων υπηρεσιών) και τον υψηλό συντελεστή ταυτοχρονισμού των κλιματιστικών μονάδων, προτείνεται η εγκατάσταση νέου, κεντρικού πολυδαιρούμενου – πολυζωνικού κεντρικού συστήματος κλιματισμού, πολλαπλών κλιματιζόμενων χώρων, μεταβλητού ψυκτικού όγκου (Variable Refrigerant Volume – VRV), με την ταυτόχρονη εγκατάσταση δικτύου τερματικών μονάδων και διανομής θέρμανσης και ψύξης στους κλιματιζόμενους χώρους. Εναλλακτικά, είναι εφικτή και η μεμονωμένη αντικατάσταση των υφιστάμενων κλιματιστικών με νέα, υψηλών συντελεστών συμπεριφοράς σε θέρμανση και ψύξη.

- Παρεμβάσεις στον ηλεκτροφωτισμό

Στην περίπτωση που εντοπιστούν λαμπτήρες ή φωτιστικά σώματα υψηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος (π.χ. λαμπτήρες φθορισμού παλαιάς τεχνολογίας ή λαμπτήρες πυράκτωσης), προτείνεται η αντικατάστασή τους με λαμπτήρες LED. Επίσης προτείνεται η αντικατάσταση όλων των φωτιστικών σωμάτων με νέα, με υψηλή ανακλαστικότητα.

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε.

Η διαθεσιμότητα υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού στο δώμα του κτηρίου υπό καθεστώς συμψηφισμού παραγωγής – κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο κτήριο (net-metering). Η ονομαστική ισχύς του φωτοβολταϊκού σταθμού θα καθοριστεί από τη διαθέσιμη έκταση στο δώμα του κτηρίου και από τις ανάγκες παραγωγής ηλεκτρικής

ενέργειας, μετά τις παρεμβάσεις εξοικονόμησης, με στόχο τον ετήσιο συμψηφισμό παραγωγής – κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

- Βιοκλιματικές παρεμβάσεις ανοιχτού χώρου

Τέλος, για την πλατεία στην ανατολική όψη του κτηρίου (Εικόνα 1) προτείνεται η κάλυψή της με ψυχρά υλικά και η δεντροφύτευσή της, με στόχο τη βελτίωση του μικροκλίματος τοπικά κατά τους θερινούς μήνες.

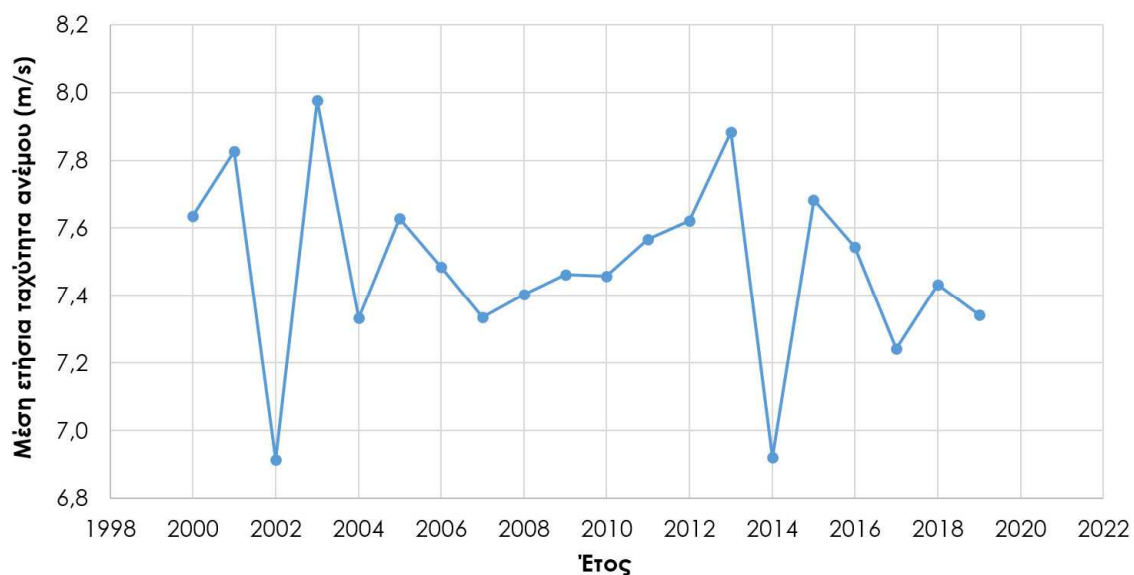
2. Κλιματικά δεδομένα

Μετρήσεις μετεωρολογικών μεγεθών είναι διαθέσιμες από τη διεθνή βάση δεδομένων ERA-5 του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - ECMWF) για την περίοδο 2000 – 2019 [5]. Το γεωγραφικό σημείο από το οποίο αντλήθηκαν μετρήσεις μετεωρολογικών μεγεθών αποτυπώνεται στο Χάρτη 2 και έχει γεωγραφικές συντεταγμένες $35^{\circ} 27' 0''$ Β και $26^{\circ} 48' 0''$ Α.



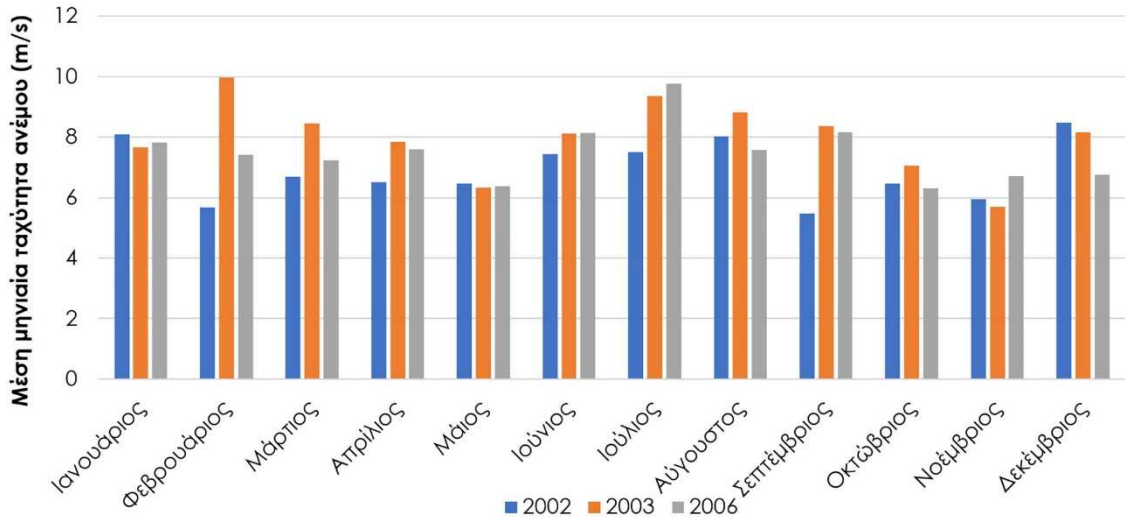
Χάρτης 2: Γεωγραφική θέση σημείου λήψης μετρήσεων μετεωρολογικών δεδομένων από τη βάση ERA-5 [5] ως προς την Κάσο.

Σύμφωνα με τις διαθέσιμες ανεμολογικές μετρήσεις για περίοδο 20 ετών, η διακύμανση της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου για την περίοδο από το 2000 έως το 2019 παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Οι μετρήσεις αυτές είναι σε ύψος 10 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Σχήμα 1: Διακύμανση μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου από το 2000 έως το 2019 σε ύψος 10 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

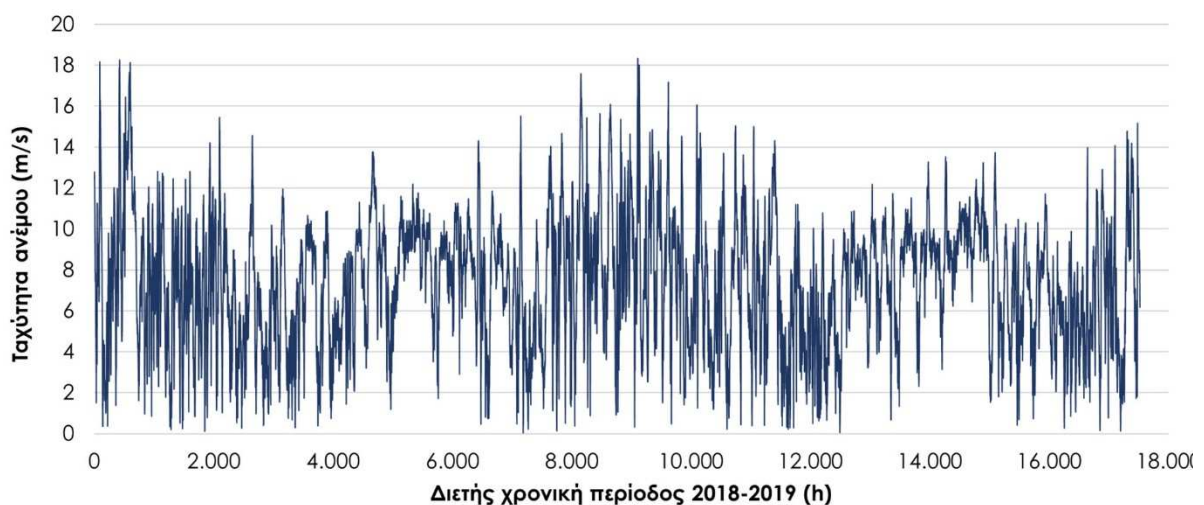
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, η ένταση του ανέμου στην εν λόγω περιοχή είναι υψηλή, με μέσες ετήσιες τιμές ταχύτητας ανέμου που κυμαίνονται από 6,91 m/s (το 2002) έως 7,98 m/s (το 2003). Η υψηλή ένταση ανέμου στη συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή είναι εν γένει γνωστή. Η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου για την εικοσαετή περίοδο μετρήσεων είναι 7,48 m/s. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι ετήσιες διακυμάνσεις της μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου για τρία χαρακτηριστικά έτη μετρήσεων, το 2002 (ελάχιστη μέση ετήσια ταχύτητα), το 2003 (μέγιστη μέση ετήσια ταχύτητα) και το 2006 (μέση ετήσια ταχύτητα ίση με 7,49 m/s, περίπου ίση δηλαδή με τη μέση ταχύτητα όλης της περιόδου μετρήσεων).



Σχήμα 2: Ετήσια διακύμανση μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου για τα έτη 2002, 2003 και 2006, με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις ανέμου από τη βάση ERA-5 [5].

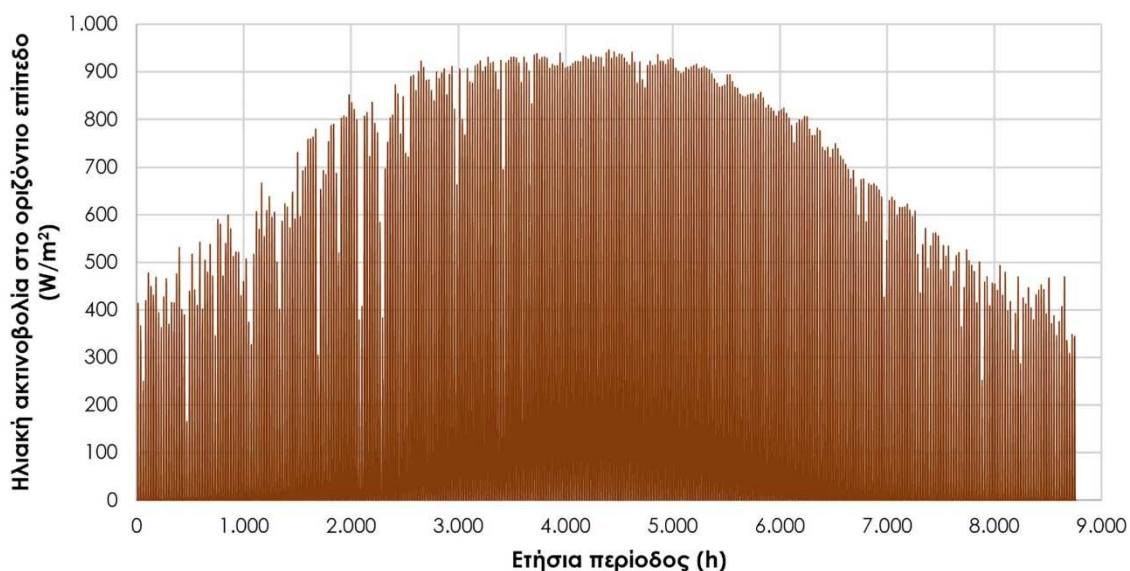
Στο Σχήμα 2 παρατηρείται η περίπου ομοιόμορφη διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου στα εξεταζόμενα έτη. Η ένταση ανέμου μεγιστοποιείται το καλοκαίρι, λόγω των μετεμίων, συμβάλλοντας στο φυσικό δροσισμό των εσωτερικών και εξωτερικών χώρων, αλλά και το χειμώνα, λόγω των δυσμενών καιρικών συνθηκών. Παρουσιάζει τις χαμηλότερες ετήσιες τιμές την άνοιξη και το φθινόπωρο.

Τέλος, στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η διετής διακύμανση της ταχύτητας ανέμου για τα δύο πιο πρόσφατα πλήρη έτη, δηλαδή για το 2018 και το 2019. Παρατηρείται η όμοια περιοδικότητα της διακύμανσης της ταχύτητας ανέμου και στα δύο εξεταζόμενα έτη.



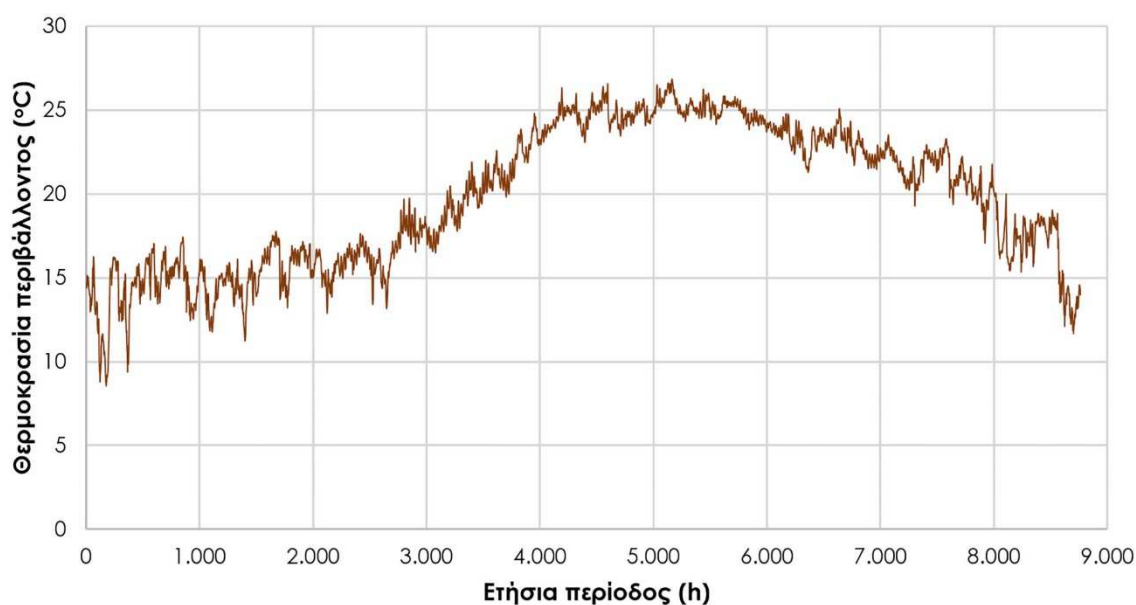
Σχήμα 3: Διακύμανση μέσης ωριαίας τιμής ταχύτητας ανέμου για χρονικό διάστημα 2 ετών (2018 – 2019) και για το γεωγραφικό σημείο λήψης μετεωρολογικών μετρήσεων [5].

Από το ίδιο γεωγραφικό σημείο αντλήθηκαν ετήσιες χρονοσειρές μέσω ωριαίων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο (global horizontal irradiance) και θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η ετήσια διακύμανση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις. Με ολοκλήρωση της χρονοσειράς αυτής, η ετήσια αθροιστική πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας υπολογίζεται 1.837 kWh/m², καταδεικνύοντας την υψηλή διαθεσιμότητα ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 4: Ετήσια διακύμανση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο στο σημείο λήψης μετεωρολογικών δεδομένων [5].

Τέλος, η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος παρουσιάζεται στο Σχήμα 5, σε ύψος 2 m από την επιφάνεια της θάλασσας και για το συγκεκριμένο σημείο λήψης μετεωρολογικών δεδομένων.



Σχήμα 5: Ετήσια διακύμανση θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε ύψος 2 m από το επίπεδο της θάλασσας στο σημείο λήψης μετεωρολογικών δεδομένων [5].

Η μέση ετήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος στη θέση μετρήσεων υπολογίζεται με βάση τη διαθέσιμη ετήσια χρονοσειρά ίση με 19,8 °C. Η διακύμανση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας περιβάλλοντος παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Ετήσια διακύμανση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας περιβάλλοντος στη θέση λήψης μετρήσεων και σε ύψος 2 m από το επίπεδο της θάλασσας.												
Μήνας	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)	14,0	14,5	15,7	16,3	19,1	23,3	24,8	25,3	23,6	22,5	21,0	16,5

Με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος:

- η ετήσια ελάχιστη μέση ωριαία τιμή ισούται με 8,6 °C
- η ετήσια μέγιστη μέση ωριαία τιμή ισούται με 26,9 °C.

Τα ανωτέρω καταδεικνύουν το ήπιο, μεσογειακό κλίμα που επικρατεί στην υπό μελέτη γεωγραφική περιοχή.

Οι ανωτέρω χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων θα χρησιμοποιηθούν στη παρούσα εργασία για τον υπολογισμό:

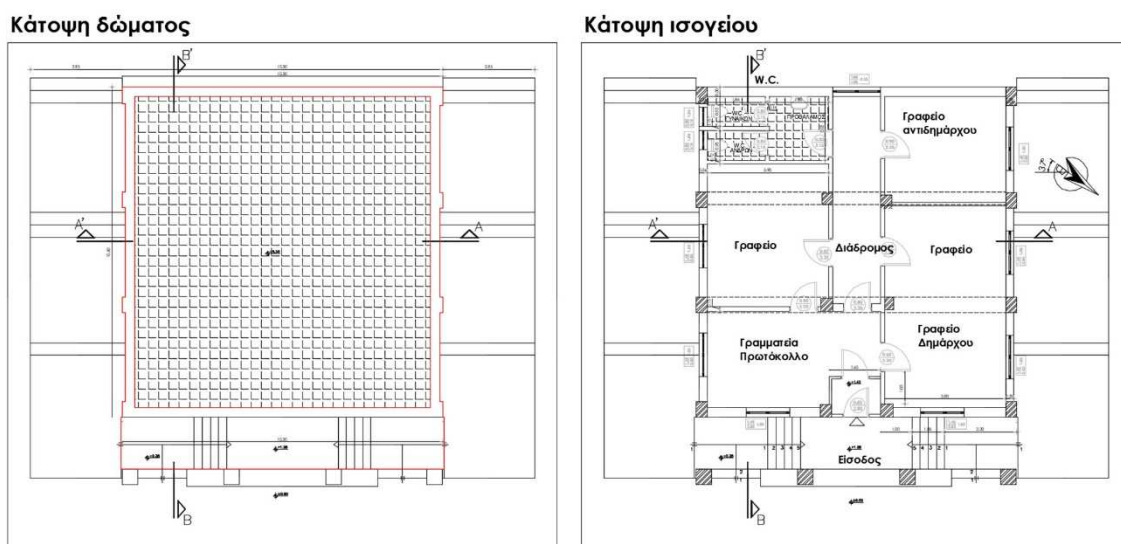
- των φορτίων κλιματισμού και των ηλιακών κερδών του κτηρίου
- της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το προτεινόμενο σύστημα κλιματισμού με αντλία θερμότητας VRV αέρος-αέρος
- της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σταθμό.

3. Φορτία κλιματισμού

Φορτία κλιματισμού στην υφιστάμενη κατάσταση

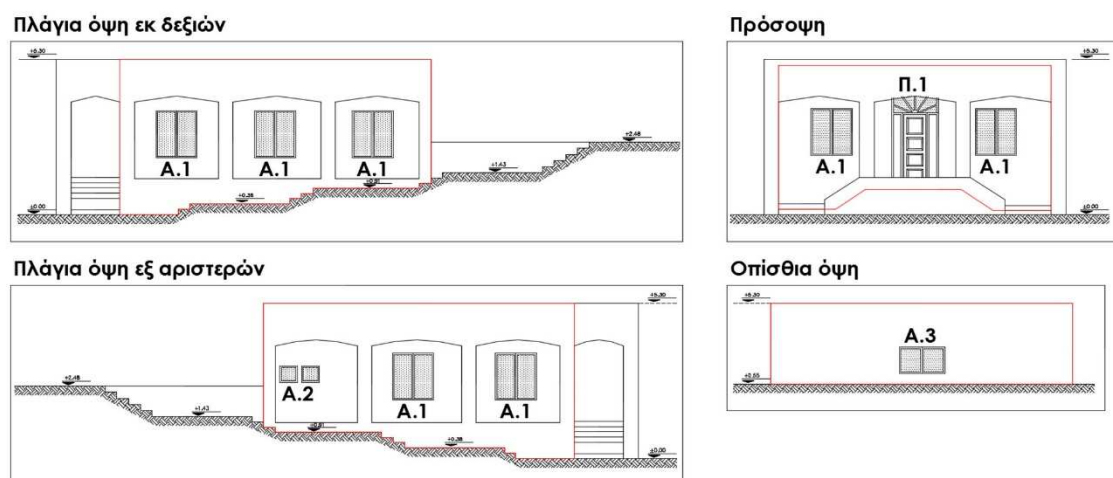
Ο υπολογισμός των φορτίων κλιματισμού (θέρμανση και ψύξη) του κτηρίου γίνεται βάσει της κλασσικής θεωρίας μεταφοράς θερμότητας, καθώς και της μεθόδου TMF της ASHRAE υπολογισμού ψυκτικών φορτίων [6-8]. Όσον αφορά στις παραμέτρους μεγεθών λήφθηκε υπόψη η Τεχνική Οδηγία του Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [9]. Οι όγκοι και τα εμβαδά των χώρων υπολογίστηκαν βάσει των κατόψεων του κτηρίου. Η χρήση των χώρων, τα ωράρια λειτουργίας και ο μέσος αριθμός ατόμων ανά ημέρα δόθηκαν από το Δήμο της Ηρωικής Νήσου Κάσου.

Το κτήριο του Δημαρχείου Κάσου καταλαμβάνει ένα επίπεδο, ισόγειο. Το κτήριο είναι πανταχόθεν ελεύθερο, κτισμένο στη χώρα Φρυ της νήσου. Το συνολικό εμβαδό του κτηρίου είναι 96 m² και ο όγκος του 340,8 m³. Το ύψος του κτηρίου είναι 3,55 m. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται άνευ κλίμακας οι κατόψεις του ισογείου και του δώματος του κτηρίου, όπως παραχωρήθηκαν από το Δήμο της Ηρωικής Νήσου Κάσου.



Σχήμα 6: Κατόψεις ισογείου και δώματος κτηρίου Δημαρχείου Κάσου.

Επίσης, στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται οι όψεις του κτηρίου.



Σχήμα 7: Όψεις κτηρίου Δημαρχείου Κάσου.

Για τις ανάγκες της προσομοίωσης το κτήριο χωρίστηκε σε 2 θερμικές ζώνες, με βάση τη χρήση των χώρων και τις επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας – υγρασίας. Οι θερμικές ζώνες του

κτηρίου, το εμβαδό και ο όγκος τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Το εμβαδό των κλιματιζόμενων χώρων ανέρχεται σε 87,64 m² και ο όγκος τους σε 311,12 m³. Στη θερμική ζώνη 1 ανήκουν όλα τα γραφεία και οι κοινόχρηστοι χώροι, ενώ στη θερμική ζώνη 2 (μη κλιματιζόμενοι χώροι) ανήκουν οι τουαλέτες.

Θερμική ζώνη	Εμβαδό (καθαρή επιφάνεια) (m ²)	Όγκος (καθαρός όγκος) (m ³)	Επίπεδο
Κύριοι χώροι	87,64	311,12	0
Σύνολο κλιματιζόμενων χώρων	87,64	311,12	0
Τουαλέτες	8,36	29,68	0
Σύνολο μη κλιματιζόμενων χώρων	8,36	29,68	0
Σύνολο χώρων	96,00	340,80	

Οι συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτηρίου, λήφθηκαν σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017 [9], πίνακας 3.5, για δομικά στοιχεία με ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία, με βάση τα πραγματικά δομικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κτηρίου και όλες τις υφιστάμενες διακριτές αδιαφανείς επιφάνειες του κτηριακού κελύφους. Αναλυτική περιγραφή των δομικών χαρακτηριστικών ανά δομικό στοιχείο με τους αντίστοιχους συντελεστές θερμοπερατότητας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Δομικό στοιχείο	Περιγραφή	Συνολικό πάχος (cm)	Συντελεστής θερμοπερατότητας (W/m ² ·K)
Δώμα σε επαφή με εξωτερικό περιβάλλον	Επίχρισμα 2 cm, οπλισμένο σκυρόδεμα 16 cm επίχρισμα 2 cm	20	3,32
Δάπεδο σε επαφή με έδαφος	Μάρμαρο 2 cm επίχρισμα 2 cm οπλισμένο σκυρόδεμα 25 cm	29	3,24
Τοιχοποιία σε επαφή με εξωτερικό περιβάλλον	Αργολιθοδομή πάχους 26 cm με επίχρισμα 2 cm μόνο από την εσωτερική πλευρά	28	2,52
Κατακόρυφο δομικό στοιχείο Εσωτερική τοιχοποιία	Επίχρισμα 2 cm μπλόκος 10 cm επίχρισμα 2 cm	14	3,11

Για τον υπολογισμό των συντελεστών θερμοπερατότητας των αδιαφανών επιφανειών, οι συντελεστές θερμικής μετάβασης εσωτερικού και εξωτερικού χώρου h_i και h_o αντίστοιχα έχουν ληφθεί ίσοι με:

- $h_i = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $h_o = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ για ροή αέρα επί οριζόντιας επιφάνειας και για μέση ταχύτητα αέρα περιβάλλοντος 5 m/s
- $h_i = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $h_o = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ για ροή αέρα επί κάθετης επιφάνειας και για μέση ταχύτητα αέρα περιβάλλοντος 5 m/s.

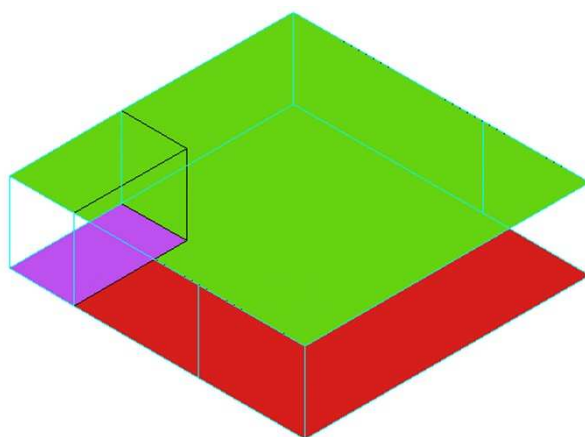
Επίσης, λόγω του λευκού χρώματος της τοιχοποιίας, ο συντελεστής απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας θεωρήθηκε 0,4.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των υφιστάμενων ανοιγμάτων και οι συνολικοί συντελεστές θερμοπερατότητας και ηλιακών κερδών αυτών. Στον πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά όλοι οι διαφορετικοί τύποι διαφανών επιφανειών στην υφιστάμενη κατάσταση του κτηρίου.

Πίνακας 6: Τύπος ανοιγμάτων του κτηρίου και συντελεστές θερμοπερατότητας και ηλιακών κερδών.

Περιγραφή	Συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου (W/m ² K)	Ποσοστό πλαισίου	Συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοπίνακα (W/m ² K)	Συντελεστής θερμοπερατότητας κουφώματος (W/m ² K)	Συντελεστής ηλιακών κερδών
Παράθυρο με ξύλινο πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή και μόνο υαλοπίνακα	2,20	20%	5,7	5,0	0,77

Για τον υπολογισμό των φορτίων χρησιμοποιήθηκε λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων προσομοίωσης ωριαίας βάσης για ένα χρόνο, που αναπτύχθηκε από τους μελετητές. Για τις απαιτήσεις του προγράμματος το κτήριο σχεδιάστηκε υπολογιστικά. Στο Σχήμα 8 απεικονίζεται το προφίλ του κτηρίου σε τρισδιάστατη όψη.

**Σχήμα 8:** Το υπό μελέτη κτήριο σε ψηφιοποιημένη μορφή.

Οι παράμετροι προσομοίωσης καθορίζονται με βάση τα παρακάτω:

- Απαιτήσεις εξαερισμού:

Οι απαιτήσεις εξαερισμού υπολογίστηκαν με βάση την Τεχνική Οδηγία του Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [9].

- Διείσδυση αέρα:

Η διείσδυση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου υπολογίστηκε βάσει της οδηγίας της ASHRAE, σύμφωνα με την οποία ένα ρεαλιστικό μοντέλο για τη διείσδυση αέρα δίνεται από τη σχέση [8]:

$$ACH = K_1 + K_2 \cdot (T_{zone} - T_{amb}) + K_3 \cdot \text{windspeed}$$

όπου ACH (air changes per hour) οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα και K_1 , K_2 , K_3 συντελεστές που εξαρτώνται από την αεροστεγανότητα των κουφωμάτων και δίνονται από τον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Συντελεστές διείσδυσης αέρα.

Αεροστεγανότητα	K_1	K_2	K_3
Χαμηλή	0,100	0,023	0,070
Μεσαία	0,100	0,017	0,049
Υψηλή	0,100	0,011	0,034

- Ωράριο λειτουργίας – Αριθμός επισκεπτών:

Το εβδομαδιαίο ωράριο λειτουργίας του κτηρίου παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Εβδομαδιαίο ωράριο λειτουργίας του κτηρίου.		
Μέρες εβδομάδας	Οκτώβριος – Μάρτιος	Απρίλιος – Σεπτέμβριος
Χώροι γραφείων – Κοινόχρηστοι χώροι		
Καθημερινά	08:00 – 16:00	07:30 – 15:30
Σάββατο – Κυριακή	–	–

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζεται ο μέσος μηνιαίος αριθμός επισκεπτών ανά ημέρα.

Πίνακας 9: Μέσος ημερήσιος αριθμός χρηστών κτηρίου ανά θερμική ζώνη.			
Μέρες εβδομάδας	Οκτώβριος – Μάιος	Ιούνιος, Σεπτέμβριος	Ιούλιος, Αύγουστος
Καθημερινά	10	15	20
Σάββατο – Κυριακή	–	–	–

Ο μέσος συντελεστής ανθρώπινης παρουσίας θεωρείται 1, συνεπώς ο παραπάνω αριθμός ατόμων βρίσκεται επί συνεχούς βάσης στις θερμικές ζώνες του κτηρίου κατά τις περιόδους λειτουργίας του.

- Επιθυμητή τιμή θερμοκρασίας και υγρασίας κλιματιζόμενων χώρων:

Οι συνιστώμενες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας κλιματιζόμενων χώρων για τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο καθορίστηκαν με βάση την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [9].

- Εσωτερικά θερμικά κέρδη:

Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη αφορούν στους ανθρώπους που βρίσκονται εντός του κτηρίου, το φωτισμό και τις διάφορες ηλεκτρικές συσκευές που παράγουν θερμότητα. Τα παραπάνω καθορίστηκαν με βάση την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [9]. Κατά τον υπολογισμό των φορτίων θέρμανσης δεν λήφθηκαν υπόψη εσωτερικά θερμικά κέρδη και ανθρώπινη δραστηριότητα ώστε να διασφαλιστεί το δυσμενέστερο σενάριο.

- Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης:

Με βάση τα ανωτέρω αναφερόμενα, στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι τελικές τιμές παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προσομοίωση του κτηρίου. Όσον αφορά στη διείσδυση του αέρα από τα ανοίγματα, υπολογίστηκε με βάση την ανωτέρω αναφερόμενη σχέση και για τούτο στον ακόλουθο πίνακα εμφανίζεται ως “input”.

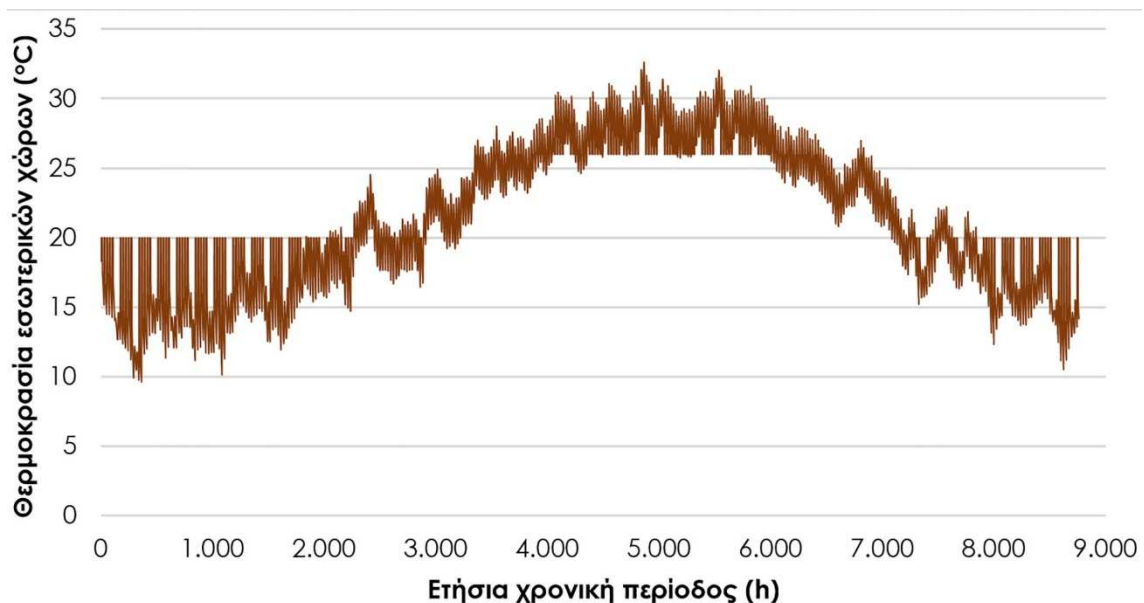
Οι υπόλοιπες τιμές είναι σύμφωνες με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [9].

Πίνακας 10: Τιμές παραμέτρων προσομοίωσης για τους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου.								
Θερμική ζώνη	Θέρμανση		Ψύξη		Διείσδυση αέρα	Εξαερισμός (m ³ /h & άτομο)	Θερμικά κέρδη	
	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική υγρασία (%)	Θερμοκρασία (°C)	Σχετική υγρασία (%)			Ατομα/ώρα	Θερμικά κέρδη λόγω εξοπλισμού (W)
Γραφεία	20	35	26	45	input	30	10	270

- Σκίαση

Το κτήριο είναι πανταχόθεν ελεύθερο, όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 1. Η μόνη σκίαση στο κτήριο προκύπτει στην ανατολική όψη του, λόγω του ημιυπαίθριου χώρου στην είσοδο του κτηρίου. Για την όψη αυτή ο συντελεστής σκίασης λήφθηκε ίσος με 1,00 (πλήρης σκίαση) το καλοκαίρι (Μάιο – Σεπτέμβριο), ίσος με 0,5 για τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο, Μάρτιο, Απρίλιο και ίσος με 0,0 (καθόλου σκίαση) για τους μήνες Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο.

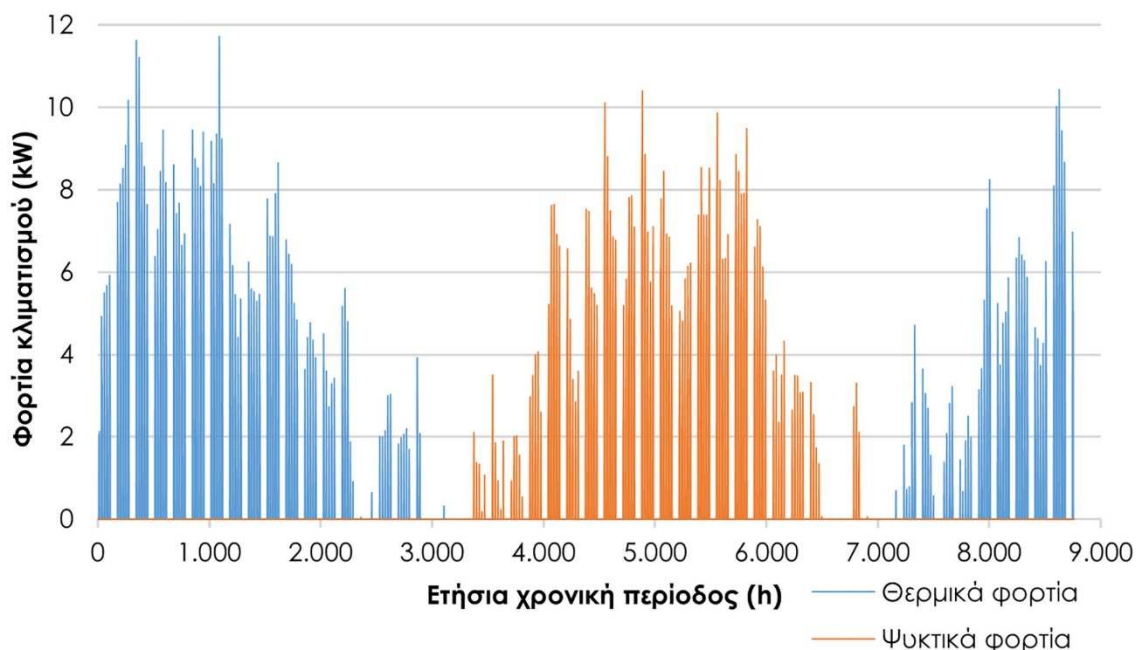
Τα αποτελέσματα της θερμικής προσομοίωσης της λειτουργίας του κτηρίου αφορούν στον υπολογισμό της απαιτούμενης τελικής ενέργειας για θέρμανση και ψύξη του κτηρίου, καθώς επίσης στον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου, στην υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας. Για τον υπολογισμό των φορτίων κλιματισμού γίνεται η υπόθεση ότι επιτυγχάνονται συνθήκες θερμικής άνεσης εντός των κλιματιζόμενων χώρων του κτηρίου. Η ίδια προφανώς υπόθεση θα ισχύσει και για τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων για τον κλιματισμό του κτηρίου μετά την υλοποίηση των προτεινόμενων παθητικών παρεμβάσεων, οι οποίες θα παρουσιαστούν στην επόμενη ενότητα. Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας των εσωτερικών κλιματιζόμενων χώρων του κτηρίου κατά τη διάρκεια του έτους, όπως προκύπτει από την υπολογιστική προσομοίωση της λειτουργίας του κτηρίου.



Σχήμα 9: Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας στους εσωτερικούς κλιματιζόμενους χώρους τους κτηρίου πριν ή μετά τις παρεμβάσεις στο κτηριακό κέλυφος.

Η χρονοσειρά αυτή, δεδομένης της υπόθεσης για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης πριν και μετά τις προτεινόμενες παθητικές παρεμβάσεις, παραμένει αμετάβλητη και στις δύο περιπτώσεις μελέτης, δηλαδή και στην υφιστάμενη κατάσταση και στην αναμενόμενη κατάσταση μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων παθητικών ενεργειακών συστημάτων.

Στο Σχήμα 10 απεικονίζεται η ετήσια διακύμανση των συνολικών φορτίων κλιματισμού του κτηρίου.



Σχήμα 10: Ετήσια διακύμανση συνολικών φορτίων ψύξης και θέρμανσης του κτηρίου στην υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας.

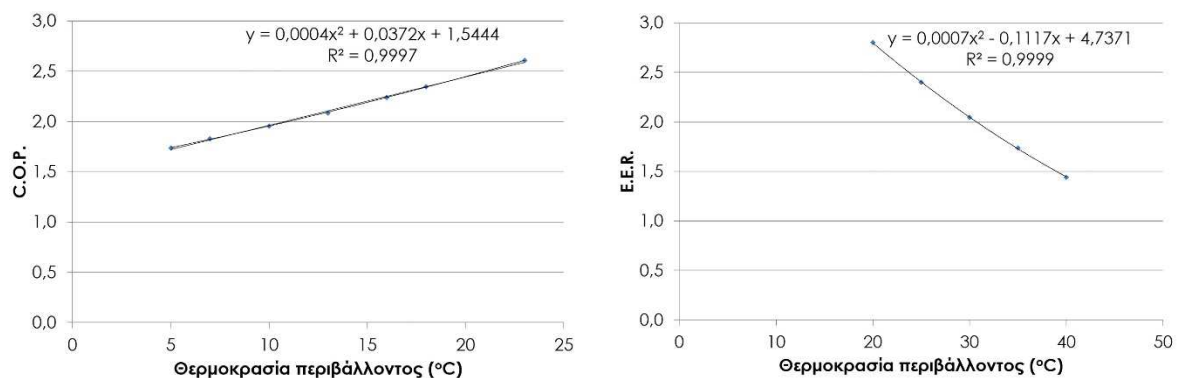
Στον Πίνακα 11 παρατίθενται οι μηνιαίες και ετήσιες τιμές των συνολικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης στην υφιστάμενη κατάσταση του κτηρίου.

Πίνακας 11: Μηνιαία φορτία κλιματισμού στην υφιστάμενη κατάσταση του κτηρίου.				
Μήνες	Αιχμές φορτίου (kW)		Μηνιαία φορτία (kWh)	
	Θέρμανση	Ψύξη	Θέρμανση	Ψύξη
Ιανουάριος	11,5	0,0	1.072,3	0,0
Φεβρουάριος	11,6	0,0	866,5	0,0
Μάρτιος	8,6	0,0	594,2	0,0
Απρίλιος	5,5	0,0	172,9	0,0
Μάιος	2,1	3,5	5,9	34,3
Ιούνιος	0,0	7,6	0,0	419,5
Ιούλιος	0,0	10,4	0,0	1.006,5
Αύγουστος	0,0	9,8	0,0	1.019,3
Σεπτέμβριος	0,0	7,2	0,0	342,9
Οκτώβριος	1,8	3,3	9,1	24,3
Νοέμβριος	8,2	0,0	279,8	0,0
Δεκέμβριος	10,3	0,0	749,7	0,0
Ετήσια σύνολα / μέγιστα:	11,6	10,4	3.750,4	2.846,8
Συνολική τελική ενέργεια κλιματισμού (kWh):			6.597,3	
Εμβαδό κλιματιζόμενων χώρων (m²)			87,64	
Ειδική κατανάλωση για θέρμανση / ψύξη (kWh/m²)			42,8	32,5
Συνολική ειδική κατανάλωση ενέργειας (kWh/m²)			75,3	

Με βάση τα παρουσιαζόμενα στοιχεία στον Πίνακα 2 αναφορικά με τις εγκατεστημένες συσκευές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο Δημαρχείο Κάσου, η συνολική εγκατεστημένη ικανότητα των υφιστάμενων αυτόνομων κλιματιστικών μονάδων ισούται με 10,4 kW_{th} τόσο σε θέρμανση, όσο και σε ψύξη. Συγκρίνοντας την τιμή αυτή με τις ετήσιες αιχμές θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 11 (11,6 kW_{th} και 10,4 kW_{th} αντίστοιχα),

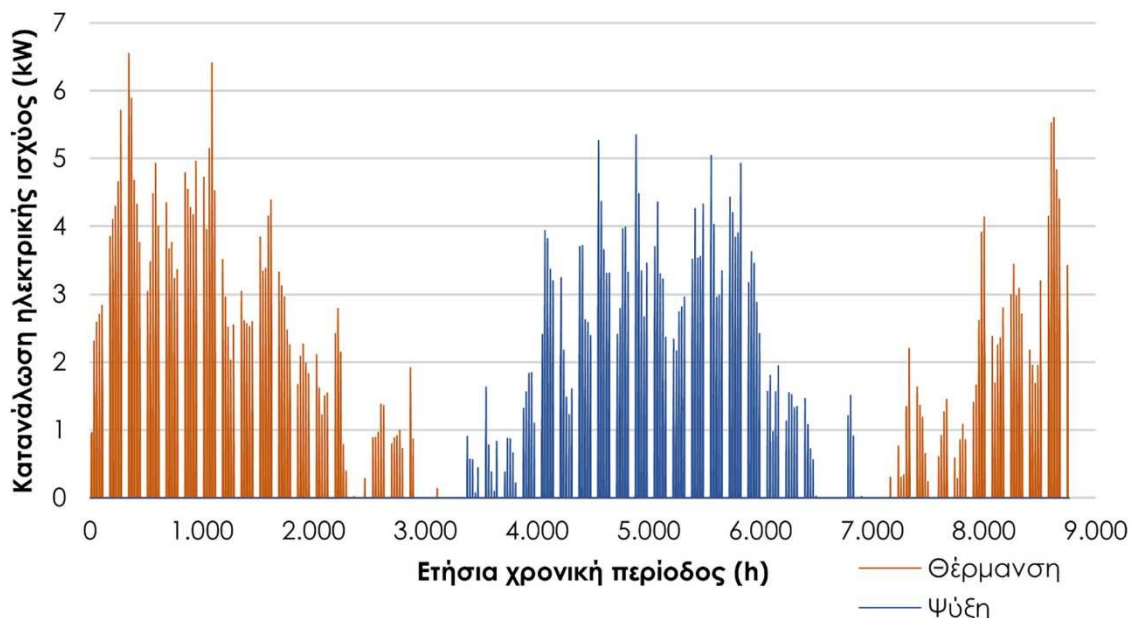
συμπεραίνουμε ότι η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων κλιματισμού επαρκεί για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων του κτηρίου, ενώ οριακά δεν επαρκεί για την κάλυψη των θερμικών φορτίων.

Ο κλιματισμός των εσωτερικών χώρων του κτηρίου καλύπτεται από μία σειρά αυτόνομων κλιματιστικών μονάδων, διαιρούμενου τύπου, οι οποίες έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά στον Πίνακα 2. Για τον υπολογισμό της ετήσιας χρονοσειράς κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος για τις ανάγκες κλιματισμού του κτηρίου από τις υφιστάμενες κλιματιστικές μονάδες θα θεωρηθεί ότι οι συντελεστές Coefficient of Performance (COP) και Energy Efficiency Ratio (EER) αυτών, για λειτουργία αντίστοιχα σε θέρμανση και ψύξη, μεταβάλλονται συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, σύμφωνα με τις καμπύλες του Σχήματος 11. Οι καμπύλες αυτές είναι τυπικές για αυτόνομα εμπορικά μοντέλα αντλιών θερμότητας αέρος – αέρος.



Σχήμα 11: Διακύμανση συντελεστών συμπεριφοράς COP και EER των υφιστάμενων αυτόνομων κλιματιστικών μονάδων συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Με τα ανωτέρω δεδομένα υπολογίζεται τελικά η ετήσια χρονοσειρά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τις υφιστάμενες μονάδες κλιματισμού για τις ανάγκες κλιματισμού των εσωτερικών χώρων του κτηρίου στην υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας, η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12: Ετήσια διακύμανση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τις υφιστάμενες μονάδες κλιματισμού για τη θέρμανση και την ψύξη των εσωτερικών χώρων του κτηρίου στην υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας.

Οι ετήσιες αιχμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος για τη θέρμανση και την ψύξη του κτηρίου και οι αντίστοιχες ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης στην υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας αναλύονται σε μηνιαία βάση στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Μηνιαία ανάλυση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τη θέρμανση και την ψύξη του κτηρίου, στην υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας.

Μήνες	Αιχμές ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (kW)		Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	
	Θέρμανση	Ψύξη	Θέρμανση	Ψύξη
Ιανουάριος	6,5	0,0	526,8	0,0
Φεβρουάριος	6,3	0,0	421,9	0,0
Μάρτιος	4,3	0,0	280,3	0,0
Απρίλιος	2,8	0,0	78,8	0,0
Μάιος	0,9	1,6	2,4	15,0
Ιούνιος	0,0	3,9	0,0	192,8
Ιούλιος	0,0	5,3	0,0	477,0
Αύγουστος	0,0	5,0	0,0	479,2
Σεπτέμβριος	0,0	3,6	0,0	154,9
Οκτώβριος	0,8	1,5	3,9	10,8
Νοέμβριος	4,1	0,0	129,7	0,0
Δεκέμβριος	5,5	0,0	358,7	0,0
Μέγιστες / συνολικές τιμές	6,5	5,3	1.802,6	1.329,7
Συνολική ετήσια κατανάλωση:			3.132,3	
Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας:			9.083,5	

Διευκρινίζεται, ότι η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας που αντιστοιχεί σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, υπολογίζεται με ένα συντελεστή πολλαπλασιασμού της τελευταίας ίσο με 2,9, όπως ορίζεται στον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.) [10]. Η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τον κλιματισμό του κτηρίου αντιστοιχεί στο 23,4% της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο κτήριο (13.398 kWh, Πίνακας 1).

Περιγραφή παθητικών μέτρων

Οι προτεινόμενες παθητικές παρεμβάσεις στο κτήριο αφορούν στην εγκατάσταση εξωτερικής θερμομόνωσης σε όλες τις κατακόρυφες αδιαφανείς επιφάνειες του κτηρίου και στο δάμα και στην αντικατάσταση των παλαιών παραθύρων και της πόρτας του κτηρίου με νέα. Επίσης προτείνεται η εγκατάσταση οριζόντιων προβόλων σε όλα τα ανοίγματα της νότιας και δυτικής όψης του κτηρίου, για τη σκιάσή τους. Υπενθυμίζεται ότι η ανατολική όψη του κτηρίου σκιάζεται ήδη, μέσω του υφιστάμενου ημιυπαίθριου χώρου.

Το σύνολο των ανοιγμάτων του κτηρίου παρουσιάζεται στον Πίνακα 13. Η αρίθμηση – κωδικοποίηση των ανοιγμάτων του κτηρίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 7. Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 13, συνολικά θα πρέπει να αντικατασταθούν 11 ανοίγματα σε όλες τις όψεις του κτηρίου, συγκεκριμένα η πόρτα της κεντρικής εισόδου και 10 παράθυρα. Η συνολική επιφάνεια των ανοιγμάτων ισούται με 22,38 m². Τα παράθυρα είναι τριών διαφορετικών μεγεθών (Α1, Α2 και Α3) με 7, 2 και 1 τεμάχια αντίστοιχα. Οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 13.

Όλα τα νέα κουφώματα θα είναι από συνθετικό πλαίσιο, με συντελεστή θερμοπερατότητας $\leq 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Θα φέρουν διπλό ανακλαστικό υαλοπίνακα low-e, με πάχη υαλοπίνακα 4 mm και διάκενο 12 mm, με τα ακόλουθα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά:

- συντελεστής ενεργειακής ανακλαστικότητας: $\geq 0,39$

- συντελεστής ενεργειακής διαπερατότητας: $\leq 0,39$
- συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοπίνακα: $\leq 1,3W/m^2K$.

Πίνακας 13: Υφιστάμενα ανοίγματα προς αντικατάσταση στο Δημαρχείο Κάσου.						
Περιγραφή	Αρίθμηση	Προσανατολισμός	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Ποσότητα	Συνολική επιφάνεια (m ²)
Ανοίγματα ανά προσανατολισμό						
Παράθυρο	A.1	Νότιος	1,40	1,60	2	4,48
Παράθυρο	A.2	Νότιος	0,60	0,55	2	0,66
Παράθυρο	A.1	Βόρειος	1,40	1,60	3	6,72
Παράθυρο	A.3	Δυτικός	1,55	0,90	1	1,40
Παράθυρο	A.1	Ανατολικός	1,40	1,60	2	4,48
Πόρτα	Π.1	Ανατολικός	1,60	2,90	1	4,64
Συνολικά						
Παράθυρο	A.1		1,40	1,60	7	15,68
Παράθυρο	A.2		0,6	0,55	2	0,66
Παράθυρο	A.3		1,55	0,90	1	1,40
Πόρτα	Π.1		1,60	2,90	1	4,64
Συνολική επιφάνεια (m²)						22,38

Ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας των ανοιγμάτων, αναλόγως με τις διαστάσεις τους, θα είναι μικρότερος ή ίσος του $2,5 W/m^2K$. Επίσης τα κουφώματα θα φέρουν πιστοποιήσεις για όλες τις ανωτέρω ιδιότητές τους από αναγνωρισμένους οίκους πιστοποίησης. Τέλος θα πρέπει να συνοδεύονται από εγγύηση καλής λειτουργίας τουλάχιστον δέκα (10) ετών. Στις Εικόνες 2-5 παρουσιάζονται οι τέσσερις όψεις του κτηρίου. Η παλαιότητα και η φθορά των υφιστάμενων ανοιγμάτων είναι εμφανείς.



Εικόνα 2: Η ανατολική όψη και πρόσοψη του κτηρίου.



Εικόνα 3: Η νότια όψη και μέρος της ανατολικής όψης του κτηρίου.



Εικόνα 4: Η βόρεια όψη του κτηρίου.



Εικόνα 5: Η δυτική όψη του κτηρίου.

Στον Πίνακα 14 υπολογίζονται τα εμβαδά των αδιαφανών κατακόρυφων επιφανειών του κτηριακού κελύφους. Σε όλες αυτές τις επιφάνειες προτείνεται η εγκατάσταση εξωτερικής

θερμομόνωσης, για την καθολική και επαρκή προστασία του κτηρίου, αλλά και για την ελαχιστοποίηση των όποιων οχλήσεων στους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου κατά τη φάση της εγκατάστασης. Η συνολική προς μόνωση επιφάνεια κατακόρυφων επιφανειών κτηριακού κελύφους υπολογίζεται στα 149,84 m², όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 14. Η επιφάνεια αυτή υποδεικνύεται με κόκκινη γραμμή στις όψεις του κτηρίου που παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.

Πίνακας 14: Αδιαφανείς κατακόρυφες επιφάνειες κτηριακού κελύφους.

Προσανατολισμός	Συνολική επιφάνεια (m ²)	Επιφάνεια ανοιγμάτων (m ²)	Καθαρή επιφάνεια (m ²)
Νότιος	50,58	5,14	45,44
Βόρειος	50,58	6,72	43,86
Δυτικός	28,32	1,40	26,93
Ανατολικός	42,73	9,12	33,61
Σύνολα	172,21	22,38	149,84

Τέλος, αναφορικά με την εφαρμογή παθητικών ενεργειακών μέτρων, προτείνεται η εγκατάσταση εξωτερικής θερμομόνωσης δώματος. Η συνολική προς μόνωση επιφάνεια δώματος υποδεικνύεται με κόκκινη γραμμή στο Σχήμα 6 και υπολογίζεται ίση με 129,79 m².

Η προτεινόμενη θερμομόνωση της τοιχοποιίας προτείνεται να αποτελείται από τα εξής υλικά:

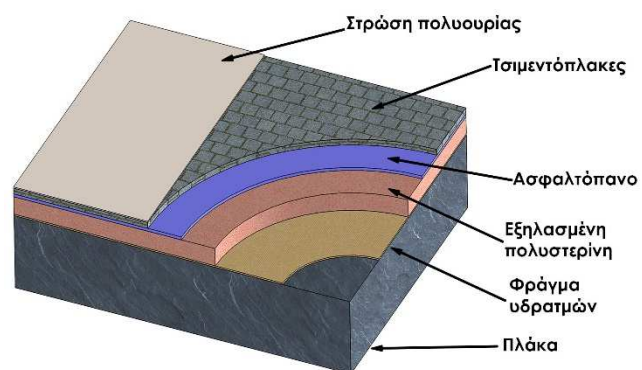
- συγκολλητικό κονίαμα υψηλών αντοχών
- διογκωμένη πολυστερίνη με συντελεστή αγωγιμότητας $\lambda \leq 0,035\text{W/mK}$ και πάχος τουλάχιστον 7 cm
- αντιρρηγματικό οργανικό ελαστομερή σοβά για εμποτισμό υαλοπλέγματος
- υαλόπλεγμα ειδικών αντοχών, με αντιαλκαλική προστασία
- τελικό επίχρισμα υδρούλου, ελαστικό, διαπνέον, προστασία από άλγη και μύκητες.

Για τη θερμομόνωση δώματος επιλέγεται στρώμα εξηλασμένης πολυστερίνης, πάχους τουλάχιστον 6 cm. Κάτωθεν του στρώματος μόνωσης θα εγκατασταθεί φράγμα υδρατμών και άνωθεν ασφαλτόπανο. Για την προστασία της κατασκευής προτείνεται η εγκατάσταση στρώσης από τσιμεντόπλακες. Τέλος, προτείνεται ο ψεκάσμος της συνολικής επιφάνειας, μετά την εφαρμογή των ανωτέρω, με σπρέι πολυουρίας, για τη στεγανοποίηση της όλης κατασκευής.

Κατασκευαστική διάταξη των προτεινόμενων θερμομονώσεων τοιχοποιίας και δώματος κτηρίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13α: Διάταξη εξωτερικής θερμομόνωσης τοιχοποιίας.

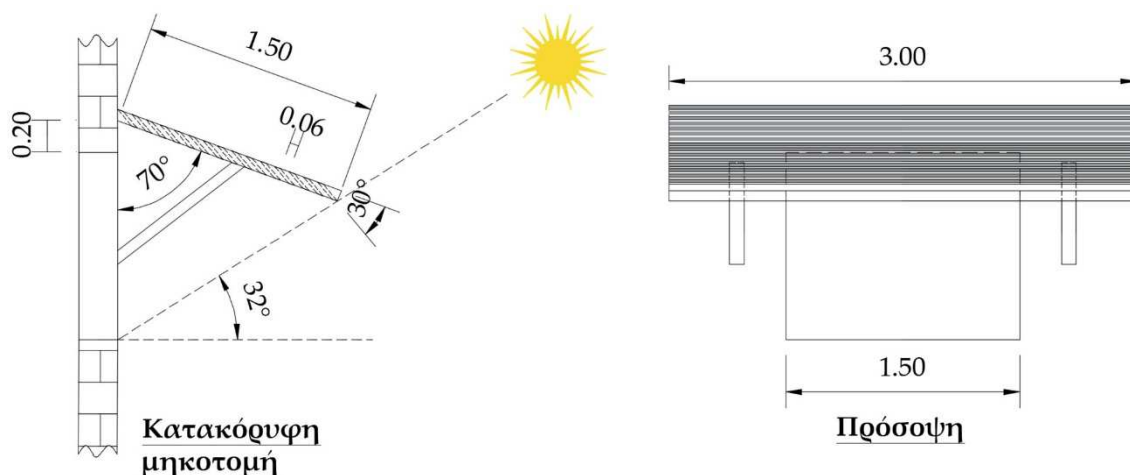


Σχήμα 13β: Διάταξη θερμομόνωσης δώματος.

Στόχος των προτεινόμενων θερμομονώσεων και της αντικατάστασης ανοιγμάτων είναι η επίτευξη τιμής για το συντελεστή θερμοπερατότητας αδιαφανών και διαφανών επιφανειών

μικρότερης των ανώτατων προβλεπόμενων τιμών στον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων για την Α' κλιματική ζώνη [10]. Οι τιμές αυτές είναι ίσες με $0,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ για κατακόρυφες αδιαφανείς επιφάνειες, $0,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ για τα δώματα και $2,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ για τα ανοίγματα.

Τέλος, στα 2 ανοίγματα της νότιας όψης τύπου Α.1 ($1,40 \times 1,60 \text{ m}$) και στο μοναδικό άνοιγμα της δυτικής τοιχοποιίας προτείνεται να εφαρμοστούν οριζόντιοι, μόνιμοι πρόβολοι. Η γενική φιλοσοφία είναι οι πρόβολοι να έχουν μήκος διπλάσιο του πλάτους του ανοίγματος, πλάτος ίσο με $1,5 \text{ m}$ και γωνία εγκατάστασης 70° ως προς το κατακόρυφο επίπεδο της τοιχοποιίας. Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται η βασική σχεδίαση και φιλοσοφία εγκατάστασης των οριζόντιων προβόλων επί των ανοιγμάτων. Με βάση τα στοιχεία του Σχήματος 14, με τις προτεινόμενες διαστάσεις και τη θέση εγκατάστασης, θα υπάρχει ολική σκίαση του ανοίγματος όταν το ηλιακό ύψος είναι μεγαλύτερο των 32° . Για τις γεωγραφικές συντεταγμένες της Κάσου, το ηλιακό ύψος γίνεται μεγαλύτερο των 32° από τις 10:00 έως τις 17:00 στις 20 Σεπτεμβρίου και από τις 9:00 έως τις 18:00 στις 10 Μαΐου. Για όλες τις ενδιάμεσες ημερομηνίες, το ηλιακό ύψος γίνεται υψηλότερο των 32° νωρίτερα το πρωί και αργότερα το απόγευμα. Συνεπώς, με τις προτεινόμενες διαστάσεις, παρέχεται επαρκής σκίασης στα ανοίγματα καθ' όλη τη διάρκεια της θερινής περιόδου.



Σχήμα 14: Κατασκευαστική πρόταση για τους προτεινόμενους οριζόντιους πρόβολους σκίασης.

Ειδικότερα για τα δύο ανοίγματα της νότιας όψης, λόγω της συνεχούς διαδοχής τους, προτείνεται η ενιαία κατασκευή οριζόντιου πρόβολου, η οποία θα είναι καλύτερη αισθητικά.

Με τα προτεινόμενα σκίαστρα, οι μέσοι μηνιαίοι συντελεστές σκίασης λαμβάνονται ίσοι με:

- 1,00 για τους θερινούς μήνες (Ιούνιος – Αύγουστος)
- 0,80 για τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο
- 0,50 για τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο, Μάρτιο και Απρίλιο
- 0,00 για τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριος – Ιανουάριος).

Για λόγους αντοχής στη διάβρωση και μείωση βάρους κατασκευής, προτείνεται το σύνολο των οριζόντιων προβόλων να κατασκευαστεί από προφίλ κράματος αλουμινίου Alloy 6005A 20μm. Ανά 1 m τρέχοντος μήκους κατασκευής θα κατασκευαστεί ορθογώνιο πλαίσιο $1 \times 1,5 \text{ m}$ με πλάτος προφίλ 7 cm . Σε κάθε τέτοιο πλαίσιο θα πακτωθούν 15 οριζόντιες ράβδοι αλουμινίου πλάτους 2 cm , εγκάρσια στη διάσταση του $1,5 \text{ m}$ και παράλληλα στο τρέχον μήκος του πρόβολου. Η γωνία πάκτωσης θα είναι 30° ως προς το επίπεδο του ορθογωνίου πλαισίου με την κλίση να κατηφορίζει προς τα έξω, δηλαδή προς την αντίθετη μεριά της τοιχοποιίας. Η απόσταση ανάμεσα σε δύο συνεχόμενες ράβδους θα είναι $5,7 \text{ cm}$. Τα ανωτέρω επεξηγούνται και γραφικά στο Σχήμα 14. Επίσης, στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται τυπική εγκατάσταση οριζόντιου πρόβολου με την προτεινόμενη κατασκευαστική λύση.



Εικόνα 6: Προτεινόμενη κατασκευαστική λύση για τους οριζόντιους προβόλους σκίασης.

Οι συνολικές επιφάνειες και το συνολικό μήκος εγκατάστασης των οριζόντων προβόλων σκίασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 15.

Πίνακας 15: Διαστάσεις και υπολογισμός επιφανειών οριζόντιων προβόλων σκίασης.

Περιγραφή	Αρίθμηση	Τεμάχια	Προσανατολισμός	Διαστάσεις προβόλου		
				Μήκος (m)	Πλάτος (m)	Συνολική επιφάνεια (m ²)
Παράθυρο	A.1	2	Νότιος	6,4	1,5	9,6
Παράθυρο	A.3	1	Δυτικός	3,0	1,5	4,5
Σύνολο:						14,1

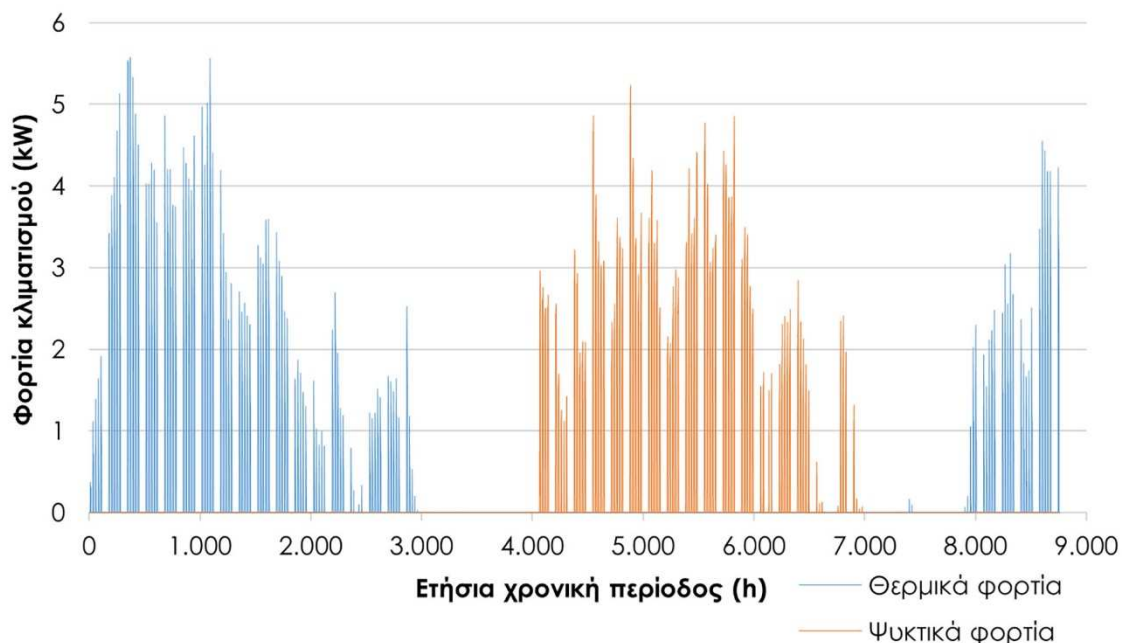
Φορτία κλιματισμού μετά την εφαρμογή των παθητικών παρεμβάσεων

Για τον υπολογισμό των φορτίων κλιματισμού στην προτεινόμενη κατάσταση λειτουργίας υιοθετούνται οι ίδιες παραδοχές και παράμετροι που παρουσιάστηκαν ανωτέρω και για την υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας. Αλλάζουν μόνο οι παράμετροι που αφορούν στα προς αντικατάσταση ανοίγματα και στους νέους συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων και στους συντελεστές σκίασης των διαφανών επιφανειών, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 16.

Στο Σχήμα 15 απεικονίζονται τα συνολικά φορτία κλιματισμού για το σύνολο των κλιματιζόμενων χώρων του Δημαρχείου Κάσου στην προτεινόμενη κατάσταση.

Πίνακας 16: Συντελεστές θερμοπερατότητας αδιαφανών και διαφανών επιφανειών κτηρίου μετά τις προτεινόμενες παθητικές παρεμβάσεις.

Δομικό στοιχείο	Περιγραφή	Συνολικό πάχος (cm)	Συντελεστής θερμοπερατότητας (W/m ² ·K)		
Διαφανείς επιφάνειες					
Δώμα σε επαφή με εξωτερικό περιβάλλον	Επίχρισμα 2 cm, οπλισμένο σκυρόδεμα 16 cm επίχρισμα 2 cm μόνωση πολυστερίνης 6 cm	26	0,56		
Δάπεδο σε επαφή με έδαφος	Μάρμαρο 2 cm επίχρισμα 2 cm οπλισμένο σκυρόδεμα 25 cm	29	3,24		
Τοιχοποιία σε επαφή με εξωτερικό περιβάλλον	Αργολιθοδομή πάχους 26 cm με επίχρισμα 2 cm μόνο από την εσωτερική πλευρά μόνωση πολυστερίνης 7 cm	35	0,49		
Κατακόρυφο δομικό στοιχείο Εσωτερική τοιχοποιία	Επίχρισμα 2 cm, μπλόκος 10 cm, επίχρισμα 2 cm	14	3,11		
Αδιαφανείς επιφάνειες					
Περιγραφή	Συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου (W/m ² ·K)	Ποσοστό πλαισίου	Συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοπινάκα (W/m ² ·K)	Συντελεστής θερμοπερατότητας κουφώματος (W/m ² ·K)	Συντελεστής ηλιακών κερδών
Παράθυρο με συνθετικό πλαίσιο	2,8	20%	1,8	2,2	0,60



Σχήμα 15: Ετήσια διακύμανση συνολικών φορτίων ψύξης και θέρμανσης για το σύνολο των κλιματιζόμενων χώρων του Δημαρχείου Κάσου στην προτεινόμενη κατάσταση.

Στον Πίνακα 17 παρατίθενται οι μηνιαίες και ετήσιες τιμές των συνολικών φορτίων θέρμανσης και ψύξης μετά τις παρεμβάσεις για το σύνολο των κλιματιζόμενων χώρων του Δημαρχείου Κάσου στην προτεινόμενη κατάσταση.

Πίνακας 17: Μηνιαία φορτία κλιματισμού στην προτεινόμενη κατάσταση του κτηρίου.

Μήνες	Αιχμές φορτίου (kW)		Μηνιαία φορτία (kWh)	
	Θέρμανση	Ψύξη	Θέρμανση	Ψύξη
Ιανουάριος	5,5	0,0	520,3	0,0
Φεβρουάριος	5,5	0,0	444,4	0,0
Μάρτιος	3,6	0,0	249,3	0,0
Απρίλιος	2,7	0,0	145,1	0,0
Μάιος	1,2	0,0	6,2	0,0
Ιούνιος	0,0	3,0	0,0	121,9
Ιούλιος	0,0	5,2	0,0	514,9
Αύγουστος	0,0	4,9	0,0	573,2
Σεπτέμβριος	0,0	3,5	0,0	255,7
Οκτώβριος	0,0	2,4	0,0	37,1
Νοέμβριος	2,3	0,0	26,0	0,0
Δεκέμβριος	4,5	0,0	319,8	0,0
Ετήσια σύνολα / μέγιστα:	5,5	5,2	1.711,2	1.502,8
Συνολική τελική ενέργεια κλιματισμού (kWh):			3.214,0	
Εμβαδό κλιματιζόμενων χώρων (m²)			87,64	
Ειδική κατανάλωση για θέρμανση / ψύξη (kWh/m²)			19,52	17,15
Συνολική ειδική κατανάλωση ενέργειας (kWh/m²)			36,67	

Η ετήσια αιχμή θερμικού φορτίου προκύπτει ίση με 5,5 kW_{th} και ψυκτικού φορτίου ίση με 5,2 kW_{th}. Η διαστασιολόγηση του συστήματος θα γίνει με βάση τη 10^η μεγαλύτερη τιμή φορτίου κλιματισμού σε θέρμανση και ψύξη, οι οποίες υπολογίστηκαν ίσες με Q_{heat} = 5,19 kW_{th} και Q_{cool} = 4,76 kW_{th} αντίστοιχα.

Μείωση φορτίων κλιματισμού λόγω παθητικών παρεμβάσεων

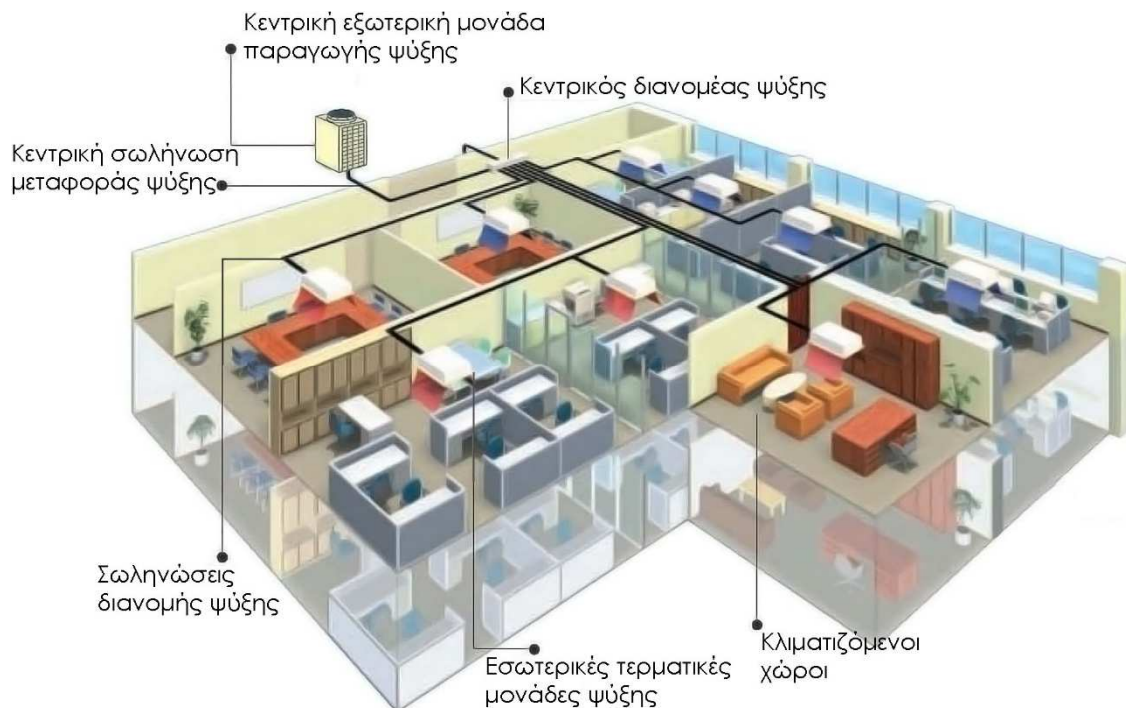
Στον Πίνακα 18 παρουσιάζεται η ετήσια μείωση των φορτίων κλιματισμού των εσωτερικών χώρων του Δημαρχείου Κάσου λόγω της εφαρμογής των προτεινόμενων παθητικών παρεμβάσεων.

Πίνακας 18: Μείωση φορτίων κλιματισμού λόγω της εφαρμογής των προτεινόμενων παθητικών παρεμβάσεων.

Λειτουργία κλιματισμού	Φορτία κλιματισμού (kWh)		Μείωση φορτίων	
	Υφιστάμενη λειτουργία	Με την εφαρμογή των παθητικών παρεμβάσεων	(kWh)	(%)
Θέρμανση	3.750	1.711	2.039	54,4
Ψύξη	2.847	1.503	1.344	47,2
Σύνολα	6.597	3.214	3.383	51,3

Ενεργητικές παρεμβάσεις κλιματισμού

Η βασική δομή ενός πολυδιδαιρούμενου – πολυζωνικού κεντρικού συστήματος παραγωγής ψύξης, πολλαπλών κλιματιζόμενων χώρων, μεταβλητού ψυκτικού όγκου (Variable Refrigerant Volume, Inverter Type – VRV) παρουσιάζεται στο Σχήμα 16. Αποτελείται από μία κεντρική, εξωτερική μονάδα παραγωγής ψύξης, τη σωλήνωση μεταφοράς ψυκτικού μέσου προς το διανομέα ψύξης, ένα δίκτυο σωληνώσεων διανομής ψύξης, στο οποίο χρησιμοποιείται ψυκτικό μέσο, και ένα σύνολο εσωτερικών, τερματικών μονάδων μέσω των οποίων η ψύξη διαχέεται στους κλιματιζόμενους χώρους. Στη γενικότερη περίπτωση, ένα τέτοιο σύστημα δύναται να αποτελείται από μία ή περισσότερες εξωτερικές μονάδες, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα πλήρους ψυκτικής και ηλεκτρολογικής διασύνδεσης έτσι, ώστε να λειτουργούν είτε ανεξάρτητα, είτε σε συστοιχία μεταξύ τους. Κάθε μία τέτοια εξωτερική μονάδα εξυπηρετεί συγκεκριμένους κλιματιζόμενους χώρους, μέσω αντίστοιχου αριθμού εσωτερικών, τερματικών μονάδων.



Σχήμα 16: Δομή πολυδιδαιρούμενου – πολυζωνικού κεντρικού συστήματος παραγωγής ψύξης, πολλαπλών κλιματιζόμενων χώρων.

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στη χρήση αισθητήρων πίεσης και θερμοκρασίας, οι οποίοι ελέγχουν τη συχνότητα του κινητήρα (inverter) του συμπιεστή, μεταβάλλοντας, έτσι, την ταχύτητα περιστροφής του και επομένως τον όγκο και τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου στο δίκτυο. Ο έλεγχος αυτός έχει ως αποτέλεσμα την κάλυψη της πραγματικά απαιτούμενης ανάγκης του κτηρίου, καθώς και τη διασφάλιση της μέγιστης απόδοσης του συστήματος σύμφωνα με την εξωτερική θερμοκρασία.

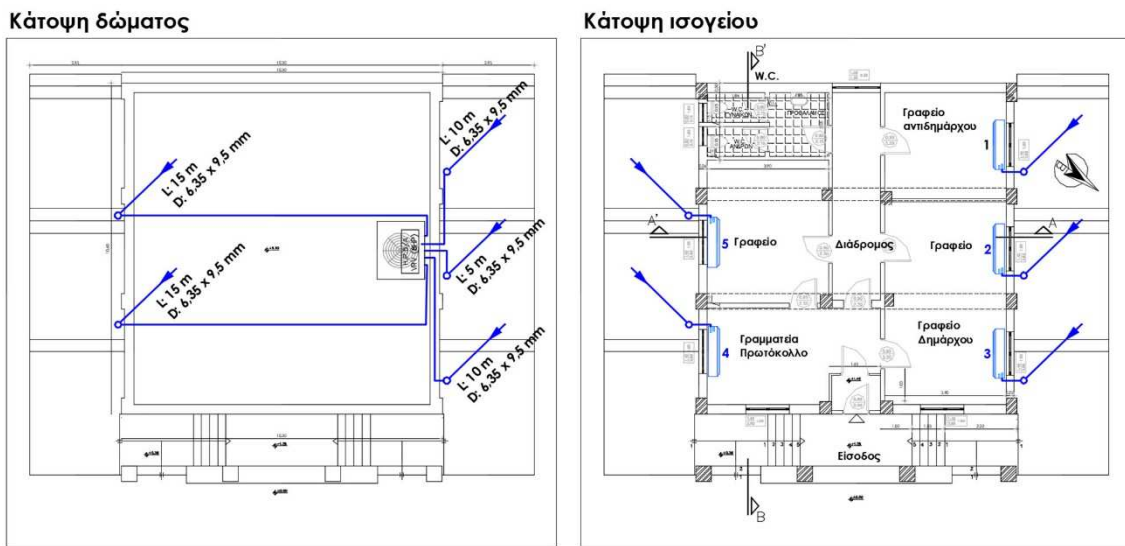
Η δυνατότητα σύνδεσης ικανού αριθμού εσωτερικών μονάδων διαφορετικού τύπου και μεγέθους σε ένα ψυκτικό δίκτυο, οι οποίες ελέγχονται ανεξάρτητα, οδηγεί σε μέγιστη εκμετάλλευση του ετεροχρονισμού στο κτήριο, τη μείωση της εγκατεστημένης ψυκτικής ισχύος των εξωτερικών μονάδων και τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας.

Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να συνεργαστεί με μονάδες επεξεργασίας νωπού αέρα, όπως Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες με στοιχείο απευθείας εκτόνωσης, καθώς και με μονάδες εξαερισμού με ανάκτηση θερμότητας. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα παραγωγής κρύου ή

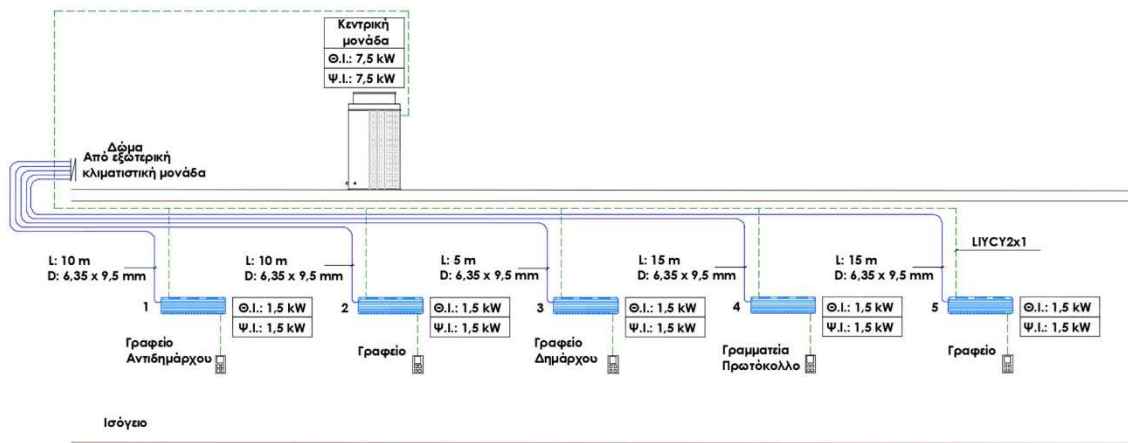
ζεστού νερού για την κάλυψη διαφορετικών εφαρμογών (π.χ. ΚΚΜ με στοιχείο νερού, ενδοδαπέδια θέρμανση και δροσισμός).

Διαστασιολόγηση – χωροθέτηση συστήματος

Στο Σχήμα 17 παρουσιάζεται ενδεικτική χωροθέτηση των τερματικών μονάδων και της εξωτερικής κλιματιστικής μονάδας, μετά των οδεύσεων των σωληνώσεων ψυκτικού μέσου, επί των κατόψεων του δώματος και του ισόγειου του κτηρίου. Στο ίδιο σχήμα σημειώνονται οι διαστάσεις των διατομών των σωληνώσεων και το εκτιμώμενο μήκος τους. Στο Σχήμα 18 παρουσιάζεται κατακόρυφο διάγραμμα κλιματισμού. Τα δύο αυτά σχήματα αναφέρονται στην περίπτωση εγκατάστασης συστήματος πολυδαιρούμενου τύπου (multi split system), αποτελούμενο από κεντρική κλιματιστική μονάδα και πέντε τερματικές μονάδες εσωτερικών χώρων.



Σχήμα 17: Χωροθέτηση μονάδων κλιματισμού και εξωτερικής κλιματιστικής μονάδας και οδευση αγωγών ψυκτικού μέσου.



Σχήμα 18: Κατακόρυφο διάγραμμα συστήματος κλιματισμού διαιρούμενου τύπου.

Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 17 και 18, η κεντρική κλιματιστική μονάδα θα έχει ονομαστική αποδιδόμενη θερμική ισχύ 7,5 kW_{th} σε θέρμανση και ψύξη. Τούτη ήταν η χαμηλότερη δυνατή ονομαστική ισχύς για πολυδαιρούμενου τύπου συστήματα που διατίθεται σε εμπορικά μοντέλα. Η συνολική αυτή ισχύς, με δεδομένη την περίπου ομοιόμορφη κατανομή του διαθέσιμου συνολικού κλιματιζόμενου χώρου του κτηρίου σε επιμέρους διακριτά γραφεία, ισοκατανέμεται

σε πέντε τερματικές μονάδες κλιματισμού εσωτερικού χώρου, με ονομαστική απόδοση σε θέρμανση και ψύξη $1,5 \text{ kW}_{th}$. Τα ανωτέρω συνοψίζονται στον Πίνακα 19

Πίνακας 19: Εξωτερική κλιματιστική μονάδα, εσωτερικές κλιματιστικές μονάδες και αγωγοί ψυκτικού μέσου συστήματος κλιματισμού πολυδιαιρούμενου τύπου.					
Εξωτερική μονάδα	Χώρος	Εσωτερική μονάδα		Αγωγοί	
		Θερμική ισχύς (kW)	Ψυκτική ισχύς (kW)	Διατομή (mm)	Μήκος (m)
Ηλεκτρική ισχύς: 2,4 kW Θερμική ισχύς: 7,5 kW _{th} Ψυκτική ισχύς: 7,5 kW _{th}	Γραφείο Αντιδημάρχου	1,5	1,5	6,35 x 9,5	10
	Γραφείο	1,5	1,5	6,35 x 9,5	5
	Γραφείο Δημάρχου	1,5	1,5	6,35 x 9,5	10
	Γραμματεία - Πρωτόκολλο	1,5	1,5	6,35 x 9,5	15
	Γραφείο	1,5	1,5	6,35 x 9,5	15

Στον Πίνακα 19 παρουσιάζονται επίσης τα μήκη και οι διατομές των αγωγών του ψυκτικού μέσου. Όλοι οι αγωγοί θα είναι διπλοί αγωγοί ψυκτικού χαλκού, με εξωτερική θερμομόνωση (Εικόνα 7) και διατομή, η οποία παρουσιάζεται ανά τμήμα δικτύου στον Πίνακα 19. Με τους διπλούς αγωγούς ψυκτικού χαλκού επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη μεταφορά του υγρού ψυκτικού μέσου, κατά την προσαγωγή προς τις εσωτερικές κλιματιστικές μονάδες, και του αερίου ψυκτικού μέσου, μετά την ατμοποίησή του στις εσωτερικές κλιματιστικές μονάδες, κατά την επιστροφή του προς την εξωτερική κλιματιστική μονάδα. Στον Πίνακα 19 αναγράφεται πρώτα η διάμετρος της σωλήνωσης του υγρού ψυκτικού μέσου (μικρότερη τιμή) και στη συνέχεια η διάμετρος της σωλήνωσης του αερίου ψυκτικού μέσου (μεγαλύτερη τιμή). Οι αγωγοί ψυκτικού μέσου, κατά μήκος της οριζόντιας και κατακόρυφης όδυσής τους, δύνανται να εγκλιβωτιστούν εντός της νέας εξωτερικής θερμομόνωσης του κτηρίου, αποφεύγοντας έτσι την όποια οπτική υποβάθμιση των όψεων του κτηρίου.



Εικόνα 7: Διπλοί αγωγοί ψυκτικού χαλκού.

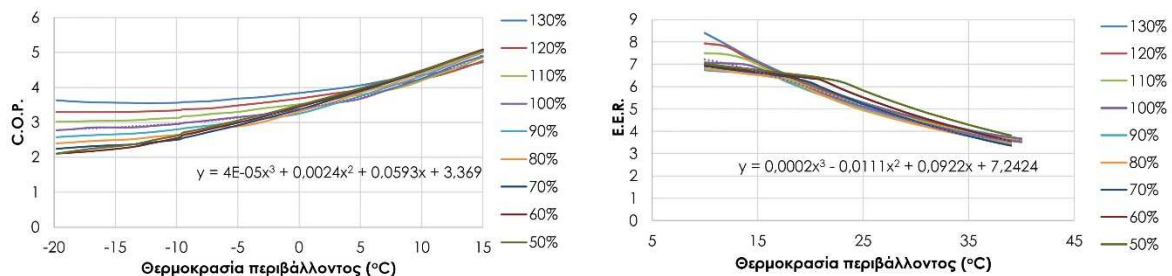
Η εσωτερική θερμοκρασία του κάθε χώρου θα ελέγχεται από μικροεπεξεργαστή, όπου με την επεξεργασία βασικών δεδομένων (επιθυμητή θερμοκρασία χώρου, θερμοκρασία επιστροφής και προσαγωγής του αέρα, θερμοκρασία υγρού και αερίου για τον έλεγχο της υπερθέρμανσης) θα γίνονται διορθωτικές ενέργειες (παλμοί εκτονωτικής βαλβίδας, ταχύτητα ανεμιστήρα κλπ) για τη διασφάλιση της ορθής λειτουργίας του συστήματος.

Όλα τα συστήματα θα έχουν τη δυνατότητα ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης της αυτόματης επανεκκίνησης της εσωτερικής μονάδας μετά από διακοπή ρεύματος ή βλάβη μέσω ρύθμισης στο χειριστήριο της εσωτερικής μονάδας. Επίσης, το σύστημα θα μπορεί να παραμείνει σε λειτουργία ακόμα και μετά τη διακοπή ρεύματος σε μια εσωτερική μονάδα.

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα VRV υπολογίζεται με βάση την υπολογιστική προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος. Για το σκοπό αυτό λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

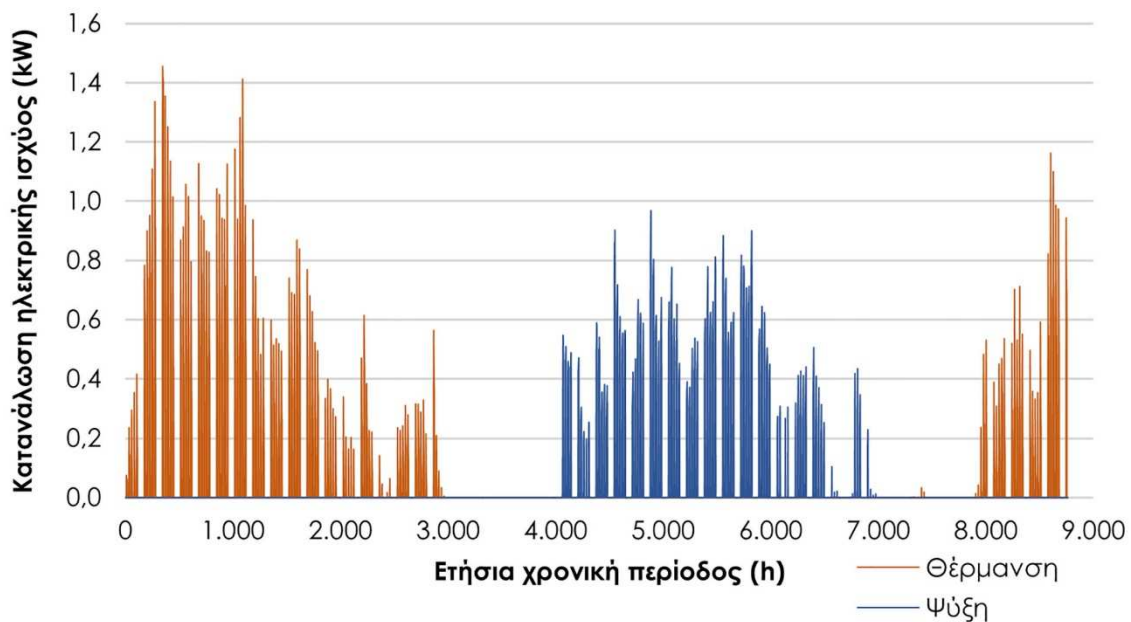
- η ετήσια χρονοσειρά θερμοκρασίας περιβάλλοντος, (Ενότητα 2, Σχήμα 5), η οποία θα θεωρηθεί ως θερμοκρασία άντλησης θερμότητας το χειμώνα και απόρριψης ψυκτικών φορτίων το καλοκαίρι
- τα ετήσια συνολικά φορτία κλιματισμού σε λειτουργία θέρμανσης και ψύξης μετά τις προτεινόμενες παθητικές παρεμβάσεις, όπως υπολογίστηκαν και παρουσιάστηκαν στην Ενότητα 3 (Σχήμα 15)
- η διακύμανση των νέων συντελεστών COP και EER για την εξωτερική κλιματιστική μονάδα που θα χρησιμοποιηθεί, η οποία διακύμανση, για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, θεωρήθηκε ότι ακολουθεί τη μορφή των διαγραμμάτων του Σχήματος 19, συναρτήσει της θερμοκρασίας του μέσου άντλησης και απόρριψης θερμότητας (ατμοσφαιρικός αέρας) και του φορτίου λειτουργίας της αντλίας εξωτερικής κλιματιστικής μονάδας (οι εμφανιζόμενες πολυωνυμικές παρεμβολές αφορούν στην καμπύλη λειτουργίας στο 100% της ισχύος σε θέρμανση και ψύξη).



Σχήμα 19: Διακύμανση συντελεστών COP Και EER της εξωτερικής κλιματιστικής μονάδας συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Με βάση τα ανωτέρω, υπολογίζεται η ετήσια χρονοσειρά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των φορτίων κλιματισμού του κτηρίου από το πολυδιαρούμενο σύστημα κλιματισμού, η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 20.

Η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το νέο σύστημα κλιματισμού αναλύεται σε μηνιαία βάση στον Πίνακα 20.



Σχήμα 20: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το νέο σύστημα κλιματισμού του κτηρίου.

Πίνακας 20: Μηνιαία ανάλυση ψυκτικών φορτίων και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για την ψύξη του κτηρίου, μετά τις προτεινόμενες παθητικές και ενεργητικές παρεμβάσεις.

Μήνας	Φορτία κλιματισμού (kWh)		Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)		Μέσοι μηνιαίοι συντελεστές απόδοσης	
	Θέρμανση	Ψύξη	Θέρμανση	Ψύξη	COP	EER
Ιανουάριος	1,5	0,0	117,2	0,0	4,44	
Φεβρουάριος	1,4	0,0	98,2	0,0	4,52	
Μάρτιος	0,9	0,0	53,3	0,0	4,68	
Απρίλιος	0,6	0,0	28,4	0,0	5,11	
Μάιος	0,2	0,0	1,1	0,0	5,86	
Ιούνιος	0,0	0,5	0,0	22,0		5,53
Ιούλιος	0,0	1,0	0,0	93,5		5,50
Αύγουστος	0,0	0,9	0,0	103,9		5,52
Σεπτέμβριος	0,0	0,6	0,0	45,3		5,64
Οκτώβριος	0,0	0,4	0,0	6,5		5,68
Νοέμβριος	0,5	0,0	5,9	0,0	4,42	
Δεκέμβριος	1,2	0,0	69,5	0,0	4,60	
Ετήσια μέγιστα / σύνολα / μέσες τιμές	1,5	1,0	373,6	271,3	4,58	5,54
Συνολική ηλεκτρική ενέργεια (kWh)			644,9			
Συνολική πρωτογενής ενέργεια (kWh)			1.870,1			

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της κατανάλωσης ηλεκτρικής και πρωτογενούς ενέργειας για τον κλιματισμού του κτηρίου του κτηρίου:

- αρχικά για την υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας, όπως παρουσιάζεται στους Πίνακες 11 και 12
- και έπειτα της κατάστασης λειτουργίας που προκύπτει μετά την εφαρμογή τόσο των προτεινόμενων παθητικών παρεμβάσεων, όσο και των προτεινόμενων ενεργητικών συστημάτων κλιματισμού, όπως παρουσιάζεται στους Πίνακες 17 και 20

καταλήγουμε τελικά στην εκτίμηση της αναμενόμενης εξοικονόμησης ηλεκτρικής και πρωτογενούς ενέργειας από το σύνολο των παθητικών και ενεργητικών παρεμβάσεων κλιματισμού στο Δημαρχείο Κάσου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 21.

Πίνακας 21: Εξοικονόμηση ενέργειας συνολικά στο σύστημα κλιματισμού του κτηρίου με τις προτεινόμενες παθητικές και ενεργητικές παρεμβάσεις.				
Ενέργεια	Φορτία – Καταναλώσεις (kWh)		Μείωση – Εξοικονόμηση	
	Υφιστάμενη λειτουργία	Με την εφαρμογή των παθητικών και ενεργητικών συστημάτων	(kWh)	(%)
Συνολικά φορτία κλιματισμού (θέρμανση & ψύξη)	6.597,3	3.214,0	3.383,3	51,28
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	3.132,3	644,9	2.487,4	79,41
Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας	9.083,5	1.870,1	7.213,4	

4. Σύστημα φωτισμού κτηρίου

Υφιστάμενες καταναλώσεις

Οι καταναλώσεις φωτισμού στο Δημαρχείο Κάσου συνίστανται αποκλειστικά σε καταναλώσεις εσωτερικών χώρων. Φωτιστικά σώματα εξωτερικών χώρων δεν υπάρχουν εγκατεστημένα στο κτήριο. Στον Πίνακα 2 έχουν παρουσιαστεί συνολικά οι υφιστάμενες συσκευές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο κτήριο, μεταξύ των οποίων και οι λαμπτήρες φωτισμού. Προς διευκόλυνση του αναγνώστη, οι τελευταίοι ανακεφαλαιώνονται στον Πίνακα 22.

Πίνακας 22: Λαμπτήρες φωτισμού Δημαρχείου Κάσου.				
A/A	Περιγραφή	Ονομαστική κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος (W)	Τεμάχια	Συνολική κατανάλωση ισχύος (W)
1	Σποτ LED γραφείου Δημάρχου	5	29	145
2	Λαμπτήρες γραφείων LED τύπου φθορίου	15	8	120
3	Λαμπτήρες LED W.C.	8	6	48
Σύνολο εγκατεστημένης ισχύος:				313

Στις Εικόνες 8 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές φωτογραφίες από τα υφιστάμενα φωτιστικά σώματα στο Δημαρχείο Κάσου.



Εικόνα 8α: Φωτιστικά LED στο γραφείο Δημάρχου.



Εικόνα 8β: Φωτιστικά LED τύπου φθορίου σε γραφείο.



Εικόνα 8γ: Φωτιστικά LED τύπου φθορίου σε γραφείο.

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτιστικά του Δημαρχείου Κάσου στην υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας παρουσιάζεται στον Πίνακα 23. Ο υπολογισμός της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες φωτισμού του κτηρίου προκύπτει με βάση την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 22, ένα συντελεστή ταυτοχρονισμού λειτουργίας και το ωράριο λειτουργίας του κτηρίου. Οι υψηλές τιμές των συντελεστών ταυτοχρονισμού οφείλονται στην ταυτόχρονη λειτουργία όλων των χώρων του κτηρίου εντός του ωραρίου εργασίας.

Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 23 και τη συνολική υφιστάμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο Δημαρχείο Κάσου (13.398 kWh, Πίνακας 1), καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό αντιστοιχεί στο 4,05% της συνολικής ετήσιας ενεργής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 23: Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από φωτισμό εσωτερικών χώρων στην υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας του Δημαρχείου Κάσου.

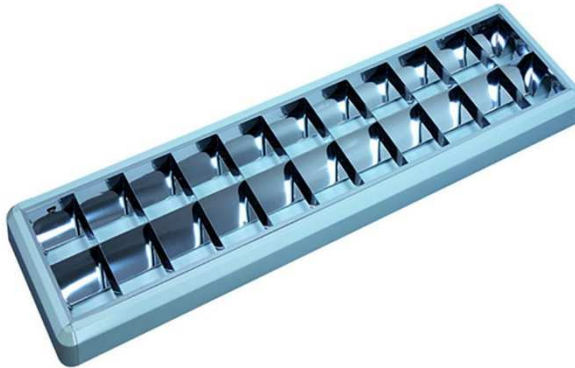
Μήνας	Χρόνος λειτουργίας καθημερινά (h)	Συντελεστής ταυτοχρονισμού	Μέρες ανά μήνα	Μηνιαίος χρόνος λειτουργίας (h)	Μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)
Ιανουάριος	8	0,95	31	248	73,7
Φεβρουάριος	8	0,95	28	224	66,6
Μάρτιος	8	0,80	31	248	62,1
Απρίλιος	8	0,75	30	240	56,3
Μάιος	8	0,50	31	248	38,8
Ιούνιος	8	0,20	30	240	15,0
Ιούλιος	8	0,20	31	248	15,5
Αύγουστος	8	0,20	31	248	15,5
Σεπτέμβριος	8	0,30	30	240	22,5
Οκτώβριος	8	0,50	31	248	38,8
Νοέμβριος	8	0,85	30	240	63,9
Δεκέμβριος	8	0,95	31	248	73,7
Ετήσια σύνολα:				2.920	542,62
Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας:					1.573,6

Η ετήσια υφιστάμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αντιστοιχεί σε 1.573,6 kWh πρωτογενούς ενέργειας, θεωρώντας, βάσει του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.) συντελεστή μετατροπής ίσο με 2,9 [10].

Προτεινόμενες παρεμβάσεις

Όλοι οι εγκατεστημένοι λαμπτήρες φωτισμού είναι τεχνολογίας LED με πολύ χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, το μικρό μέγεθος του κτηρίου και ο υψηλός ταυτοχρονισμός λειτουργίας των χώρων του δεν δικαιολογούν την εγκατάσταση κάποιου συστήματος κεντρικού ελέγχου φωτισμού. Η μόνη παρέμβαση η οποία θα μπορούσε να προταθεί, με στόχο όχι τόσο την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά τη βελτίωση της αποδιδόμενης έντασης φωτισμού και των συνεπαγόμενων συνθηκών φωτισμού των εσωτερικών χώρων, είναι η αντικατάσταση των υφιστάμενων φωτιστικών σωμάτων τύπου φθορίου με νέα, ανακλαστικά, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται υψηλή συγκέντρωση φωτεινής ροής και μεγιστοποίηση της

απόδοσης του λαμπτήρα. Όλα τα νέα φωτιστικά οροφής θα είναι εφοδιασμένα με ηλεκτρονικό ballast, με σώμα από ατσάλι, βαμμένο λευκό με ηλεκτροστατική βαφή, διπλό παραβολικό από ανοδιωμένο αλουμίνιο. Ενδεικτικά παρέχονται οι Εικόνες 9 για τα νέα προτεινόμενα φωτιστικά, διαφόρων τύπων και διαστάσεων.



Εικόνα 9α: Φωτιστικό 2 x T8 1.200mm.



Εικόνα 9β: Φωτιστικό 4 x T8 590mm.



Εικόνα 9γ: Φωτιστικό 2 x T8 1.500mm.



Εικόνα 9δ: Φωτιστικό 2 x T5 1.450mm.

5. Σύνοψη εξοικονόμησης ενέργειας – Άεργες καταναλώσεις

Η υφιστάμενη ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο Δημαρχείο Κάσου έχει υπολογιστεί ίση με 13.398 kWh. Με βάση τους εκτελεσθέντες υπολογισμούς, η κατανάλωση αυτή προκύπτει από:

- την κατανάλωση 3.132,3 kWh για τις ανάγκες κλιματισμού του κτηρίου
- την κατανάλωση 542,6 kWh για τις ανάγκες φωτισμού του κτηρίου
- την κατανάλωση από τις μηχανές γραφείου και μηχανοργάνωσης του Δημαρχείου.

Για την εκτίμηση της συμβολής των ηλεκτρονικών υπολογιστών στην ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του Δημαρχείου, λαμβάνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

- ο αριθμός των σταθερών ηλεκτρονικών υπολογιστών (desktops) και των φορητών (laptop) στο Δημαρχείο, οι οποίοι είναι ίσοι αντίστοιχα με 5 και 7
- μέση κατανάλωση ισχύος ανά ηλεκτρονικό υπολογιστή: 500 W για τους σταθερούς υπολογιστές και 120 W για τους φορητούς υπολογιστές
- χρόνος λειτουργίας: 8 ώρες ημερησίως x 5 ημέρες εβδομαδιαίως x 52 εβδομάδες ετησίως = 2.080 h.

Με βάση τις ανωτέρω παραδοχές, η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές υπολογίζεται:

$$5 \times 500W \times 2.080h + 7 \times 120W \times 2.080h = 6.947,2 \text{ kWh.}$$

Το άθροισμα των ανωτέρω υφιστάμενων καταναλώσεων ισούται με:

$$(3.132,3 + 542,6 + 6.947,2) \text{ kWh} = 10.622,1 \text{ kWh}$$

Οι υπόλοιπες:

$$(13.398 - 10.622,1) \text{ kWh} = 2.775,9 \text{ kWh}$$

πιθανότατα καταναλώνονται στις λοιπές συσκευές μηχανοργάνωσης (φωτοτυπικά, εκτυπωτές κλπ) και σε λοιπές μικροσυσκευές (φωτιστικά γραφείου, οικιακές μικροσυσκευές κλπ).

Στις καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανές γραφείου, μηχανοργάνωσης και στις λοιπές μικροσυσκευές δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί κάποια εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένη την ήδη χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα φωτισμού, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η μόνη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί στο Δημαρχείο Κάσου είναι στο σύστημα κλιματισμού. Στον Πίνακα 20 έχει υπολογιστεί η νέα αναμενόμενη ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα κλιματισμού του κτηρίου ίση με 644,9 kWh. Η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας και η νέα ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο Δημαρχείο Κάσου συνοψίζονται στον Πίνακα 24.

Πίνακας 24: Σύνοψη εξοικονόμησης ενέργειας συνολικά στο Δημαρχείο Κάσου και νέα αναμενόμενη ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Χρήση	Υφιστάμενη λειτουργία (kWh)		Προτεινόμενη λειτουργία (kWh)		Μείωση – Εξοικονόμηση		
	Ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Πρωτογενής ενέργεια (kWh)	Ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Πρωτογενής ενέργεια (kWh)	Ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Πρωτογενής ενέργεια (kWh)	(%)
Κλιματισμός	3.132,3	9.083,7	644,9	1.870,2	2.487,4	7.213,5	79,4
Φωτισμός	542,6	1.573,5	542,6	1.573,5	0,0	0,0	0,0
Ηλεκτρονικοί υπολογιστές	6.947,2	20.146,9	6.947,2	20.146,9	0,0	0,0	0,0
Λοιπές συσκευές μηχανοργάνωσης και μικροσυσκευές	2.775,9	8.050,0	2.775,9	8.050,1	0,0	0,0	0,0
Σύνολα	13.398,0	38.854,1	10.910,6	31.640,7	2.487,4	7.213,5	18,6

Πέρα από την εξοικονόμηση ενεργής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, προτείνεται και η εγκατάσταση πίνακα αντιστάθμισης άεργων καταναλώσεων, με στόχο τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος στην ηλεκτρική εγκατάσταση του κτηρίου και το σχεδόν μηδενισμό της κατανάλωσης άεργου ισχύος. Δυστυχώς δεν υπάρχουν στοιχεία για τον υπολογισμό της υφιστάμενης άεργης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο Δημαρχείο Κάσου. Ένας τυπικός συντελεστής ισχύος σε μία εγκατάσταση όπως αυτή του Δημαρχείου Κάσου εκτιμάται της τάξης του 0,80. Η ετήσια άεργη κατανάλωση υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2\varphi}} \quad (1)$$

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

όπου Q και P οι ετήσιες άεργες και ενεργές καταναλώσεις ηλεκτρικής ισχύος ή ενέργειας αντίστοιχα και $\cos\varphi = 0,80$ ο μέσος ετήσιος συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης. Η άεργη κατανάλωση θα υπολογιστεί επί των επαγωγικών ενεργών υφιστάμενων καταναλώσεων, οι οποίες υπολογίζονται από τη συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αφαιρουμένων των καταναλώσεων για τις ανάγκες φωτισμού. Οι καταναλώσεις αυτές υπολογίζονται ίσες με:

$$(13.398,0 - 542,6) \text{ kWh} = 12.855,4 \text{ kWh.}$$

Για $\cos\varphi = 0,80$, υπολογίζεται από τη σχέση (1) $\tan\varphi = 0,50$, οπότε η υφιστάμενη ετήσια άεργη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται στις:

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P} \Leftrightarrow Q = \tan\varphi \cdot P \Rightarrow Q = 0,5 \cdot 12.855,4 \text{ kWh} \Leftrightarrow Q = 6.427,7 \text{ kWh}$$

Οι νέες επαγωγικές καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζονται και πάλι από τη νέα, αναμενόμενη συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, αφαιρουμένης της κατανάλωσης φωτισμού, δηλαδή υπολογίζονται ίσες με:

$$(10.910,6 - 542,6) \text{ kWh} = 10.368 \text{ kWh.}$$

Με την εγκατάσταση του πίνακα αντιστάθμισης άεργης ισχύος, ο νέος συντελεστής ισχύος της ηλεκτρικής εγκατάστασης του Δημαρχείου Κάσου θα διαμορφωθεί στο 0,9999. Στην περίπτωση αυτή, η $\tan\varphi$ υπολογίζεται ίση με 0,01 και η ετήσια άεργη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται ίση με:

$$Q = 0,01 \cdot 10.368 \text{ kWh} \Leftrightarrow Q = 103,7 \text{ kWh.}$$

Στον Πίνακα 25 συνοψίζεται η εξοικονόμηση στην ετήσια άεργη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 25: Ετήσια εξοικονόμηση άεργης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.				
Λειτουργία κλιματισμού	Υφιστάμενη λειτουργία	Με την εφαρμογή των προτεινόμενων παρεμβάσεων	Μείωση – Εξοικονόμηση	
			(kWh)	(%)
Άεργες καταναλώσεις (kWh)	6.427,7	103,7	6.324,0	98,4
Πρωτογενής ενέργεια (kWh)	18.640,3	300,7	18.339,6	

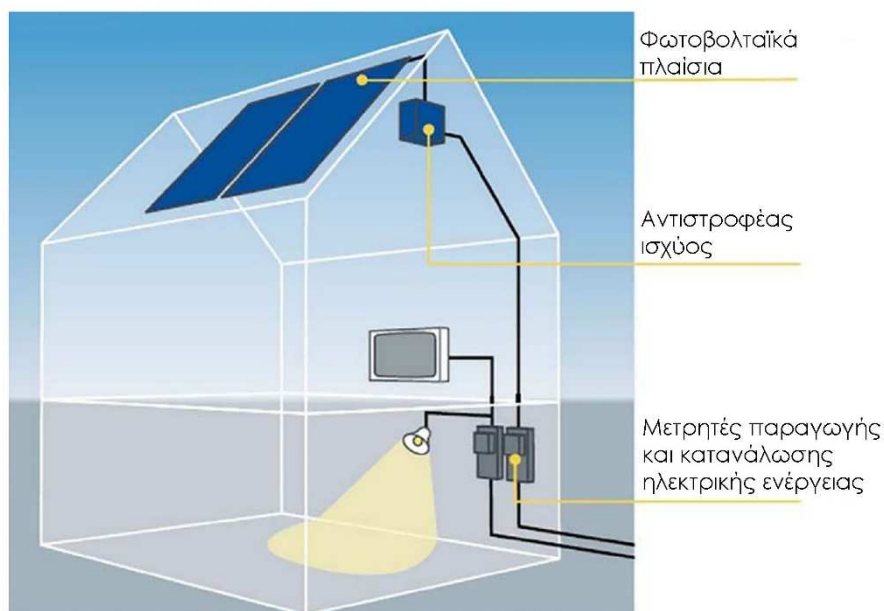
6. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε.

Γενική περιγραφή

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. θα αποτελείται από φωτοβολταϊκό σταθμό, ο οποίος θα εγκατασταθεί επί του δώματος του κτηρίου. Ο φωτοβολταϊκός σταθμός θα εγκατασταθεί με στόχο το συμψηφισμό της παραγωγής και της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο Δημαρχείο Κάσου. Το μέγεθος του φωτοβολταϊκού σταθμού θα καθοριστεί από τη διαθέσιμη έκταση του δώματος, η οποία ανέρχεται σε ένα καθαρό διαθέσιμο χώρο διαστάσεων $10,0 \times 9,5 = 95,0 \text{ m}^2$, καθώς επίσης και από τη μέγιστη δυνάμενη να εγκατασταθεί ισχύ για καθεστώς net metering στο αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας Καρπάθου - Κάσου.

Η μέγιστη ισχύς που δύναται να εγκατασταθεί στο αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας Καρπάθου – Κάσου σε καθεστώς net metering, για φορείς δημοσίου συμφέροντος, όπως ο Δήμος της Ηρωικής Νήσου Κάσου, και με σύνδεση στη χαμηλή τάση, ισούται με 100 kWp, με την προϋπόθεση ότι τούτη δεν υπερβαίνει το 100% της συμφωνημένης ισχύος διασύνδεσης της τοπικής κατανάλωσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η συμφωνημένη ισχύς διασύνδεσης της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης του Δημαρχείου Κάσου με το τοπικό δίκτυο ισούται με 25 kVA, η οποία καθορίζει και τη μέγιστη δυνάμενη ισχύ για το φωτοβολταϊκό σταθμό στα 25 kWp. Το σύστημα θα συμπληρώνεται από πίνακες ελέγχου και μετατροπείς ισχύος (inverter) για τη διάθεση της ισχύος στο τοπικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η φιλοσοφία εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού σταθμού σε καθεστώς net metering παρουσιάζεται γραφικά στο Σχήμα 21. Συγκεκριμένα, το παραγόμενο συνεχές ρεύμα από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο σε μετατροπέα για να διατεθεί στο δίκτυο. Ένας μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας μετράει την ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, ενώ ένας δεύτερος μετρητής ενέργειας καταγράφει την ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο για τις ανάγκες λειτουργίας του κτηρίου. Η χρέωση ή η πίστωση ηλεκτρικής ενέργειας στον τελικό καταναλωτή προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα παραγωγής – κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.



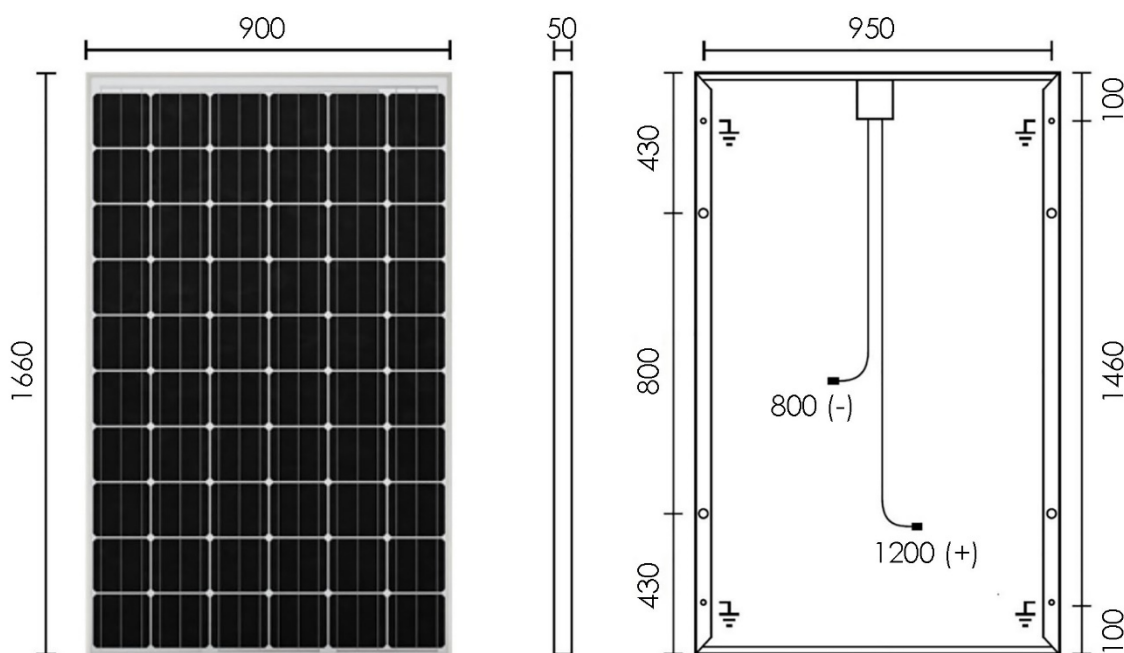
Σχήμα 21: Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκό σταθμό με στόχο το συμψηφισμό της παραγωγής – κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο προτεινόμενος εξοπλισμός

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Με δεδομένα τη δυνάμενη να εγκατασταθεί μέγιστη ισχύ του φωτοβολταϊκού σταθμού και τη σχετικά περιορισμένη διαθέσιμη έκταση, προτείνεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο με υψηλή ονομαστική ισχύ. Ως εκ τούτου προτείνεται η εγκατάσταση μονοκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού πλαισίου. Ενδεικτικά, στον Πίνακα 26 παρουσιάζονται βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πλαισίου που προτείνεται να χρησιμοποιηθεί. Στο Σχήμα 22 παρουσιάζεται η εμπρόσθια όψη του πλαισίου και σκαρίφημα με τις βασικές διαστάσεις του σε mm.

Πίνακας 26: Προδιαγραφές προτεινόμενου φωτοβολταϊκού πλαισίου.	
Ονομαστική ισχύς (Wr)	300
Τύπος στοιχείου	μονοκρυσταλλικό
Θερμοκρασιακό πεδίο λειτουργίας (°C)	-40 – 85
Ονομαστική τάση λειτουργίας (V)	31,2
Ονομαστική ένταση λειτουργίας (A)	9,63
Τάση ανοιχτού κυκλώματος σε πρότυπες συνθήκες (V)	39,40
Ένταση βραχυκύκλωσης (A)	9,97
Θερμοκρασιακός συντελεστής τάσης ανοιχτού κυκλώματος (%/°C)	-0,290
Απόδοση στοιχείου στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας (%)	18,25
Βάρος (kg)	20
Μέγιστη αντοχή σε μηχανική τάση (Pa)	2.400



Σχήμα 22: Εμπρόσθια όψη του φωτοβολταϊκού πλαισίου και σκαρίφημα με τις βασικές διαστάσεις του σε mm.

Έδραση – εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Ο βέλτιστος προσανατολισμός εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ο νότιος (αζιμούθιο επιφανείας 0°). Δυστυχώς, όμως ο προσανατολισμός του κτηρίου αποκλίνει από τις διευθύνσεις ανατολής – δύσης και νότου – βορρά κατά 37°, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 6. Συνεπώς, η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με νότιο προσανατολισμό θα

απαιτούσε είτε τη μεμονωμένη χωροθέτησή τους (όχι δηλαδή σε σειρές), πράγμα που θα οδηγούσε σε σημαντική αύξηση του κόστους εγκατάστασης και καταπόνηση του δώματος, είτε σε χωροθέτηση σε σειρές παράλληλες μεταξύ τους και με κλίση 37° ως προς τις ακμές του κτηρίου, με τελικό αποτέλεσμα τη σπατάλη σημαντικού χώρου από το δώμα του κτηρίου και τη χωροθέτηση μικρότερου αριθμού πλαισίων. Συνεπώς, η χωροθέτηση των πλαισίων θα πρέπει να γίνει με προσανατολισμό παράλληλο με τις ακμές του κτηρίου, δηλαδή είτε νοτιοδυτικό, είτε νοτιοανατολικό.

Στον Πίνακα 27 παρουσιάζεται η διακύμανση της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, σε επίπεδη επιφάνεια εγκατεστημένη στις γεωγραφικές συντεταγμένες του Δήμου Κάσου, συναρτήσει της κλίσης εγκατάστασής της ως προς το οριζόντιο επίπεδο, εναλλακτικά για νότιο ή νοτιοδυτικό προσανατολισμό. Η μέγιστη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία προκύπτει για νότιο προσανατολισμό και κλίση εγκατάστασης 30° ως προς το οριζόντιο επίπεδο (1.985,0 kWh/m²). Ωστόσο, με βάση τα προαναφερόμενα, η εγκατάσταση αυτή δεν είναι εφικτή. Για νοτιοδυτικό προσανατολισμό, η μέγιστη ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία προκύπτει για κλίση εγκατάστασης 0°. Συνεπώς, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προτείνεται να τοποθετηθούν επίπεδα επί του δώματος του κτηρίου. Η υστέρηση στην ετήσια πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας λόγω μη βέλτιστης εγκατάστασης, υπολογίζεται ίση με 176,7 kWh/m². Ας σημειωθεί ότι με την οριζόντιο εγκατάσταση των πλαισίων επί του δώματος του κτηρίου αποφεύγεται η οποιαδήποτε οπτική όχληση ή αισθητική αλλοίωση του κτηρίου.

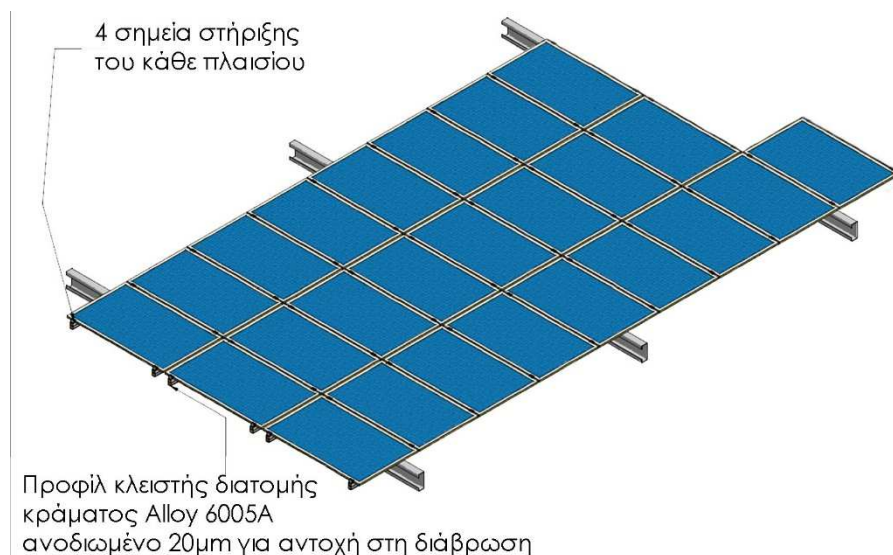
Πίνακας 27: Υπολογισμός και ανάλυση της συνολικής ετήσιας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε kWh/m² σε επίπεδη επιφάνεια στη θέση του Δήμου Κάσου, συναρτήσει της κλίσης της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Συνιστώσα ηλιακής ακτινοβολίας	Κλίση εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων (°)					
	Νότιος προσανατολισμός			Νοτιοδυτικός προσανατολισμός		
	25	30	35	0	5	10
	Ετήσια πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδη επιφάνεια υπό κλίση (kWh/m ²)					
Άμεση	1.267,2	1.275,9	1.275,0	1.802,6	1.053,7	1.016,8
Διάχυτη	691,7	677,1	660,1	725,7	724,3	720,2
Ανακλώμενη	22,4	32,0	43,2	0	0,9	3,6
Συνολική	1981,3	1.985,0	1.978,3	1.808,3	1.778,9	1.740,6

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα τοποθετηθούν σταθερά επί του δώματος, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 23, βάσει προτεινόμενου σχεδιασμού εμπειρογνώμονα, που εξειδικεύεται στα συστήματα εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων επί του εδάφους και επί στεγών. Όπως εξηγείται στο Σχήμα 23, κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο εδράζεται σε δύο τεγίδες και σε 4 σημεία (2 σημεία ανά τεγίδα), ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής εγκατάσταση. Λόγω της γεινίασης της θέσης εγκατάστασης με τη θάλασσα και των ενίοτε ισχυρών ανέμων, τα υλικά έδρασης θα είναι από κράμα αλουμινίου Alloy 6005A, με πάχος ανοδίωσης 20μm και με τα ακόλουθα πιστοποιητικά:

- πιστοποιητικό κράματος
- πιστοποιητικό ανοδίωσης
- 20ετή εγγύηση προϊόντος
- πιστοποιήσεις κατασκευαστή κατά ISO 9001, 14001 και ΕΛΟΤ 1801.

Όσον αφορά στη σύνδεση του συστήματος έδρασης με το δώμα του κτηρίου, θα εφαρμοστεί κατάλληλη αγκύρωση. Αυτή μπορεί να γίνει εναλλακτικά είτε με την προσθήκη φορτίου, ή με τη χρήση κοχλιών. Στην πρώτη περίπτωση θα πρέπει το βάρος που θα τοποθετηθεί να είναι σύμφωνο με τη στατική μελέτη του κτηρίου. Στην περίπτωση χρήσεως κοχλιών, η τοποθέτηση της έδρασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα πρέπει να προηγηθεί της εγκατάστασης της μόνωσης του δώματος, ώστε να μην τραυματιστεί η τελευταία. Και στις δύο περιπτώσεις, ο προμηθευτής του συστήματος έδρασης οφείλει να παράσχει τις προδιαγραφές για την αγκύρωση και να μεριμνήσει σχετικά με τα ανωτέρω.



Σχήμα 23: Σκαρίφημα έδρασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε δώμα.

Ο αντιστροφέας ισχύος του φωτοβολταϊκού σταθμού

Ο επιλεγμένος τύπος αντιστροφέα θα έχει μέγιστη τάση κατάλληλη για τη σύνδεση των Φ/Β πλαισίων ενώ θα διαθέτει και την υψηλότερη δυνατή απόδοση για μεγιστοποίηση της ενεργειακής απολαβής, με σύστημα ανίχνευσης μέγιστης παραγωγής ισχύος (maximum power point tracking). Ενδεικτικά στον Πίνακα 28 παρέχονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά κατάλληλου για την περίπτωση τύπου αντιστροφέα ισχύος για φωτοβολταϊκά πλαίσια και ειδικότερα για το απαιτούμενο μέγεθος με βάση την ονομαστική ισχύ του συγκεκριμένου σταθμού.

Πίνακας 28: Προδιαγραφές αντιστροφέα ισχύος.	
Τιμές εισόδου	
Μέγιστη ισχύς εισόδου DC (kW _p)	13,5
Μέγιστη τάση εισόδου (V)	1.000
Ονομαστική τάση εισόδου (V)	580
Ελάχιστη τάση εισόδου (V)	150
Τάση εκκίνησης (V)	188
Μέγιστη τάση MPP (V)	800
Μέγιστη ένταση εισόδου ανά ανίχνευση σημείου μέγιστης ισχύος είσοδος A / είσοδος B (A)	15 / 10
Μέγιστη ένταση βραχυκύκλωσης ανά ανίχνευση σημείου μέγιστης ισχύος είσοδος A / είσοδος B (A)	25 / 15
Στοιχειοσειρές ανά είσοδο MPP	2 / 2
Τιμές εξόδου	
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC (kVA)	7,00
Ισχύς μέτρησης (kW)	7,00
Εύρος ονομαστικής τάσης AC (V)	160 – 280
Συχνότητα δικτύου (Hz)	45 – 55
Φάσεις τροφοδοσίας	3 / 3
Μέγιστος βαθμός απόδοσης (%)	98,0
Γενικά	
Βάρος (kg)	37
Τύπος προστασίας	IP65
Διαστάσεις (Π x Υ x Β) (mm)	470 x 730 x 240

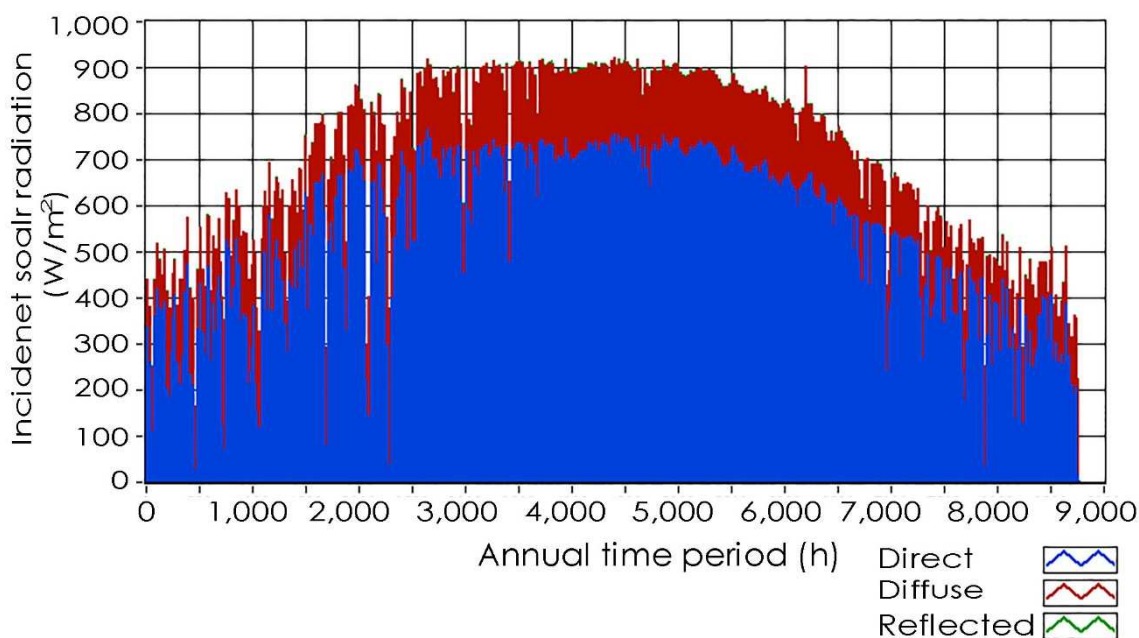
Υπολογισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι ενεργειακοί υπολογισμοί του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας υλοποιούνται με μέσες ωριαίες τιμές για διάστημα ενός έτους. Για τον υπολογισμό της απόρριψης θερμότητας προς το περιβάλλον λόγω θερμικής συναγωγής χρησιμοποιείται η προαναφερόμενη χρονοσειρά ταχύτητας ανέμου (Ενότητα 2). Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων χρησιμοποιείται ετήσια χρονοσειρά μέσων ωριαίων τιμών θερμοκρασιών περιβάλλοντος (Ενότητα 2). Τέλος, χρησιμοποιείται η χρονοσειρά ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία παρουσιάστηκε στην Ενότητα 2. Από τη χρονοσειρά αυτή, ακολουθώντας τη βασική θεωρία ηλιακής γεωμετρίας και ακτινοβολίας [6, 7], υπολογίζεται τελικά η ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, με δεδομένη την εγκατάσταση με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30° ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η ετήσια διακύμανση της ολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, με διάκριση σε άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη, παρουσιάζεται στο Σχήμα 24.

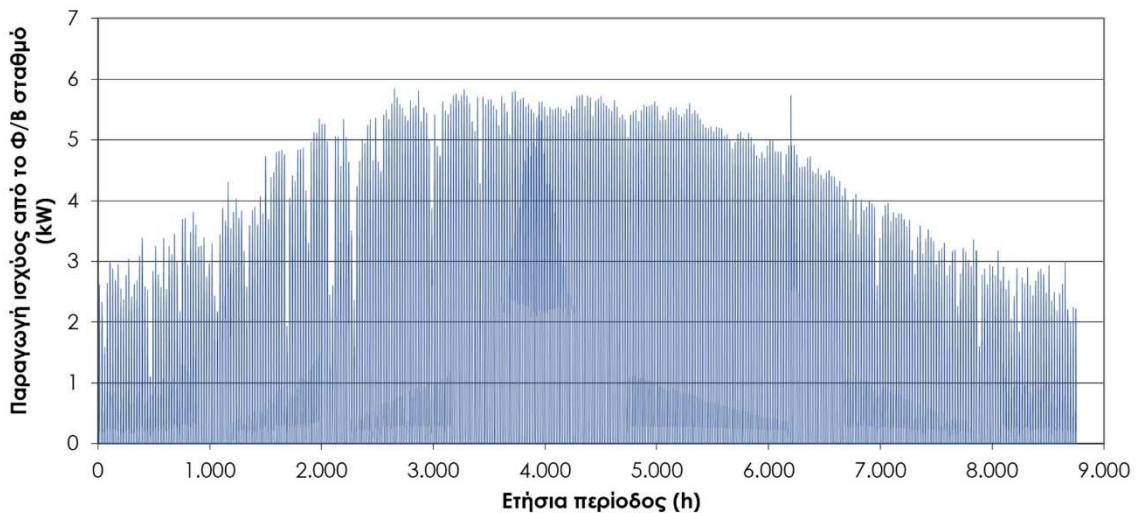
Η διαδικασία υπολογισμού παραγωγής ισχύος από το φωτοβολταϊκό σταθμό περιγράφεται στη σχετική βιβλιογραφία [11, 12]. Η προτεινόμενη εγκατεστημένη ισχύς του φωτοβολταϊκού σταθμού προτείνεται να είναι τέτοια, ώστε η συνολική ετήσια παραγωγή να υπερκαλύπτει την νέα αναμενόμενη ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία υπολογίστηκε ίση με 10.910,6 kWh.

Η τελικά προτεινόμενη ονομαστική ισχύς για το φωτοβολταϊκό σταθμό ανέρχεται στα 7,5 kW_p, η οποία διαμορφώνεται από την εγκατάσταση 25 πλαισίων ισχύος 300 W_p έκαστο. Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από το φωτοβολταϊκό σταθμό παρουσιάζεται στο Σχήμα 25.

Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σταθμό υπολογίζεται με ολοκλήρωση της ανωτέρω ετήσιας χρονοσειράς ίση με **11.114,1 kWh**, η οποία αντιστοιχεί σε ετήσιο τελικό συντελεστή απασχόλησης ίσο με **16,9%**. Η ανωτέρω παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αντιστοιχεί σε αντίστοιχη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ίσης με **32.231,0 kWh**, λαμβάνοντας συντελεστή μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας σε πρωτογενή ίση με 2,9, βάσει Κ.ΕΝ.Α.Κ. [10].



Σχήμα 24: Διακύμανση της ολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά πλαίσια.



Σχήμα 25: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τον προτεινόμενο φωτοβολταϊκό σταθμό.

Διαμόρφωση και διασύνδεση φωτοβολταϊκού σταθμού

Για την εγκατάσταση συνολικά 7,5 kW_p φωτοβολταϊκής ισχύος θα χρησιμοποιηθούν 25 πλαίσια ονομαστικής ισχύος 300 W_p έκαστο. Για τη διασύνδεσή τους με το τοπικό δίκτυο θα χρησιμοποιηθεί ένας (1) αντιστροφέας ισχύος ονομαστικής ισχύος 7 kW.

Στην είσοδο A του αντιστροφέα θα διασυνδεθεί μία στοιχειοσειρά φωτοβολταϊκών πλαισίων με 19 πλαίσια και στην είσοδο B θα διασυνδεθεί μία στοιχειοσειρά πλαισίων με 6 πλαίσια. Η συνολική ισχύς ανά στοιχειοσειρά συνεπώς διαμορφώνεται στα:

- είσοδος A: $19 \times 300 \text{ W}_p = 5,7 \text{ kW}_p$
- είσοδος B: $6 \times 300 \text{ W}_p = 1,8 \text{ kW}_p$

και η συνολική ισχύς εισόδου DC στον αντιστροφέα ισχύος διαμορφώνεται στα:

$$1 \times 5,7 \text{ kW}_p + 1 \times 1,8 \text{ kW}_p = 7,5 \text{ kW}_p.$$

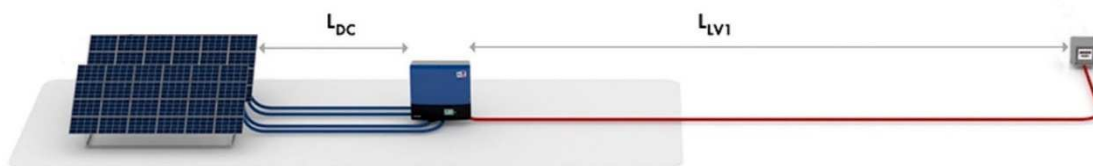
Προφανώς προκύπτουν συνολικά 2 στοιχειοσειρές φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα ανωτέρω συνοψίζονται στον Πίνακα 29.

Πίνακας 29: Διαμόρφωση φωτοβολταϊκού σταθμού.		
	Είσοδος A	Είσοδος B
Αριθμός στοιχειοσειρών	1	1
Φωτοβολταϊκά πλαίσια ανά στοιχειοσειρά	19	6
Ισχύς αιχμής DC (kW _p)	5,7	1,8
Συνολική ισχύς αιχμής DC (kW _p)	7,5	
Συνολικές στοιχειοσειρές	2	
Ελάχιστη τάση εισόδου DC (V)	495	156
Μέγιστη τάση εισόδου DC (V)	851	269
Μέγιστη ένταση εισόδου DC ανά ανίχνευση σημείου μέγιστης ισχύος (A)	9,6	9,6

Στο Σχήμα 26 παρουσιάζεται το ηλεκτρολογικό δίκτυο διασύνδεσης του φωτοβολταϊκού σταθμού με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το δίκτυο αποτελείται από δύο μέρη:

- το τμήμα συνεχούς, το οποίο αφορά στη διασύνδεση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με τον αντιστροφέα ισχύος, 2 παράλληλους βρόγχους συνεχούς με μέσο εκτιμώμενο μήκος ανά βρόγχο 50 m και συνολικό μήκος $2 \times 50 \text{ m} = 100 \text{ m}$
- το τμήμα εναλλασσόμενης, χαμηλής τάσης, το οποίο αφορά στη διασύνδεση του αντιστροφέα ισχύος με τον ηλεκτρικό πίνακα του κτηρίου, μέσω του οποίου ο

φωτοβολταϊκός σταθμός θα διασυνδεθεί με το δίκτυο χαμηλής τάσης, το οποίο αποτελείται από 1 κλάδο με εκτιμώμενο μήκος 30 m, βάσει της χωροθέτησης του σταθμού και της θέσης του κεντρικού πίνακα τροφοδοσίας στο επίπεδο του κτηρίου.



Σχήμα 26: Γραφική απεικόνιση της δομής διασύνδεσης του φωτοβολταϊκού σταθμού.

Η διαστασιολόγηση των αγωγών και οι απώλειες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας δίνονται στον Πίνακα 30.

Πίνακας 30: Διαστασιολόγηση αγωγών μεταφοράς ισχύος και απώλειες μεταφοράς.

Είσοδος	Αγωγός	Μέσο απλό μήκος (m)	Διατομή (mm ²)	Τάση (V)	Πτώση τάσης (V)	Ποσοστιαίες απώλειες μεταφοράς (%)
Αγωγοί DC						
A	Cu	25	4	565,4	2,3	0,40
B	Cu	25	16	178,6	0,5	0,32
Αγωγός AC						
-	Cu	30	4	3 ~ 230	1,3	0,57

Οι καλωδιώσεις συνεχούς και εναλλασσόμενου θα πρέπει να είναι από πολύκλωνους ή λεπτοπολύκλωνους αγωγούς από συρματίδια ανωπτημένου χαλκού, με διπλή μόνωση. Ο αντιστροφέας ισχύος δύναται να τοποθετηθεί σε ειδικό κιβώτιο που θα εγκατασταθεί στο δώμα του κτηρίου. Από εκεί θα οδεύσει η καλωδίωση εναλλασσόμενου ρεύματος που θα καταλήξει στον κεντρικό πίνακα τροφοδοσίας του κτηρίου, ο οποίος βρίσκεται στο υπόγειο του κτηρίου. Η καλωδίωση εναλλασσόμενου ρεύματος, κατά μήκος της κατακόρυφης όδυσής της, δύναται να εγκιβωτιστεί εντός της νέας εξωτερικής θερμομόνωσης του κτηρίου.

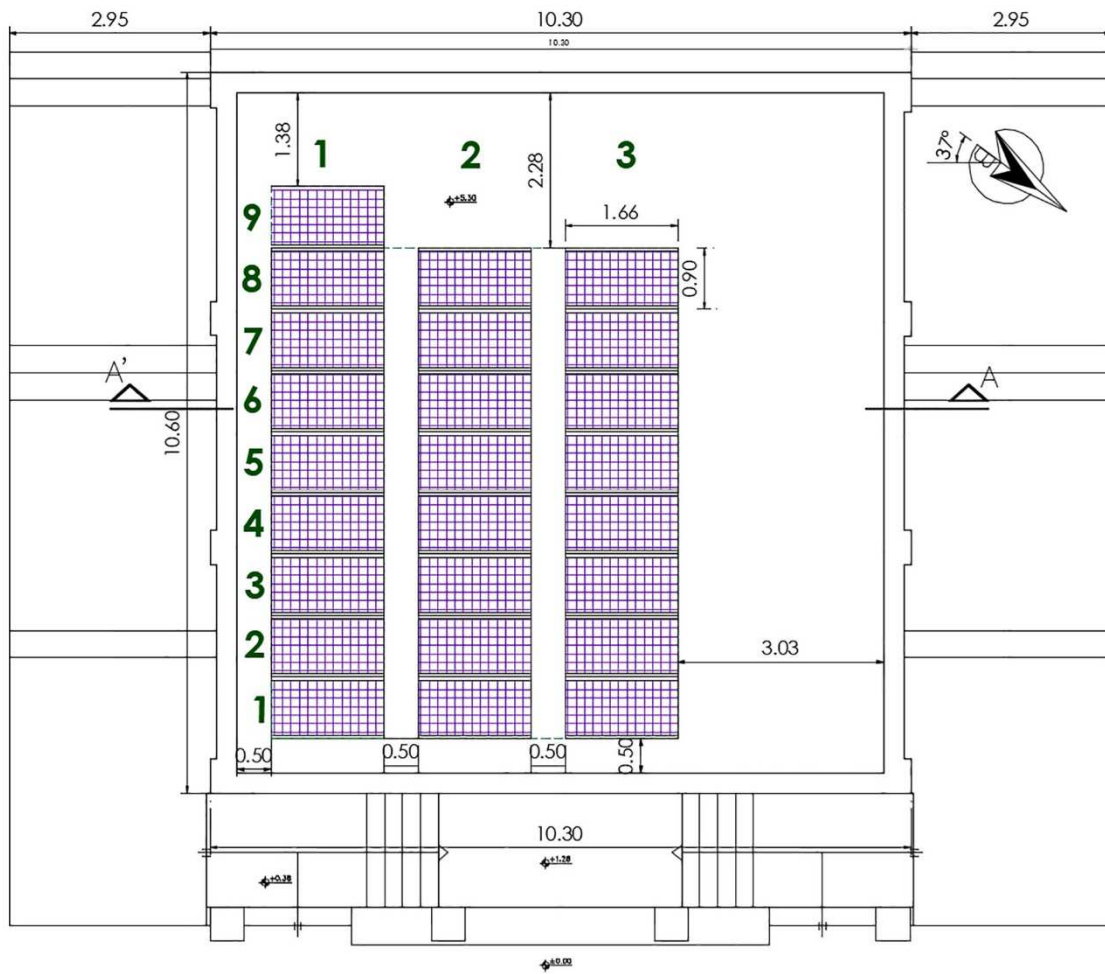
Χωροθέτηση συστημάτων

Για την εγκατάσταση συνολικά 7,5 kW_p φωτοβολταϊκής ισχύος, λαμβάνοντας ονομαστική ισχύ 300 W_p ανά πλαίσιο, θα χρειαστεί να εγκατασταθούν 25 φωτοβολταϊκά πλαίσια. Η ισχύς αυτή και ο αντίστοιχος αριθμός των απαιτούμενων πλαισίων έχουν προκύψει με βάση τη διαθέσιμη έκταση επί του δώματος του κτηρίου, επί του οποίου θα γίνει η εγκατάσταση των πλαισίων, αλλά και με βάση τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού σε καθεστώς net metering, που για το συγκεκριμένο κτήριο ισούται με 25 kW_p, βάσει της συμφωνημένης ισχύος διασύνδεσης με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η δέσμευση μήκους επί της διαθέσιμης επιφάνειας εγκατάστασης προκύπτει με βάση τις διαστάσεις του πλαισίου (1.660 x 900 mm). Η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων παρουσιάζεται στο Σχήμα 27.

Με βάση το Σχήμα 27, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται σε τρεις ομάδες, δύο των οκτώ πλαισίων και μία των εννέα, οι οποίες χωροθετούνται στο δώμα του κτηρίου. Μεταξύ των σειρών αφήνονται διάδρομοι πλάτους 0,50 m, προκειμένου να είναι δυνατή η προσέγγιση των πλαισίων για τις εργασίες καθαρισμού και εν γένει συντήρησης. Περιμετρικά της συνολικής επιφάνειας εγκατάστασης στο κυρίως δώμα θα προκύψουν διάδρομοι διέλευσης πλάτους:

- 0,50 m από την ανατολική και τη νότια ακμή του δώματος
- 1,38 m από τη δυτική ακμή του δώματος
- 3,03 m από τη βόρεια ακμή του δώματος.

Με την ανωτέρω χωροθέτηση, η συνολική έκταση που δεσμεύεται για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού, η οποία οριοθετείται από την πράσινη διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 27, ισούται με 44,6 m².



Σχήμα 27: Χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων επί του δώματος του κτηρίου.

7. Σύνοψη ενεργειακών αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τις ενεργειακές καταναλώσεις του Δημαρχείου Κάσου στην υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας, και όπως έχει παρουσιαστεί στον Πίνακα 24 (Ενότητα 5), η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας υπολογίζεται ίση με **38.854,2 kWh**. Η ενέργεια αυτή αντιστοιχεί αποκλειστικά στην υφιστάμενη ετήσια κατανάλωση 13.398 kWh ηλεκτρικής ενέργειας. Η ειδική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας κλιματιζόμενων χώρων (87,64 m²) υπολογίζεται ίση με **443,3 kWh/m²**. Δυστυχώς για το μελετούμενο κτήριο δεν έχει εκδοθεί πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης, συνεπώς δεν είναι γνωστή η ειδική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για το κτήριο αναφοράς, άρα δεν είναι εφικτός ο υπολογισμός της κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου στην υφιστάμενη κατάσταση και η επαλήθευση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.

Με τις προτεινόμενες παθητικές και ενεργητικές παρεμβάσεις προκύπτει εξοικονόμηση ενέργειας στο σύστημα κλιματισμού του κτηρίου και παραγωγή ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σταθμό. Τούτες συνοψίζονται στον Πίνακα 31.

Πίνακας 31: Σύνοψη αποτελεσμάτων παραγωγής και εξοικονόμησης ενέργειας.		
Παρέμβαση	Παραγωγή - Εξοικονόμηση - Κατανάλωση	Παραγωγή - Εξοικονόμηση - Πρωτογενούς Ενέργειας (kWh)
Παθητικές και ενεργητικές παρεμβάσεις κλιματισμού	2.487,4 kWh εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας	7.213,5
Μείωση άεργων καταναλώσεων	6.324,0 kWh εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας	18.339,6
Παραγωγή από φωτοβολταϊκό σταθμό	11.114,1 kWh παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	32.231,0
Σύνολο εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας λόγω μείωσης ενεργούς κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας:		39.444,5
Παραμένουσα κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας λόγω ενεργούς κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση:		-590,3

Με βάση τα παρουσιαζόμενα αποτελέσματα στον Πίνακα 31, η νέα συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας υπολογίζεται στις **-590,3 kWh**, η οποία αντιστοιχεί σε ετήσια ειδική εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ίση με **-6,74 kWh/m²**. Η αρνητική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σημαίνει ότι το σύνολο των παρεμβάσεων εξοικονόμησης και παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε. συμψηφιζόμενο με τη συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, οδηγεί σε περίσσεια παραγωγής. Άρα, με τις προτεινόμενες παρεμβάσεις, το κτήριο αναβαθμίζεται σε **κτήριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης**.

8. Οικονομικά στοιχεία

Στον Πίνακα 32 παρουσιάζεται ανάλυση του αρχικού κόστους για το σύνολο των προτεινόμενων παρεμβάσεων. Οι τιμές του πίνακα προέκυψαν βάσει αναζήτησης στο διαδίκτυο, οικονομικών καταλόγων και προσφορών εταιρειών κλπ.

Πίνακας 32: Προϋπολογισμός έργου.			
Περιγραφή	Τιμή μονάδας (€)	Ποσότητα	Σύνολο (€)
Επεμβάσεις στο κτηριακό κέλυφος			
Μόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας	45	149,84	6.743
Μόνωση και στεγανοποίηση δώματος	30	129,79	3.894
Οριζόντιοι πρόβολοι ανοιγμάτων	400	9,4	3.760
Αντικατάσταση κουφωμάτων	9.500	1	9.500
Σύνολο 1:			23.897
Σύστημα κλιματισμού πολυδιαιρούμενου τύπου			
Εξωτερική μονάδα	2.700	1	2.700
Εσωτερικές μονάδες	260	5	1.300
Διπλή σωλήνωση ψυκτικού χαλκού, με μόνωση 6,35 x 9,5 mm	20	55	1.100
Τοποθέτηση	500	1	500
Ψυκτικό υγρό R32	35	1	35
Σύνολο 2:			5.635
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε.			
Αγορά, μεταφορά και εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πλαισίου	150	25	3.750
Αγορά, μεταφορά και εγκατάσταση υλικών στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων (€/W)	0,1	7.500	750
Αγορά, μεταφορά και εγκατάσταση αντιστροφέα ισχύος	1.400	1	1.400
Καλωδιώσεις συνεχούς 4x4 mm ²	10	50	500
Καλωδιώσεις συνεχούς 4x16 mm ²	16	50	800
Καλωδιώσεις εναλλασσόμενου 4x4 mm ²	10	30	300
Σύνολο 3:			7.500
Πίνακας αντιστάθμισης έργου ισχύος			
Πίνακας αντιστάθμισης έργου ισχύος	1.600	1	1.600
Σύνολο 4:			1.600
Σύνολο			38.632
Εργολαβικό όφελος 18%			6.954
Μερικό Σύνολο 1			45.585
Απρόβλεπτα 15%			6.838
Μερικό Σύνολο 2			52.423
Φ.Π.Α. 24%			12.582
Τελικό σύνολο με Φ.Π.Α.			65.004

Οι προτεινόμενες παρεμβάσεις θα έχουν ως αποτέλεσμα τον εκμηδενισμό της υφιστάμενης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο Δημαρχείο, μέσω του ετήσιου συμψηφισμού της κατανάλωσης και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σταθμό. Ο συμψηφισμός αυτός θα οδηγήσει σε περίπου 85% μείωση του υφιστάμενου κόστους προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο στην Ενότητα 1 έχει υπολογιστεί ίσο με 2.316,5 €. Συνεπώς η ετήσια μείωση του κόστους προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στο Δημαρχείο Κάσου λόγω της ενεργειακής αναβάθμισής του σε κτήριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης υπολογίζεται ίση με:

$$2.316,5 \text{ €} \times 0,85 = \mathbf{1.969,0 \text{ €}}$$

Ετήσια μείωση εκπομπών CO₂:

Η εκλυόμενη ποσότητα ρύπων CO₂ ανά μονάδα κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας που αντιστοιχεί σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει ίση με 0,989 kg/kWh, σύμφωνα με τον πίνακα Β.1 του άρθρου 5 του Κ.ΕΝ.Α.Κ. [10]. Με βάση την ειδική αυτή εκπομπή ρύπων προκύπτει η ετήσια μείωση στις εκπομπές CO₂ λόγω των προτεινόμενων παρεμβάσεων, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα 33.

Πίνακας 33: Υπολογισμός ετήσιας μείωσης εκπομπών CO ₂ λόγω των προτεινόμενων παρεμβάσεων, βάσει Κ.ΕΝ.Α.Κ.		
	Πρωτογενής ενέργεια (kWh)	Εκπομπές CO ₂ (kg)
Πριν τις παρεμβάσεις	38.854,2	38.426,8
Μετά τις παρεμβάσεις	-590,3	-583,8
Μείωση	39.444,5	39.010,6
Ποσοστιαία μείωση (%)	101,5	

Συνεπώς, η ετήσια μείωση στις εκπομπές CO₂ λόγω των προτεινόμενων παρεμβάσεων υπολογίζεται **39.010,6 kg = 39,01 tn**.

Συμπεράσματα

Τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης σκοπιμότητας που παρουσιάστηκε μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Όλες οι προτεινόμενες παρεμβάσεις είναι τεχνικά εφικτές και εύκολες στην εγκατάσταση, με τις ελάχιστες δυνατές οχλήσεις και επιπτώσεις στην κανονική λειτουργία του Δημαρχείου. Εξαιρουμένων της αντικατάστασης των κουφωμάτων του κτηρίου, οι υπόλοιπες παρεμβάσεις δεν επηρεάζουν τη λειτουργικότητα των επισκέψιμων χώρων και δεν απαιτούν την εκτέλεση δύσκολων τεχνικών έργων.
- Όλες οι προτεινόμενες παρεμβάσεις έχουν υψηλό ενεργειακό αποτέλεσμα, τόσο αναφορικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε., όσο και αναφορικά με την εξοικονόμηση ενέργειας. Η ενεργειακή αναβάθμιση του κτηρίου είναι η μέγιστη δυνατή, αφού οδηγεί σε κτήριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.
- Η ετήσια ενσωμάτωση τεχνολογιών Α.Π.Ε. υπολογίστηκε 101,9% σε σχέση με την νέα αναμενόμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η ετήσια ποσοστιαία μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και της εκπομπής CO₂ υπολογίστηκε στο 101,5% σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας. Η ετήσια μείωση εκπομπών CO₂ υπολογίστηκε στους 39,0 tn.
- Μόνος αρνητικός δείκτης αξιολόγησης των προτεινόμενων παρεμβάσεων είναι η υψηλή περίοδος αποπληρωμής (33 έτη). Ωστόσο, αυτού του τύπου οι παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίων παρουσιάζουν συνήθως περιόδους αποπληρωμής επένδυσης αυτή της τάξης, ιδιαίτερα όταν συμπεριλαμβάνουν παθητικές παρεμβάσεις επί του κτηριακού κελύφους (μονώσεις, αντικατάσταση κουφωμάτων κλπ). Ας σημειωθεί ωστόσο ότι η εγκατάσταση παθητικών συστημάτων δεν θα πρέπει να ιδωθεί μόνο ως παρέμβαση ενεργειακής αναβάθμισης του κτηρίου, αλλά και ως μία παρέμβαση ενίσχυσης και ανακαίνισης του κτηρίου κελύφους, η οποία συμβάλει στην προστασία του και στην επέκταση της διάρκειας ζωής του.
- Επιπλέον, μία παράμετρος που συμβάλει σημαντικά στη διαμόρφωση αυτής της υψηλής περιόδου αποπληρωμής είναι το χαμηλό υφιστάμενο κόστος προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας. Αν, για παράδειγμα, αντί της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης του κτηρίου, χρησιμοποιούταν πετρέλαιο θέρμανσης, η περίοδος αποπληρωμής θα ήταν πολύ μικρότερη, υπολογιζόμενη με βάση τη μείωση, ή την απαλοιφή, του κόστους προμήθειας πετρελαίου θέρμανσης.

Το συγκεκριμένο πλαίσιο προτεινόμενων παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίων μπορεί να αποτελέσει πρότυπο για τα λοιπά κτήρια του νησιού, ιδιαίτερα για κτήρια υπηρεσιών, ξενοδοχεία και κατοικίες. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και παρουσιάστηκε στην παρούσα έκθεση είναι αυτή που θα πρέπει να εφαρμοστεί για τον ορθό υπολογισμό των υφιστάμενων και αναμενόμενων ενεργειακών καταναλώσεων και τη διαστασιολόγηση των προτεινόμενων παθητικών και ενεργητικών συστημάτων. Σαφέστατα το κύριο αντικείμενο των προτεινόμενων παρεμβάσεων θα πρέπει να είναι η μείωση των φορτίων κλιματισμού μέσω των κατάλληλων παθητικών και ενεργητικών μέτρων. Στη συνέχεια θα πρέπει να εξετάζονται τα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα φωτισμού. Εν γένει, τα αναμενόμενα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας για τις ανωτέρω κοινές τελικές χρήσεις θα πρέπει να είναι αντίστοιχα με αυτά που υπολογίστηκαν στην παρούσα εργασία, εφόσον έχει γίνει επιλογή των βέλτιστων συστημάτων και σωστή διαστασιολόγησή τους.

Ιδιαίτερα για τις κατοικίες και τα ξενοδοχεία – καταλύματα στο νησί, όπου οι ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης αποτελούν σημαντική παράμετρο κατανάλωσης, η εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών μπορεί να δώσει ετήσια ποσοστά εξοικονόμησης για την παραγωγή ζεστού νερού πάνω από 50%.

Σε ειδικά κτήρια ή υποδομές που μπορεί να απαντώνται ιδιαίτερες χρήσεις και καταναλώσεις ενέργειας (π.χ. βιοτεχνίες, αθλητικές υποδομές, αντλιοστάσια, δημοτικός φωτισμός, αφαλατώσεις), θα πρέπει να εκτελεστούν επιμέρους διερευνητικές μελέτες για κάθε μία από τις περιπτώσεις αυτές.

Αναφορές

- [1] Wikipedia: Κάσος
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%AC%CF%83%CE%BF%CF%82> (τελευταία πρόσβαση: Μάρτιος 2020).
- [2] Katsaprakakis DA et al. "Introduction of a wind powered pumped storage system in the isolated insular power system of Karpathos–Kasos". *Applied Energy* 2012; 97: 38-48.
- [3] Dimitris Al Katsaprakakis, Manolis Voumvoulakis. A hybrid power plant towards 100% energy autonomy for the island of Sifnos, Greece. Perspectives created from energy cooperatives. *Energy* 2018; 161: 680-698.
- [4] K. Moustris, K. A. Kavadias, D. Zafirakis, J. K. Kaldellis. Medium, short and very short-term prognosis of load demand for the Greek Island of Tilos using artificial neural networks and human thermal comfort-discomfort biometeorological data. *Renewable Energy* 2020; 147: 100-109.
- [5] European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF): ERA5 from the Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store.
<https://cds.climate.copernicus.eu/#!/search?text=ERA5&type=dataset> (τελευταία πρόσβαση: Μάρτιος 2020).
- [6] Κατσαπρακάκης Δημήτριος, Μονιάκης Μύρων. Θέρμανση, Ψύξη, Κλιματισμός. Αθήνα 2015: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. ISBN: 978-960-603-339-1. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/6167> (τελευταία πρόσβαση: Μάρτιος 2020).
- [7] Jan Kreider, Ari Rabi, Peter Curtiss, Jan F. Kreider. Heating and Cooling of Buildings. McGraw-Hill Education – Europe 2002. ISBN: 0071130632.
- [8] 2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- [9] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητήριου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017: Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης. Αθήνα, Σεπτέμβριος 2017. Φ.Ε.Κ. 4003B'/17-11-2017.
- [10] Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων. Αριθμός ΔΕΠΕΑ/οικ.178581. Φ.Ε.Κ. 2367B'/12-7-2017.
- [11] Ιωάννης Ε. Φραγκιαδάκης. Φωτοβολταϊκά συστήματα. 1^η έκδοση. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη 2007. ISBN: 978-960-456-007-3.
- [12] Dimitris Al. Katsaprakakis, Nikos Papadakis, George Kozirakis, Yiannis Minadakis, Dimitris G. Christakis, Konstantinos Kondaxakis. Electrification of the island of Dia based on renewable energy sources. *Applied Energy* 2009; 86 516–527.



Published by the
Clean Energy for EU Islands Secretariat



© European Union

This publication does not involve the European Commission in liability of any kind.