



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Διπλωματική Εργασία

Απόκριση ζήτησης στο κτίριο Arca

Ιωάννης Μητροσύλης

Εξεταστική Επιτροπή:

Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Κουτρούλης Ευτύχιος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Κολοκοτσά Διονυσία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Χανιά 2019

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
1.ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	5
1.1 Συστήματα απόκρισης ζήτησης	5
1.2 Όφελος και κόστος απόκρισης ζήτησης.....	6
1.3 Απόκριση ζήτησης στις Η.Π.Α και στην Ευρώπη.....	8
1.3.1 Η.Π.Α.....	8
1.3.2 Ευρώπη	9
1.3.3 Ιταλία	10
1.4 Έξυπνοι Μετρητές.....	10
Σε καταναλωτές	12
Εταιρείες.....	12
Για Εθνικές Κυβερνήσεις.....	12
Για τις εταιρείες που τις παρέχουν:	13
Για τους καταναλωτές :	13
1.5 Προηγμένη μετρητική υποδομή	13
1.6 Συστήματα διαχείρισης ενέργειας	15
Πλεονεκτήματα.....	15
Διαχειριστές κτιρίων	15
Εταιρείες συντήρησης	16
Πρόσθετα οφέλη.....	16
1.7 Πρωτόκολλα επικοινωνίας	17
1.7.1 Αυτοματοποιημένη απάντηση ζήτησης και επικοινωνίες	17
1.7.2 Χειροκίνητη απόκριση ζήτησης και επικοινωνίες	18
2.ΥΠΟΔΟΜΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ARCA	20
2.1 Δομή και φορτία του κτιρίου Arca	20
2.1.1 Κλιματισμός και εξαερισμός της εγκατάστασης.....	21
2.1.2 Κριτήρια σχεδιασμού	21
2.1.3 Κεντρικός κλιματισμός	22
2.1.4 Εξαερισμός κτιρίου	23
2.1.5 Σύστημα ελέγχου	23
2.2 Τεχνολογίες Παλέρμου	24
3.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΑΝ.....	28
3.1 Σύστημα ενδοδαπέδιας εγκατάστασης με χρήση τεχνολογίας ψύκτης απορρόφησης - πύργου ψύξης.....	29

3.1.1 Ενδοδαπέδια ψύξη	29
3.1.2 Πύργος Ψύξης.....	30
3.1.3 Ψύκτης απορρόφησης.....	31
3.1.4 HVAC Σύστημα	34
3.2 Συλλέκτες γραμμικής συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας	37
3.2.1 Βασικές πληροφορίες	37
3.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ PARABOLIC TROUGH	38
3.2.3 Συστήματα γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel.....	38
3.2.4 Μαθηματικό μοντέλο γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel LFR1832.....	39
3.3 Μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας	44
4.ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	47
4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης και κόστος ενέργειας	47
4.1.1 θερμική ζώνη 17.....	53
4.1.2 θερμική Ζώνη 22.....	56
4.1.3 θερμική Ζώνη 32.....	59
4.1.4 Συμπέρασμα.....	61
4.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel.....	62
5.Βελτιστοποίηση με χρήση απόκρισης ζήτησης	66
5.1 Κόστος συστήματος.....	66
5.1.1 Κόστος συστήματος χωρίς την χρήση αποθήκευσης θερμικής ενέργειας	68
5.1.2 Κόστος συστήματος με χρήση αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.....	69
5.2 Εφαρμογή Απόκρισης ζήτησης.....	71
6.Συμπεράσματα	78
Βιβλιογραφία	80

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στην εφαρμογή Openstudio, πάνω στο μοντέλο του κτιρίου Arca (κτίριο που βρίσκεται στο Παλέρμο της Ιταλίας), η ενδοδαπέδια ψύξη. Το σύστημα αποτελείται από δύο βρόχους, στο πρώτο υπάρχει ο ψύκτης απορρόφησης – πύργος ψύξης και στον δεύτερο ο ψύκτης απορρόφησης – ενδοδαπέδια ψύξη. Οι δύο βρόχοι ελέγχονται από ρυθμιστές, στον πρώτο το νερό πρέπει να έχει την θερμοκρασία περιβάλλοντος ενώ στο δεύτερο η θερμοκρασία πρέπει να είναι 6.7 °C. Το σύστημα της ενδοδαπέδιας ψύξης ενεργοποιείται 8.00 – 21.00 και εάν η μέση θερμοκρασία της θερμικής ζώνης ξεπεράσει τους 24 °C. Στην παρούσα εργασία υλοποιήθηκε μόνο φυσικός εξαερισμός. Στην συνέχεια έγινε προσομοίωση στο εργαλείο Matlab, το μαθηματικό μοντέλο με το οποίο υπολογίζεται η παραγωγή θερμικής ενέργειας ενός γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel.

Έπειτα αναλύθηκαν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του κτιρίου στο χρονικό διάστημα 18 – 20 Ιουλίου. Πιο συγκεκριμένα τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται ο ψύκτης απορρόφησης και την ψύξη που προσφέρει στο κτίριο. Στην συνέχεια αναλύθηκε η μέση θερμοκρασία, η υγρασία και η ψύξη που προσφέρει το σύστημα (ενδοδαπέδια ψύξη) σε τρεις θερμικές ζώνες οι οποίες είναι αντιπροσωπευτικές του κτιρίου.

Κατόπιν διαστασιολογήθηκε η αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε συνδυασμό με την παραγωγή θερμικής ενέργειας του γραμμικού ανακλαστήρα και υλοποιήθηκαν δύο σενάρια κόστους. Στο πρώτο τι κόστος σε ηλεκτρική ενέργεια έχει το HVAC (heating, ventilation and air conditioning) σύστημα εάν δεν χρησιμοποιηθεί η αποθήκευση θερμικής ενέργειας και στο δεύτερο εάν χρησιμοποιηθεί. Τέλος εφαρμόστηκε η απόκριση ζήτησης (η τεχνική μετατόπισης φορτίου) πάνω σε ένα νέο δυναμικό τρόπο υπολογισμού του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.

1.ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.1 Συστήματα απόκρισης ζήτησης

Σύμφωνα με έρευνες η απόκριση ζήτησης (Demand Response) είναι ένα μία προσχεδιασμένη στρατηγική η οποία μειώνει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τον Aghaei e.t το <<DMS (distribution management system) βελτιστοποιεί τις ροές ισχύος στο δίκτυο, ρυθμίζει τα προφίλ της τάσης, δρα στις ροές αντίδρασης (reactive flows), συνδέει μετατροπείς σε υποσταθμούς, ελαχιστοποιεί τις απώλειες ενέργειας, αναδιαμορφώνει το δίκτυο, εκμεταλλεύεται τις συσκευές αποθήκευσης και τα ανταποκρινόμενα φορτία σε ένα ολοκληρωμένο τρόπο. Σύμφωνα με έρευνες η απόκριση ζήτηση κάνει διαχείριση σε τρεις τομείς>> [1].

- Οικονομική: Γίνεται μείωση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης γίνεται αλλαγή των τιμών ενέργειας με την χρήση έξυπνων μετρητών.
- Με γνώμονα το περιβάλλον: Είναι γνωστό ότι υπάρχουν τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μη φιλικόι προς το περιβάλλον, έτσι με την μείωση του φορτίου υπάρχει μείωση ρύπων στο περιβάλλον.
- Δίκτυο: Διατήρηση της αξιοπιστίας του συστήματος που επιτυγχάνεται με την μείωση της κατανάλωσης .

Στην συνέχεια υπάρχουν οργανισμοί που έχουν διαφορετικό ορισμό για την απόκριση ζήτησης. Σύμφωνα με τον Aghaei e.t ο FERC (FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION, είναι ο ομοσπονδιακός οργανισμός των Ηνωμένων Πολιτειών που ρυθμίζει τη μεταφορά και τη χονδρική πώληση ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου στο διακρατικό εμπόριο και ρυθμίζει τη μεταφορά πετρελαίου μέσω αγωγού στο διακρατικό εμπόριο. Ο FERC εξετάζει επίσης προτάσεις για την κατασκευή διακρατικών αγωγών φυσικού αερίου, έργων αποθήκευσης φυσικού αερίου και τερματικών σταθμών υδροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), πέραν της μη ομοσπονδιακών έργων υδροηλεκτρικής ενέργειας) <<υποστηρίζει ότι η απόκριση ζήτησης είναι η ικανότητα των πελατών να ανταποκρίνονται είτε στην αξιοπιστία ή την τιμή από τον φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου τους, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας. Η απόκριση ζήτησης περιλαμβάνει την παροχή κινήτρων εκτός από τις δράσεις αποκοπής αιχμής>> [1].

Εν τω μεταξύ, σύμφωνα με τον Aghaei e.t οι σκανδιναβικές αγορές ηλεκτρικής Ενέργειας (NORDEL) <<χρησιμοποιούν την απόκριση ζήτησης για να αναφερθούν σε μια προαιρετική προσωρινή προσαρμογή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ως απάντηση σε μια τιμή ή με βάση την αξιοπιστία. Η απόκριση ζήτησης μπορεί να εφαρμοστεί σε σύντομο χρονικό διάστημα ή μεσοπρόθεσμα. Η ανταποκρινόμενη ζήτηση, ωστόσο, αναφέρεται σε εκείνες τις αλλαγές που εφαρμόζονται από τους καταναλωτές στο αναμενόμενο φορτίο τους ως απάντηση στην τιμή της ενέργειας για τη βελτίωση της οικονομικής αποδοτικότητας της ενέργειας τους. Ο μηχανισμός μειώνει το ενεργειακό φορτίο όταν σε πραγματικό χρόνο είναι υψηλό και αντίστροφα>> [1].

Τέλος σύμφωνα με τις έρευνες που έγιναν ο Aghaei e.t ορίζει σαν απόκριση ζήτησης <<Μεταβολές στην ηλεκτρική χρήση από πλευράς ζήτησης ,αλλαγές στις συνήθειες κατανάλωσής πόρων ως απάντηση στις αλλαγές στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας ή οι πληρωμές κινήτρων που έχουν σχεδιαστεί για να προκαλούν χαμηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους υψηλής χονδρικής πώλησης ή όταν τίθεται σε κίνδυνο η αξιοπιστία του συστήματος>> [1].

1.2 Όφελος και κόστος απόκρισης ζήτησης

Οι υλοποιήσεις της απόκρισης ζήτησης φανέρωσαν τα οφέλη και τα κόστη που παρέχει. Σύμφωνα με έρευνες τα οφέλη της απόκρισης ζήτησης αξιολογούνται σε επτά κατηγορίες όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-1: Οικονομική, τιμολόγηση, διαχείριση κινδύνου και αξιοπιστία, αποδοτικότητα στην αγορά, χαμηλότερο κόστος ηλεκτρικού συστήματος και υπηρεσιών, υπηρεσίες πελατών και τα περιβαλλοντικά οφέλη. Τα οικονομικά οφέλη μπορούν να ταξινομηθούν μεταξύ των σημαντικότερων πλεονεκτημάτων [1].

Με την απόκριση ζήτησης οι πελάτες δεν είναι υποχρεωμένοι να ελαττώσουν την κατανάλωση ρεύματος για να έχουν μειωμένο κόστος. Μετακινώντας φορτία από τις ώρες αιχμής οι πελάτες έχουν εκπτώσεις . Τέλος για τους πελάτες που μειώνουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο πέρασμα του χρόνου έχουν περαιτέρω εκπτώσεις [1].



Σχήμα 1-1 Οφέλη απόκρισης ζήτησης [1]

Όσον αφορά τα κόστη, οι συμμετέχοντες στην απόκριση ζήτησης πρέπει να αποκτήσουν όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό. Έπειτα υπάρχουν τα έξοδα για την λειτουργία και συντήρηση του συγκεκριμένου εξοπλισμού τα οποία είναι συνεχόμενα. Τέλος υπάρχουν τα κόστη από την πλευρά ελέγχου η οποία κάνει μετρήσεις επεξεργάζεται, αποθηκεύει και μεταφέρει πληροφορίες συνεχώς. Οι πληροφορίες έχουν σχέση με την κατανάλωση και την προμήθεια ενέργειας, τα συγκεκριμένα κόστη είναι και τα αρχικά κόστη της απόκρισης ζήτησης [1].

Αναλυτικότερα τα κόστη φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1-2 Κόστη απόκρισης ζήτησης [1]

1.3 Απόκριση ζήτησης στις Η.Π.Α και στην Ευρώπη

1.3.1 Η.Π.Α

Σύμφωνα με έρευνες που έγιναν από τον FERC οι περισσότεροι πελάτες στις ΗΠΑ επιλέγουν προγράμματα από επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας (IOU, investor – owned utility, επιχειρήσεις που προσφέρουν υπηρεσίες). Αμέσως μετά είναι τα προγράμματα άμεσου ελέγχου και διακοπής [1].

Το 2010 έγινε μία μεγάλη μείωση φορτίου κατά την διάρκεια της ώρας αιχμής το οποίο οφείλεται στην εφαρμογή της απόκρισης ζήτησης από τον διαχειριστή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας [1].

Σύμφωνα με έρευνες, τα προγράμματα της απόκρισης ζήτησης αντιπροσωπεύουν το 79 % της συνολικής μείωσης φορτίου κατά την διάρκεια αιχμής στις ΗΠΑ. Καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι στις ΗΠΑ υπάρχει μία μεγάλη αγορά, με πολλές επιλογές αλλά για να μειωθεί το φορτίο την ώρα αιχμής χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντα προγράμματα απόκρισης ζήτησης [1].

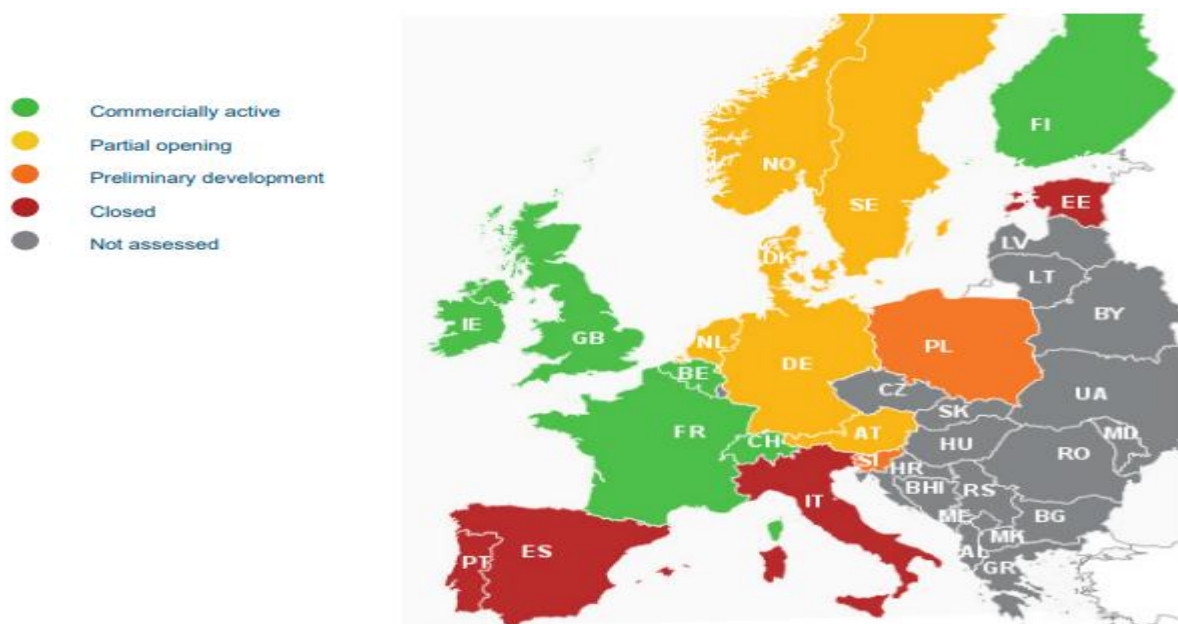
1.3.2 Ευρώπη

Σύμφωνα με την smartEn (Σύνδεσμος που αποσκοπεί σε ψηφιακές και αποκεντρωμένες ενεργειακές λύσεις στην Ευρώπη) κατά το έτος 2017 υπάρχει μία πρόοδος στην εφαρμογή της απόκρισης ζήτησης και σταδιακά ανοίγουν οι αγορές ενέργειας. Στην Ευρώπη υπάρχει εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και με την απόκριση ζήτησης είναι δυνατόν να μειωθούν περαιτέρω οι εκπομπές άνθρακα [2].

Αναλυτικότερα υπάρχουν χώρες όπως η Βρετανία, η Ιρλανδία και το Βέλγιο στις οποίες εφαρμόζεται η απόκριση ζήτησης. Παράλληλα υπάρχουν αρκετές χώρες στις οποίες δεν εφαρμόζεται η απόκριση ζήτησης ενώ σε άλλες δεν έχει αξιολογηθεί ακόμα [2].

Τέλος οι καταναλωτές δεν έχουν ελεύθερη πρόσβαση στους παρόχους της απόκρισης ζήτησης και πρέπει να γίνει άνοιγμα της χονδρικής αγοράς με μεγαλύτερο ρυθμό [2].

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ο χάρτης ανάπτυξης της απόκρισης ζήτησης στην Ευρώπη [2].



Σχήμα 1-3 Χάρτης ανάπτυξης απόκρισης ζήτησης στην Ευρώπη

1.3.3 Ιταλία

Στην Ιταλία υπάρχουν προγράμματα διακοπής φορτίου στα οποία η συνολική συμμετοχή είναι 4 GW. Η ελάχιστη συμμετοχή είναι 1 MW ενώ παρόλο που ενεργοποιούνται ακαριαία, σπανίως χρησιμοποιούνται. Στην συνέχεια στην Ιταλία υπάρχει πρόσβαση στις τιμές ημέρας (day - ahead) [3].

Κατόπιν η εταιρεία Enel (εταιρεία που δραστηριοποιείται στους τομείς παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ιταλία και η οποία είναι πάροχος στο κτίριο Arca, έχει προμηθεύσει όλους τους πελάτες της με έξυπνους μετρητές[4]. Παρόλα αυτά η απόκριση ζήτησης δεν είναι ενεργοποιημένη στην Ιταλία. Για την μείωση φορτίου χρησιμοποιείται αέριο και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [4].

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα προϊόντα ή τα υποπροϊόντα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας [3].

Ορολογία ENTSO - E	Ορολογία TERNA	Market Size	Load Access & Practicipation	Aggregated Load Accepted
FCR	Primary frequency control	1,5 % of total installed power	X	X
FRR	Secondary frequency control	4,77 TWh	X	X
RR	Tertiary Reserve	8,99 TWh	X	X
	Interruptible (Mainland) fast	3.300 MW	3.300 MW	X
	Interruptible (Island) fast	389 MW Sicily 372 MW Sardinia	389 MW Sicily 372 MW Sardinia	X
	Capacity Market	Not yet defined	?	Not yet defined

Σχήμα 1-4 Προϊόντα ηλεκτρικής ενέργειας

1.4 Έξυπνοι Μετρητές

Ένας έξυπνος μετρητής είναι μια ηλεκτρονική συσκευή η οποία καταγράφει και αποθηκεύει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, αερίου ή νερού σε διαστήματα της μίας ώρας συνήθως. Οι συγκεκριμένες τιμές στέλνονται στον προμηθευτή για κάνει τιμολόγηση [4].

Οι έξυπνοι μετρητές διαφέρουν από τις αυτόματες συσκευές διότι διαθέτουν αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ αυτών και του κέντρου ελέγχου. Έτσι οι προμηθευτές έχουν δυνατότητα να κάνουν τιμολόγηση ανάλογα την ώρα και την σεζόν πράγμα που δεν ήταν δυνατό παλαιότερα [4].

Οι έξυπνοι μετρητές έχουν διάφορους τρόπους με τους οποίους συνδέονται στο δίκτυο. Για μικρή κατανάλωση υπάρχουν το LORA και ZigBee ενώ μπορεί να συνδεθεί επίσης με κυψελοειδής επικοινωνίες, Wi – Fi, Wi – Sun κ.α [4].

Πιο συγκεκριμένα στην Ιταλία έγινε μεγάλη ανάπτυξη του έξυπνου μετρητή από την εταιρεία Enel. Η Enel προμήθευσε με έξυπνους μετρητές όλους τους πελάτες της μεταξύ των ετών 2000 και 2005. Οι συγκεκριμένες συσκευές έχουν ένα ευρύ φάσμα από δυνατότητες δίνοντας έτσι πολλές επιλογές στους πελάτες [4].



Σχήμα 1-5 Έξυπνος μετρητής βασισμένος σε open smart grid protocol

Σύμφωνα με την ESMIG η οποία παρέχει ενεργειακές λύσεις, ένας έξυπνος μετρητής έχει πολλά πλεονεκτήματα [5]:

Σε καταναλωτές

Οι καταναλωτές μπορούν να ενημερώνονται εξ αποστάσεως ή τοπικά (δεδομένα σε πραγματικό χρόνο) σχετικά με:

- Το ενεργειακό κόστος και σχετικά δεδομένα για τις εκπομπές άνθρακα
- Την κατανάλωση ενέργειας των οικιακών συσκευών αερίου, ηλεκτρικού και νερού μπορεί να εμφανιστεί στη συσκευή ή στις οθόνες
- Μπορούν να προστεθούν λειτουργίες πολλαπλών τιμολογίων για να επιτρέψουν τεχνικές απόκρισης ζήτησης
- Επιτρέπεται η αυτόματη ρύθμιση των ηλεκτρικών συσκευών ή
- Επιτρέποντας στον καταναλωτή να μειώσει το κόστος αυξάνοντας την κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια φθηνότερων δασμολογικών περιόδων εκτός αιχμής.

Εταιρείες

- Η μείωση του "κόστους εξυπηρέτησης"
- Ανοιχτές πύλες για την παροχή ενεργειακών υπηρεσιών
- Βοήθεια για την ανάπτυξη των ελευθερωμένων αγορών ενέργειας
- Βοήθεια για την προστασία των εσόδων
- Παρακολούθηση της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Υποστήριξη τεχνικών απόκρισης ζήτησης
- Αποτελεσματικότερη διαχείριση του δικτύου
- Ένα νέο κανάλι επικοινωνίας με τους πελάτες.

Για Εθνικές Κυβερνήσεις

- Αποδεικνύει ότι είναι το εργαλείο που προσελκύει τους καταναλωτές να διαχειρίζονται καλύτερα την κατανάλωσή τους
- Έχει την δυνατότητα να αποτελέσει βασικό όπλο στον αγώνα για την αλλαγή του κλίματος

- Να βοηθήσουν τις κυβερνήσεις να εφαρμόσουν την απελευθέρωση των αγορών ενέργειας
- Επιτρέπουν την πλήρη υλοποίηση της οδηγίας για τις ενεργειακές υπηρεσίες

Ένας έξυπνος μετρητής έχει όμως και μειονεκτήματα [5]:

Για τις εταιρείες που τις παρέχουν:

- Μετάβαση στη νέα τεχνολογία και διαδικασίες
- Διαχείριση της αντίδρασης του κοινού και αποδοχή των νέων μετρητών από τους πελάτες
- Η μακροπρόθεσμη οικονομική δέσμευση για τη νέα τεχνολογία μετρήσεων και το σχετικό λογισμικό
- Διαχείριση και αποθήκευση τεράστιων ποσοτήτων μετρητικών δεδομένων
- Εξασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων μέτρησης

Για τους καταναλωτές :

- Βεβαίωση ότι ο νέος μετρητής είναι ακριβής
- Προστασία της ιδιωτικής ζωής των προσωπικών τους δεδομένων
- Πληρωμή επιπλέον χρεώσεων για το νέο μετρητή

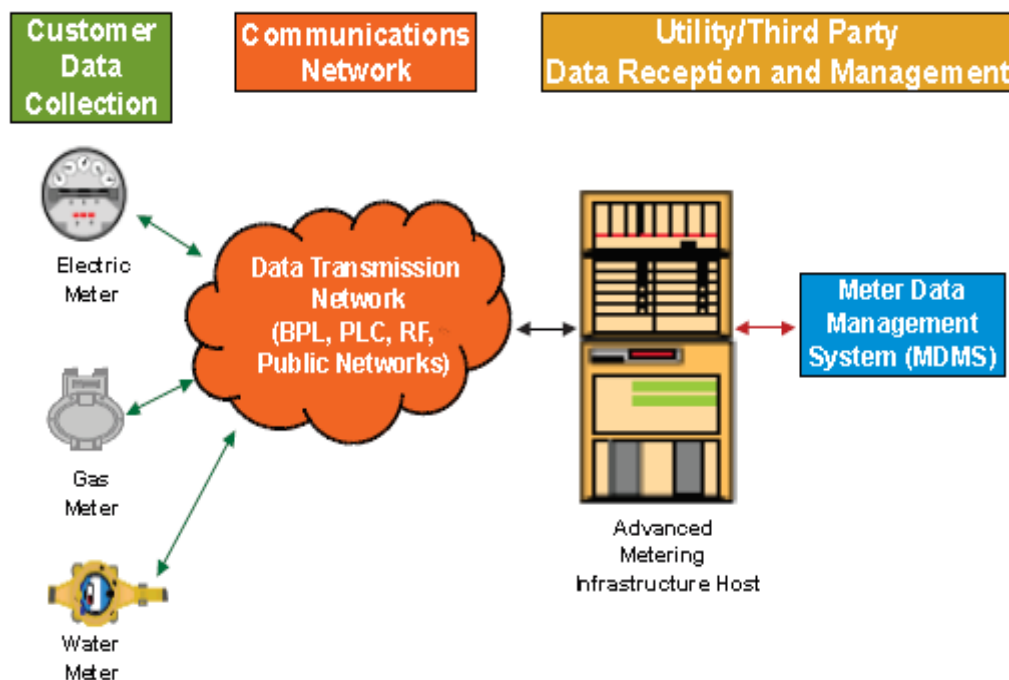
1.5 Προηγμένη μετρητική υποδομή

Η προηγμένη μετρητική υποδομή (AMI) αποτελείται από υλικό (hardware), λογισμικό (software) και πάση φύσεως μετρητές. Έτσι έχει την ικανότητα να συλλέγει, αποθηκεύει και διαχειρίζεται τα δεδομένα από τις μετρήσεις. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις πραγματοποιούνται από έξυπνους μετρητές δηλαδή, υπάρχει αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των συσκευών μέτρησης και της υποδομής αυτό είναι το βασικό πλεονέκτημα και η διαφορά από την παραδοσιακή αυτόματα μέτρηση [6].

Η προηγμένη μετρητική υποδομή προσφέρει ακρίβεια στις μετρήσεις και βοηθά στην εύρεση κλοπής ενέργειας. Επίσης επειδή έχει αμφίδρομη επικοινωνία με τους μετρητές, βοηθά με την εφαρμογή της απόκρισης ζήτησης. Αναλυτικότερα, οι μετρήσεις γίνονται σε πραγματικό χρόνο και η προηγμένη υποδομή έχει την ικανότητα να στέλνει εντολές στο σπίτι και να ενημερώνει

τους πελάτες τις χρεώσεις ανά ώρα και να προτείνει ενέργειες με βάση την απόκριση ζήτησης [6].

Όπως προαναφέρθηκε η προηγμένη μετρητική υποδομή αποτελείται από πολλούς μετρητές (μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας, αερίου νερού κ.α), επίσης πρέπει να διαχειρίζεται τις μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο από πολλούς χρήστες, να στέλνει μεγάλο όγκο πληροφοριών, να δείχνει την κατάσταση της υποδομής και την κατανάλωση σε κάθε χρήστη και να παρέχει προστασία των πληροφοριών (οι τιμές κατανάλωσης μπορεί να δώσουν πληροφορίες για τον τρόπο ζωής των χρηστών). Άρα η αρχιτεκτονική του δικτύου παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα της δομής. Υπάρχουν διάφορες αρχιτεκτονικές δικτύου που εφαρμόζονται στην προηγμένη μετρητική υποδομή όπως η ZigBee, internet, δορυφορική, WiMax, Bluetooth κ.α [6].



Σχήμα 1-6 AMI Δομικά στοιχεία [7]

1.6 Συστήματα διαχείρισης ενέργειας

Ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS) αποτελείται από υλικό (hardware), λογισμικό (software) και πάσης φύσεως εργαλεία τα οποία αποσκοπούν στην ανάλυση, έλεγχο και βελτίωση της απόδοσης συστημάτων παραγωγής ή / και μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση οι χειριστές συστήματος εκπαιδεύονται μέσω προσομοιωτή (DTS) [8].

Στα συγκεκριμένα συστήματα περιλαμβάνεται ο έλεγχος διάφορων συσκευών σε κτίρια όπως ο φωτισμός, ο κλιματισμός και διάφορα άλλα φορτία. Επίσης το σύστημα ενέργειας έχει την δυνατότητα να ελέγχει τις μετρήσεις κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, νερού, αερίου και παράλληλα στέλνει ενημερώσεις στους καταναλωτές. Στην συνέχεια με την συλλογή των συγκεκριμένων στοιχείων το σύστημα διαχείρισης κάνει προβλέψεις και συνιστά μεθόδους βελτιστοποίησης. Τέλος τα συγκεκριμένα συστήματα μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα ή σε συγκρότημα από κτίρια (π.χ πανεπιστημιούπολη, νοσοκομεία, κτίρια γραφείων κ.α). Καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι είναι ιδανικά για την εφαρμογή απόκρισης ζήτησης [8].

Στην συνέχεια από τον ιστότοπο της Wikipedia τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα [9]:

Πλεονεκτήματα

- Δυνατότητα εξατομικευμένου ελέγχου χώρου
- Αυξημένη παραγωγικότητα του προσωπικού
- Αποτελεσματική παρακολούθηση και στόχευση της κατανάλωσης ενέργειας
- Βελτιωμένη αξιοπιστία και ζωή της εγκατάστασης
- Αποτελεσματική ανταπόκριση στις καταγγελίες που σχετίζονται με το HVAC
- Εξοικονόμηση χρόνου και χρημα κατά τη διάρκεια της συντήρησης.

Διαχειριστές κτιρίων

- Υψηλότερη τιμή ενοικίασης
- Ευελιξία στην αλλαγή χρήσης του κτιρίου
- Μεμονωμένες χρεώσεις ενοικιαστή για εξοικονόμηση χρόνου εξοικονομεί χρόνο

- Απομακρυσμένη παρακολούθηση των εγκαταστάσεων (όπως μονάδες AHU, πυροσβεστικές αντλίες, αντλίες υδραυλικών εγκαταστάσεων, ηλεκτρική τροφοδοσία, STP, WTP, μονάδες επεξεργασίας υγρών υδάτων κ.λπ.)
- Ευκολία συντήρησης

Εταιρείες συντήρησης

- Ευκολία διαθεσιμότητας πληροφοριών
- Ηλεκτρονικός προγραμματισμός συντήρησης
- Αποτελεσματική χρήση του προσωπικού συντήρησης
- Η έγκαιρη ανίχνευση των προβλημάτων ή η εργασία σέρβις είναι εύκολη
- Πιο ικανοποιημένοι κάτοικοι

Πρόσθετα οφέλη

- Όλα τα δεδομένα και οι εφαρμογές ελέγχονται από ένα μόνο σταθμό, έτσι υπάρχει καλύτερη απόδοση των εφαρμογών.
- Αυξημένη λειτουργική εξοικονόμηση - Η αποδοτική ανάπτυξη των πόρων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του λειτουργικού κόστους, την ενίσχυση των φορέων εκμετάλλευσης, την απλούστευση της εκπαίδευσης και τη μείωση των ψευδών συναγερμών.
- Γίνεται ανάλυση με βάση τα στοιχεία για την λειτουργία των εγκαταστάσεων, δίνοντας την δυνατότητα για βελτιστοποίηση των στρατηγικών για την μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ο συνδυασμός πρωτοκόλλων ανοιχτών συστημάτων και μια κλιμακούμενη πλατφόρμα μπορεί να οδηγήσει το σύστημα διαχείρισης στην υποστήριξη της ανάπτυξης και της επέκτασης του συστήματος στο μέλλον.
- Ο συνεχόμενος έλεγχος που γίνεται μέσω των ηλεκτρονικών συσκευών και οι λύσεις ασφάλειας συμβάλλουν στην απόκριση και περιορίζουν τους κινδύνους.
- Οι αναφορές από τους έξυπνους μετρητές δημιουργούν ένα ιστορικό που παρέχει διαφάνεια.

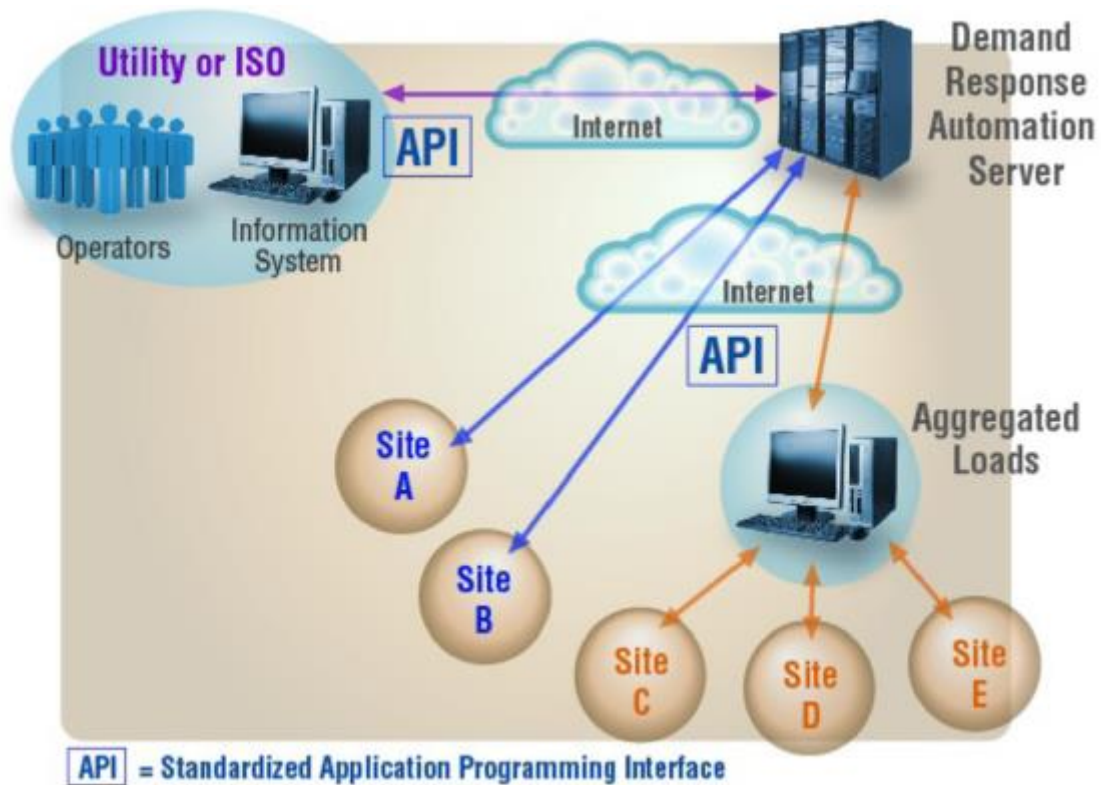
1.7 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Η απόκριση ζήτησης όπως έχει προαναφερθεί είναι μία στρατηγική η οποία εφαρμόζεται για την μείωση κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. Για να γίνει όμως αυτό θα πρέπει η απόκριση ζήτησης να ελέγχει τα φορτία του κτιρίου (φωτισμός, HVAC σύστημα κ.α). Αυτό με την σειρά του επιφέρει διάφορα προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα η θερμική άνεση στις δουλειές γραφείου επηρεάζει την αποδοτικότητα των εργαζομένων, εάν υπάρξει αλλαγή φορτίου αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ένα εργασιακό χώρο στον οποίο οι εργαζόμενοι να μην μπορούν να εργασθούν αποδοτικά. Στην συνέχεια μπορούν να υπάρχουν προβλήματα με το πώς λειτουργεί το κτίριο. Αναλυτικότερα, υπάρχει πιθανότητα πολλοί ενεργοποιητές και αισθητήρες να μην χρησιμοποιούνται ή να μην λειτουργούν. Τέλος, η απόκριση ζήτησης μερικές φορές μπορεί να είναι χειροκίνητη ή αυτόματη. Σε κάθε περίπτωση ο τρόπος επικοινωνίας επηρεάζει την αποδοτικότητα της απόκρισης ζήτησης [10].

1.7.1 Αυτοματοποιημένη απάντηση ζήτησης και επικοινωνίες

Στην αυτόματη απόκριση ζήτησης υπάρχει αμφίδρομη επικοινωνία. Έτσι στέλνονται οποιαδήποτε στιγμή σήματα στους πελάτες για τι κατανάλωση έχουν την συγκεκριμένη χρονική και στιγμή και εάν θέλουν να εφαρμοστεί μία νέα στρατηγική (απόκριση ζήτησης). Πιο συγκεκριμένα υπάρχει μία αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ πελάτη και προμηθευτή (ή του συστήματος διαχείρισης ενέργειας εάν υπάρχει), όλα γίνονται αυτόματα υπάρχει ελάχιστη έως μηδαμινή ανθρώπινη παρέμβαση [10].

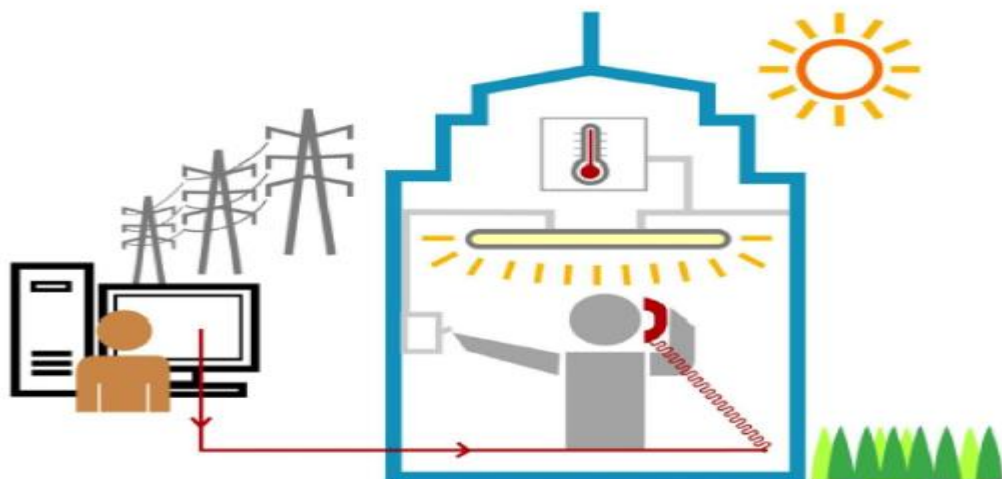
Τέλος γίνεται έλεγχος στους μετρητές του κτιρίου για να διαπιστωθεί ένα εφαρμόστηκε με επιτυχία η απόκριση ζήτησης. Η επικοινωνία γίνεται μέσω του internet και στην τοποθεσία του πελάτη υπάρχει είτε υλικό (hardware) είτε λογισμικό [10].



Σχήμα 1-7 Αυτόματη απόκριση ζήτησης [10]

1.7.2 Χειροκίνητη απόκριση ζήτησης και επικοινωνίες

Όσον αφορά τις επιχειρήσεις (εμπορίου και βιομηχανίες) η εφαρμογή της απόκρισης ζήτησης γίνεται με χειροκίνητο τρόπο. Αναλυτικότερα, ο επικεφαλής του κτιρίου ενημερώνεται μία μέρα πριν την εφαρμογή της απόκρισης ζήτησης και αποφασίζει εάν συμμετάσχει. Η επικοινωνία γίνεται μέσω τηλεφώνου ή ηλεκτρονικού μηνύματος. Η χειροκίνητη απόκριση ζήτησης χρησιμοποιείται λίγες φορές μέσα στο χρονικό διάστημα ενός χρόνου [9].



Σχήμα 1-8 Χειροκίνητη απόκριση ζήτησης [10]

2.1.1 Κλιματισμός και εξαερισμός της εγκατάστασης

Το κτίριο Arca περιλαμβάνει την κατασκευή συστήματος κλιματισμού και μηχανικού εξαερισμού. Όλες οι εγκαταστάσεις συμμορφώνονται με τους ισχύοντες τεχνικούς κανονισμούς. Οι διάφοροι τύποι συστημάτων έχουν μελετηθεί με σκοπό την επίτευξη των καλύτερων αποδόσεων και την καλή ευελιξία σε σχέση με τις προβλεπόμενες χρήσεις διαφορετικών περιβαλλόντων στα γραφεία και προβλέπεται η εγκατάσταση του ενδοδαπέδιου εξοπλισμού.

2.1.2 Κριτήρια σχεδιασμού

Το κτίριο διαστασιολογήθηκε για να εξασφαλίσει ότι οι χώροι του κατέχουν μόνιμα τις ακόλουθες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας

- Χειμώνας $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $RH=40-50\%$
- Καλοκαίρι $T=27\text{ }^{\circ}\text{C}$, $RH=50-60\%$

Με ανοχές $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ για τη θερμοκρασία και για τη σχετική υγρασία 5%. Οι αλλαγές αέρα που επιβάλλονται σε αεριζόμενους χώρους αντιστοιχούν σε $40\text{ m}^3 / \text{hr} / \text{person}$.

Λίστα φορτίων

Σύστημα το καλοκαίρι

- Γραφεία: ευαίσθητο φορτίο (sensitive load): 27.3 kW - λανθάνον φορτίο: 5.5 kW
- Απαιτήσεις ισχύος κλιματισμού, ακαθάριστες από τις επιδόσεις και τις διασπορές επαφών: 30,0 kW
- Ισχύς που παρέχεται από ακτινοβολούντα δάπεδα ακαθάριστα από διασπορές: 13 kW
- Ισχύς παρέχεται από πηνίο ανεμιστήρα χωρίς διασπορές: 4 kW
- Αίθουσες διδασκαλίας :ευαίσθητο φορτίο σύνολο: 19.6 kW - load Latent Total: 7.9 kW
- Απαιτήσεις ισχύος UTA πριν από την απόδοση και τις διασπορές των επαφών: 25,0 kW
Παραδίδονται από πηνία ανεμιστήρα πριν από διασπορές: 11 kW
- Συνολική χωρητικότητα ψύξης στο ψύκτη: 83 kW
- Αίθουσες διδασκαλίας: 10 kW
- Συνολική απαιτούμενη ισχύς καυστήρα: 30 kW

Σύστημα το χειμώνα:

- Γραφεία: ευαίσθητο φορτίο : 22.5 kW
- Απαιτήσεις ισχύος κλιματισμού ακαθάριστες από τις επιδόσεις και τις διασπορές επαφών: 18 kW
- Ισχύς που παρέχεται από ακτινοβολούντα δάπεδα, χωρίς διασπορές: 24 kW . Ισχύς που παρέχεται από πηνίο ανεμιστήρα με διασπορές: 2,5 kW
- Αίθουσες διδασκαλίας: ευαίσθητο φορτίο σύνολο: 18 kW
- Ισχύς παραδίδεται από πηνία ανεμιστήρα πριν από διασπορές: 12,5 kW

Συνολική ισχύς που απαιτείται για την αντλία θερμότητας: 80 kW

Υπολογίζεται ότι η μέση κατανομή των χώρων είναι 10 m^2 / άτομο, υψηλότερη τιμή από αυτή που υποδεικνύεται από το UNI 10339, η ελάχιστη αλλαγή αέρα ανά άτομο είναι $40 \text{ m}^3/\text{H}$. Θεωρείται επίσης ότι κάθε άτομο έχει έναν προσωπικού υπολογιστή και λαμπτήρα γραφείου, επίσης για κάθε τρία άτομα θεωρείται ότι διαθέτουν εκτυπωτή λέιζερ και φαξ. Λαμβάνοντας επίσης υπόψη τη θερμότητα των γενικών διατάξεων φωτισμού (περίπου $10 \text{ W} / \text{m}^2$) και μεταβολική δραστηριότητα (γραφείο) για κάθε άτομο. Ως εκ τούτου το σύνολο θεωρείται ένα επιπλέον ευαίσθητο φορτίο περίπου 500 W με συντελεστή ετεροχρονισμού 85 %.

2.1.3 Κεντρικός κλιματισμός

Η παραγωγή θερμού ή κρύου νερού γίνεται από μία αντλία θερμότητας των ακόλουθων χαρακτηριστικών:

- Λειτουργία ψύξης: Κατανάλωση ισχύος: 36,9 KW, ροή νερού 14790 l / h. πτώση πίεσης: 25,4 kPa
- Λειτουργία Θέρμανσης: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας: 42,5 KW, Ροή νερού 17370 l / h, διαφορά πίεσης: 32,2 kPa

2.1.4 Εξαερισμός κτιρίου

Το σύστημα εξαερισμού του κτιρίου Arca περιέχει θέρμανση και ψύξη, τα χαρακτηριστικά του συστήματος είναι τα ακόλουθα

Ψύξη

- Ροή αέρα 3500 m³ / h. $V = 2,57 \text{ m/s}$.
- Θερμική ισχύ 29,49 kW
- Υγρό 7,0 / 12,0 ° C. 5072 l / h. DPW = 16 kPa.

Θέρμανση

- Ροή αέρα 3500 m³ / h. $V = 2,57 \text{ m/s}$.
- Υγρό 45,0 / 140,0 ° C. 2580 l / h. DPW = 18 kPa

2.1.5 Σύστημα ελέγχου

Το κεντρικό σύστημα ελέγχου χωρίζεται στον ακόλουθο εξοπλισμό:

- Ρυθμιζόμενες μονάδες ελέγχου για τον έλεγχο των ενεργοποιητών
- Αισθητήρες για την απόκτηση πληροφοριών (θερμοκρασία περιβάλλοντος, εξωτερική θερμοκρασία, θερμοκρασία ροής, θερμοκρασία ρευστού, υγρασία κλπ.).
- Ρυθμιζόμενες βαλβίδες και διακόπτες μοτέρ
- Ενεργοποιητές για αποσβεστήρες κ.λπ.

Ειδικότερα, το σύστημα προσαρμογής αποτελείται από:

- Ψηφιακός ελεγκτής ρυθμιζόμενος για τη διαχείριση και την παρακολούθηση του συστήματος γραφείου- που αποτελείται από το σύστημα της ενδοδαπέδιας εγκατάστασης και τον κλιματισμό - για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας περιβάλλοντος.
- Εξοπλισμός ανίχνευσης κάθε κλιματισμού και ειδικότερα: έναν αισθητήρα θερμοκρασίας και ένα υγρασίας περιβάλλοντος, έναν αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασία από τους διαύλους διαφορικής πίεσης τριών καναλιών με kit τοποθέτησης, δύο ενεργοποιητές για αποσβεστήρες, θερμοστάτη προστασίας από παγετό και δύο βαλβίδες σε τρεις πλήρεις διαδρομές DN40 και DN25

- Συσκευή ελέγχου θερμοκρασίας στα κυκλώματα των ακτινοβόλων πλαισίων και των πηνίων ανεμιστήρων με αισθητήρες θερμοκρασίας νερού, ανιχνευτές συμπύκνωσης για την ενδοδαπέδια θέρμανση.

Η μονάδα ελέγχου της θερμοκρασίας και της υγρασίας με έλεγχο δύο μπαταριών, τριών αποσβεστήρων και ενός υγραντήρα για κάθε κλιματιστικό συμπεριλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργικές λειτουργίες

- Χρονοδιαγράμματα, καθημερινά και εβδομαδιαία.
- Εξοικονόμηση ενέργειας (ελεύθερη ψύξη, σύγκριση ενθαλπίας).
- Λειτουργίες συναγερμού μέσω του περιβάλλοντος χρήστη.
- Απόκτηση και τροποποίηση όλων των δεδομένων από το πεδίο. ή διαγνωστικών λειτουργιών

Για την ενδοδαπέδια εγκατάσταση, η αρχική ρύθμιση πραγματοποιείται μέσω τριφασικής βαλβίδας.

2.2 Τεχνολογίες Παλέρμου

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται οι τεχνολογίες που υπάρχουν στην περιοχή του Παλέρμου. Ένας ψύκτης απορρόφησης (absorption chiller) ενσωματώνεται στο ηλιακό πεδίο για να εξυπηρετεί τα ψυκτικά φορτία των γραφείων κατά τη θερινή περίοδο. Το κοινοτικό και ηλιακό πεδίο της IDEA είναι εξοπλισμένο με ψυκτικό απορροφητήρα διπλής ισχύος Li / Br με θερμική ισχύ 23 kW και συντελεστή απόδοσης περίπου 1.1. Στο ψυκτικό συγκρότημα το κινούμενο υγρό θερμαίνεται στους 195 ° C και η θερμοκρασία εξόδου είναι 165 °C. Είναι ενσωματωμένο με έναν πύργο ψύξης, ο οποίος διατηρεί το ψυχρό νερό από 7 - 12 °C

Επίσης στην περιοχή έχει ενσωματωθεί ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας linear Fresnel reflector (LFR). Στην συνέχεια υπάρχει μία δεξαμενή απομόνωσης για την βραχυπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας. Όταν το θερμανθέν υγρό εξέρχεται από τον σωλήνα απορρόφησης, το ρευστό μεταφοράς θερμότητας εισέρχεται σε βραχυπρόθεσμη αποθήκευση ρυθμιστικού διαλύματος 800 λίτρων. Αυτή η πρώτη προσωρινή αποθήκευση ενέργειας χρησιμεύει για τη σταθεροποίηση των διαδικασιών μεταφοράς ενέργειας εντός του γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel.



Σχήμα 2-2 Γραμμικός ανακλαστήρας Fresnel στην περιοχή του κτιρίου Arca

Η ενσωμάτωση μιας χωρητικότητας αποθήκευσης απλοποιεί τον έλεγχο της μονάδας παραγωγής ενέργειας και επιτρέπει έναν εκτεταμένο χρόνο αντίδρασης για συστήματα ασφαλείας, τα οποία αποσκοπούν στην αντιστάθμιση μεγαλύτερων περιόδων μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας.

Η βραχυπρόθεσμη αποθήκευση είναι σημαντική για την απόσβεση των διακυμάνσεων στην ισχύ εξόδου που σχετίζονται με βραχυπρόθεσμες διαταραχές, όπως σύννεφα που περνούν. Ο βραχυπρόθεσμος μηχανισμός θερμικής αποθήκευσης χρησιμοποιεί ένα δοχείο υπό πίεση και ένα απλό, φθινό μέσο αποθήκευσης. Η αποθήκευση περιορίζεται σε μικρές χωρητικότητες χρονικής διάρκειας μερικών ωρών. Επιπλέον υπάρχει θερμόκλειστη αποθήκευση τετηγμένων αλάτων. Το θερμανθέν έλαιο από τον σωλήνα υποδοχής, αφού εξέρχεται από την πρώτη βραχυπρόθεσμη αποθήκευση, εκτρέπεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας για τη θέρμανση ενός υγρού αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (TES), τυπικά ενός μίγματος τετηγμένου αλατιού (MS). Τα συστήματα MS-TES γενικά κατασκευάζονται με δύο χωριστές δεξαμενές (ψυχρή δεξαμενή στους 290 °C και θερμή δεξαμενή στους 380 °C όταν χρησιμοποιείται έλαιο ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας).

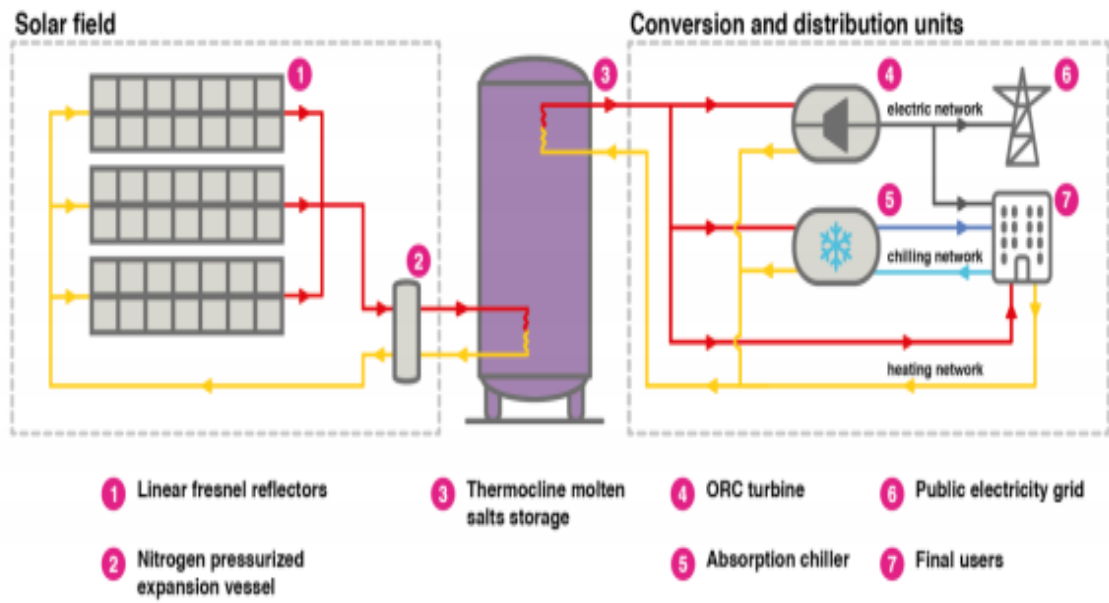


Σχήμα 2-3 Αποθήκευση ενέργειας στην κοινότητα Arca

Τέλος υπάρχει μία οργανική γεννήτρια Rankine. Η γεννήτρια κύκλων Rankine που είναι εγκατεστημένη στην κοινότητα του κτιρίου ARCA στο Παλέρμο έχει καθαρή ηλεκτρική ισχύ 10 kW. Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας περνάει τη θερμική του ενέργεια στους υδρατμούς υγρού υψηλής θερμοκρασίας στον εξατμιστή. Οι υδρατμοί υψηλής θερμοκρασίας εισέρχονται στον στρόβιλο και δημιουργούν μηχανικές εργασίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ατμός εξατμίσης του στρόβιλου συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή και αντλείται ξανά στον εξατμιστή για ανακύκλωση. Η γεννήτρια ORC χρησιμοποιεί ένα βαρύ ρευστό R245fa που επιτρέπει την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου έως τους 210 °C και τη θερμοκρασία λαδιού εξόδου στους 165 °C. Ένας εξωτερικός πύργος ψύξης των 90 kWth (Kilowatt Thermal) συνδέεται για να απορρίψει την απορριπτόμενη θερμότητα.



Σχήμα 2-4 Οργανική γεννήτρια και πύργος ψύξης στην κοινότητα του κτιρίου Arca



Σχήμα 2-5 Διάταξη στην κοινότητα του κτιρίου Arca

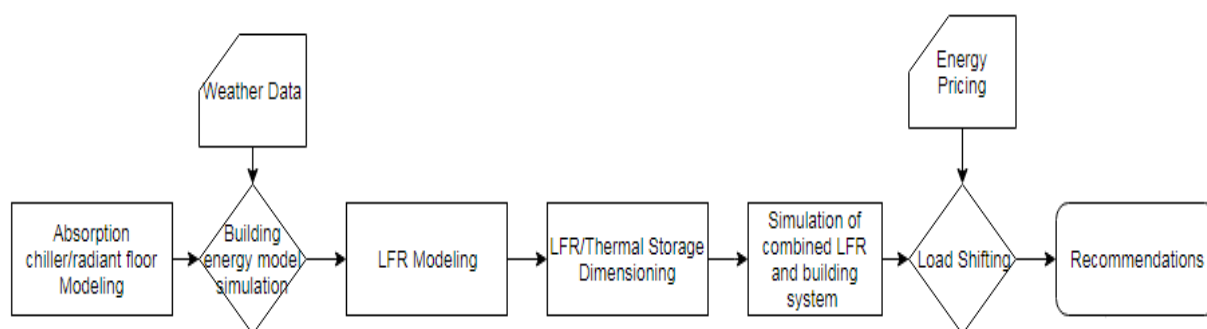
3.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΑΝ

Στην παρούσα εργασία αρχικά μοντελοποιήθηκε, στην εφαρμογή Openstudio πάνω στο μοντέλο του κτιρίου Arca, το σύστημα ψύκτη απορρόφησης – ενδοδαπέδιας εγκατάστασης. Έπειτα χρησιμοποιώντας τα στοιχεία καιρού, για την περιοχή του Παλέρμου, έγινε μια προσομοίωση που δείχνει τις ενεργειακές ανάγκες του ψύκτη απορρόφησης καθώς και τις συνθήκες μέσης θερμοκρασίας και υγρασίας για τις θερμικές ζώνες του κτιρίου.

Στην συνέχεια έγινε μοντελοποίηση του γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel στην εφαρμογή Matlab. Κατόπιν έγινε παραμετροποίηση του γραμμικού ανακλαστήρα και της αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Έπειτα έγιναν σενάρια κόστους χρησιμοποιώντας την προσομοίωση του κτιρίου και του γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel με την χρήση ή χωρίς της αποθήκευσης ενέργειας

Τέλος εισάγοντας ένα δυναμικό τρόπο κοστολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιώντας την αποθήκευση θερμικής ενέργειας εφαρμόστηκε η τεχνική μετατόπισης φορτίου.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται το μοντέλο που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία



Σχήμα 3-1 Διάγραμμα ροής μοντέλου που αναπτύχθηκε

3.1 Σύστημα ενδοδαπέδιας εγκατάστασης με χρήση τεχνολογίας ψύκτης απορρόφησης -πύργου ψύξης

3.1.1 Ενδοδαπέδια ψύξη

Στην παρούσα εργασία υλοποιήθηκε το σύστημα ενδοδαπέδιας ψύξης (radiant floor) το οποίο επιτυγχάνει τον έλεγχο της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου για θερμική άνεση με χρήση αγωγιμότητας, ακτινοβολίας και μεταφοράς. Κρύο νερό διαρρέει τις σωληνώσεις οι οποίες βρίσκονται στο δάπεδο της θερμικής ζώνης. Από τα αρχαία χρόνια χρησιμοποιείται για την θέρμανση και ψύξη των κτιρίων, το συγκεκριμένο σύστημα επιτυγχάνει περισσότερο από το 50% της ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του δαπέδου και του υπόλοιπου χώρου, επειδή η θερμική άνεση στο χώρο επιτυγχάνεται με την χρήση της ακτινοβολίας [11].



Σχήμα 3-2 Οι σωλήνες ενδοδαπέδιας εγκατάστασης, προτού καλυφθούν από την επίστρωση[11]

Από έρευνα που πραγματοποίησε το Εθνικό Εργαστήριο Lawrence Berkeley, τα συστήματα ακτινοβολούμενης ψύξης προσφέρουν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Η συγκεκριμένη εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται από το συγκεκριμένο σύστημα εξαρτάτε από πολλούς παράγοντες. Αρχικά ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι το κλίμα. Αυτό συμβαίνει επειδή στα ξερά κλίματα υπάρχει μεγαλύτερη αφαίρεση ευαίσθητης θερμότητας (sensible heat). Στην συνέχεια ένας επιπλέον παράγοντας που επηρεάζει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αντλία νερού [12].

Σύμφωνα με έρευνες η ψύξη με ακτινοβολία έχει χαμηλότερο κόστος και κόστος ζωής σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα. Τα χαμηλότερα έξοδα οφείλονται στο κόστος της συντήρησης και στην δομή του συστήματος. Λόγω των δυνατοτήτων σχηματισμού συμπυκνωμάτων στην ψυχρή ακτινοβολία επιφάνεια (που προκαλεί ζημιά στο νερό, μούχλα), τα συστήματα ψύξης ακτινοβολίας δεν έχουν εφαρμοστεί ευρέως, αυτό είναι και το βασικό τους μειονέκτημα. Η συμπύκνωση που προκαλείται από την υγρασία αποτελεί έναν περιοριστικό παράγοντα για την ικανότητα ψύξης ενός ακτινοβόλου συστήματος ψύξης πράγμα που θα αναλυθεί στην παρούσα εργασία [12].

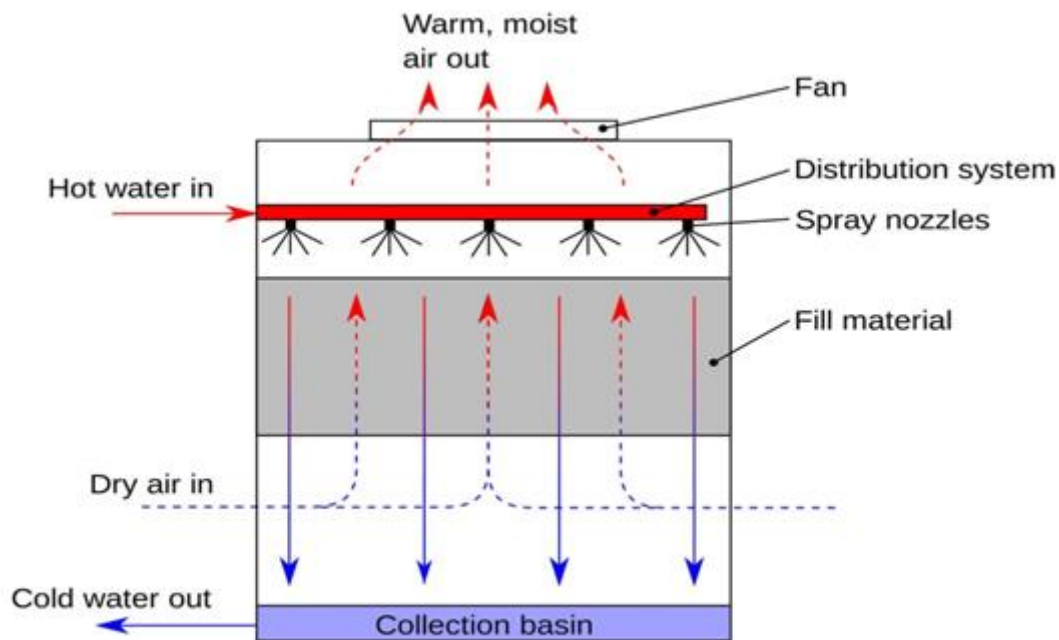
Η θερμοκρασία επιφάνειας δεν πρέπει να είναι ίση ή χαμηλότερη από τη θερμοκρασία σημείου δρόσου στο χώρο. Η χρήση ενός πρόσθετου συστήματος, όπως ένας αφυγραντήρας ή ενός κλιματιστικού μπορεί να περιορίσει την υγρασία και να επιτρέψει αυξημένη ικανότητα ψύξης. Για την παροχή ψύξης στην ενδοδαπέδια ψύξη χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία ψύκτη απορρόφησης - πύργου ψύξης (absorption chiller-cooling Tower) [12].

3.1.2 Πύργος Ψύξης

Οι πύργοι ψύξης είναι μία συσκευή η οποία απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον. Αναλυτικότερα στο πύργο ψύξης εισέρχεται ζεστό νερό από τον βιομηχανικό εξοπλισμό, το νερό έρχεται σε επαφή με τον αέρα απορρίπτοντας θερμότητα και έτσι το κρύο γυρνάει πίσω στον βιομηχανικό εξοπλισμό. Οι πύργοι ψύξης χρησιμοποιούνται συνήθως για να αφαιρέσουν θερμότητα από ψύκτες. Υπάρχουν πολλά είδη πύργων ψύξης και διαφέρουν στο μέγεθος, στην ταχύτητα του ανεμιστήρα που έχουν αλλά και στην ροή νερού - αέρα. Όμως όλοι λειτουργούν βάση της ίδιας φιλοσοφίας [13].

Τα ακροφύσια πύργων ψύξης ψεκάζουν το ζεστό νερό στο "μέσο πλήρωσης", το οποίο με την σειρά του εισάγει αέρα. Το νερό ρέει σε ολόκληρο τον πύργο ψύξης. Ο αέρας απορρίπτεται από τον ανεμιστήρα, ταυτόχρονα ένα μικρό μέρος του νερού εξατμίζεται δημιουργώντας ψύξη [13].

Το ψυχρότερο νερό αντλείται πίσω στον εξοπλισμό. Η συγκεκριμένη διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς [13].

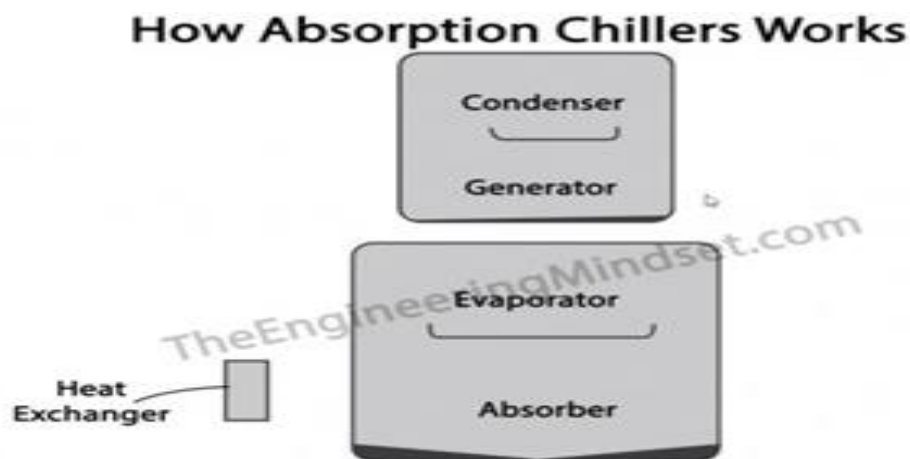


Σχήμα 3-3 Λειτουργία αντίστροφης ροής πύργου ψύξης [13]

3.1.3 Ψύκτης απορρόφησης

Σύμφωνα με τον ιστότοπο TheEngineeringMinset.com <<Ένας ψύκτης απορρόφησης (absorption chiller) είναι μια μηχανή που αφαιρεί τη θερμότητα από ένα υγρό ,μέσω ενός κύκλου ψύξης ατμού ή απορρόφησης. Αυτό το υγρό μπορεί στη συνέχεια να κυκλοφορήσει μέσω ενός εναλλάκτη (coil) θερμότητας για να ψύξει τον εξοπλισμό.

Τα κύρια συστατικά του ψύκτη απορρόφησης είναι ο συμπυκνωτής και η γεννήτρια που αποτελούν τον ανώτατο κύριο θάλαμο. Ο εξατμιστής και ο απορροφητής αποτελούνται από τον περισσότερο κατώτατο θάλαμο. Υπάρχει επίσης ένας εναλλάκτης θερμότητας για τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος

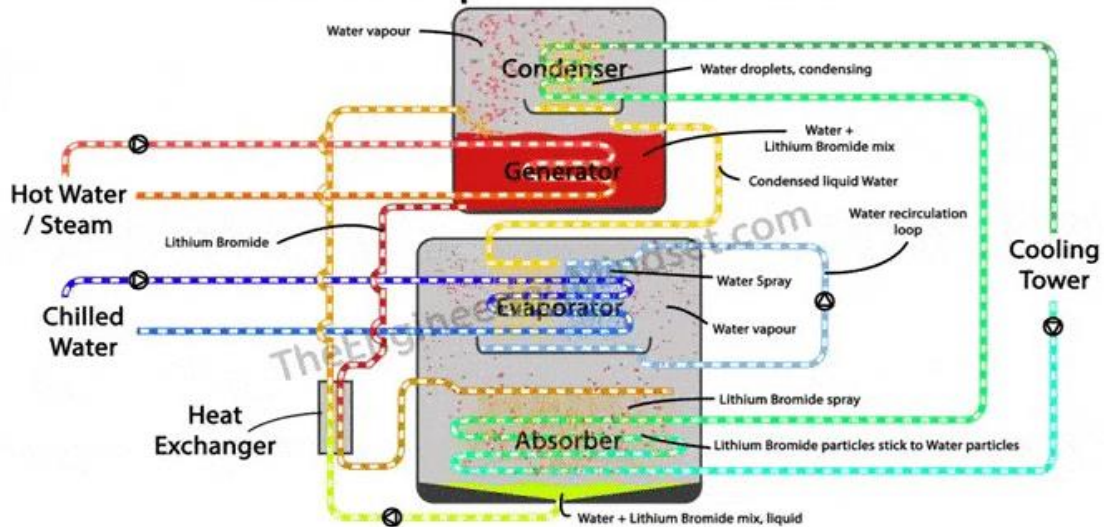


Σχήμα 3-4 Λειτουργία απορροφητή ψύξης [14]

Πρώτα απ' όλα, ένα μείγμα, περίπου 50 % βρωμιούχο λίθιο και 40 % νερό, αντλείται από τον απορροφητήρα μέσω του εναλλάκτη θερμότητας και στη συνέχεια επάνω στη γεννήτρια. Αυτή η γραμμή αναφέρεται ως αδύναμη γραμμή διαλύματος επειδή το βρωμιούχο λίθιο αναμιγνύεται με νερό. Το τμήμα της γεννήτριας είναι γεμάτο τμήμα για να σχηματίσει μια δεξαμενή για το μείγμα του βρωμιούχου λιθίου και του νερού. Μια πηγή θερμότητας (ζεστό νερό / ατμός) ρέει μέσω ενός σωλήνα μέσα στη δεξαμενή της γεννήτριας, η οποία προκαλεί το διαχωρισμό του βρωμιούχου λιθίου και του νερού.

Το νερό θα εξατμιστεί ως ατμός και θα ανέβει στο τμήμα του συμπυκνωτή αφήνοντας πίσω το βρωμιούχο λίθιο. Το βρωμιούχο λίθιο συσσωρεύεται και θα βυθιστεί στον πυθμένα λόγω του βάρους των μορίων. Αυτό προκαλεί συγκέντρωση υγρού βρωμιούχου λιθίου στη βάση της γεννήτριας και αυτό στη συνέχεια θα ρέει προς τα κάτω μέσω του εναλλάκτη θερμότητας και θα ψεκάζεται πάνω από τον απορροφητήρα όπου μπορεί να αναμιχθεί με μόρια νερού.

How Absorption Chillers Works



Σχήμα 3-5 Λειτουργία απορροφητή ψύξης [14]

Εν τω μεταξύ, ο υδρατμός συμπυκνώνεται σε ένα υγρό καθώς έρχεται σε επαφή με ένα ψυκτικό πηνίο στο τμήμα συμπυκνωτή. Το νερό από έναν πύργο ψύξης διέρχεται μέσω ενός σφραγισμένου σωλήνα εντός του συμπυκνωτή για να απομακρύνει τη θερμότητα του υδρατμού η οποία τον προκαλεί να συμπυκνώνεται σε ένα υγρό. Αυτό το υγρό νερό στη συνέχεια συλλέγεται σε ένα δίσκο εντός του συμπυκνωτή και αυτό ρέει μέσα από ένα σωλήνα προς τα κάτω στον εξατμιστή. Ο ρυθμός ροής του όγκου του νερού ελέγχεται μέσω μίας σταθερής οπής. Ο εξατμιστής βρίσκεται σε πολύ χαμηλή πίεση, κοντά σε συνθήκες κενού, που αναγκάζει το νερό να αναβοσβήσει και να μειωθεί η θερμοκρασία λόγω της ταχείας πτώσης της πίεσης. Το νερό μειώνει τη θερμοκρασία σε περίπου 4 °C (40 °F).

Η γραμμή "κρύου νερού" περνά μέσα από τον εξατμιστή, ακριβώς όπως ένα τυπικό ψύκτη με αέρα ή νερό και αυτό μεταφέρει όλη την ανεπιθύμητη θερμότητα του κτιρίου από τις μονάδες ανεμιστήρα AHU και ανεμιστήρα κλπ. Αυτό περνά μέσα από ένα ψυκτικό πηνίο όπου το κρύο νερό από τον συμπυκνωτή στη συνέχεια ψεκάζεται πάνω στην επιφάνεια για να εξαγάγετε την ανεπιθύμητη θερμική ενέργεια. Το "ψυχρό νερό" θα εισέλθει στο πηνίο εξατμιστή στους περίπου 12 °C (54 °F) και καθώς ο ψεκασμός του ψυχρού νερού συμπυκνωτή έρχεται σε επαφή με τον σωλήνα της γραμμής κρύου νερού, θα μεταφέρει τη θερμική του ενέργεια από το "ψυγμένο νερό" και στο "νερό συμπυκνωτή".

Καθώς η θερμότητα μεταφέρεται μέσω του τοιχώματος του σωλήνα και μέσα στο νερό του συμπυκνωτή, στο εξωτερικό των σωλήνων, το νερό του συμπυκνωτή θα εξατμιστεί στον ατμό λόγω της χαμηλής πίεσης του θαλάμου. Καθώς εξατμίζεται, μεταφέρει την ανεπιθύμητη θερμική ενέργεια μακριά από αυτό.. Το κύκλωμα κρύου νερού έχει τώρα δώσει τη θερμότητά του και

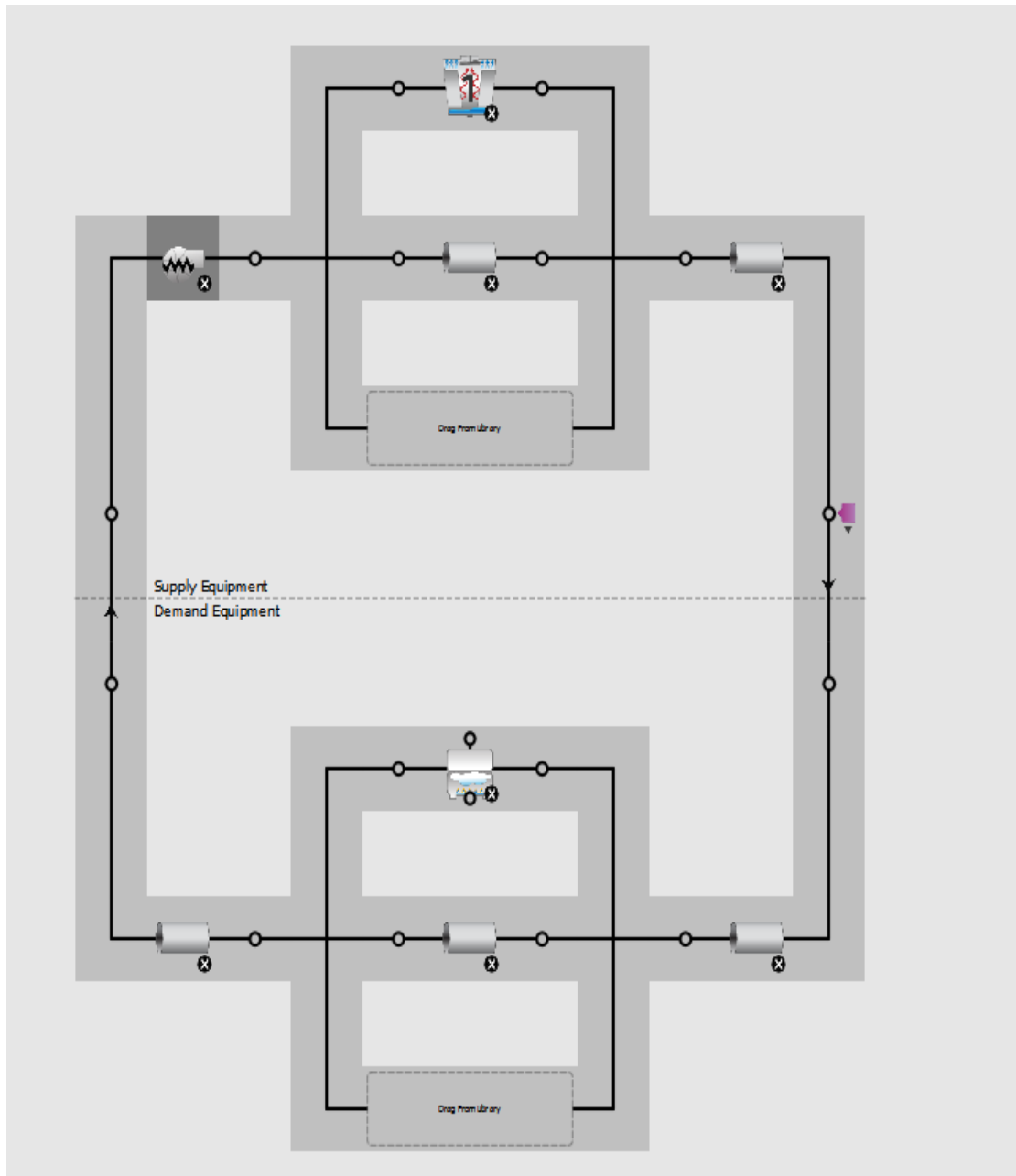
από τη στιγμή που αφήνει τον εξατμιστή θα είναι περίπου 7°C και είναι έτοιμο να αντληθεί γύρω από το κτίριο για να συλλέξει περισσότερη θερμότητα. Ένας άλλος βρόχος θα επανακυκλοφορήσει οποιοδήποτε νερό που έχασε τους σωλήνες και δεν βράζει. Αυτό θα αντληθεί πίσω στην κορυφή του εξατμιστή και θα ψεκάστεί πάλι μέχρι να εξατμιστεί όλα σε ατμό. Ο υδρατμός ή ο ατμός που παράγεται από τον εξατμιστή στη συνέχεια έλκεται και τραβιέται προς το ισχυρό διάλυμα βρωμιούχου λιθίου που ψεκάζεται στον απορροφητή.

Αυτό είναι σχεδόν σαν μια μαγνητική δύναμη, η έλξη είναι αρκετά ισχυρή ώστε τα σωματίδια νερού να ρέουν από μόνες τους κατευθείαν στον απορροφητή ώστε να είναι μαζί με το βρωμιούχο λίθιο. Αυτή η έλξη μεταξύ των σωματιδίων νερού και των σωματιδίων του βρωμιούχου λιθίου προκαλεί το κενό στο θάλαμο.

Όταν τα δύο ρευστά έρχονται σε επαφή, παράγουν μια μικρή θερμότητα και αυτό, καθώς και η θερμότητα που συλλέγεται από τον βρόχο κρύου νερού, πρέπει να αφαιρεθεί, γι 'αυτό και ο βρόχος νερού πύργου ψύξης περνάει επίσης μέσω του απορροφητήρα. Το νερό του πύργου ψύξης συμπυκνώνει επίσης τα σωματίδια υπολειμματικών ατμών πίσω σε ένα υγρό. Το μείγμα του βρωμιούχου λιθίου και του νερού συλλέγονται στο κάτω μέρος έτοιμο για να αντληθεί πίσω στη γεννήτρια και πάλι για να επαναλάβει τον κύκλο>> [14].

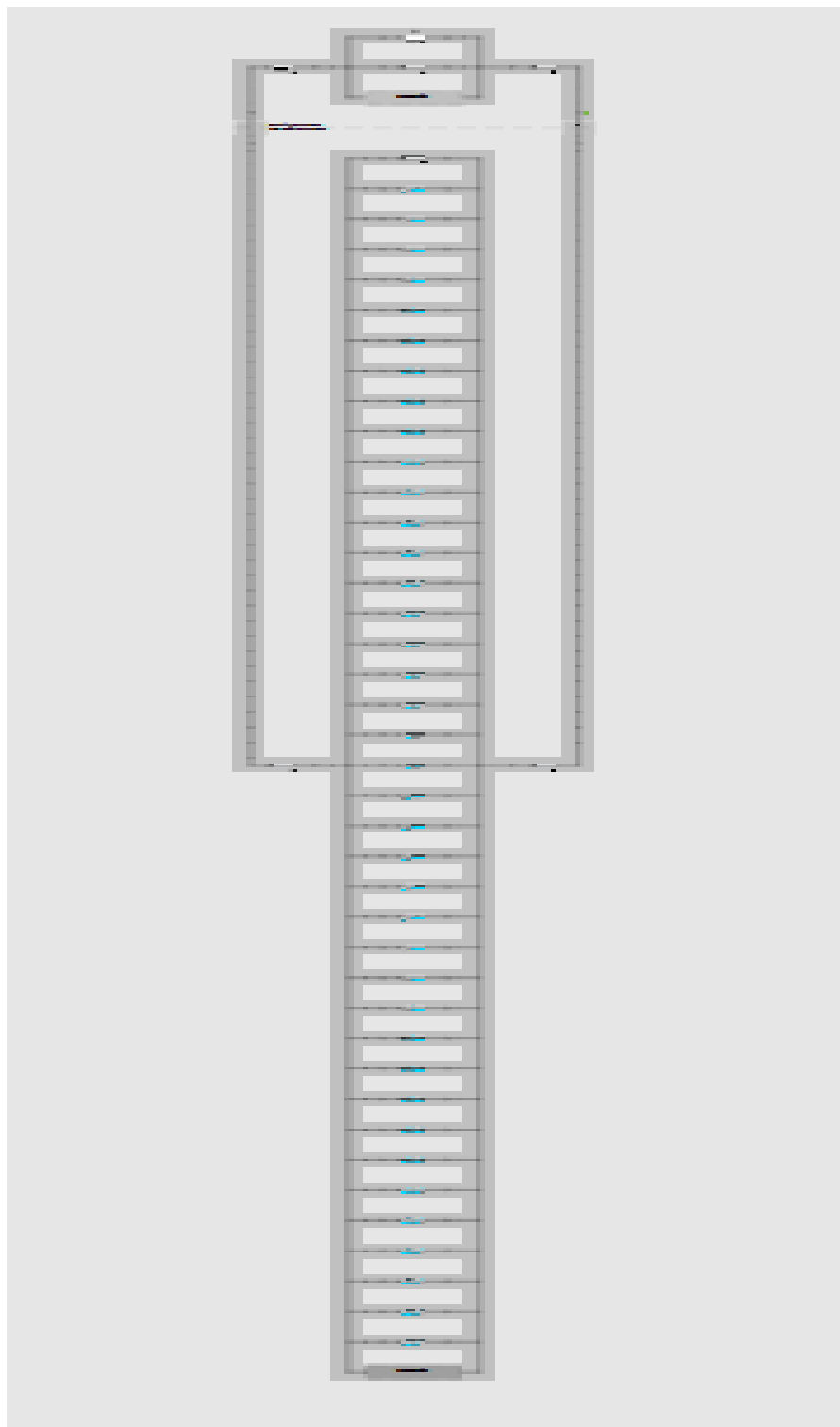
3.1.4 HVAC Σύστημα

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται το σύστημα ενδοδαπέδιας εγκατάστασης που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία, στο Σχήμα 4-5 υπάρχει το σύστημα του πύργου ψύξης μονής ταχύτητας (cooling tower single speed) που τροφοδοτεί τον ψύκτη απορρόφησης (absorption chiller). Το σύστημα αποτελείται από μία αντλία και σωλήνες με μόνωση. Στην πλευρά της κατανάλωσης και της παραγωγής υπάρχουν σωλήνες για την περίπτωση υπερχειλίσας. Το σύστημα έχει έναν διαχειριστή ο οποίος ελέγχει την θερμοκρασία του νερού που παρέχει ο πύργος ψύξης στο ψύκτη απορρόφησης.



Σχήμα 3-6 Βρόχος ψύκτη απορρόφησης – Πύργος ψύξης

Στο επόμενο Σχήμα παρουσιάζεται το σύστημα στο οποίο ο ψύκτης απορρόφησης που τροφοδοτεί την ενδοδαπέδια ψύξη.



Σχήμα 3-7 Βρόχος Ψύκτη απορρόφησης – Ενδοδαπέδιας εγκατάστασης

Στην πλευρά της κατανάλωσης υπάρχει ο εναλλάκτης των θερμικών ζωνών που χρησιμοποιούν το σύστημα ενδοδαπέδιας ψύξης και έναν σωλήνα για την περίπτωση υπερχειλίσης. Στην πλευρά της παροχής υπάρχει ο απορροφητής ψύξης ο οποίος υποστηρίζεται από μία αντλία.

Η ενδοδαπέδια ψύξη λειτουργεί στο ωράριο 8.00-21.00. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία δωματίου ξεπερνάει τους 24 °C.

3.2 Συλλέκτες γραμμικής συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας

3.2.1 Βασικές πληροφορίες

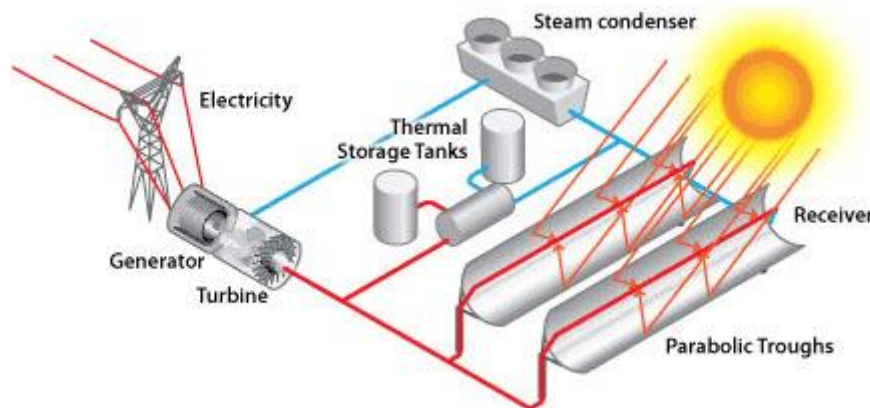
Οι συλλέκτες γραμμικής συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας (CSP) χρησιμοποιούν καθρέπτες για να συγκεντρώσουν ηλιακό φως σε μία σωλήνωση. Στην συνέχεια μέσα από την σωλήνωση περνάει υγρό το οποίο θερμαίνεται. Τέλος το θερμό υγρό περνάει από μια τουρμπίνα για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια [15].

Οι συλλέκτες έχουν προσανατολισμό βορρά-νότου για τη μεγιστοποίηση της ετήσιας και θερινής συλλογής ενέργειας. Κατόπιν υπάρχει ένα σύστημα παρακολούθησης της θέσης του ηλίου. Έτσι οι συλλέκτες περιστρέφονται προκειμένου ο ήλιος αντανakλά συνεχώς τους σωλήνες του δέκτη [15].

Στους συλλέκτες γραμμικής συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας ενσωματώνεται συνήθως μία δεξαμενή αποθήκευσης ενέργειας (TES). Η δεξαμενή αποθήκευσης ενέργειας είναι απαραίτητη διότι αποθηκεύεται η θερμική ενέργεια που μπορεί να μη χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί άμεσα. Έτσι η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον ή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τις βραδινές ώρες [15].

3.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ PARABOLIC TROUGH

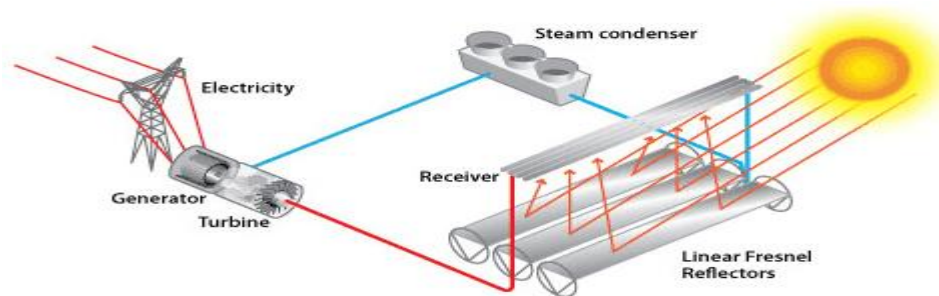
Το πιο συνηθισμένο σύστημα CSP στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι ένας γραμμικός συγκεντρωτής που χρησιμοποιεί παραβολικούς συλλέκτες. Στο συγκεκριμένο σύστημα υπάρχουν καθρέπτες με παραβολικό σχήμα και σε κάθε συλλέκτη υπάρχει ένα σωλήνας που δέχεται την θερμότητα του συστήματος [15]. Σύμφωνα με τον Giostri et al το συγκεκριμένο σύστημα παράγει περισσότερη θερμική ενέργεια από την τεχνολογία Fresnel και αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη οπτική απόδοση [16].



Σχήμα 3-8 Parabolic Trough σύστημα [15]

3.2.3 Συστήματα γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel

Μια δεύτερη τεχνολογία γραμμικού συμπυκνωτή είναι το γραμμικό σύστημα ανακλαστήρα Fresnel. Είναι το σύστημα που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία. Τα επίπεδα ή ελαφρώς καμπύλα κάτοπτρα που είναι τοποθετημένα στο έδαφος είναι διαμορφωμένα έτσι ώστε να αντικατοπτρίζουν το ηλιακό φως σε ένα σωλήνα δέκτη στερεωμένο στο χώρο πάνω από τους καθρέφτες. Η διαφορά μεταξύ των δύο τεχνολογιών (parabolic trough και LFR) δεν είναι μόνο στον πρωτεύοντα καθρέπτη αλλά και στο ότι εδώ υπάρχει μόνο ένας δέκτης στο οποίο προστίθεται μερικές φορές ένας μικρός παραβολικός καθρέφτης (δευτερεύον) πάνω από τον δέκτη για να εστιαστεί περαιτέρω το ηλιακό φως [15].

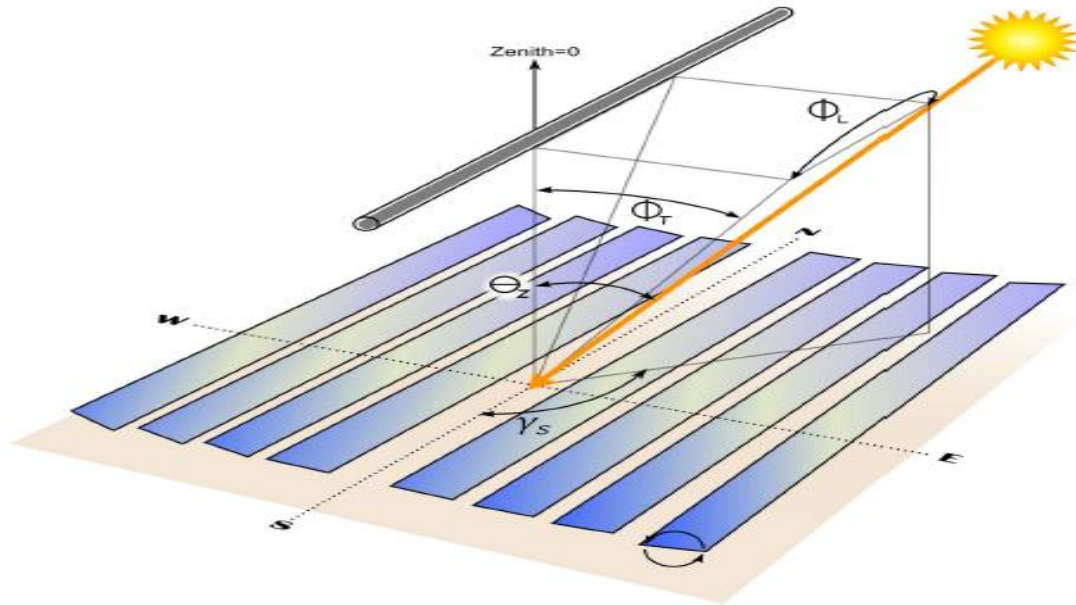


Σχήμα 3-9 LFR σύστημα [15]

3.2.4 Μαθηματικό μοντέλο γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel LFR1832

Σε αυτήν την ενότητα, θα περιγραφεί ένα μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παραγόμενης θερμικής ενέργειας του γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel. Το κέρδος θερμικής ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί για μια θέση για κάθε στιγμή της ημέρας, εάν υπάρχει ως δεδομένο η φαινομενική θέση του ήλιου, στον τόπο που υπάρχει το σύστημα σε σχέση με την αζιμούθιο και ζενίθ γωνία, την τιμή της άμεσης κανονικής ακτινοβολίας και την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Το μαθηματικό μοντέλο αποτελείται από δύο μέρη, το οπτικό μοντέλο και το θερμικό μοντέλο. Το οπτικό μοντέλο περιγράφει τον τρόπο αλλαγής της απόδοσης του συστήματος που μεταβάλλει η θέση του ήλιου. Το θερμικό μοντέλο περιγράφει τις θερμικές απώλειες του συστήματος (μόνο από το σωλήνα απορροφητή) και εξαρτάται από τη μέση τιμή της θερμοκρασίας υγρού μεταφοράς θερμότητας (μπορεί να είναι μια υπόθεση, στην λειτουργική κατάσταση), την θερμοκρασία περιβάλλοντος και την ακτινοβολία του ήλιου (DNI). Το θερμικό μοντέλο είναι μοντέλο σταθερής κατάστασης, που ορίζεται σύμφωνα με το UNI EN ISO 9806 (Νοέμβριος 2013).



Σχήμα 3-10 LFR Μαθηματικού μοντέλου

Η εξίσωση θερμικής ισορροπίας του αγωγού απορρόφησης μπορεί να γραφτεί ως

$$Q_h(x) = Q_{ads}(x) + Q_{loss}(x) \quad W \quad (3.1)$$

- $Q_h(x)$ είναι η χρήσιμη θερμική ενέργεια που παράγεται από το ηλιακό πεδίο
- $Q_{ads}(x)$ είναι η θερμική ενέργεια που απορροφάται από τον ηλιακό δέκτη (σωλήνας απορρόφησης)
- $Q_{loss}(x)$ είναι η απώλεια θερμικής ενέργειας από τον αγωγό απορρόφησης

ΟΠΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

$$Q_{ads} = G_{bn} * A_{net} * \eta_0 * K_\theta(\theta_i, \theta_t) * K_E \quad W \quad (3.2)$$

- G_{bn} είναι η άμεση κανονική ακτινοβολία ή DNI [W / m^2]
- A_{net} είναι η καθαρή επιφάνεια του καθρέφτη του ηλιακού πεδίου (πρωτεύον οπτικό). Είναι το προϊόν της περιοχής μιας μονάδας ανά τον αριθμό των μονάδων - $A_{net} = A_{LFR} \times n$, στην συγκεκριμένη περίπτωση $A_{LFR} = 23.04 \, m^2$
- η_0 είναι η οπτική απόδοση στην κορυφή (γεωμετρικά θα μπορούσε να είναι δυνατή όταν η ανύψωση του ήλιου είναι 90° ή η ζενίθ γωνία να είναι 0°), για το σύστημα LFR $\eta_0 = 0.64$ (-)
- $K_\theta(\theta_i, \theta_t)$ είναι η παράμετρος που χρησιμοποιείται για να ληφθούν υπόψη τα φαινόμενα σκίασης και παρεμπόδισης μεταξύ των καθρεφτών στην πρωτεύουσα οπτική, το

αποτέλεσμα συνημίτονου που οφείλεται στο διαχρονικό συστατικό των διανυσμάτων ηλιακής ακτινοβολίας. Αλλάζει με τη θέση του ήλιου. Αυτή η παράμετρος δεν έχει φυσική διάσταση και η τιμή είναι μεταξύ 0 και 1.

- K_E είναι ο παράγοντας "τελικού αποτελέσματος", λαμβάνει υπόψη τις απώλειες οπτικών, λόγω του μήκους της σειράς του ηλιακού πεδίου. Εξαρτάται από το μήκος της σειράς, την απόσταση μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος οπτικού και τη διαχρονική συνιστώσα των διανυσμάτων ηλιακής ακτινοβολίας. Δεν έχει φυσική διάσταση και η αξία του είναι μεταξύ 0 και 1.

Στο μοντέλο:

- Το G_{bn} είναι μια είσοδος
- Τα A_{net} και η_0 είναι αντίστοιχα ένα γεωμετρικό και ένα οπτικό χαρακτηριστικό του ηλιακού πεδίου.
- K_θ (θ_i , θ_t) και K_E (θ_i) μπορούν να υπολογιστούν ως συνάρτηση της θέσης του ήλιου, που ορίζεται από εγκάρσια και διαμήκη γωνία

$$K_\theta(\theta_i, \theta_t) = IAM_t(\theta_t) * IAM_i(\theta_i) \quad (3.3)$$

Όπου

- IAM_i είναι ο τροποποιητής γωνίας συμβάντος που ποικίλλει με το διαχρονικό συστατικό του φορέα ακτινοβολίας ήλιου
- $IAM_t(\theta_t)$ είναι ο τροποποιητής γωνίας συμβάντος που μεταβάλλεται με το εγκάρσιο συστατικό του φορέα ακτινοβολίας ήλιου

Χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες τριγωνομετρικές σχέσεις είναι δυνατόν να υπολογίσουμε τα θ_t και θ_i σε κάθε στιγμή της ημέρας. Είναι απαραίτητο να είναι δεδομένη η θέση του ήλιου. Η θέση χαρακτηρίζεται από τις γωνίες Azimuth γ_s και Zenith θ_z .

Για να αποκτηθεί η θέση του ήλιου με γωνίες Azimuth και Zenith, σε κάθε στιγμή της ημέρας, για κάθε βήμα και για οποιοδήποτε μέρος (αν είναι δεδομένο το γεωγραφικό πλάτος, μήκος και ύψος στο επίπεδο της θάλασσας). Έτσι, είναι δυνατόν να υπολογιστεί:

$$\theta_t = \text{atan}(\sin(\gamma_s) \tan(\theta_z)) \quad (3.4)$$

$$\theta_i = \text{atan}(\cos(\gamma_s) \tan(\theta_z)) \quad (3.5)$$

Όπου

- θ_z είναι η γωνία Zenith (0° εάν ο Ήλιος είναι κάθετος, 90° στην δύση ή την ανατολή του Ηλίου)
- γ_s είναι η γωνία Azimuth (στο μοντέλο μας $\gamma_s = 0^\circ$ εάν ο Ήλιος είναι Νότια προσανατολισμένος, $\gamma_s = -90^\circ$ αν είναι τέλεια στο Ανατολικό και $\gamma_s = 90^\circ$ εάν είναι απόλυτα Δυτικός)

Σύμφωνα με τις υποθέσεις

Εάν

$$0^\circ \leq |\theta_t| \leq 90^\circ \quad (3.6)$$

$$IAM_t(\theta_t) = \alpha_t + b_t * |\theta_t| + c_t * |\theta_t|^2 + d_t * |\theta_t|^3 + e_t * |\theta_t|^4 \quad (3.7)$$

Όπου

$IAM_t(\theta_t)$ τέταρτου βαθμού πολυώνυμο: $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$

Δεδομένα	IAM transversal
$a_t =$	1.0041698498100000000
$b_t =$	-0.0051845486244400000
$c_t =$	0.0003570013897980000
$d_t =$	-0.0000074822297628100
$e_t =$	0.0000000308091814441

Σχήμα 3-11 Συντελεστές πολυώνυμου για τον είναι ο τροποποιητής γωνίας συμβάντος που μεταβάλλεται με το εγκάρσιο συστατικό του φορέα ακτινοβολίας ήλιου

και για τη διαχρονική συνιστώσα:

$$0^\circ \leq |\theta_t| \leq 80^\circ \quad (3.6)$$

$$IAM_t(\theta_t) = \alpha_t + b_t * |\theta_t| + c_t * |\theta_t|^2 + d_t * |\theta_t|^3 + e_t * |\theta_t|^4 \quad (3.7)$$

Όπου

$IAM_l(\theta_l)$ τέταρτου βαθμού πολυώνυμο $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$

Δεδομένα	IAM longitudinal
$a_l =$	0.99982434896
$b_l =$	-0.00355988761238
$c_l =$	-0.000149272477121
$d_l =$	-0.000000211305704115
$e_l =$	0.00000000852272256379

Σχήμα 3-12 Συντελεστές πολυώνυμου για τον είναι ο τροποποιητής γωνίας συμβάντος που ποικίλλει με το διαχρονικό συστατικό του φορέα ακτινοβολίας ήλιου

Εάν

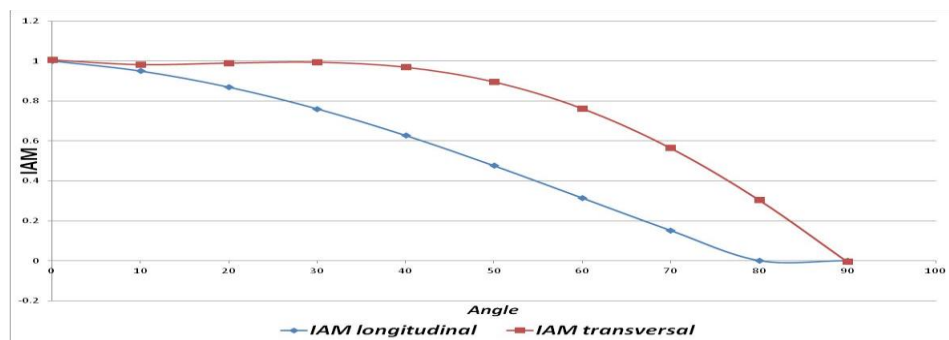
$$|\theta_l| \geq 80 \quad (3.8)$$

$$IAM_l(\theta_l) = 0 \quad (3.9)$$

Εάν

$$|\theta_l| \geq 90 \quad (3.8)$$

$$IAM_l(\theta_l) = 0 \quad (3.9)$$



Σχήμα 3-12 Τιμές των τροποποιητών

Υπολογισμός τον παράγοντα τελικού αποτελέσματος:

$$K_E = \frac{L_{tot} - d_f \tan \tan(\theta_l)}{L_{tot}} \quad (3.10)$$

- L_{tot} είναι το μήκος της σειράς που αποτελείται από n μονάδες του LFR
- $L_{tot} = L_{LFR} \times n$ στην περίπτωση μας $L_{LFR} = 4$ [m]
- d_f = εστιακή απόσταση ή απόσταση μεταξύ του πρωτεύοντος οπτικού και του αγωγού απορρόφησης, στην περίπτωση μας $d_f = 3.564$ [m]

Θερμικό Μοντέλο:

$$Q_{loss} = -[\alpha_1 * (\frac{T_{mf} - T_{amb}}{G_{bn}}) + \alpha_2 * (\frac{T_{mf} - T_{amb}}{G_{bn}})] W \quad (3.11)$$

- $T_{mf} = \frac{(T_{in,f} + T_{out,f})}{2}$ είναι η μέση τιμή της θερμοκρασίας του ρευστού μεταφοράς θερμότητας μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του αγωγού απορρόφησης [$^{\circ}C$]
- T_{amb} είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος [$^{\circ}C$]
- α_1 είναι ο συντελεστής θερμικής απώλειας πρώτης τάξης σε μοντέλο σταθερής κατάστασης όπως υποδεικνύεται στο UNI EN ISO 9806 (Νοέμβριος 2013), για τον LFR $\alpha_1 = 0,00729$ [$W / (m^2 \times ^{\circ}K)$]
- α_2 είναι ο συντελεστής θερμικής απώλειας δεύτερης τάξης σε μοντέλο σταθερής κατάστασης, όπως υποδεικνύεται στο UNI EN ISO 9806 (Νοέμβριος 2013), για το LFR $\alpha_2 = 0,00043$ [$W / (m^2 \times ^{\circ}K^2)$]
- G_{bn} είναι η άμεση κανονική ακτινοβολία

$$Q_h = \{\eta_0 * K_{\theta}(\theta_l, \theta_t) * K_E - [\alpha_1 * (\frac{T_{mf} - T_{amb}}{G_{bn}}) + \alpha_2 * (\frac{T_{mf} - T_{amb}}{G_{bn}})] * A_{net} * G_{bn}\} Q_h = \{\eta_0 * K_{\theta}(\theta_l, \theta_t) * K_E - [\alpha_1 * (\frac{T_{mf} - T_{amb}}{G_{bn}}) + \alpha_2 * (\frac{T_{mf} - T_{amb}}{G_{bn}})] * A_{net} * G_{bn}\} W \quad (3.12)$$

3.3 Μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας

Το συνολικό κόστος μπορεί να αναλυθεί σε τέσσερις τομείς : δαπάνες για τις ενεργειακές υποθέσεις ,δαπάνες για την μεταφορά και την διαχείριση, έξοδα του συστήματος, φόροι και ΦΠΑ.

Δαπάνες για τις ενεργειακές υποθέσεις

$$C_{en} = C_{enFee} + C_{F1} * E_{F1} + C_{F2} * E_{F2} + C_{F3} * E_{F3} \quad \text{€} \quad (3.13)$$

- C_{en} : Συνολικό κόστος για τις ενεργειακές δαπάνες
- C_{enFee} : Σταθερά τέλη. Στην περίπτωση του κτιρίου Arca είναι 7.55 €
- E_{F1} , E_{F2} , E_{F3} : Σύνολο ενέργειας που ανήκουν στον σύνολο F1, F2 και F3 αντίστοιχα
- E_{F1} , E_{F2} , E_{F3} C_{F1} , C_{F2} , και C_{F3} : Μηνιαία τιμή €/KWh. Στην περίπτωση του κτιρίου Arca οι τιμές είναι 0.063990, 0.064130 και 0.055240 που ανήκουν στα σύνολα F1, F2 και F3 αντίστοιχα

Δαπάνες για την μεταφορά

$$C_{tr} = C_{trFee} + C_{peak} * E_{peak} + C_{trKwh} * E_{KWh} \quad \text{€} \quad (3.14)$$

- C_{tr} : Συνολικό κόστος για την μεταφορά και την διαχείριση
- C_{trFee} : Σταθερά τέλη. Στην περίπτωση του κτιρίου Arca είναι 2.29 €
- E_{peak} : Μέγιστη ισχύς που επιτυγχάνεται
- C_{peak} : Μηνιαία τιμή €/KW για την μέγιστη τιμή ισχύς. Στην περίπτωση του κτιρίου Arca είναι 2.514300 €
- E_{Kwh} : Σύνολο KWh, στην συγκεκριμένη περίπτωση $E_{Kwh} = E_{F1} + E_{F2} + E_{F3}$
- C_{trKwh} : Μηνιαία τιμή €/KWh για το σύνολο κατανάλωσης ενέργειας. Στην περίπτωση του κτιρίου Arca είναι 0,009060 €

Έξοδα συστήματος

$$C_{sys} = C_{sysFee} + C_{sysKwh} * E_{KWh} \quad \text{€} \quad (3.15)$$

- C_{sys} : Συνολικό κόστος για το σύστημα
- C_{sysFee} : Σταθερά τέλη. Στην περίπτωση του κτιρίου Arca είναι 12.08 €
- C_{sysKwh} : Μηνιαία τιμή €/KWh για το σύστημα. Στην περίπτωση του κτιρίου Arca είναι 0,068002 €

Φόροι και ΦΠΑ

$$C_{FEE} = (C_{Kwh} * E_{FeeKWh} + C_{en} + C_{tr} + C_{sys}) * 0.22 + C_{Kwh} * E_{FeeKWh} \quad \text{€} \quad (3.16)$$

- C_{FEE} : Συνολικό κόστος για φόρους
- C_{FeeKWh} : Μηνιαία τιμή €/KWh για τους φόρους. Στην περίπτωση του κτιρίου Arca είναι 0,012500 €

Τέλος για το συνολικό κόστος :

$$C_{ολ} = C_{en} + C_{tr} + C_{sys} + C_{FEE} \text{ €} \quad (3.17)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις παρατηρείται ότι η ενέργεια έχει διαφορετικές τιμές. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι ανάλογα την ημέρα και την ώρα κατανάλωσης η ενέργεια κατανέμεται στα σύνολα F1, F2 και F3

	Κυριακή	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο
00,00 - 7,00							
7,00 - 8,00							
8,00 - 19,00							
19,00 - 23,00							
23,00-24,00							

F1
 F2
 F3

Σχήμα 3-13 Κόστος ενέργειας

4.ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

4.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης και κόστος ενέργειας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, αναλυτικότερα για περίοδο τριών ημερών του καλοκαιριού θα δοθούν οι τιμές θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, η ζήτηση ενέργειας του ψύκτη απορρόφησης (για όλες τις θερμικές ζώνες) και στην συνέχεια για τρεις θερμικές ζώνες που αντιπροσωπεύουν το κτίριο θα δοθούν η μέση θερμοκρασία χώρου, η υγρασία, θα αναλυθεί εάν υπάρχει συμπύκνωση καθώς και τι ζήτηση σε ψύξη έχουν οι συγκεκριμένες θερμικές ζώνες.

Ο άνθρωπος μπορεί να έχει άνεση σε ένα ευρύ φάσμα υγρασιών ανάλογα με τη θερμοκρασία - από 30 % έως 70 % - αλλά ιδανικά μεταξύ 50 % και 60%. Το χειμώνα που έχει χαμηλές θερμοκρασίες, η τιμή της υγρασίας να ξεπερνάει το 30 % [17].

Στην παρούσα εργασία δεν εξετάζεται εάν υπάρχει θερμική άνεση στο χώρο. Αυτό συμβαίνει γιατί εάν υπάρχει, αυτό εξαρτάτε από πολλούς παράγοντες και όχι μόνο από την υγρασία και την μέση θερμοκρασία της θερμικής ζώνης.

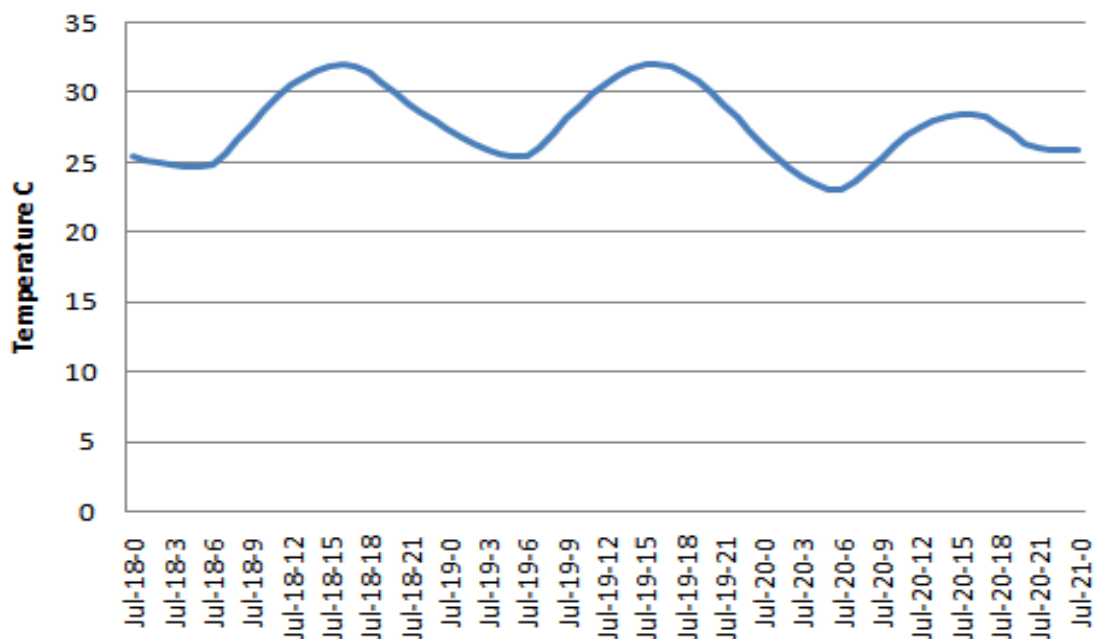
Στην συνέχεια θα εξεταστεί εάν η σχετική υγρασία ξεπερνάει το σημείο δρόσου. Το σημείο δρόσου είναι η θερμοκρασία στην οποία ο αέρας πρέπει να ψύχεται για να γίνει κορεσμένος με υδρατμούς. Όταν ψύχεται περαιτέρω, οι εναέριοι υδρατμοί θα συμπυκνώνονται για να σχηματίσουν υγρό νερό. Όταν ο αέρας δροσίζεται στο σημείο δρόσου μέσω επαφής με μια επιφάνεια ψυχρότερη από τον αέρα, το νερό συμπυκνώνεται στην επιφάνεια [17].

Στην συνέχεια απεικονίζονται οι τιμές δρόσου ανάλογα την θερμοκρασία [17].

Θερμοκρασία °C	Σχετική Υγρασία %
>26	≥73
24-26	62-72
21-24	52-61
18-21	44-51
16-18	37-43
13-18	31-36
10-12	26-30
<10	≤25

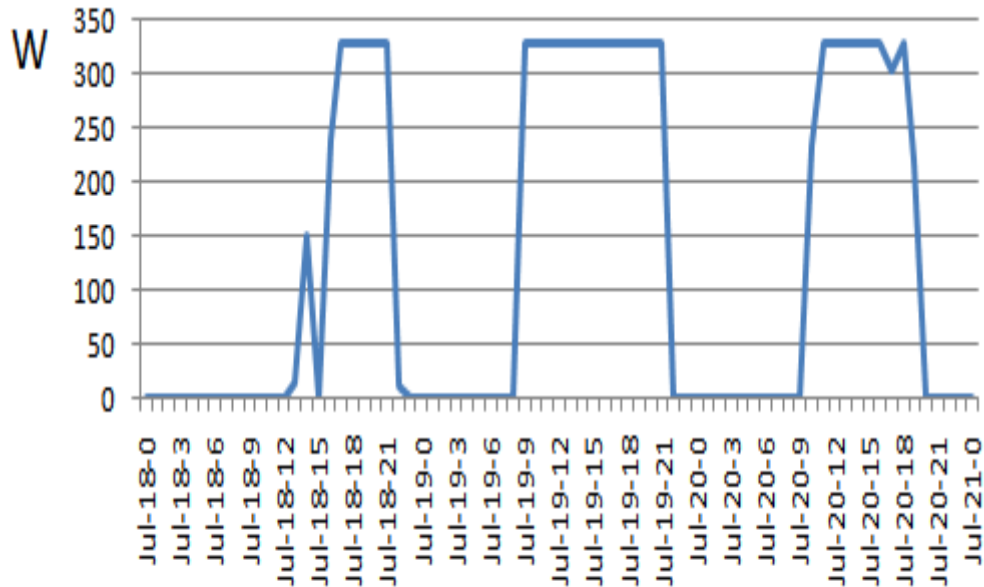
Σχήμα 4-1 Πίνακας τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας για το σημείο δρόσου

Στα παρακάτω σχήμα δίνονται οι τιμές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Στην συνέχεια υπάρχουν τα σχήματα της ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, τον ρυθμό ψύξης, τον συντελεστή απόδοσης καθώς και την ζήτηση ζεστού νερού του ψύκτη απορρόφησης.



Σχήμα 4-2 θερμοκρασία περιβάλλοντος

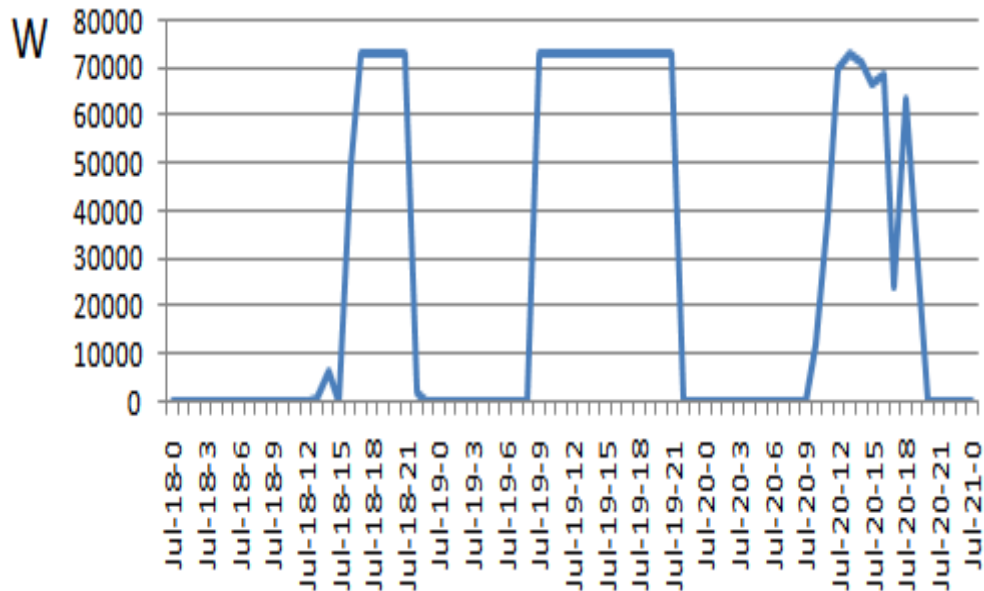
ABSORPTION CHILLER:Chiller Electric Power[W]



Σχήμα 4-3 Ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας chiller

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρείται η μικρή κατανάλωση που έχει ο απορροφητής ψύξης με 323 W peak και με συνολική κατανάλωση 9,35 KWh για τις τρεις μέρες του καλοκαιριού (για όλες τις θερμικές ζώνες). Επιπλέον παρατηρείται ότι ο απορροφητής ψύξης δεν λειτουργεί τις ίδιες ώρες για το χρονικό που εξετάζεται (18-20 Ιουλίου). Καθώς και ότι η λειτουργία του μπορεί να μην είναι ομοιόμορφη.

ABSORPTION CHILLER:Chiller Evaporator Cooling Rate[W]

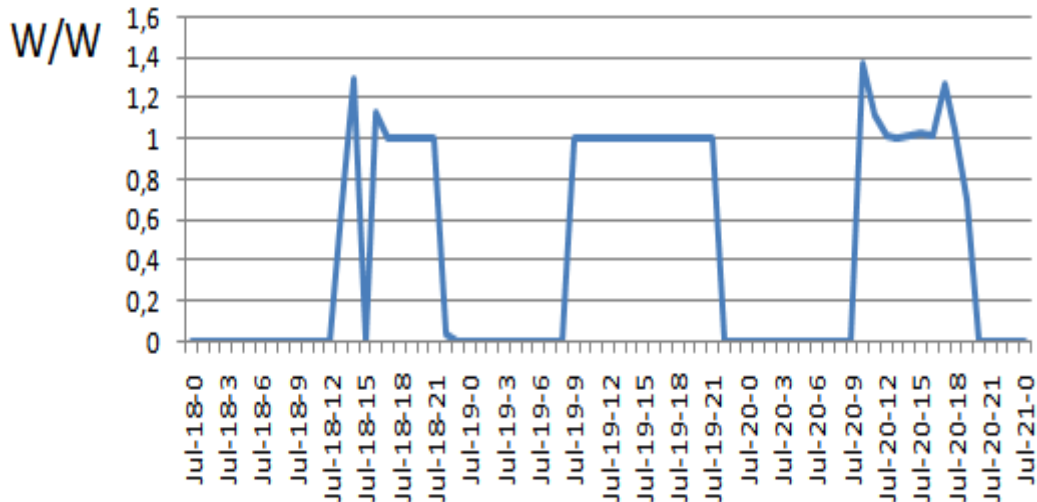


Σχήμα 4-4 Συνολική ψύξη του ψύκτη απορρόφησης

Για την περίοδο Μάιο - Σεπτέμβριο ο απορροφητής ψύξης προσφέρει 46 KWh/m²

Σε αντίθεση όμως με τον ηλεκτρικό ψύκτη που έχει ένα μεγάλο COP (coefficient of performance, κυμαίνεται κυρίως πάνω από 4) οι ψύκτες απορρόφησης έχουν αρκετά μικρό, ο οποίος κυμαίνεται από 0.54 έως 1.1. Δηλαδή για ένα 1 KW καυσίμου (για τον absorption chiller μπορεί να είναι ζεστό νερό ή ατμός, για τον ηλεκτρικό απορροφητή ψύξης είναι το ηλεκτρικό ρεύμα) θα παραχθεί 0.54-1.1 KW ψύξης.

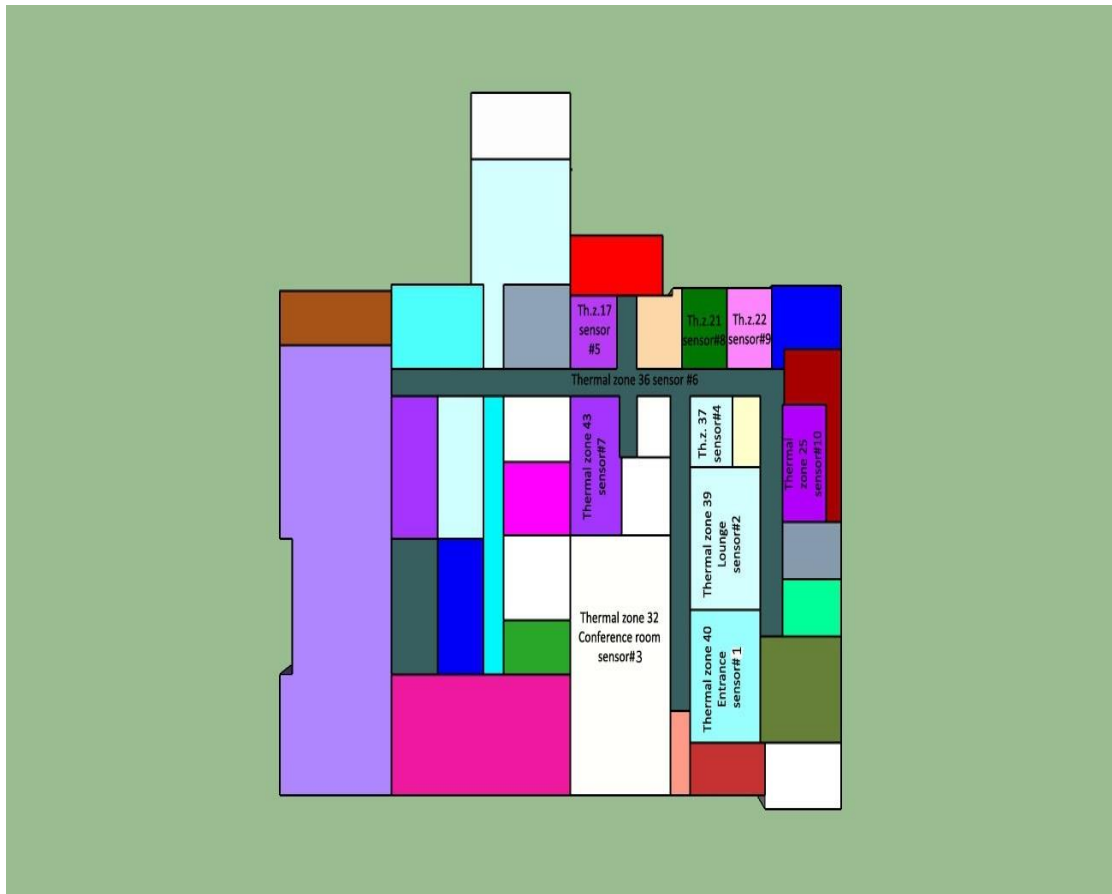
ABSORPTION CHILLER:Chiller COP[W/W]



Σχήμα 4-5 Απόδοση ψύκτη απορρόφησης

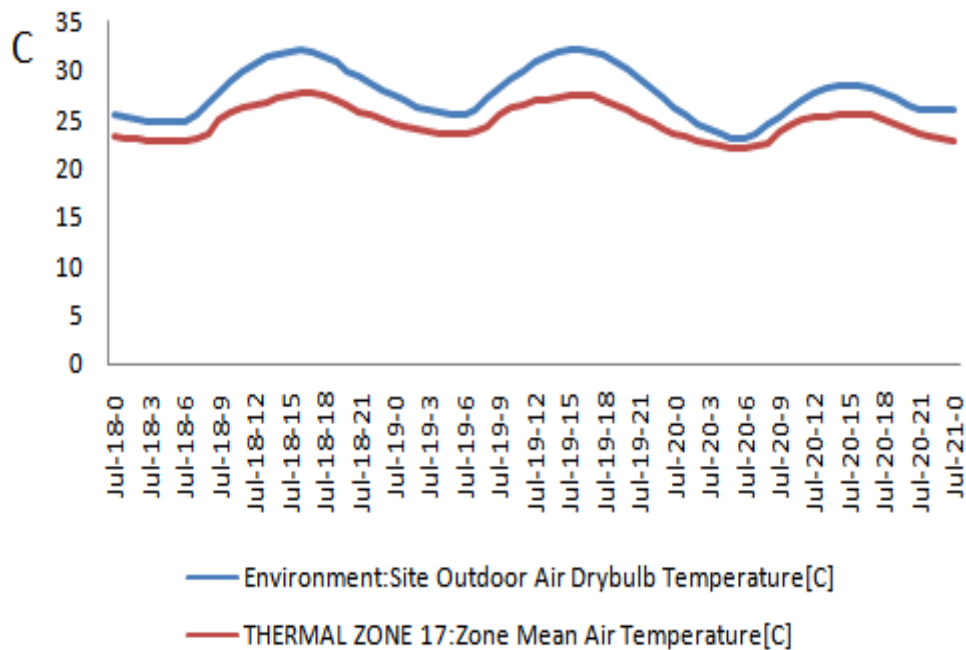
Από το παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι ο COP του απορροφητή ψύξης του συστήματος παραμένει σταθερός για το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου και είναι αρκετά κοντά στο 1, COP=0.997. Όμως στις περιόδους που ξεκινάει την λειτουργία του ο συντελεστής απόδοσης μπορεί να φτάσει το 1.4. Αυτό συμβαίνει γιατί εκείνη την στιγμή δεν έχει σταθεροποιηθεί η λειτουργία του.

Στην συνέχεια θα μελετηθούν τρεις θερμικές ζώνες που αντιπροσωπεύουν το κτίριο για να ελεγχθεί η μέση θερμοκρασία στον χώρο, η υγρασία και το πόση ενέργεια χρειάζεται από το συγκεκριμένο σύστημα. Οι τρεις θερμικές ζώνες που θα ελεγχθούν είναι η 32 ,η 17 και η 22. Η θερμική ζώνη 32 είναι η αίθουσα διάσκεψής η οποία χρησιμοποιείται πολύ συχνά από μεγάλο αριθμό ατόμων, είναι ο πιο σημαντικός χώρος του κτιρίου. Ενώ οι θερμικές ζώνες 17 και 22 είναι μικρά γραφεία τα οποία είναι αντιπροσωπευτικά των υπόλοιπων θερμικών ζωνών. Η θερμική ζώνη 17 είναι στο εσωτερικό του κτιρίου ενώ η 22 βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, θα εξεταστεί τις διαφορές υπάρχουν μεταξύ τους τόσο στην μέση θερμοκρασία δωματίου όσο και στην κατανάλωση ενέργειας.



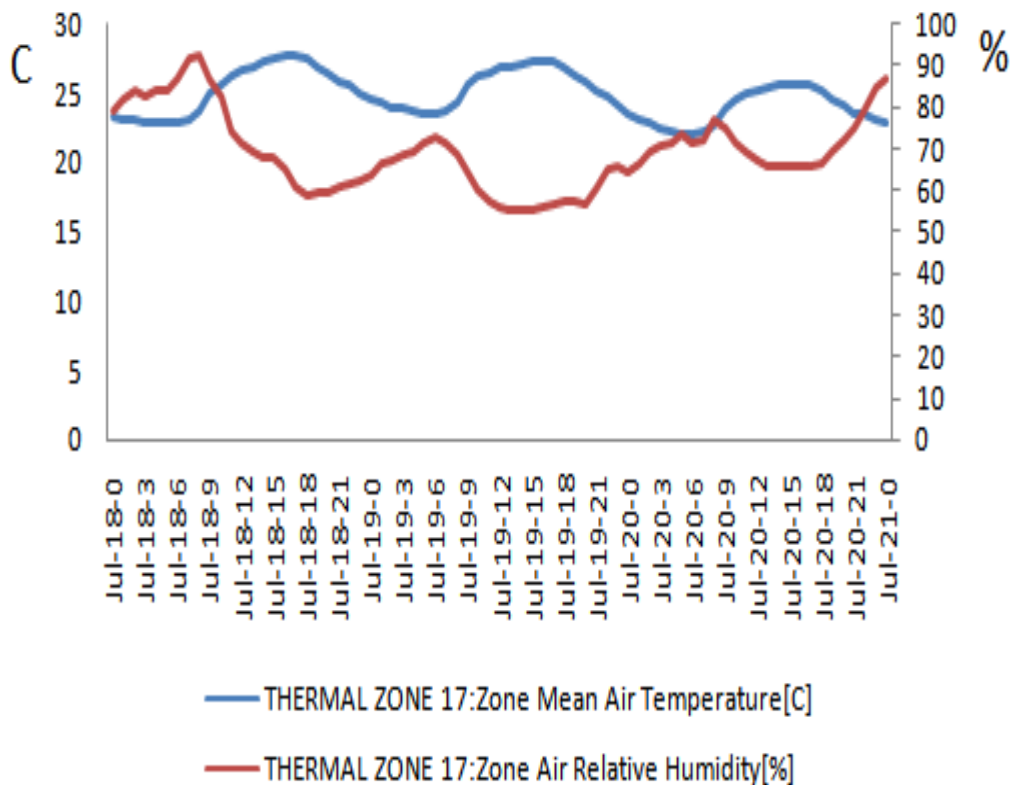
Σχήμα 4-6 θερμικές ζώνες κτιρίου Arca

4.1.1 θερμική ζώνη 17



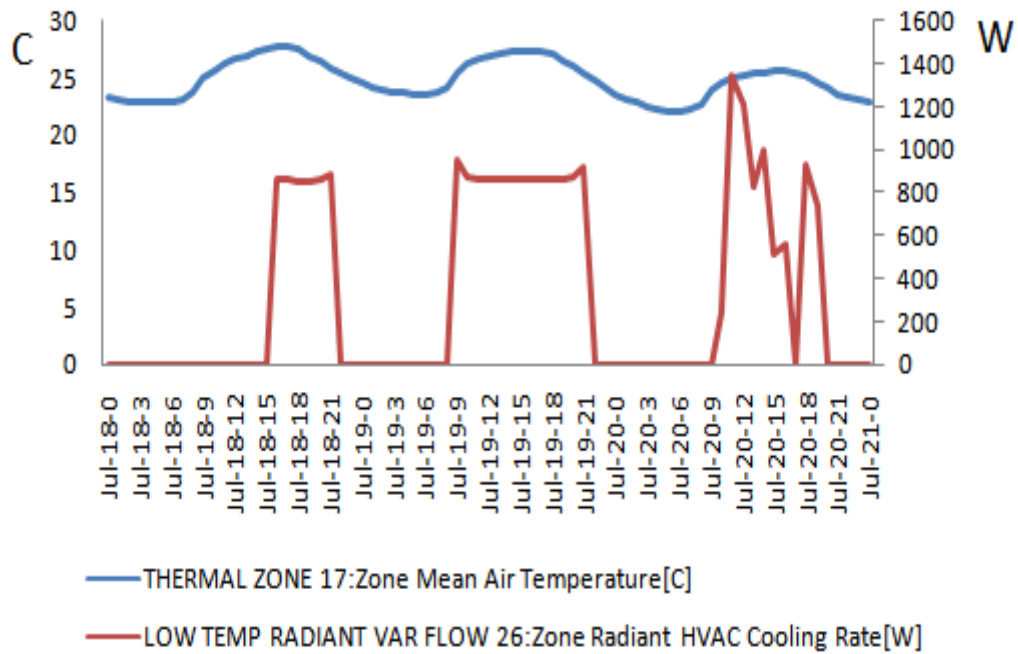
Σχήμα 4-7 Μέση θερμοκρασία θερμικής ζώνης 17

Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος ενώ με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέση θερμοκρασία της θερμικής ζώνης 17. Αναλυτικότερα, η ελάχιστη θερμοκρασία είναι 22.8 °C η οποία επιτυγχάνεται τις πρώτες πρωινές ώρες καθώς και τις βραδινές ώρες. Σε αυτές τις ώρες δεν υπάρχει δραστηριότητα στον χώρο ενώ κατά την διάρκεια του καύσωνα (θερμοκρασία άνω 30 °C) η μέγιστη θερμοκρασία είναι 27.8 °C. Καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τηρούνται τα κριτήρια σχεδιασμού του κτιρίου.



Σχήμα 4-8 Υγρασία θερμικής ζώνης

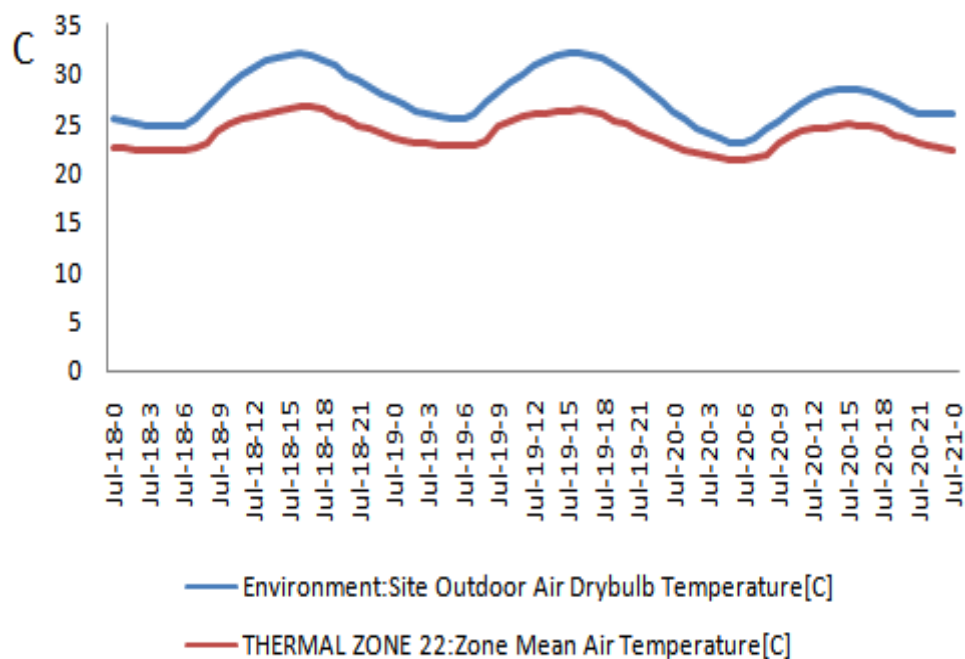
Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μέση θερμοκρασία της θερμικής ζώνης ενώ με κόκκινο απεικονίζεται η σχετική υγρασία της θερμικής ζώνης. Από το σχήμα παρατηρείται ότι τις ώρες που ενεργοποιείται η ενδοδαπέδια ψύξη οι τιμές της υγρασίας κινούνται σε φυσιολογικά πλαίσια πολύ κοντά στα ιδανικά πλαίσια. Αυτό δεν ισχύει για όλες τις ώρες αφού παρατηρείται στις βραδινές και τις πρώτες πρωινές ώρες αύξηση τις υγρασίας, στις συγκεκριμένες στιγμές η θερμοκρασία μειώνεται. Άρα υπάρχει πιθανότητα συμπύκνωσης στο δάπεδο και στους τοίχους που με την σειρά της μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην λειτουργία του συστήματος.



Σχήμα 4-9 Προσφορά ενέργειας ενδοδαπέδιας ψύξης για την θερμική ζώνη 17

Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μέση θερμοκρασία θερμικής ζώνης και με κόκκινο η ψύξη που προσφέρει το σύστημα στην ζώνη. Από το παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι η προσφορά του συστήματος παραμένει σταθερή για κάποιες μέρες λειτουργίας, ενώ για κάποιες άλλες μέρες είναι ανομοιόμορφη.

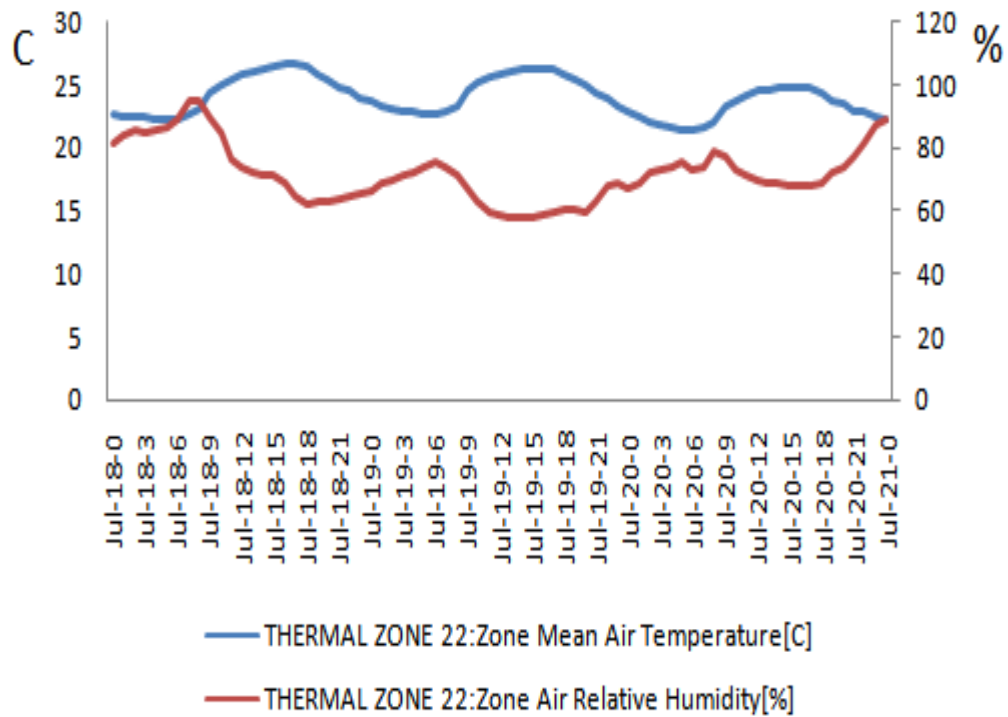
4.1.2 θερμική Ζώνη 22



Σχήμα 4-10 θερμοκρασία θερμικής ζώνης 22

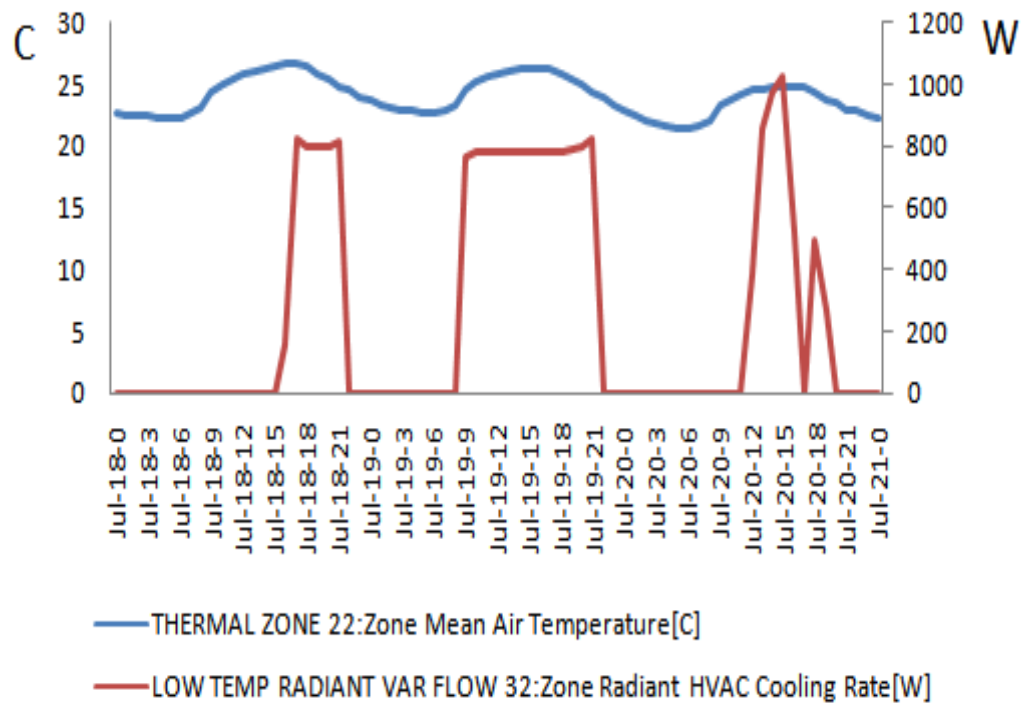
Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος και με κόκκινο η μέση θερμοκρασία θερμικής ζώνης 22. Από το σχήμα παρατηρείται ότι όσο αφορά την θερμοκρασία τα κριτήρια σχεδιασμού του κτιρίου τηρούνται, η ελάχιστη θερμοκρασία είναι 21.3 °C και μέγιστη 26.69 °C .

Γενικά παρατηρείται ότι η θερμοκρασία είναι σε χαμηλότερα επίπεδα από την θερμική ζώνη 17, η συγκεκριμένη θερμική ζώνη έρχεται σε επαφή με το έδαφος. Η θερμοκρασία κάτω από τα κτίρια επηρεάζεται σημαντικά από το ίδιο το κτίριο, κατά μέσο όρο 2 °C κάτω από τις μέσες εσωτερικές θερμοκρασίες για μεγάλα εμπορικά κτίρια (όπου η απώλεια θερμότητας της περιμέτρου είναι σχετικά μικρότερη). Η υπόγεια θερμοκρασία της γης παραμένει σταθερή, έτσι οι υπόγειες κατοικίες επωφελούνται από τη γεωθερμική μάζα και την ανταλλαγή θερμότητας, παραμένουν δροσερές το καλοκαίρι και ζεστές το χειμώνα.



Σχήμα 4-11 Υγρασία θερμικής ζώνης 22

Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μέση θερμοκρασία θερμικής ζώνης 22 και με κόκκινο η υγρασία θερμικής ζώνης 22. Σε σχέση με την θερμική ζώνη 17 παρατηρείται ότι οι τιμές είναι αυξημένες. Αυτό οφείλεται στην διαφορά θερμοκρασίας που υπάρχει μεταξύ των θερμικών ζωνών.

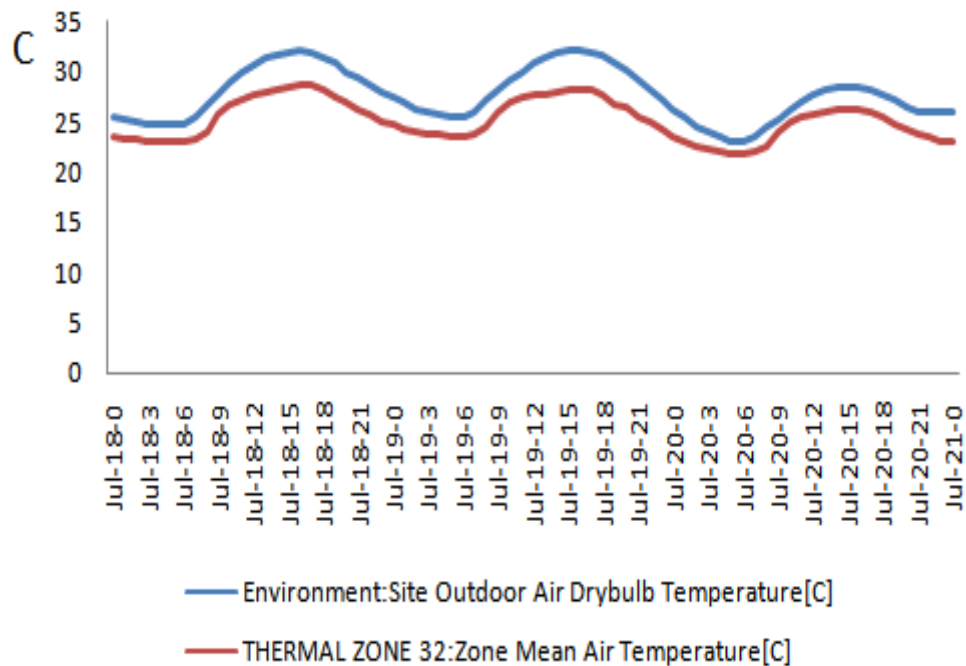


Σχήμα 4-12 Προσφορά ενέργειας θερμικής ζώνης 22

Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέση θερμοκρασία θερμικής ζώνης 22 και με πράσινο χρώμα η προσφορά ψύξης του συστήματος στην θερμική ζώνη. Σε σχέση με την θερμική ζώνη 17 παρατηρείται ότι υπάρχει μικρότερη προσφορά καθώς και μικρότερη αιχμή.

Αυτό οφείλεται ότι ένα μέρος της θερμικής ζώνης είναι το έδαφος, η υπόγεια θερμοκρασία της γης παραμένει σταθερή. Γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας κρατώντας την θερμική άνεση στο χώρο, αυτό είναι ένα πλεονέκτημα που έχουν οι υπόγειες κατασκευές.

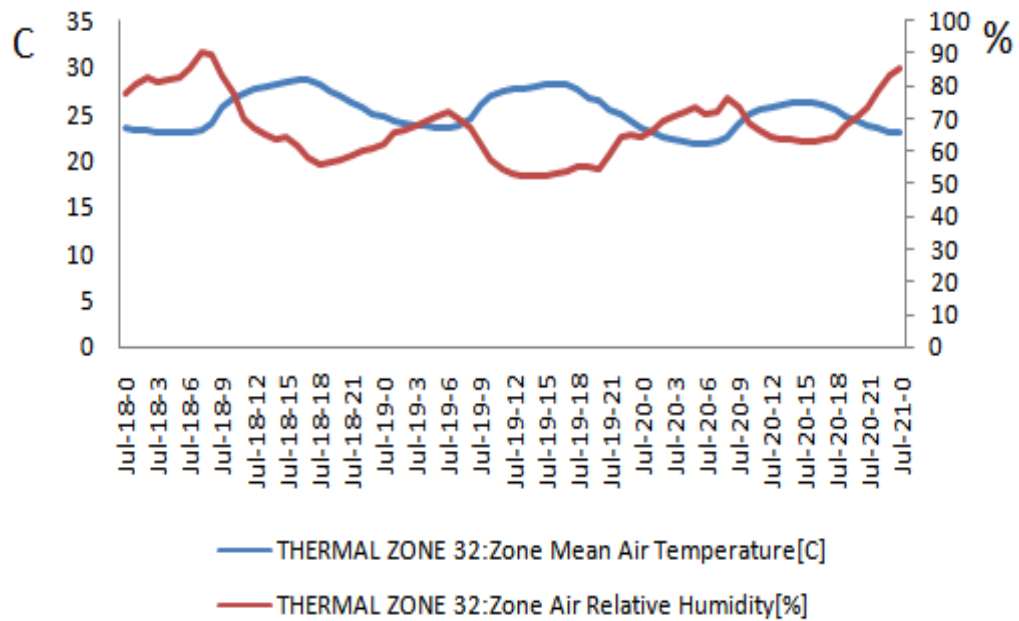
4.1.3 θερμική Ζώνη 32



Σχήμα 4-13 Μέση θερμοκρασία θερμικής ζώνης 32

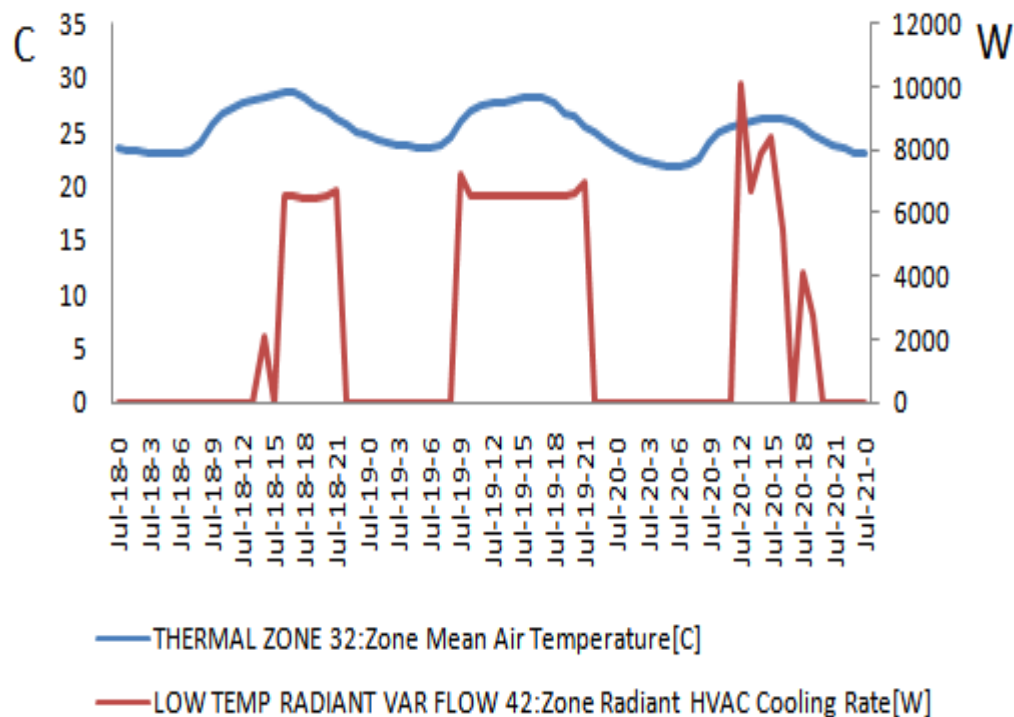
Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος και με κόκκινο η μέση θερμοκρασία θερμικής ζώνης 32. Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι τα επίπεδα της θερμοκρασίας είναι ελαφρώς αυξημένα σε σχέση με τις θερμικές ζώνες 17 και 22 αλλά τα κριτήρια σχεδιασμού του κτιρίου τηρούνται.

Στην θερμική ζώνη η ελάχιστη τιμή είναι $22,9^{\circ}\text{C}$ και μέγιστη $28,6^{\circ}\text{C}$. Αυτό οφείλεται στο ότι το μέγεθος της θερμικής ζώνης 32 είναι πολύ μεγαλύτερο από τις άλλες δύο θερμικές ζώνες (17 και 22). Η θερμική ζώνη 32 είναι αίθουσα συνεδριάσεων και σε αυτήν μαζεύονται μεγάλος αριθμός ανθρώπων.



Σχήμα 4-14 Υγρασία θερμικής ζώνης 32

Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέση θερμοκρασία θερμικής ζώνης 32 και με πράσινο η υγρασία θερμικής ζώνης 32. Σε σχέση με τις άλλες θερμικές η υγρασία κινείται στα ίδια επίπεδα με την θερμική ζώνη 17, οι τιμές κινούνται στα ιδανικά επίπεδα όταν λειτουργεί το σύστημα της ενδοδαπέδιας ψύξης. Παρόλα αυτά παρατηρείται ότι τις πρώτες πρωινές ορισμένες φορές υπάρχει υγρασία άνω του 65 %, υπάρχει πιθανότητα συμπύκνωσης στην θερμική ζώνη.



Σχήμα 4-15 Ζήτηση ενέργειας θερμικής ζώνης 32

Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέση θερμοκρασία θερμικής ζώνης 32 και με πράσινο χρώμα η προσφορά ενέργειας της ενδοδαπέδιας ψύξης. Σε σχέση με τις άλλες ζώνες υπάρχει μεγάλη αύξηση της προσφοράς, αυτό συμβαίνει λόγω της διαφοράς μεγέθους που υπάρχει μεταξύ των ζωνών.

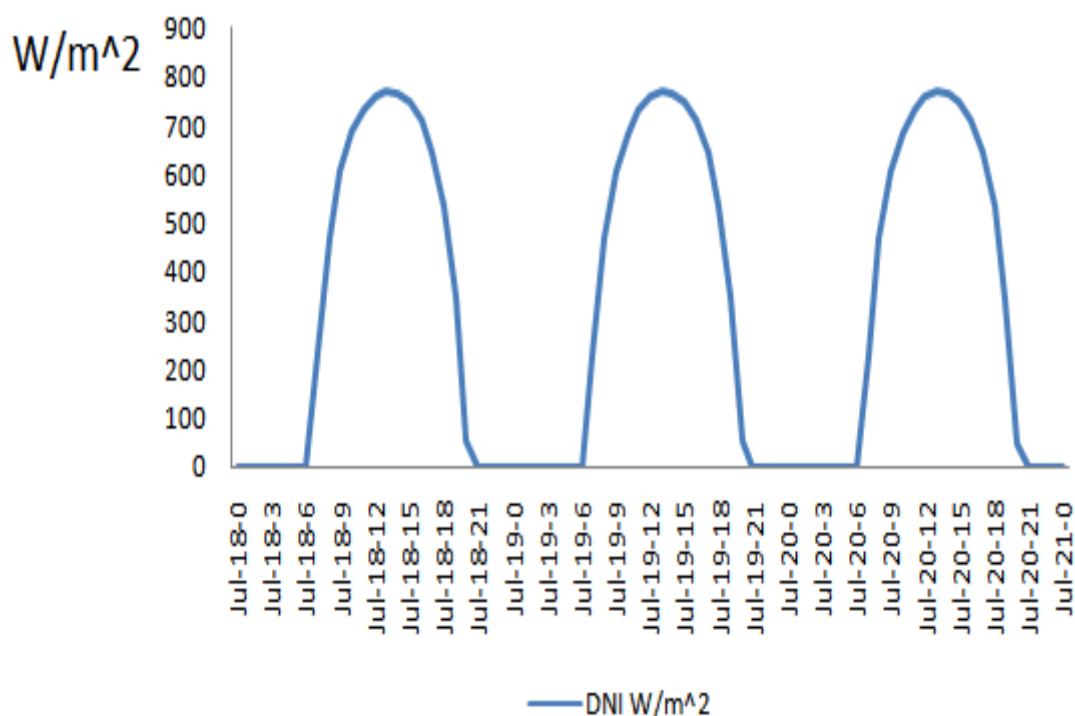
4.1.4 Συμπέρασμα

Από τα διαγράμματα θερμοκρασίας παρατηρήθηκε ότι οι θερμικές ζώνες 17 και 32 έχουν θερμοκρασία που κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα. Όσον αφορά την θερμική ζώνη 22 η θερμοκρασία κυμαίνεται σε λίγο χαμηλότερα επίπεδα με μικρότερο ρυθμό ψύξης. Αναλυτικότερα οι θερμικές ζώνες έχουν θερμοκρασία που κυμαίνονται στα φυσιολογικά επίπεδα και στις ζώνες στις οποίες έρχονται σε επαφή με το έδαφος χρειάζονται λιγότερη ενέργεια από τις υπόλοιπες. Όσον αφορά την υγρασία και στις τρεις θερμικές ζώνες παρατηρήθηκαν ότι υπάρχουν περιπτώσεις συμπύκνωσης. Στην παρούσα εργασία

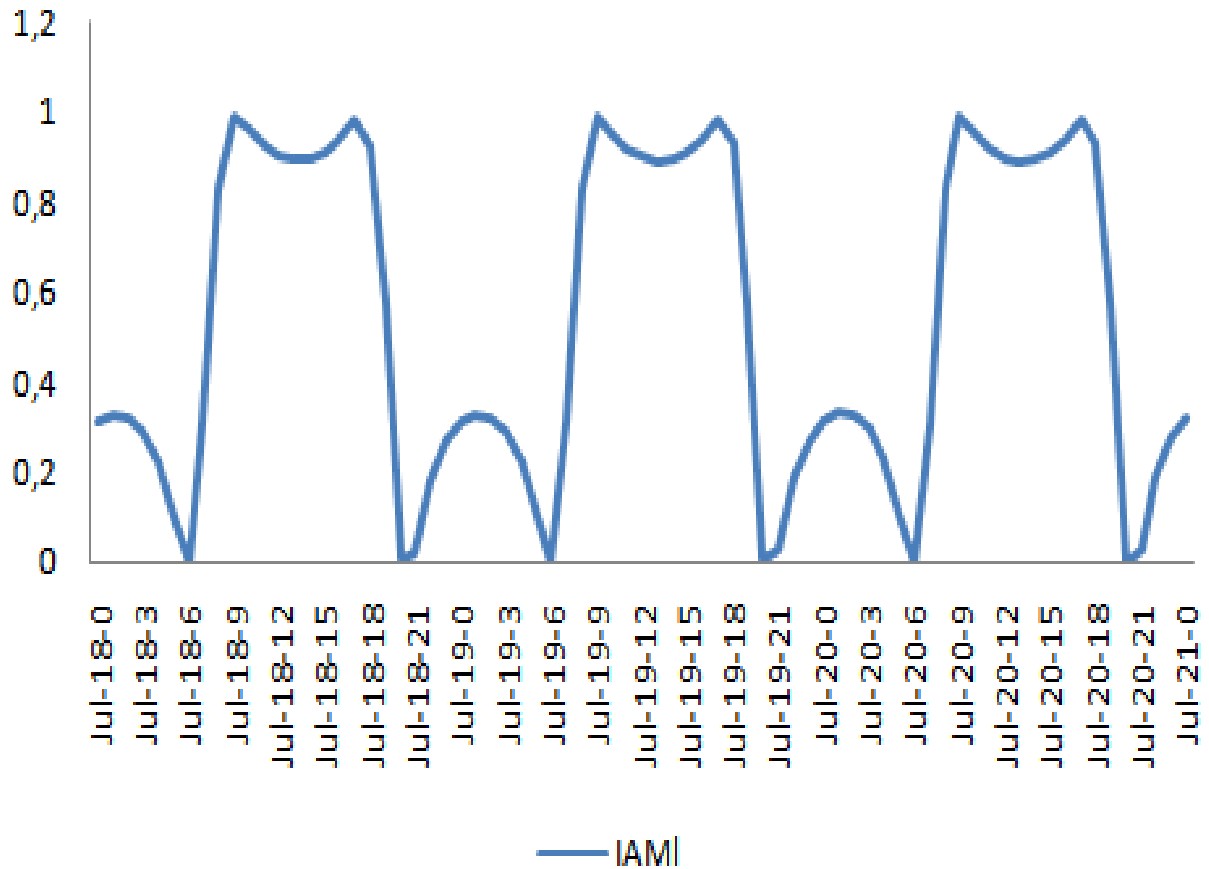
χρησιμοποιήθηκε μόνο φυσικός εξαερισμός δεν υλοποιήθηκε κάποιο σύστημα ελέγχου της υγρασίας.

4.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel

Για να γίνει ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από τον γραμμικό ανακλαστήρα (linear Fresnel collector) χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Matlab. Επίσης για τον υπολογισμό των γωνιών ζενίθ και αζιμούθιου χρησιμοποιήθηκε ο ιστότοπος του NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, είναι μία αμερικάνικη επιστημονική υπηρεσία στο Υπουργείο των ΗΠΑ που επικεντρώνεται στις συνθήκες των Ωκεανών, των μεγάλων υδάτινων οδών και της ατμόσφαιρας) με γεωγραφικό πλάτος 38.1° (θεωρείται θετικό το βόρειο ημισφαίριο) και γεωγραφικό μήκος 13.343925° (θεωρείται αρνητικό το δυτικό ημισφαίριο) ενώ η επιφανειακή ανύψωση είναι 80 m (συντεταγμένες για το Παλέρμο). Για τον υπολογισμό της άμεσης κανονικής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του Bird από το ελεύθερο λογισμικό solrad.

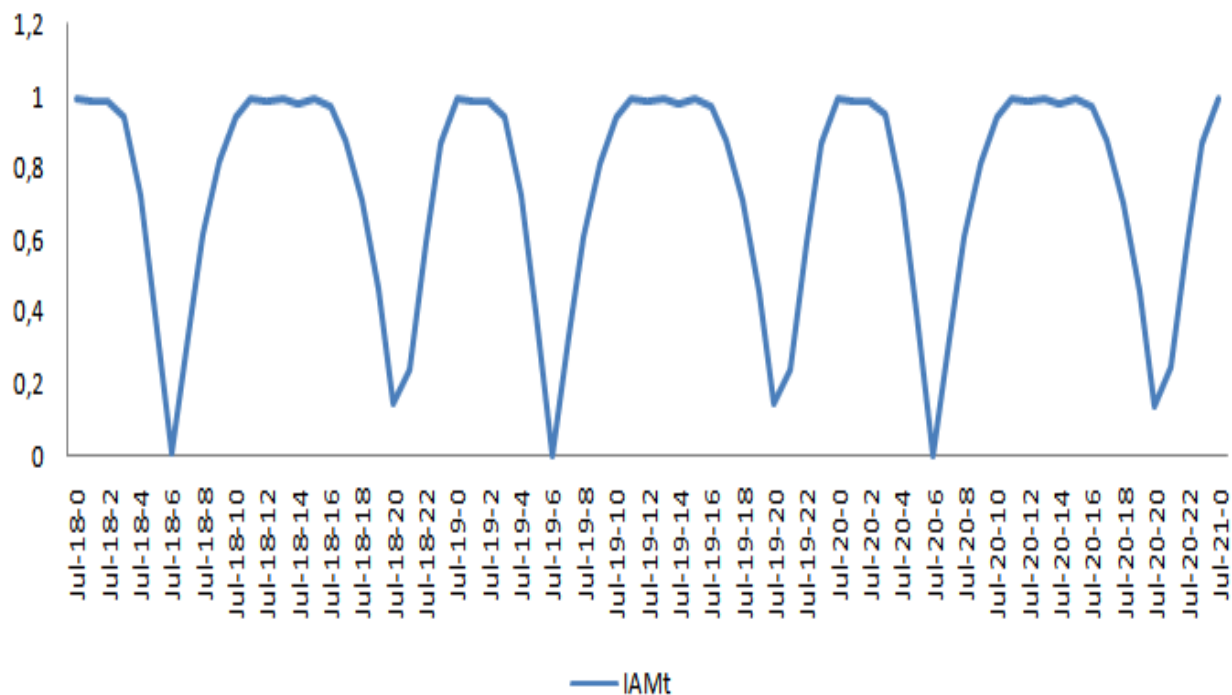


Σχήμα 4-16 DNI υπολογισμένο βάση το μοντέλο του Bird



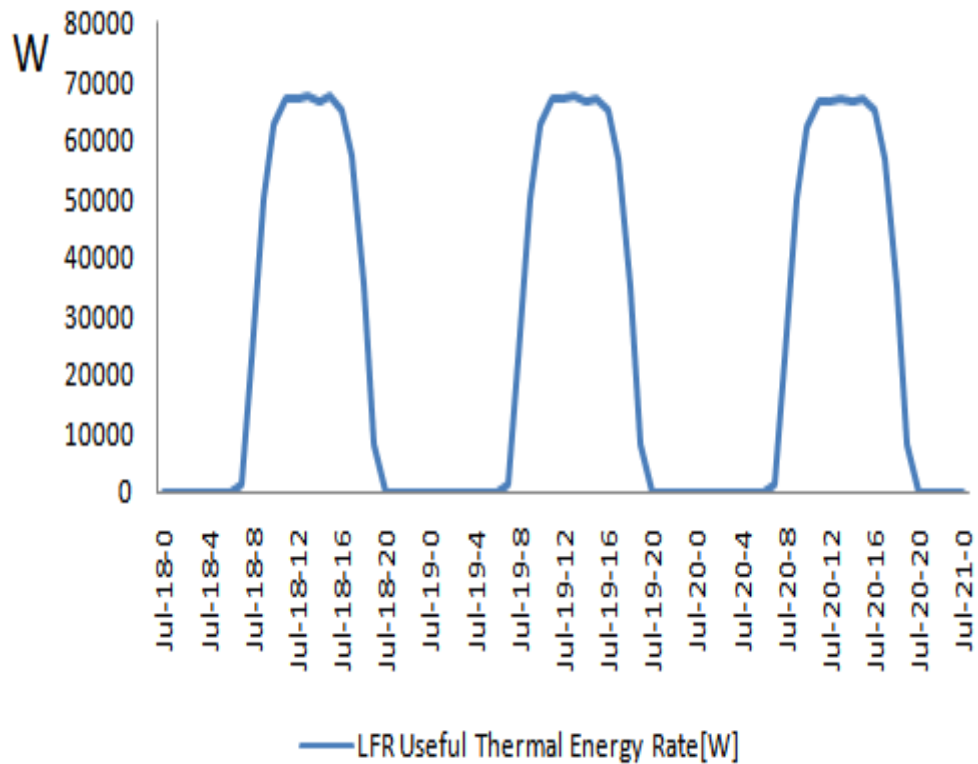
Σχήμα 4-17 IAM_1 που προέκυψε από τις συντεταγμένες του κτιρίου

Ο συγκεκριμένος τροποποιητής λαμβάνει υπόψη το γεωγραφικό μήκος, παρατηρείται ότι κατά την ανατολή και δύση του ηλίου οι τιμές είναι μηδενικές ενώ οι υπόλοιπες τιμές είναι γύρω στο 1. Ο συγκεκριμένος τροποποιητής λαμβάνει υπόψη το φαινόμενο συνημίτονου των ακτινών του ήλιου στην επιφάνεια του καθρέφτη [17].



Σχήμα 4-18 IAM_t που προέκυψε από τις συντεταγμένες του κτιρίου

Από το σχήμα 5-16 παρατηρείται ότι ο τροποποιητής IAM_t έχει αρκετά πιο ομαλές τιμές . Οι περισσότερες τιμές είναι στο 1, οι οποίες επιτυγχάνονται τις μεσημεριανές ώρες . Τα ελάχιστα λαμβάνονται και σε αυτήν την περίπτωση κατά την ανατολή και δύση του ηλίου. Λαμβάνει υπόψη, κυρίως, τα φαινόμενα σκίασης και φραγής μεταξύ των καθρεπτών [17].



Σχήμα 4-19 Ρυθμός ωφέλιμης θερμικής ενέργειας

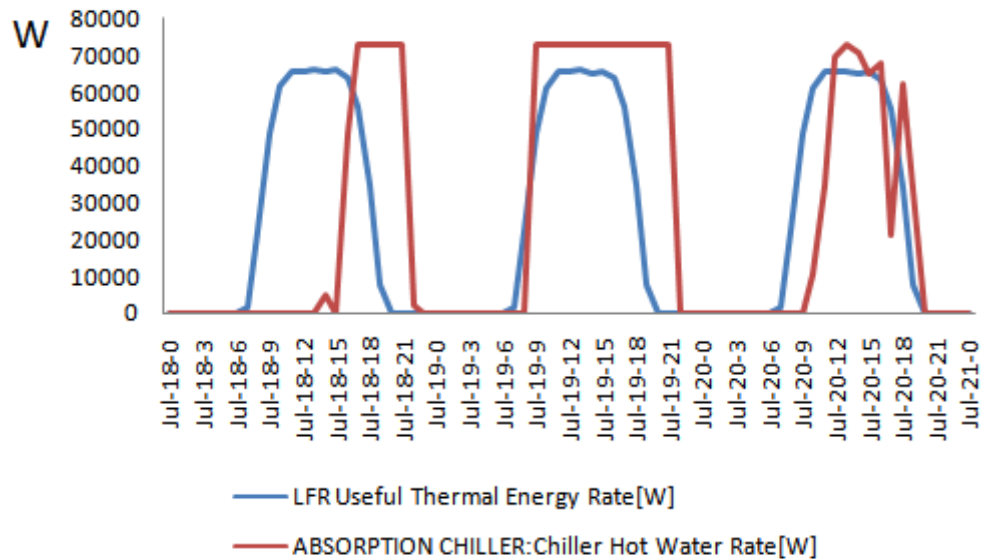
Στο συγκεκριμένο κέρδος θερμικής ενέργειας δεν λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες λόγω της μεταφοράς δια μέσο των σωληνώσεων, καθώς και για τις απώλειες που υπάρχουν στα βοηθητικά μέσα του συστήματος του γραμμικού ανακλαστήρα.

5.Βελτιστοποίηση με χρήση απόκρισης ζήτησης

5.1 Κόστος συστήματος

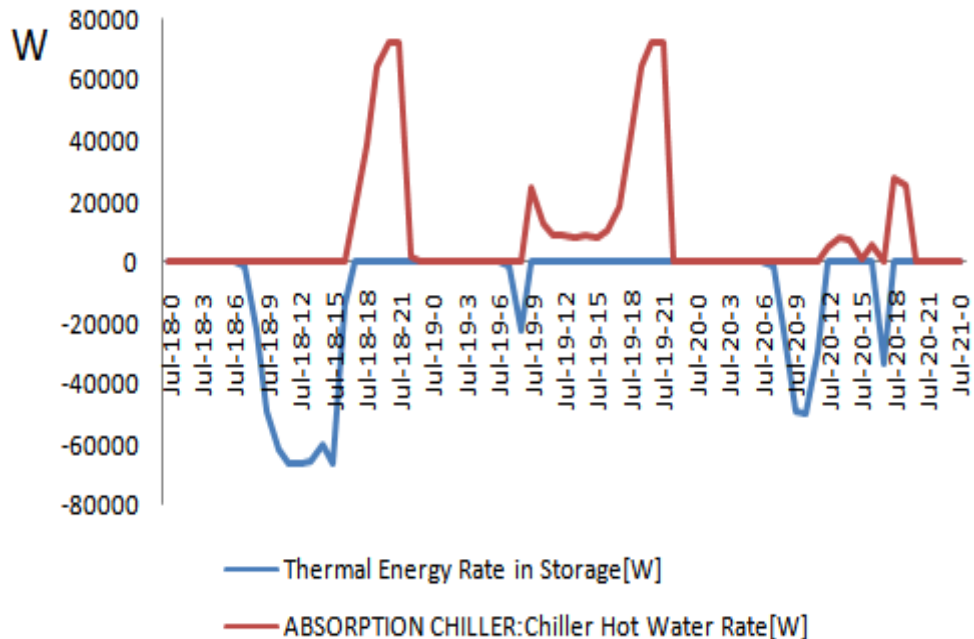
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση του κόστους που έχει το συγκεκριμένο HVAC σύστημα με χρήση δύο σεναρίων: (1) Κόστος με χρήση αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (2) Κόστος χωρίς την χρήση αποθήκευσης ενέργειας.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η παραγωγή ενέργειας που έχει ο γραμμικός ανακλαστήρας Fresnel (Μπλε χρώμα) και η ζήτηση (ζεστό νερό) που έχει ο ψύκτης απορρόφησης (Κόκκινο χρώμα). Για την παραγωγή ενέργειας του γραμμικού ανακλαστήρα θα ληφθούν υπόψη οι απώλειες που υπάρχουν λόγω των βοηθητικών μέσων του συστήματος παραγωγής (σωληνώσεις). Σύμφωνα με έρευνες η επίδραση που έχουν τα βοηθητικά μέσα είναι $\eta_{aux}=98.29\%$ [16].



Σχήμα 5-1 Ζήτηση θερμικής ενέργειας του ψύκτη απορρόφησης και παραγωγή γραμμικού ανακλαστήρα

Στην συνέχεια στο παρακάτω σχήμα είναι η ζήτηση του συστήματος με την χρήση του γραμμικού ανακλαστήρα καθώς και ο ρυθμός με τον οποίο αποθηκεύεται η θερμική ενέργεια στην δεξαμενή απομόνωσης.

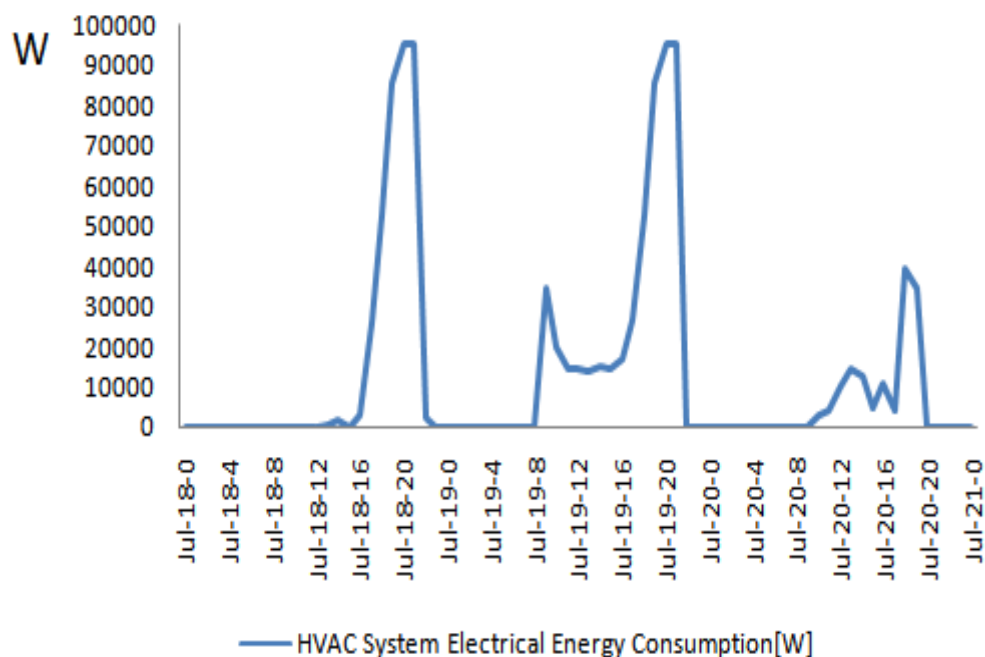


Σχήμα 5-2 Ζήτηση συστήματος και αποθηκευόμενη ενέργεια

Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η ζήτηση του ψύκτη απορρόφησης (ζεστό νερό στην συγκεκριμένη περίπτωση) και με μπλε χρώμα απεικονίζεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται στην δεξαμενή.

5.1.1 Κόστος συστήματος χωρίς την χρήση αποθήκευσης θερμικής ενέργειας

Σε αυτό το σημείο θα αναλυθεί τι κόστος, σε ηλεκτρική ενέργεια, που υπάρχει για το σύστημα HVAC του κτιρίου. Αναλυτικότερα η κατανάλωση ρεύματος που έχει ο ψύκτης απορρόφησης, ο πύργος ψύξης και για την παραγωγή ζεστού νερού. Όταν η παραγωγή του γραμμικού ανακλαστήρα δεν μπορεί να καλύψει την ζήτηση του απορροφητή ψύξης τότε χρησιμοποιείται ένας Boiler που λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα και έχει απόδοση $COP=0.8$.



Σχήμα 5-3 Ζήτηση ενέργειας του HVAC συστήματος χωρίς την χρήση αποθήκευσης ενέργειας

Στην παραγωγή θερμικής ενέργειας του γραμμικού συμπεριλήφθηκαν και οι απώλειες που υπάρχουν από τις σωληνώσεις κατά την μεταφορά της, στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι $\eta_{\text{piping}} = 98.25 \%$ [16].

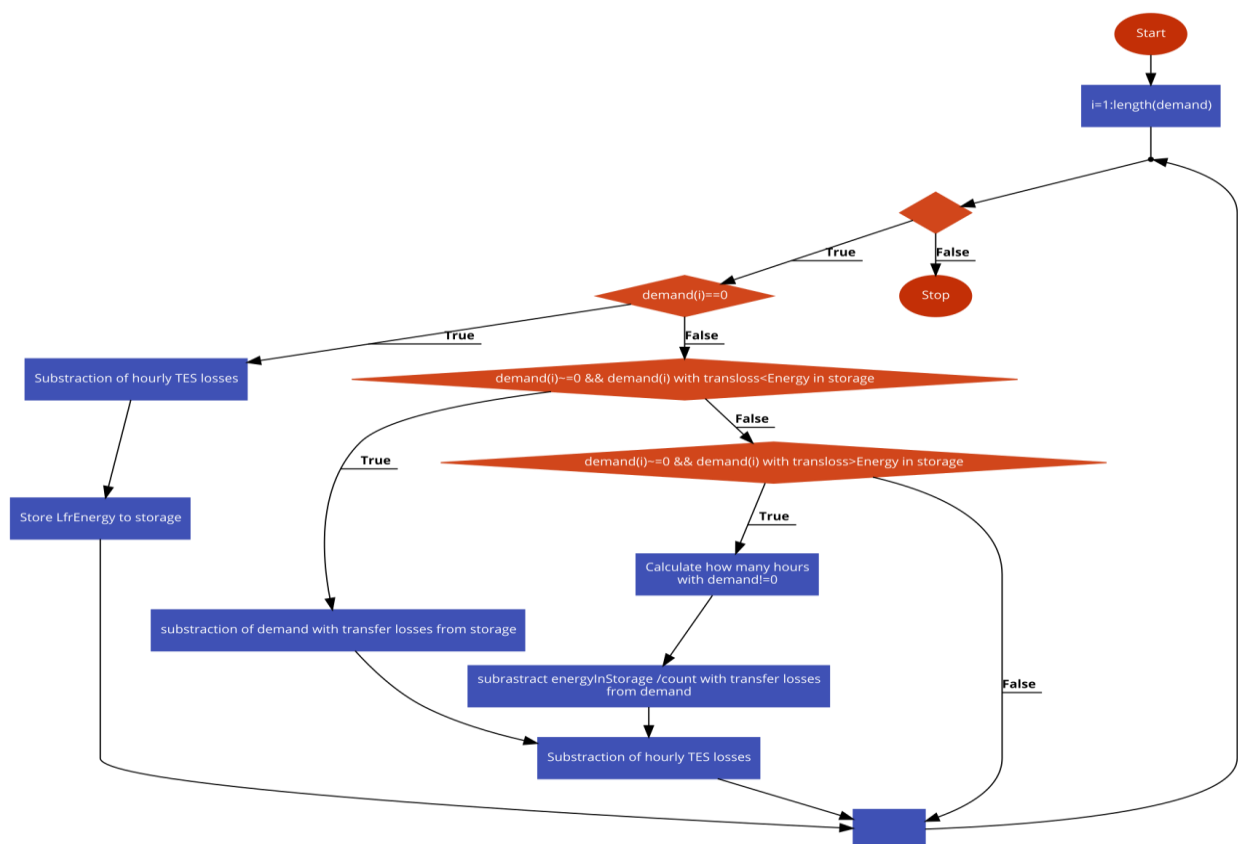
Σύμφωνα με το σχήμα 3-12 οι KWh που ανήκουν στο σύνολο F1 είναι 411, στο F2 588 και στο F3 0. Από το μαθηματικό μοντέλο του κεφαλαίου 3.3 υπολογίζεται ότι το κόστος είναι 219.11 €

(Συμπεριλαμβανομένου φόρων που είναι για τις τρεις μέρες και όχι για όλο τον μήνα) με peak ισχύ 95 KW. Παρατηρείται ότι το κόστος είναι αρκετά μεγάλο για τρεις μόνο μέρες.

5.1.2 Κόστος συστήματος με χρήση αποθήκευσης θερμικής ενέργειας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί το κόστος που έχει το HVAC σύστημα με την χρήση αποθήκευσης ενέργειας (thermal energy storage, TES). Στην παρούσα εργασία θεωρείται ότι ο TES έχει μέγιστο ρυθμό φόρτωσης 200 KW θερμικής ενέργειας και μέγιστο ρυθμό άντλησης 150 KW . Επίσης θεωρείται ότι η μέγιστη χωρητικότητα είναι 500 KWh και οι ωριαίες απώλειες είναι 0.031 % [18].

Στο παρακάτω σχήμα αναλύεται ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την χρήση της θερμικής ενέργειας που υπάρχει στην δεξαμενή ανά ώρα την περίοδο 18 – 20 Ιουλίου. Το συγκεκριμένο σχήμα υλοποιήθηκε στον ιστότοπο code2flow.



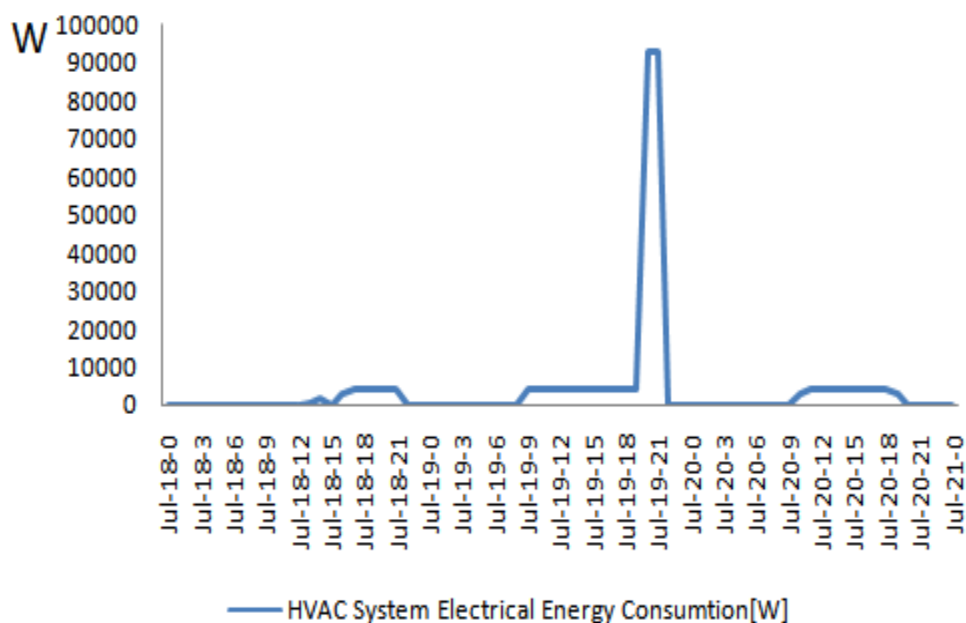
Σχήμα 5-4 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε για την χρήση της θερμικής ενέργειας που υπάρχει στην δεξαμενή απομόνωσης

Όπου

- Demand, η ζήτηση θερμικής ενέργειας του απορροφητή ψύξης ανά ώρα
- LfrEnergy, η θερμική ενέργεια που έχουμε από τον γραμμικό ανακλαστήρα Fresnel ανά ώρα

Πιο συγκεκριμένα κάθε χρονική στιγμή (ανά ώρα στην συγκεκριμένη περίπτωση) εξετάζονται τέσσερα σενάρια. Στην περίπτωση που απορροφητής ψύξης δεν λειτουργεί, εφαρμόζονται οι ωριαίες απώλειες στην θερμική ενέργεια που υπάρχει στην δεξαμενή και αποθηκεύεται η ενέργεια από τον γραμμικό ανακλαστήρα εάν υπάρχει.

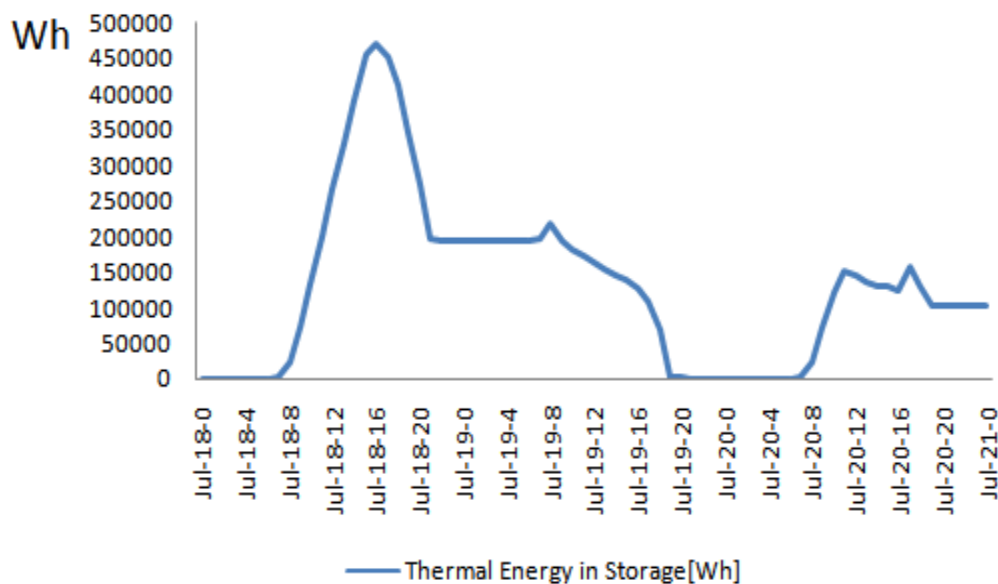
Στην συνέχεια εάν ο απορροφητής ψύξης λειτουργεί τότε χρησιμοποιείται η θερμική που είναι αποθηκευμένη στην δεξαμενή απομόνωσης. Εάν η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια δεν επαρκεί για να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες του απορροφητή ψύξης, τότε διαμοιράζεται ισόποσα στις υπόλοιπες ώρες λειτουργίας του.



Σχήμα 5-5 Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας συστήματος HVAC με χρήση αποθήκευσης

Σύμφωνα με το σχήμα 3-12 η ενέργεια που ανήκει στο σύνολο F1 είναι 91 KWh, στο F2 204 KWh και στο F3 0 KWh. Από το μαθηματικό μοντέλο του κεφαλαίου 3.3 υπολογίζεται ότι το κόστος είναι 86.24 € (Συμπεριλαμβανομένου φόρων που είναι για τις τρεις μέρες) με peak ισχύ 92 KW. Παρατηρείται μεγάλη μείωση του κόστους.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η θερμική ενέργεια που υπάρχει στην δεξαμενή αποθήκευσης κατά την χρονική διάρκεια 18 - 20 Ιουλίου.



Σχήμα 5-6 Θερμική ενέργεια στην δεξαμενή απομόνωσης

Από το σχήμα 5-6 παρατηρείται ότι όταν η παραγωγή θερμικής ενέργειας του γραμμικού ανακλαστήρα δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες του ψύκτη απορρόφησης, τότε χρησιμοποιείται η ενέργεια που έχει αποθηκευτεί την προηγούμενη ημέρα. Τέλος υπάρχει η θερμική ενέργεια που αποθηκεύτηκε στις 20 Ιουλίου για μελλοντική χρήση.

Σε γενικές γραμμές το κόστος του συστήματος είναι αρκετά υψηλό, συγκρίνοντας τους λογαριασμούς ενέργειας του μήνα Ιουλίου παλαιότερων ετών. Στην παρούσα εργασία υλοποιήθηκε μόνο το σύστημα της υποδαπέδιας ψύξης. Πιο συγκεκριμένα δεν υλοποιήθηκε μία μονάδα κλιματισμού UTA, η οποία προσφέρει ψύξη και αφαιρεί την υγρασία.

Το συγκεκριμένο σύστημα τροφοδοτείται από μία αντλία θερμότητας (heat pump) η οποία έχει τρεις με τέσσερις φορές μεγαλύτερη απόδοση από τον Boiler. Αυτό επηρεάζει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας του κτιρίου.

5.2 Εφαρμογή Απόκρισης ζήτησης

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα εφαρμοστούν καινούργιες τιμές (day-ahead) για την τιμή της ενέργειας πάνω στο οποίο θα γίνει η απόκριση ζήτησης. Οι τιμές προέρχονται από την πλατφόρμα ENTSO-E. Ο συγκεκριμένος ιστότοπος περιέχει πληροφορίες, ανά ώρα, σχετικά για

την τιμή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη την Ευρώπη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, Σικελία της Ιταλίας, υπάρχουν οι παρακάτω τιμές.

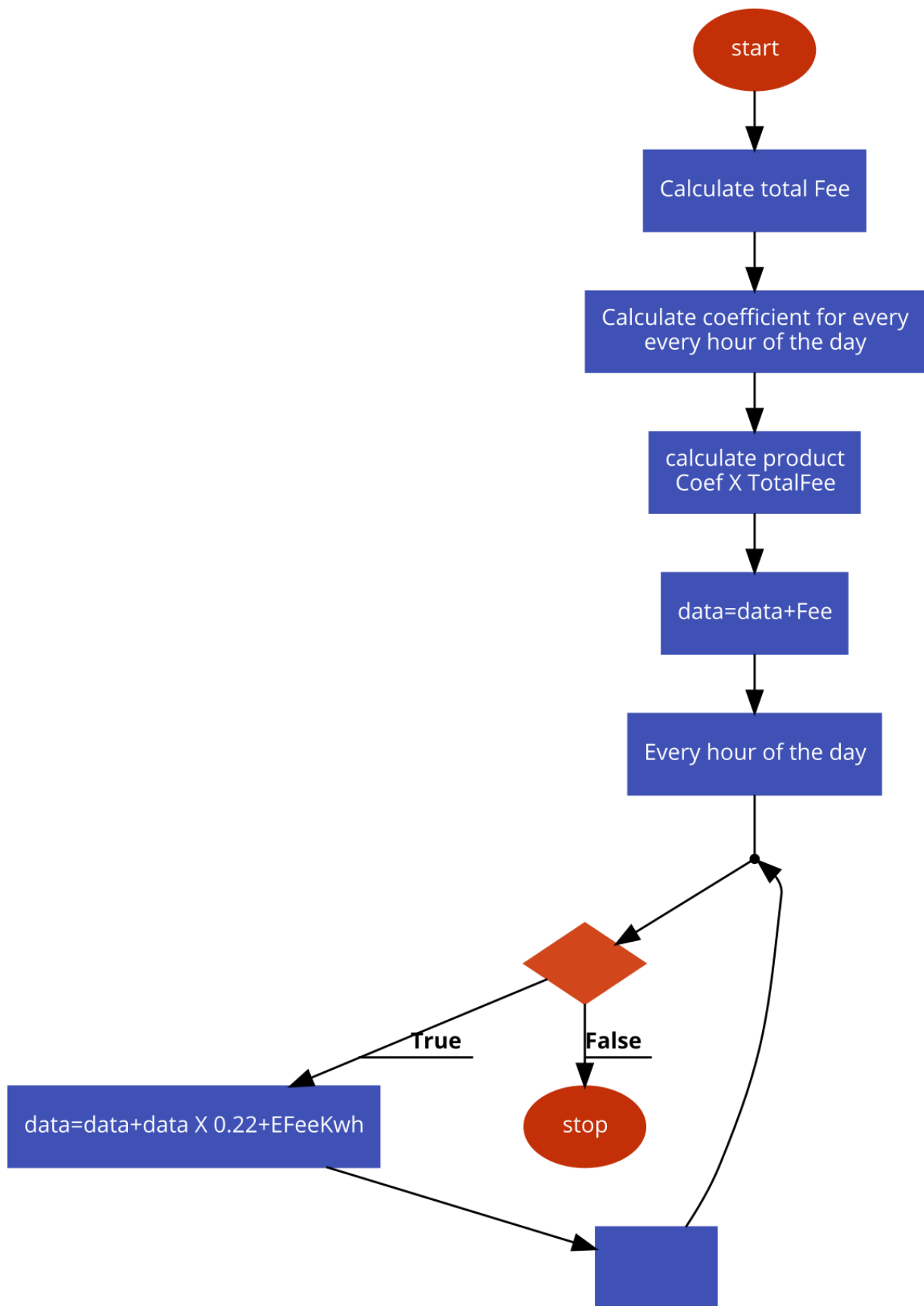
Ωρες	18-Ιουλίου €/MWh	19-Ιουλίου €/MWh	20-Ιουλίου €/MWh
0	59.95	63.00	104.50
1	59.15	62.00	104.50
2	58.67	59.39	90.00
3	57.66	59.04	61.00
4	57.66	57.66	61.00
5	57.66	59.39	59.99
6	62.00	59.39	63.30
7	104.50	61.00	102.30
8	104.50	103.68	104.50
9	104.10	103.68	104.50
10	70.57	78.68	104.50
11	66.91	62.00	80.11
12	62.22	60.00	63.32
13	60.10	60.00	62.00
14	62.00	62.00	66.37
15	62.00	65.02	68.38
16	72.00	74.05	104.50
17	104.50	104.50	104.50
18	135.50	115.68	135.50
19	135.50	116.08	135.50
20	135.88	115.50	135.50
21	135,88	115.50	135.88
22	135.50	115.50	135.50
23	135.50	115.68	135.50
24	63.00	104.50	104.50

Σχήμα 5-7 Νέες τιμές ενέργειας από την πλατφόρμα ENTSOE [19]

Με τις καινούργιες τιμές υπάρχει ένας νέος τρόπος υπολογισμού του κόστους. Για τον υπολογισμό του κόστους υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τομείς: Δαπάνες για τις ενεργειακές υποθέσεις, δαπάνες για την μεταφορά, έξοδα συστήματος και φόρους. Οι τιμές του σχήματος 5.7 περιλαμβάνουν τις δαπάνες για την συντήρηση του συστήματος και για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως δεν περιλαμβάνουν τυχόν φόρους [20].

Για να συμπεριληφθούν οι φόροι, θα προστεθούν στις τιμές του σχήματος 5-7, τα σταθερά τέλη για τις ενεργειακές δαπάνες, για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, για την συντήρηση του συστήματος και ΦΠΑ. Στο κτίριο Arca τα τέλη είναι 7.55 €, 2.29 € και 12.08 € αντίστοιχα, ενώ ο ΦΠΑ είναι 22 % και σε κάθε μονάδα ενέργειας προστίθεται επιπλέον φόρος 0,012500 €/KWh (φόροι από το κεφάλαιο 3.3).

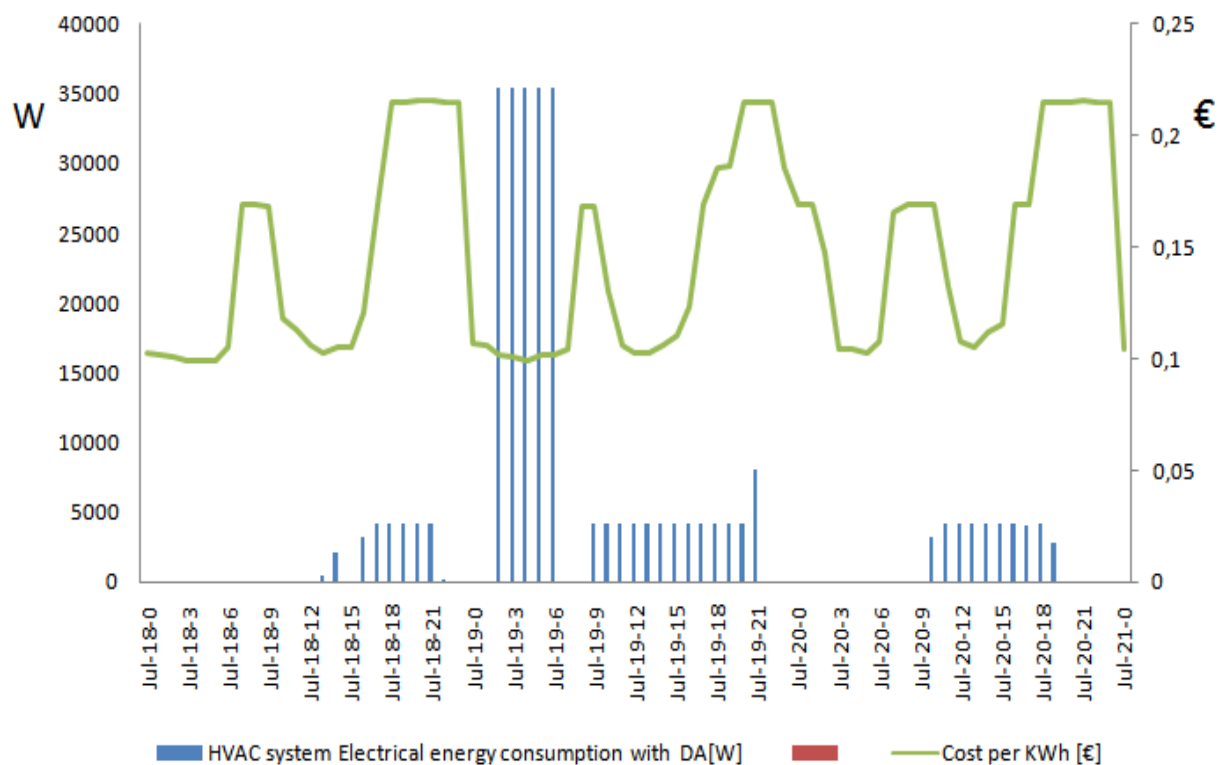
Αναλυτικότερα στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ο αλγόριθμος που ακολουθήθηκε για την εύρεση των καινούργιων τιμών ηλεκτρικής ενέργειας. Το συγκεκριμένο σχήμα υλοποιήθηκε στον ιστότοπο code2flow.



Σχήμα 5-8 Αλγόριθμος για την εύρεση τιμών ηλεκτρικής ενέργειας

- Data, οι τιμές από το σχήμα 5-7 που αφορούν μία μέρα
- Coefficient, συντελεστές ανά ώρα. Πιο συγκεκριμένα όλες οι τιμές του data διαιρούνται με την μέγιστη τιμή της ημέρας.
- TotalFee, άθροιση όλων των φόρων ανά ώρα
- Fee, αποτέλεσμα coef X Totalfee.

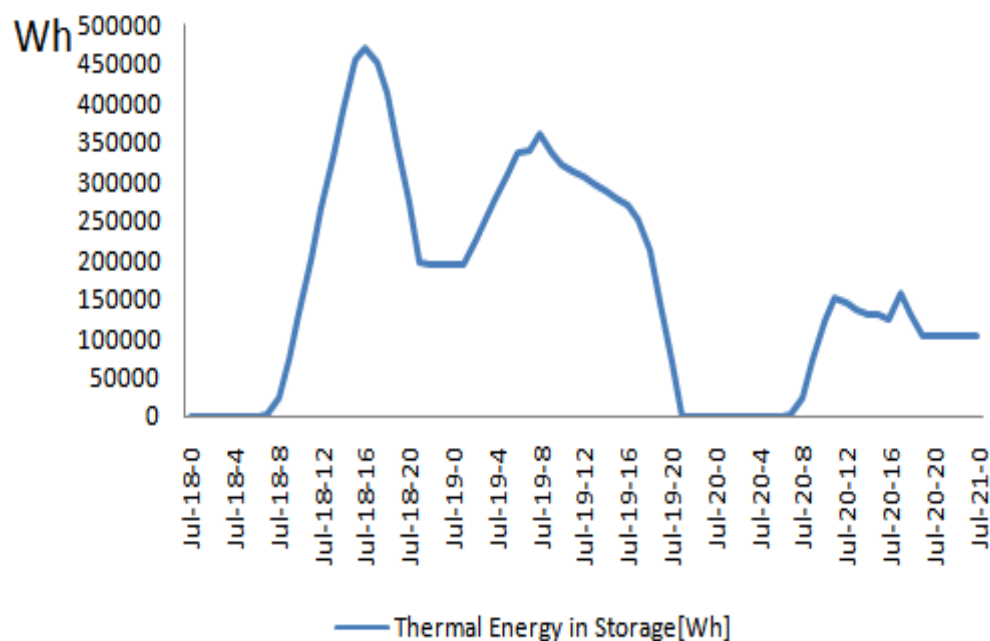
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η ζήτηση που υπάρχει με την εφαρμογή απόκρισης ζήτησης



Σχήμα 5-9 Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας συστήματος HVAC με χρήση αποθήκευσης και απόκρισης ζήτησης

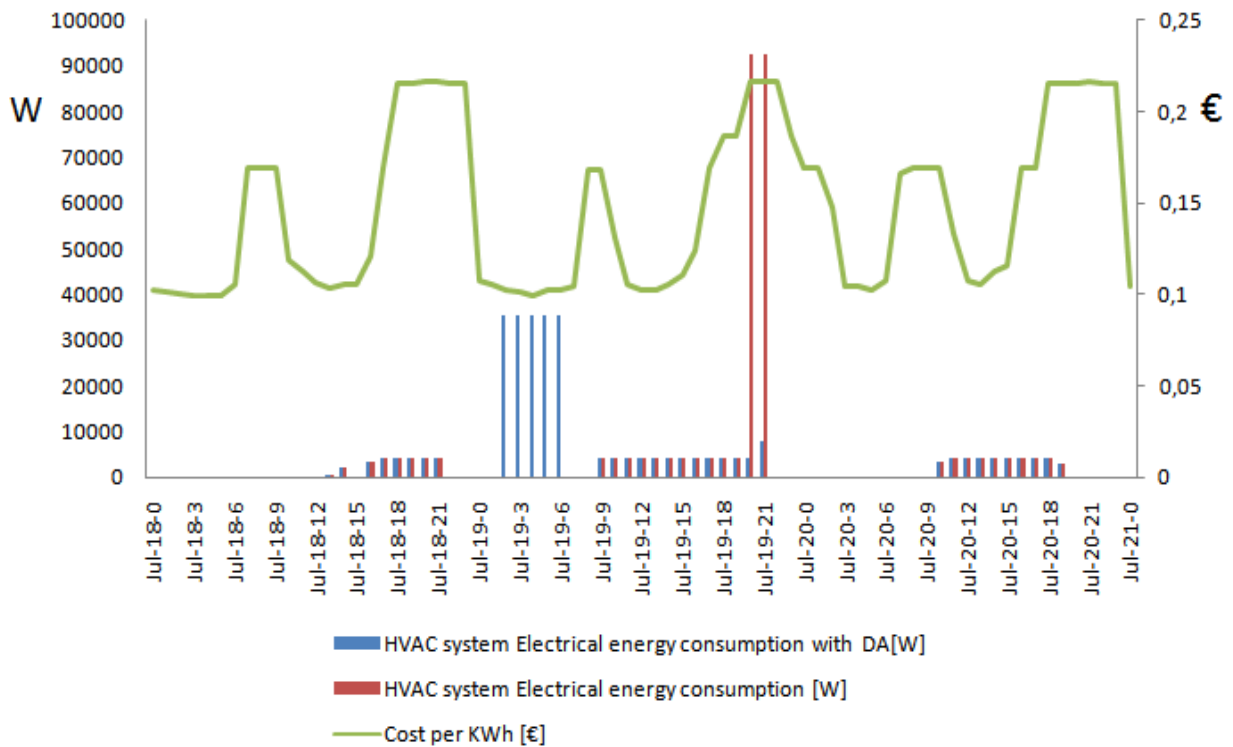
Η παραγωγή θερμικής ενέργειας του γραμμικού ανακλαστήρα δεν μπόρεσε να ικανοποιήσει την ζήτηση του απορροφητή ψύξης στις 19 Ιουλίου στις ώρες 19.00-21.00. Η επιπλέον θερμική ενέργεια που χρειάστηκε προήλθε από τον Boiler. Το συγκεκριμένο φορτίο μετατέθηκε από τις ώρες 19.00-21.00 στις 2.00-6.00, η θερμική ενέργεια αποθηκεύτηκε στην δεξαμενή απομόνωσης. Αυτή μετατόπιση έγινε χωρίς την χρήση κάποιου αλγόριθμου. Η επιλογή των συγκεκριμένων ωρών έγινε με γνώμονα την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας (ελάχιστη τιμή ενέργειας για την ημέρα 19 Ιουλίου).

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η θερμική ενέργεια που υπάρχει στην δεξαμενή απομόνωσης μετά την εφαρμογή της απόκρισης ζήτησης.



Σχήμα 5-10 Θερμική ενέργεια στην δεξαμενή απομόνωσης μετά την χρήση απόκρισης ζήτησης

Σύμφωνα με το νέο τιμολόγιο το νέο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 37.28 €. Από το Σχήμα 5-4 που απεικονίζεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς την χρήση απόκρισης ζήτησης, εάν εφαρμοστεί το νέο τιμολόγιο από το ιστότοπο Entso e έχουμε ότι το κόστος είναι 56.75 €. Παρατηρείται μία μείωση της τάξης του 34 % που οφείλεται στην εφαρμογή της απόκρισης ζήτησης. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η ηλεκτρική κατανάλωση που υπάρχει με την χρήση της απόκρισης ζήτησης αλλά και χωρίς σε σχέση με τις τιμές του σχήματος 5-7.



Σχήμα 5-11 Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας

Από το σχήμα 5-9 παρατηρείται ότι γίνεται μετατόπιση του φορτίου, σε ώρες που έχουν πολύ μικρότερη τιμή ενέργειας. Επίσης γίνεται μεγάλη μείωση στη μέγιστη τιμή ισχύς. Τα υπόλοιπα φορτία στην ηλεκτρική κατανάλωση παραμένουν τα ίδια. Μοναδική εξαίρεση είναι στις 21.00 στις 19 Ιουλίου όπου υπάρχει μία μικρή αύξηση της ζήτησης. Αυτό οφείλεται από τις απώλειες θερμικής ενέργειας. Η συγκεκριμένη ζήτηση καλύπτεται από τον Boiler.

6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αρχικά υλοποιήθηκε στο πρόγραμμα Openstudio πάνω στο μοντέλο του κτιρίου Arca η ενδοδαπέδια ψύξη. Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι εναλλάκτες λειτουργούν τις ώρες 8.00 – 21.00 όταν η μέση θερμοκρασία της θερμικής ζώνης ξεπεράσει τους 24 °C. Στην συνέχεια αναπτύχθηκε το μαθηματικό μοντέλο με τον οποίο υπολογίζεται η παραγωγή θερμικής ενέργειας του γραμμικού ανακλαστήρα. Από τα αποτελέσματα του μαθηματικού μοντέλου του γραμμικού ανακλαστήρα Fresnel παρατηρήθηκε ότι η οπτική απόδοση είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το κέρδος θερμικής ενέργειας. Αναλυτικότερα το μέγιστο κέρδος υπάρχει όταν η θέση του ηλίου είναι στην μέση ενώ ελάχιστο όταν ανατέλλει και δύει. Η θερμική ενέργεια που παράγεται από τον γραμμικό ανακλαστήρα Fresnel μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ψύξη (με την χρήση του ψύκτη απορρόφησης).

Κατόπιν αναλύθηκαν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του κτιρίου Arca στο χρονικό διάστημα 18 – 20 Ιουλίου. Πιο συγκεκριμένα τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται ο απορροφητής ψύξης και την ψύξη που προσφέρει στο κτίριο. Στην συνέχεια αναλύθηκε η μέση θερμοκρασία, η υγρασία και η ψύξη που προσφέρει το σύστημα (ενδοδαπέδια ψύξη) σε τρεις θερμικές ζώνες οι οποίες είναι αντιπροσωπευτικές του κτιρίου. Από την προσομοίωση παρατηρείται ότι η θερμοκρασία θερμικής ζώνης είναι στα επίπεδα σχεδιασμού του κτιρίου ενώ οι τιμές υγρασίας δείχνουν ότι μπορεί να υπάρχει συμπύκνωση πράγμα που μειώνει την αποδοτικότητα της ενδοδαπέδιας ψύξης. Τέλος μερικές θερμικές ζώνες χρειάζονται λιγότερη ενέργεια διότι ένας μέρος τους είναι υπόγειο.

Κατόπιν σε συνδυασμό με την παραγωγή θερμικής ενέργειας του γραμμικού ανακλαστήρα υλοποιήθηκαν δύο σενάρια. Στο πρώτο προσδιορίζεται ποιο κόστος σε ηλεκτρική ενέργεια έχει το HVAC σύστημα εάν δεν χρησιμοποιηθεί η αποθήκευση θερμικής ενέργειας και στο δεύτερο εάν χρησιμοποιηθεί. Το αποτέλεσμα ήταν μεγάλη μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας, διότι ουσιαστικά με την χρήση αποθήκευσης θερμικής ενέργειας επιτυγχάνεται μείωση της ζήτησης, στις μέρες κατά τις οποίες η ζήτηση του ψύκτη απορρόφησης δεν καλύπτεται με την παραγωγή του γραμμικού ανακλαστήρα της συγκεκριμένης μέρας.

Έπειτα εφαρμόστηκε η μετατόπιση φορτίου πάνω σε ένα νέο τρόπο υπολογισμού του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας. Βάση του αποτελέσματος παρατηρήθηκε ότι παρόλο που υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση από το δίκτυο υπήρξε μεγάλη μείωση στο κόστος.

Με την χρήση δηλαδή τεχνικής απόκρισης ζήτησης είναι δυνατόν να διατηρηθεί η αξιοπιστία του συστήματος. Παρόλα αυτά λόγω της εφαρμογής της απόκρισης ζήτησης, παρατηρήθηκε αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν περιβαλλοντικά οφέλη.

Στην παρούσα εργασία, προκειμένου να μειωθεί το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, θα μπορούσε η θερμική ενέργεια που χρειάζεται ο ψύκτης απορρόφησης να τροφοδοτείται από μία αντλία θερμότητας και όχι από τον Boiler. Η αντλία θερμότητας έχει τρεις με τέσσερις φορές μεγαλύτερη απόδοση από τον Boiler, άρα μπορεί να γίνει εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίσης το HVAC σύστημα λειτουργεί με βάση την θερμοκρασία της θερμικής ζώνης. Αναλυτικότερα η ενδοδαπέδια εγκατάσταση ενεργοποιείται εάν η θερμοκρασία της θερμικής ζώνης ξεπεράσει τους 24 °C. Αυτό το όριο θα μπορούσε να αυξηθεί για να μειωθεί το φορτίο του ψύκτη απορρόφησης. Τέλος θα μπορούσε να εφαρμοστεί ένας αλγόριθμος για να βρεθούν οι ώρες μετατόπισης φορτίου για την εφαρμογή της μετατόπισης.

Βιβλιογραφία

- [1] Jamshid Aghaei n, M.-I. (2012, Νοέμβριος 3). *Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources:A review*. Ανάκτηση από sciencedirect: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.019>
- [2] Stromback, J. (2017, 4 6). *Explicit Demand Response in Europe Mapping the Markets 2017*. Ανάκτηση από smarten: <https://www.smarten.eu/wp-content/uploads/2017/04/SEDC-Explicit-Demand-Response-in-Europe-Mapping-the-Markets-2017.pdf>
- [3] Paolo Bertoldi, P. Z.-K. (2016). *Demand Response status in EU Member States*. Ανάκτηση από ec.europa.eu: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC101191/Idna27998enn.pdf>
- [4] Ανάκτηση από Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_meter
- [5] esmig. (n.d.). Ανάκτηση από ESMIG: <https://esmig.eu/page/smart-metering-technologies>
- [6] *Advanced Metering Infrastructure (AMI)*. Ανάκτηση από ferc: <https://www.ferc.gov/CalendarFiles/20070423091846-EPRI%20-%20Advanced%20Metering.pdf>
- [7] Ramyar Rashed Mohassel, A. F. (2014, Δεκέμβριος). *A survey on Advanced Metering Infrastructure*. Ανάκτηση από sciencedirect: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.06.025>
- [8] Ανάκτηση από Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_management_system
- [9] Ανάκτηση από Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Building_management_system
- [10] Bran, I. (2012, Μάρτιος 29). *Automated Demand Response Today*. Ανάκτηση από EPRI: <https://www.epri.com/#/pages/product/1025008/>
- [11] Ανάκτηση από Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Underfloor_heating
- [12] Ανάκτηση από Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Radiant_cooling
- [13] Ανάκτηση από coolingtowerproducts: <http://www.coolingtowerproducts.com/blog/how-cooling-towers-work-diagram-pictures-2015.htm>
- [14] Evans, P. (n.d.). Ανάκτηση από theengineeringmindset: <https://theengineeringmindset.com/absorption-chiller-works/>
- [15] Ανάκτηση από energy.gov: <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/linear-concentrator-system-basics-concentrating-solar-power>
- [16] A. Giostri, M. B. (2011, Αύγουστος 7). *COMPARISON OF TWO LINEAR COLLECTORS IN SOLAR THERMAL PLANTS:PARABOLIC TROUGH VS FRESNEL*. Ανάκτηση από research gate: https://www.researchgate.net/profile/Andrea_Giostri/publication/267556962_Comparison_of_Two_Linear_Collectors_in_Solar_Thermal_Plants_Parabolic_Trough_Versus_Fresnel/links/54c7716a0cf22d626a3674f7/Comparison-of-Two-Linear-Collectors-in-Solar-Thermal-Plant
- [17] Ανάκτηση από Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Relative_humidity

[18] R. Sioshansi, P. D. (2010, Φεβρουάριος). *The Value of concentrating solar power and thermal energy storage*. Ανάκτηση από digitalscholarship:
https://digitalscholarship.unlv.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.gr/&httpsredir=1&article=1003&context=renew_pubs

[19] Ανάκτηση από ENYSO E: <https://transparency.entsoe.eu/transmission-domain/r2/dayAheadPrices/show?name=&defaultValue=false&viewType=TABLE&areaType=BZN&atch=false&dateTime.dateTime=18.07.2018+00:00|CET|DAY&biddingZone.values=CTY|10YIT-GRTN-----B!BZN|10Y1001A1001A75E&dateTime.time>

[20] *ENTSO-E Overview of Transmission Tariffs in Europe: Synthesis 2018*. (2018, Μάιος). Ανάκτηση από ENTSOE: https://docstore.entsoe.eu/Documents/MC%20documents/TTO_Synthesis_2018.pdf