

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΨΑΡΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ
ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕ
ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ
ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ

Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Ε. Κορωνάκη, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα 2022

--- κενή σελίδα ---

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ονοματεπώνυμο
Κωνσταντίνος Ψαρράς

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	8
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2 Έννοια του κτηρίου μηδενικής ενέργειας (ZEB).....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	15
2.1 Παθητικές τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας κτηρίων	15
2.2 Ενεργειακά αποδοτικά συστήματα σε κτηριακό τομέα	18
2.2.1 Συστήματα HVAC	19
2.2.2 Άλλα συστήματα κτιρίων (ZNX-Φωτισμός)	22
2.3 Συστήματα συμπαραγωγής σε κτηριακό τομέα.....	29
2.3.1 Ορισμός	29
2.3.2 Ατμοστρόβιλοι.....	31
2.3.3 Αεριοστρόβιλοι.....	32
2.3.4 Αεριοστρόβιλοι συνδυασμένου κύκλου.....	34
2.3.5 Εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης.....	35
2.3.6 Μικροστρόβιλοι	37
2.3.7 Οργανικός κύκλος Rankine	38
2.3.8 Μηχανές Stirling	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	40
3.1 Κτήριο προς μελέτη.....	40
3.2 Ενεργειακή απόδοση υφιστάμενου κτηρίου	48
3.2.1 Σενάριο 1 – Τοποθέτηση κεντρικής αντλίας θερμότητας	50
3.2.2 Σενάριο 2 – Τοποθέτηση κεντρικής αντλίας θερμότητας και φωτοβολταϊκού συστήματος με συμψηφισμό	54
3.2.3 Σενάριο 3 – Τοποθέτηση τοπικών αντλιών θερμότητας τύπου split για θέρμανση ψύξη και κεντρικής αντλίας θερμότητας για παραγωγή ZNX	55
3.2.4 Σενάριο 4 – Τοποθέτηση συστήματος συμπαραγωγής (ΟΤΤΟ) και τοπικών αντλιών τύπου split για ψύξη	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	62
4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	62
4.2 Κόστος δαπανών για υλοποίηση σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	67
5.1 Επίλογος - Συμπεράσματα	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ήταν η οικονομοτεχνική μελέτη ενεργειακής αναβάθμισης σε υφιστάμενο κτήριο (πολυκατοικία) με την αντικατάσταση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ZNX. Αρχικά στα δύο πρώτα κεφάλαια έγινε μια ανασκόπηση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτηριακό τομέα παγκόσμια, των μέτρων που μπορούν να ληφθούν για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων του συγκεκριμένου τομέα, καθώς επίσης αναλύθηκαν τα συστήματα συμπαραγωγής τα οποία υπάρχουν και μπορούν να εξυπηρετήσουν τον κτηριακό τομέα. Ακολούθως στο τρίτο κεφάλαιο μελετήθηκε ενεργειακά η υφιστάμενη πολυκατοικία και έγινε κατάταξη στην κατάλληλη ενεργειακή κλάση. Δημιουργήθηκαν τέσσερα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης (Σενάριο 1 – Τοποθέτηση συστήματος αντλίας θερμότητας, Σενάριο 2 – Τοποθέτηση συστήματος αντλίας θερμότητας και φωτοβολταϊκού συστήματος με συμψηφισμό, Σενάριο 3 – Τοποθέτηση τοπικών αντλιών θερμότητας τύπου split για θέρμανση ψύξη και κεντρικής αντλίας θερμότητας για παραγωγή ZNX και Σενάριο 4 – Τοποθέτηση συστήματος συμπαραγωγής (ΟΤΤΟ) και τοπικών αντλιών τύπου split για ψύξη), μελετήθηκε το συνολικό κόστος του κάθε σεναρίου, καθώς επίσης και ποσοτικοποιήθηκε το εύρος της αναβάθμισης για το καθένα από τα τέσσερα. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και επιλέγεται από τα τέσσερα σενάρια αυτό το οποίο είναι οικονομοτεχνικά αποδοτικότερο.

Λέξεις κλειδιά: Ενεργειακή αναβάθμιση, Κτηριακός τομέας, Αντλία θερμότητας

ABSTRACT

The purpose of this thesis was the economic and technical study of an energy upgrade in an existing building (block of flats) with the replacement of the heating, cooling and DHW production systems. Initially, in the first two chapters, a review was made of energy consumption in the building sector worldwide, the measures that can be taken to deal with the increasing energy requirements of the specific sector, and the co-production systems that exist and can serve the building sector were analyzed. Subsequently, in the third chapter, the existing building was studied energetically and classified in the appropriate energy class. Four energy upgrade scenarios were created (Scenario 1 – Installation of a heat pump system, Scenario 2 – Installation of a heat pump system and photovoltaic system, Scenario 3 – Installation of local split type heat pumps for heating, cooling and central heat pump for DHW production and Scenario 4 – Installation of a cogeneration system (CHP) and local split type pumps for cooling), the total cost of each scenario was studied as well as the scope of the upgrade for each of the four was quantified. Finally, in the last chapter, the conclusions of the thesis are presented and the one that is economically and technically most efficient is chosen from the four scenarios.

Key words: *Energy upgrade, Building sector, Heat pump,*

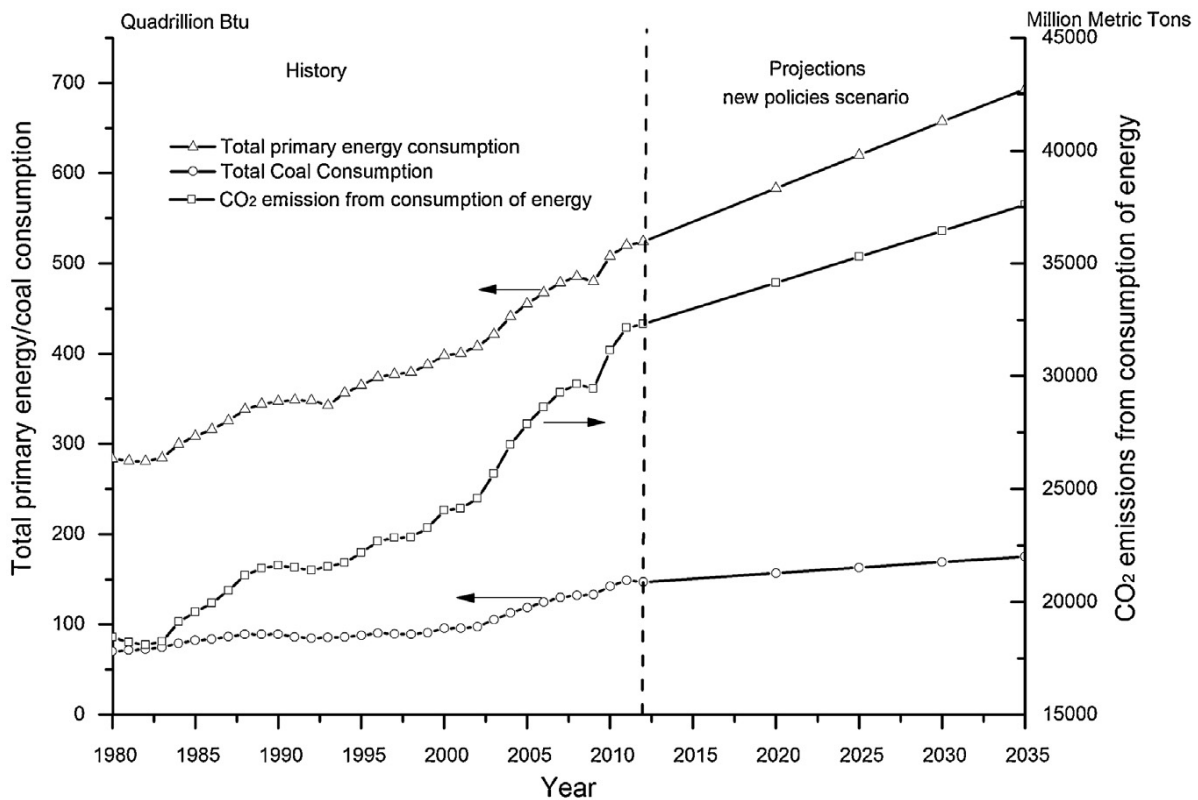
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

1.1 Εισαγωγή

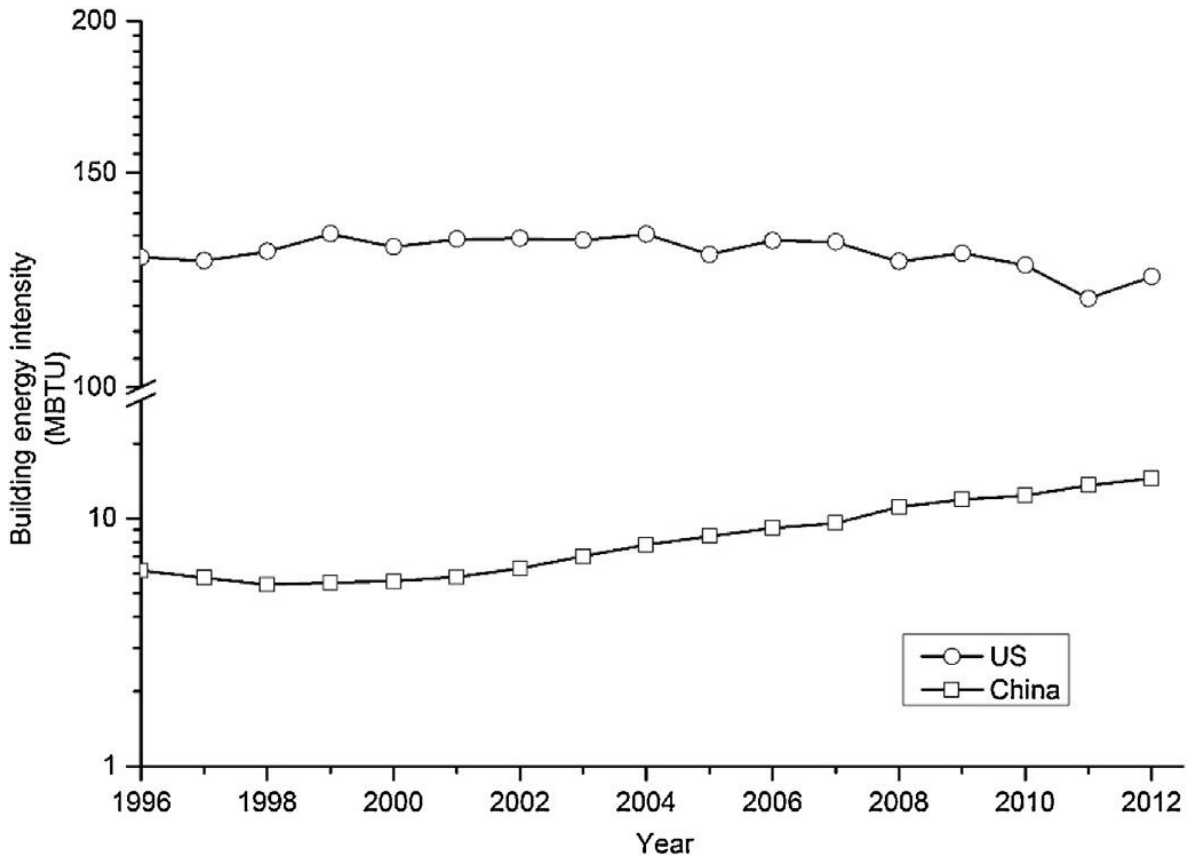
Τα παγκόσμια σύνολα κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών CO₂ αυξήθηκαν κατά αντίστοιχα 85% και 75% από το 1980 έως το 2012, με μέση ετήσια αύξηση 2% και 1,7%, αντίστοιχα (Εικ. 1.1). Ο άνθρακας αντιπροσωπεύει περίπου το 25% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας τα περισσότερα από αυτά τα χρόνια, προκαλώντας έτσι σημαντικές εκπομπές CO₂. Η συνολική παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, η κατανάλωση άνθρακα και οι εκπομπές CO₂ προβλέπεται να αυξηθούν κατά περίπου 32%, 19% και 16% έως το 2035 αντίστοιχα [2]. Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂ θεωρείται ότι συνεισφέρουν οι αναπτυσσόμενες χώρες. Μέχρι το 2010, η Κίνα είχε ξεπεράσει τις ΗΠΑ ως ο μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας στον κόσμο, με μερίδιο 20% της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Η κατανάλωση ενέργειας στις ΗΠΑ μειώθηκε κατά 2% μεταξύ 2008 και 2010, ενώ η κατανάλωση ενέργειας της Κίνας αυξήθηκε κατά 22,9% [3].

Οι περισσότεροι άνθρωποι σήμερα περνούν το 90% της καθημερινότητάς τους σε εσωτερικούς χώρους και βασίζονται στη μηχανική θέρμανση και τον κλιματισμό, με αποτέλεσμα τα κτήρια να γίνονται οι μεγαλύτεροι καταναλωτές ενέργειας παγκοσμίως. Ο λόγος της κατανάλωσης ενέργειας των κτηρίων προς τη συνολική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε από 33,7% σε 41,1% μεταξύ 1980 και 2010 στις Η.Π.Α. [3]. Η κατανάλωση ενέργειας των κτηρίων στην Κίνα αυξήθηκε κατά 40% από το 1990 έως το 2009, καθιστώντας την Κίνα τον δεύτερο μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας κτιρίων στον κόσμο μετά τις Η.Π.Α. Η κινεζική κατανάλωση ενέργειας των κτηρίων αντιπροσώπευε το 27,3% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας το 2010, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης ενέργειας από βιομάζα στον οικιακό τομέα [4]. Ωστόσο, η κατά κεφαλήν ενεργειακή κατανάλωση κτηρίων στην Κίνα εξακολουθεί να είναι πολύ μικρότερη από αυτή στις Η.Π.Α., όπως φαίνεται στην εικόνα 1.2. Οι συμπεριφορές υψηλής ενεργειακής ευαισθησίας των ενοίκων στις ΗΠΑ μπορεί να αποδοθούν στις ιστορικά χαμηλές τιμές ενέργειας, ειδικά σε σχέση με επίπεδα τα

εισοδήματός τους. Σε σύγκριση με τις ΗΠΑ, η κατά κεφαλήν επιφάνεια του κτηρίου και η ενεργειακή ένταση είναι πολύ χαμηλότερα στην Κίνα. Ωστόσο, με την ταχεία ανάπτυξη της κινεζικής οικονομίας, η κατά κεφαλήν ενεργειακή κατανάλωση κτηρίων αυξήθηκε γρήγορα από 6,17 MBtu/κάτοικο το 1996–14,49 MBtu/κάτοικο το 2012, ενώ το επίπεδο διατηρήθηκε περίπου στα 125 MBtu/κάτοικο στις ΗΠΑ. Ο δείκτης ενεργειακής έντασης των κτηρίων έχει αυξηθεί από 7% το 2001 σε 12% το 2012. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), τα κτήρια είναι επίσης ο μεγαλύτερος τομέας τελικής χρήσης, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και το 55% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας το 2012 [5].



Εικ. 1.1. Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, κατανάλωση άνθρακα και εκπομπές CO₂ από την κατανάλωση ενέργειας από το 1980 έως το 2035 [1,2].



Εικ. 1.2. Κατανάλωση ενέργειας κατά κεφαλήν κτηρίων στις ΗΠΑ και την Κίνα. Πηγή δεδομένων: Η.Π.Α [95]

1.2 Έννοια του κτηρίου μηδενικής ενέργειας (ZEB)

Η κατανάλωση ενέργειας των κτηρίων διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις. Είναι δυνατόν να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια εάν σχεδιαστούν, κατασκευαστούν και λειτουργήσουν σωστά. Για το λόγο αυτό, η ενεργειακή απόδοση των κτηρίων θεωρείται σήμερα ως βασική λύση για την αντιμετώπιση

των ελλείψεων ενέργειας, των εκπομπών άνθρακα και της απειλής τους για το περιβάλλον ζωής μας.

Έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας και τη διαμόρφωση πολιτικών πράσινων κτηρίων. Ειδικότερα, η τρέχουσα ιδέα ενός κτηρίου μηδενικής ενέργειας (zero-energy building ZEB) έχει λάβει αυξημένο ενδιαφέρον κατά την τελευταία δεκαετία. Η έννοια του ZEB αναφέρθηκε για πρώτη φορά το 2000 και έγινε κυρίαρχη ιδέα το 2006 [14]. Τα ZEB θεωρούνται ως η απόλυτη λύση για τον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων της μελλοντικής κατανάλωσης ενέργειας των κτηρίων. Στην ΕΕ, η αναδιατυπωμένη Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτηρίων (EPBD) έθεσε το ZEB ως στόχο για όλα τα νέα κτήρια έως το 2020 [15].

Στις ΗΠΑ, ο νόμος για την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια του 2007 έθεσε στόχο μηδενικής ενέργειας 50% για τα νέα εμπορικά κτήρια έως το 2040 και για όλα τα νέα εμπορικά κτήρια έως το 2050 [16]. Η ανάπτυξη ZEB στην Κίνα είναι σχετικά καθυστερημένη και λιγότερο οργανωμένη. Ωστόσο, η Κίνα έχει μεγάλες δυνατότητες και πόρους για να εφαρμόσει σχέδια ZEB σε μαζική κλίμακα. Το πιο πρόσφατο 5ετές σχέδιο απαιτεί τα πράσινα κτήρια να αντιπροσωπεύουν το 20% της συνολικής επιφάνειας που κατασκευάστηκε πρόσφατα έως το 2015. Υπάρχουν ήδη πολλά μεμονωμένα έργα ZEB στην Κίνα, π.χ. ο Πύργος του Ποταμού Pearl στο Guangzhou.

Τα κτήρια ZEB είναι μια νέα σχεδιαστική ιδέα επόμενης γενιάς που συνδυάζει τις ιδέες του παραδοσιακού πράσινου κτηρίου και της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Υπάρχουν αρκετοί ορισμοί και μεθοδολογίες υπολογισμού για τα ZEB [17] που λαμβάνουν υπόψη διαφορετικές πτυχές, όπως μετρήσεις ισοζυγίου, περιόδους εξισορρόπησης, τον τύπο του ισοζυγίου, επιλογές προμήθειας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συνδέσεις με ενεργειακή υποδομή.

Οι μετρήσεις του ισοζυγίου περιλαμβάνουν την παραδοθείσα ενέργεια, την πρωτογενή ενέργεια, τις εκπομπές άνθρακα και το ενεργειακό κόστος. Συγκεκριμένα, ένα ZEB μπορεί να ερμηνευθεί ως το κτήριο μηδενικών εκπομπών ως προς τις εκπομπές άνθρακα: οι εκπομπές

άνθρακα που παράγονται από τη χρήση ενέργειας που βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα εντός/εκτός εγκατάστασης εξισορροπούνται από τις παραγωγές ανανεώσιμης ενέργειας.

Οι εκπομπές άνθρακα μπορεί να περιλαμβάνουν εκείνες που παράγονται από την κατασκευή, την ενσωματωμένη ενέργεια της κατασκευής, τη λειτουργία και την κατεδάφιση, ανάλογα με το καθορισμένο όριο. Οι περίοδοι εξισορρόπησης μπορεί να είναι ένας μήνας, ένας χρόνος ή ακόμα και ένας ολόκληρος κύκλος ζωής.

Υπάρχουν δύο τύποι ισορροπίας: (1) ζήτηση ενέργειας έναντι παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας (φάση σχεδιασμού) και (2) εισαγόμενη ενέργεια έναντι τροφοδοσίας ενέργειας στο δίκτυο (φάση παρακολούθησης κατά τη λειτουργία).

Ο πρώτος τύπος χρησιμοποιείται πιο συχνά, για εφαρμογή στη φάση σχεδιασμού. Επίσης, το εκτός δικτύου ZEB μπορεί να χρησιμοποιήσει μόνο το πρώτο υπόλοιπο. Οι επιλογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να είναι είτε επιτόπια παραγωγή (ηλιακή, αιολική) είτε απομακρυσμένη παραγωγή (βιομάζα, μεταφορά που απαιτείται).

Επιπλέον, η επένδυση σε τεχνολογίες εκτός του χώρου ή η απευθείας αγορά πράσινης ενέργειας ή πίστωσης CO₂ μπορεί επίσης να αντισταθμίσει τη χρήση ενέργειας.

Λαμβάνοντας υπόψη τις συνδέσεις με τις υποδομές, υπάρχουν δύο τύποι ZEB: ZEB συνδεδεμένο στο δίκτυο και αυτόνομο ZEB. Το συνδεδεμένο στο δίκτυο ZEB ονομάζεται επίσης net ZEB (NZEB), το οποίο αναφέρεται σε ένα ZEB που είναι συνδεδεμένο με άλλες ενεργειακές υποδομές [18,19].

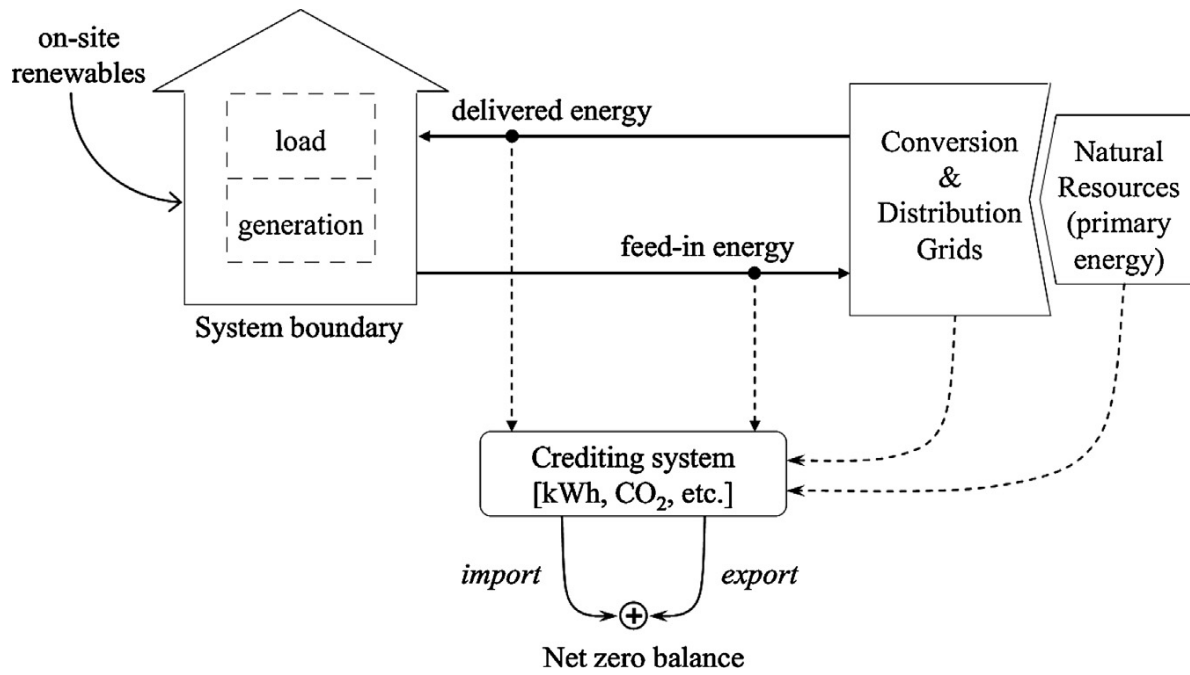
Το Σχ. 1.3 δείχνει τα βασικά στοιχεία για ένα ZEB συνδεδεμένο στο δίκτυο [18]. Η σχεδόν μηδενική ενέργεια μπορεί να επιτευχθεί μέσω του ενεργειακού ισοζυγίου μεταξύ των κτηρίων και των δικτύων. Ένα αυτόνομο ZEB είναι ένα αυτόνομο κτήριο που έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει επαρκή ανανεώσιμη ενέργεια για εσωτερική χρήση [17]. Είναι συνήθως πιο δύσκολο να σχεδιαστεί ένα αυτόνομο ZEB επειδή είναι εκτός δικτύου και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Γενικά, τα NZEB λαμβάνουν μεγαλύτερη προσοχή λόγω των αλληλεπιδράσεών τους με τα υπάρχοντα αστικά δίκτυα. Τα

αυτόνομα ZEB λαμβάνονται υπόψη μόνο όταν δεν υπάρχει πρόσβαση σε εξωτερικό δίκτυο, όπως σε νησιά ή σε αγροτικές περιοχές [20].

Ένας απλός ορισμός που δίνεται από το EPBD (Energy performance of buildings directive) είναι «ένα κτήριο σχεδόν μηδενικής ενέργειας σημαίνει ένα κτήριο που έχει πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται θα πρέπει να καλύπτεται σε πολύ σημαντικό βαθμό από ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που παράγεται επί τόπου ή κοντά» [15].

Ένα κτήριο βέλτιστου κόστους, σχεδόν μηδενικής ενέργειας μπορεί να ερμηνευθεί ως ένα κτήριο για το οποίο η ενεργειακή ανάγκη για θέρμανση και ψύξη είναι μικρότερη από 30 kWh/m²/έτος μέχρι το 2021 [21]. Με βάση αυτόν τον ορισμό, δύο προσεγγίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη ενός ZEB: ενεργειακά αποδοτικά μέτρα και παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Πρώτον, η κατανάλωση ενέργειας των κτηρίων μπορεί προφανώς να μειωθεί με την εφαρμογή κατάλληλων ενεργειακά αποδοτικών μέτρων. Δεύτερον, απαιτούνται επίσης συστήματα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για την αντιστάθμιση της κατανάλωσης ενέργειας των κτηρίων. Η σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου στη συνέχεια καλύπτεται από την ισορροπία μεταξύ της ζήτησης ενέργειας και της παραγωγής για μια ορισμένη περίοδο, συνήθως ένα έτος ή ακόμα και τη διάρκεια ζωής του κτηρίου. Ένα ZEB μπορεί επίσης να είναι ένα παραδοσιακό κτήριο που οι απαιτήσεις του καλύπτονται από ισχυρά συστήματα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Ωστόσο, η εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης είναι συνήθως απαραίτητη προϋπόθεση, επειδή οι επιλογές παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μπορεί να είναι περιορισμένες ή διακοπτόμενες για πολλά ZEB.



Εικ. 1.3 Σχηματική απεικόνιση ενός τυπικού NZEB [18].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Παθητικές τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας κτηρίων

Η εφαρμογή τεχνολογιών παθητικής εξοικονόμησης ενέργειας είναι ένας θεμελιώδης τρόπος για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Οι παθητικές στρατηγικές περιλαμβάνουν κυρίως προηγμένα κελύφη κτηρίων, παθητική θέρμανση ή ψύξη και αποθήκευση θερμικής ενέργειας.

Οι Sadineni et al. [22] συνόψισαν τις προηγμένες ενεργειακά αποδοτικές στρατηγικές που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικά εξαρτήματα κελύφους κτηρίων, συμπεριλαμβανομένων των τοίχων, των περιφράξεων και των στεγών. Το κέλυφος των κτηρίων είναι ζωτικής σημασίας για τα επίπεδα θερμικής άνεσης και την εξοικονόμηση ενέργειας, επειδή διαχωρίζουν το εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον. Σύμφωνα με την ανασκόπησή τους, η βελτίωση των κελυφών των κτηρίων βασίζεται κυρίως σε δύο προσεγγίσεις:

- A) μείωση της θερμικής μετάδοσης (τιμές U) και
- B) συνδυασμό με παθητική θέρμανση ή ψύξη.

Οι τιμές θερμοχωρητικότητας U των κελυφών των κτηρίων επηρεάζουν σημαντικά τα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου μειώνοντας το κέρδος/απώλεια θερμότητας, ιδιαίτερα κάτω από δύσκολες κλιματικές συνθήκες. Η θερμομόνωση είναι μια απλή και αποτελεσματική προσέγγιση για τη μείωση των τιμών U των τοίχων και των στεγών, επιτυγχάνοντας έτσι εξοικονόμηση ενέργειας στη θέρμανση και ψύξη του χώρου. Σε κτήρια με κυρίαρχο φορτίο κελύφους, όπως αγροτικά κτήρια και κατοικίες, η θερμομόνωση είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου. Οι Shan et al. [23] ερεύνησαν το φαινόμενο παθητικής εξοικονόμησης ενέργειας ενός μετασκευασμένου μόνο ορόφου σπιτιού σε ένα προάστιο του Πεκίνου. Εφάρμοσαν συγκολλητική στρώση κόκκων πολυστερενίου ως θερμομόνωση στους εσωτερικούς τοίχους και την οροφή. Τα προσομοιωμένα αποτελέσματα έδειξαν ότι το συνολικό αποτέλεσμα

εξοικονόμησης ενέργειας ήταν 57% και η περίοδος απόσβεσης για την εκ των υστέρων τοποθέτηση ήταν 5-6 χρόνια. Οι Cao et al. [24] μελέτησαν αριθμητικά την κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης ενός πολυώροφου κτηρίου κατοικιών που χρησιμοποιούσε σύστημα κεντρικής θέρμανσης και σανίδες από ίνες γυαλιού ως μόνωση εσωτερικού κελύφους κτιρίου. Διαπίστωσαν ότι το κατάλληλο πάχος μόνωσης ήταν 20 mm και οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας θέρμανσης ήταν 12,27% και 11,36% στο Χαρμπίν (έντονο ψυχρό κλίμα) και στο Πεκίνο (κρύο κλίμα), αντίστοιχα.

Η γεωμετρία των παραθύρων και ο προσανατολισμός τους είναι ένας ακόμα ζωτικής σημασίας παράγοντας τόσο για την οπτική άνεση όσο και για τα ψυκτικά φορτία σε κτηριακά περιβάλλοντα. Για να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κέρδος/απώλεια θερμότητας, πρέπει να μειωθεί η αναλογία παραθύρου προς τοίχο και να χρησιμοποιηθούν υλικά υαλοπινάκων με χαμηλές τιμές U. Έχουν σημειωθεί πρόσφατες πρόοδοι στις τεχνολογίες υαλοπινάκων εξοικονόμησης ενέργειας, όπως οι υαλοπίνακες κενού, οι υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (low-e) και οι δυναμικοί υαλοπίνακες [25].

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την επιλογή τύπων και στρωμάτων υαλοπινάκων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η βέλτιστη ισορροπία μεταξύ της ηλιακής θερμότητας και του φωτός της ημέρας [26]. Σε κτήρια όπου κυριαρχεί η ψύξη, η κατάλληλη χρήση του φωτός της ημέρας όχι μόνο παρέχει ένα οπτικά ανακουφιστικό περιβάλλον αλλά και αποτελεσματικά μειώνει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας τόσο για εφαρμογές φωτισμού όσο και για εφαρμογές κλιματισμού [27].

Οι τεχνολογίες παθητικής θέρμανσης εξαρτώνται ουσιαστικά από το ηλιακό κέρδος θερμότητας. Για παράδειγμα, ένας τοίχος ηλιακής απολαβής (τοίχος Trombe) είναι μια τυπική συσκευή παθητικής θέρμανσης που παγιδεύει και μεταδίδει αποτελεσματικά την ηλιακή ενέργεια σε ένα κτήριο. Οι Eshraghi et al. [28] ερεύνησαν ένα ηλιακό ZEB που χρησιμοποίησε τοίχο Trombe, σκίαση roller και θερμική μάζα στην Τεχεράνη (θερμό κλίμα). Στη μελέτη τους, η χρήση τοίχου Trombe οδήγησε σε μείωση του φορτίου κατά 42% σε ένα μεγάλο υπνοδωμάτιο.

Η παθητική ψύξη [29] μπορεί να επιτευχθεί μέσω αερισμού, ψύξης εδάφους, σκίασης και άλλων τεχνικών πρόληψης της ηλιακής θερμότητας. Ο νυχτερινός αερισμός κτηρίων χρησιμοποιεί ψυχρότερο νυχτερινό αέρα για να μειώσει τα κέρδη θερμότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας, αποφεύγοντας έτσι την υπερθέρμανση του καλοκαιριού και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας ψύξης [30]. Η απόδοση ψύξης του αερισμού επηρεάζεται από τη διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας, του ρυθμού ροής αέρα και της ενσωμάτωσης με τη θερμική μάζα. Ο νυχτερινός αερισμός καθοδηγείται κυρίως από φυσικές δυνάμεις, αν και μπορεί να συμπληρωθεί το έλλειμα από ανεμιστήρες όταν η διαφορά πίεσης ανέμου είναι χαμηλή.

Οι Schulze και Eicker [31] ερεύνησαν συστηματικά την επίδραση του ελεγχόμενου φυσικού αερισμού στην ετήσια θερμική άνεση και την εξοικονόμηση ενέργειας των κτηρίων γραφείων σε τοποθεσίες με μέτριο κλίμα. Διαπίστωσαν ότι το προτεινόμενο σύστημα φυσικού αερισμού θα μπορούσε να εξοικονομήσει μεταξύ 13 και 44 kWh/m² καθαρή ενέργεια ψύξης ετησίως στη Στουτγάρδη, το Τορίνο και την Κωνσταντινούπολη.

Η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας από τη χρήση ανεμιστήρα ήταν περίπου 4 kWh/m² ανά έτος. Οι τεχνικές ψύξης εδάφους βασίζονται σε εναλλάκτες θερμότητας εδάφους-αέρα (EAHE earth-to-air heat exchangers) [32]. Τα συστήματα EAHE αποτελούνται από ένα υπόγειο σύστημα ψύξης με ένα δίκτυο σωλήνων θαμμένο σε βάθος κάτω από την επιφάνεια της γης. Ο αεριζόμενος αέρας ψύχεται μέσω της ανακυκλοφορίας στους υπόγειους σωλήνες.

Οι Bisoniya et al. [33] μελέτησαν τις μετρήσεις ενέργειας για ένα σύστημα EAHE υπό θερμές και ξηρές κλιματικές συνθήκες στην Ινδία. Η συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας ενός συστήματος EAHE με ταχύτητα αέρα 5 m/s ήταν 1290,53 kWh με περίοδο απόσβεσης 1,29 ετών. Οι τεχνικές πρόληψης της ηλιακής θερμότητας αποτελούνται κυρίως από ηλιακή σκίαση και τις πράσινες στέγες. Οι Li et al. [34] ερεύνησαν την απόδοση ενός κτηρίου με ένα ηλιακό θερμικό σύστημα σκίασης. Το προτεινόμενο σύστημα σκίασης προβλεπόταν να εξοικονομήσει 5,3% της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας, να βελτιώσει το χρήσιμο επίπεδο φωτός της ημέρας και να μειώσει το υπερβολικό επίπεδο φωτός της ημέρας. Η περίοδος απόσβεσης ήταν περίπου 8,5 χρόνια. Η πράσινη στέγη είναι ένας πρακτικός τρόπος για τη

μείωση των εσωτερικών θερμοκρασιών και τον μετριασμό της αστικής υπερθέρμανσης [35]. Μια πρόσφατη μελέτη έδειξε ότι ένα σύστημα πράσινης στέγης που καλύπτει μια έκταση 10000 m² βοήθησε στη μείωση των ετήσιων αναγκών ψύξης ενός κτηρίου γραφείων της Αθήνας κατά 19% [36]. Ωστόσο, στις εφαρμογές ZEB, οι πράσινες στέγες ενδέχεται να έρχονται σε αντίθεση με την εγκατάσταση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε αυτήν την κατάσταση, οι υβριδικές φωτοβολταϊκές (Φ/Β) πράσινες στέγες φαίνεται να είναι μια νέα λύση που παρέχει τα οφέλη τόσο των πράσινων στεγών όσο και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά [35].

Η παθητική αποθήκευση θερμικής ενέργειας είναι μια άλλη πρακτική προσέγγιση για τον θερμικό έλεγχο κτηρίου που βασίζεται κυρίως στην αποθήκευση και την απελευθέρωση λανθάνουσας θερμότητας από τη θερμική μάζα ενός κτηρίου ή τα υλικά αλλαγής φάσης (PCM) [37]. Τα PCM έχουν λάβει αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον την τελευταία δεκαετία.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι επιπτώσεις των τεχνολογιών παθητικής εξοικονόμησης ενέργειας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις τοπικές κλιματικές συνθήκες [39]. Αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη σε οποιοδήποτε στάδιο σχεδιασμού. Σε ψυχρά κλίματα, η θερμομόνωση και το παθητικό ηλιακό κέρδος θερμότητας είναι συνήθως τα πιο αποτελεσματικά μέτρα. Ο νυχτερινός αερισμός και η παθητική θερμική αποθήκευση είναι πιο επιθυμητά σε μέτρια/μεσογειακά κλίματα όπου υπάρχουν μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας το καλοκαίρι. Σε τροπικά κλίματα, η ψύξη εδάφους, η ηλιακή σκίαση και οι πράσινες στέγες τείνουν να είναι οι καλύτερες επιλογές για παθητική ψύξη.

2.2 Ενεργειακά αποδοτικά συστήματα σε κτηριακό τομέα

Τα συστήματα HVAC, το ζεστό νερό οικιακής χρήσης (ZNX), ο φωτισμός και οι συσκευές αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της χρήσης ενέργειας στα συστήματα των κτηρίων. Ειδικότερα, τα συστήματα HVAC αντιπροσωπεύουν σχεδόν το ήμισυ της ενεργειακής

κατανάλωσης των κτηρίων και περίπου το 10-20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στις ανεπτυγμένες χώρες, γεγονός που καταδεικνύει μεγάλες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας. Ως εκ τούτου, η θέσπιση ενεργειακά αποδοτικών μέτρων για την κατασκευή συστημάτων στον κτηριακό τομέα θα αποφέρει ιδιαίτερα μεγάλη αλλαγή στην συνολική αποδοτικότητα ενός κτηρίου .

2.2.1 Συστήματα HVAC

Οι στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας για ενεργειακά αποδοτικά συστήματα HVAC [40] αποτελούνται κυρίως από ψύξη με εξάτμιση, ενεργή θερμική αποθήκευση, ανάκτηση θερμότητας, ακτινοβολούμενη θέρμανση/ψύξη, κρύες δέσμες, μεταβλητό όγκο αέρα (variable air volume - VAV) και μεταβλητή ροή ψυκτικού μέσου (variable refrigerant flow-VRF). Η ψύξη με εξάτμιση θεωρείται μια οικονομικά αποδοτική μέθοδος σε σύγκριση με τις εφαρμογές κλιματισμού συμπίεσης ατμών [41].

Οι τεχνικές ψύξης με εξάτμιση ψύχουν τον αέρα αυξάνοντας την περιεκτικότητά του σε υγρασία, με την ψυκτική ικανότητα να περιορίζεται από τη θερμοκρασία υγρού όγκου του αέρα. Για το λόγο αυτό, η ψύξη με εξάτμιση είναι πιο κατάλληλη σε θερμές και ξηρές κλιματικές συνθήκες. Τα ενεργά συστήματα θερμικής αποθήκευσης μπορούν να μετατοπίσουν την κατανάλωση ενέργειας από περιόδους αιχμής σε περιόδους εκτός αιχμής για να αποφύγουν τις χρεώσεις αιχμής ή να εξισορροπήσουν την προσφορά και τη ζήτηση ενέργειας [42]. Ο πάγος και το κρύο νερό είναι τα δύο πιο χρησιμοποιούμενα μέσα για τη θερμική αποθήκευση. Ο πάγος ή το κρύο νερό που αποθηκεύεται σε δεξαμενές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ψύξη του εσωτερικού αέρα κατά τις περιόδους αιχμής χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Λεπτομερέστερες πληροφορίες σχετικά με τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας για κλιματισμό μπορούμε να δούμε στην μελέτη [42].

Οι τεχνικές ανάκτησης θερμότητας [43] χρησιμοποιούν εναλλάκτες θερμότητας για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του φρέσκου αέρα και των καυσαερίων, ανακτώντας έτσι μια

σημαντική ποσότητα ενέργειας. Υπάρχουν δύο τύποι τεχνικών ανάκτησης θερμότητας: η ανάκτηση αισθητής θερμότητας και η ανάκτηση ενθαλπίας. Τα τρέχοντα συστήματα ανάκτησης θερμότητας μπορούν να ανακτήσουν το 60-95% της σπατάλης ενέργειας και να παρέχουν πρόσθετο αερισμό [43]. Ωστόσο, η εξοικονόμηση ενέργειας από την ανάκτηση θερμότητας πρέπει να εξισορροπηθεί με την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν οι ανεμιστήρες [44].

Τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης με ακτινοβολία [45] έχουν κερδίσει δημοτικότητα λόγω της υψηλής θερμικής άνεσης, της ενεργειακής απόδοσης, του χαμηλού θορύβου και της περιορισμένης κατάληψης χώρου. Τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης με ακτινοβολία πρέπει να είναι ενσωματωμένα με δομικά στοιχεία όπως η ενδοδαπέδια θέρμανση, η ψυχόμενη οροφή. Τα συστήματα θέρμανσης δαπέδου εφαρμόζονται συνήθως σε ψυχρά κλίματα και οι ψυχρές οροφές χρησιμοποιούνται ευρέως σε ήπια ή ζεστά κλίματα. Τα συστήματα ψύξης με ακτινοβολία δεν μπορούν να μετριάσουν την υγρασία του αέρα και μπορούν να οδηγήσουν σε συμπύκνωση σε επιφάνειες που ακτινοβολούν, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται σε ζεστά και υγρά κλίματα.

Σε αυτήν την περίπτωση, η αφύγρανση του ξηραντικού μέσου θεωρείται ως συμπλήρωμα στα συστήματα ψύξης με ακτινοβολία για να αποφευχθεί το πρόβλημα της συμπύκνωσης. Η μελέτη [46] παρέχει ένα καλό παράδειγμα για την έννοια του ανεξάρτητου ελέγχου της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα. Σε ένα ζεστό και υγρό κλίμα, είναι καλύτερο να αντιμετωπίζεται η αισθητή θερμότητα και η λανθάνουσα θερμότητα ξεχωριστά σε ένα σχεδιασμό κλιματισμού εξοικονόμησης ενέργειας και θερμικής άνεσης. Επιπλέον, τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης με ακτινοβολία μπορούν επίσης να συνδυαστούν με άλλα συστήματα εξαερισμού για την απομάκρυνση της λανθάνουσας θερμότητας, όπως ο εξαερισμός με εκτόπιση. Οι Chakrounet al. [47] μελέτησαν την απόδοση ενός συνδυασμένου συστήματος εξαερισμού ψυχόμενης οροφής και εκτόπισης σε ένα γραφείο δοκιμών στο Κουβέιτ. Η κατανάλωση ενέργειας ήταν 15-20% χαμηλότερη από ένα συμβατικό σύστημα.

Τα ενεργητικά και παθητικά συστήματα ψυχρής δέσμης είναι επίσης συστήματα θέρμανσης/ψύξης με βάση το νερό. Ωστόσο, σε αντίθεση με τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης

με ακτινοβολία, αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν το μεγαλύτερο μέρος της ψύξης και της θέρμανσής τους μέσω μεταφοράς αερισμού και εξαερισμού χαμηλού όγκου. Τα συστήματα ψυχρής δέσμης είναι κατάλληλα σε κτήρια με υψηλά ευαίσθητα φορτία και ενσωματώνονται άψογα με τον εξαερισμό με μετατόπιση ή με τη διανομή του αέρα στο δάπεδο [48].

Τα συστήματα κλιματισμού που βασίζονται σε συστήματα VAV είναι από τα πιο ενεργειακά αποδοτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα [49]. Το σύστημα VAV διατηρεί τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα μεταβάλλοντας τον όγκο του παρεχόμενου αέρα αντί της θερμοκρασίας του παρεχόμενου αέρα. Σε σύγκριση με τα συστήματα σταθερού όγκου αέρα (CAV), τα συστήματα VAV παρέχουν μόνο τον απαραίτητο αερισμό ανάλογα με το μεταβαλλόμενο φορτίο και επομένως είναι πολύ αποτελεσματικά για συνθήκες μερικού φορτίου. Προφανώς, μια στρατηγική βέλτιστου ελέγχου είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της συνολικής εξοικονόμησης ενέργειας μέσω συστημάτων VAV [49].

Οι Ahmed et al.[50] ερεύνησαν την απόδοση ενός συστήματος ψυχρής δέσμης VAV ελεγχόμενης ζήτησης σε ένα κτήριο γραφείων LEED Platinum στη Φινλανδία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα VAV εξοικονόμησε 7-8% της πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με ένα σύστημα CAV με ισοδύναμη ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου και θερμική άνεση.

Τα συστήματα VRF αλλάζουν τη ροή του ψυκτικού μέσου μέσω συμπιεστών μεταβλητής ταχύτητας και ηλεκτρονικών βαλβίδων εκτόνωσης που βρίσκονται σε κάθε εσωτερική μονάδα για να αφαιρέσουν το αντίστοιχο φορτίο [51]. Τα συστήματα VRF είναι κατάλληλα για κτήρια γραφείων, σχολεία, ξενοδοχεία και νοσοκομεία όπου απαιτείται εξατομικευμένος κλιματισμός για κάθε δωμάτιο. Ωστόσο, το κόστος των συστημάτων VRF είναι πολύ υψηλότερο σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα. Σε ένα σύστημα ψύξης 200-t σε ένα εμπορικό κτήριο, το VRF θα μπορούσε να εξοικονομήσει 30–40% της ενέργειας που χρησιμοποιείται από ένα αερόψυκτο σύστημα ψύκτη με περίοδο απόσβεσης 1,5 έτους [52].

Τα συστήματα VRF θα πρέπει να λειτουργούν με πρόσθετα συστήματα αερισμού και βέλτιστες στρατηγικές ελέγχου. Μια πρόσφατη μελέτη [53] παρουσίασε ένα συνδυασμένο σύστημα VRF και VAV για την επίλυση του προβλήματος των συστημάτων VRF που

χρησιμοποιούν εξαερισμό εξωτερικού αέρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η στρατηγική βέλτιστου ελέγχου συνέβαλε σε εξοικονόμηση ενέργειας 32,17% το καλοκαίρι και 2,47% το χειμώνα για το συνδυασμένο σύστημα.

2.2.2 Άλλα συστήματα κτιρίων (ZNX-Φωτισμός)

Τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης για συστήματα ζεστού νερού χρήσης (ZNX) βασίζονται κυρίως στη χρήση της ηλιακής θερμικής ενέργειας και στην ενσωμάτωση με συστήματα HVAC [54]. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες (Solar water heaters SWH) μπορούν να μειώσουν τόσο την ενέργεια όσο και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που απαιτούνται για τη θέρμανση του νερού. Οι SWH έχουν εμπορευματοποιηθεί παγκοσμίως και συμβάλλουν σημαντικά τόσο στον οικιακό όσο και στον βιομηχανικό τομέα σε πολλές χώρες [55]. Η Κίνα κυριαρχεί επί του παρόντος στην παγκόσμια αγορά SWH με μερίδιο 70%. Η σωρευτική δυναμικότητα των SWHs στην Κίνα ανήλθε σε 217 GWTh το 2013, με συνολική εγκατεστημένη επιφάνεια συλλογής 310 εκατομμύρια m² [56]. Η ταξινόμηση των SWH βασίζεται κυρίως στον τύπο του εργαζόμενου μέσου ή στο σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας [57].

Τα SWH μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν ως συστήματα παθητικής ή ενεργητικής κυκλοφορίας ανάλογα με τους τύπους κυκλοφορίας. Τα συστήματα παθητικής κυκλοφορίας χρησιμοποιούν μεθόδους θερμοσίφωνα στις οποίες η διαφορά πυκνότητας προκαλεί την κυκλοφορία του ρευστού. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης συλλεκτών SWH είναι ένα παθητικό σύστημα που χρησιμοποιεί τον ηλιακό συλλέκτη τόσο ως συνδυασμένη δεξαμενή αποθήκευσης όσο και ως απορροφητή για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας.

Αυτή η τεχνική έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις έως και 40% και παρέχει υψηλό συντελεστή απόδοσης συλλογής [58]. Ωστόσο, τα ενσωματωμένα SWH αποθήκευσης συλλεκτών μπορεί να υποφέρουν από υψηλές θερμικές απώλειες υπό συνθήκες νυχτερινού/συννεφιασμένου ουρανού. Για να ξεπεραστεί αυτή η έλλειψη, η αποθήκευση

λανθάνουσας θερμότητας με χρήση PCM μπορεί να εφαρμοστεί σε εφαρμογές SWH για να επωφεληθούν από την υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης και τη μεταφορά θερμότητας σε σταθερή θερμοκρασία [57].

Οι μέθοδοι ενεργού κυκλοφορίας χρησιμοποιούν μια αντλία ή έναν ανεμιστήρα για να εξαναγκάσουν την κυκλοφορία. Ένα ηλιακό σύστημα αντλίας θερμότητας [59] είναι μια ενεργή τεχνική για μια εφαρμογή SWH που χρησιμοποιεί έναν ηλιακό συλλέκτη ως εξατμιστή και μεταφέρει θερμική ενέργεια για αποθήκευση ZNX. Υπήρξε αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη αυτών των ολοκληρωμένων συστημάτων τόσο για την παραγωγή HVAC όσο και για την παραγωγή ZNX για την παροχή υβριδικών ενεργειακών λύσεων για τα κτήρια ZEB. Τα ολοκληρωμένα συστήματα HVAC και ZNX μπορούν να παρέχουν εξόδους πολλαπλής ενέργειας, όπως ψύξη χώρου, θέρμανση χώρου, παραγωγή ZNX και ηλεκτρική ενέργεια με έναν τύπο εισροής ενέργειας [54]. Αυτά τα συνδυασμένα συστήματα ψύξης, θέρμανσης και ισχύος (combined cooling heating, and power - CCHP) μπορούν να παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική και θερμική ενέργεια, ενώ μειώνουν την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και τις εκπομπές άνθρακα. Επιπλέον, τα συστήματα CCHP μπορούν να ενσωματωθούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή ενέργεια, βιοενέργεια, αντλία θερμότητας) ως ολιστική λύση για τροφοδοτικά ZEB. Η ανάπτυξη βέλτιστων στρατηγικών θα είναι απαραίτητη κατά τον προγραμματισμό των λειτουργιών των συστημάτων CCHP.

Τα συστήματα φωτισμού είναι επίσης σημαντικοί καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα σε κτήρια γραφείων [60]. Το συνδυασμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό και σχετικά φορτία ψύξης αντιπροσωπεύει σχεδόν το ήμισυ της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στα συμβατικά κτήρια γραφείων [27]. Οι γενικές μέθοδοι για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας από φωτισμό είναι οι προηγμένες τεχνολογίες φωτισμού και οι στρατηγικές συγκομιδής στο φως της ημέρας.

Οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) έχουν τη δυνατότητα να γίνουν η κυρίαρχη τεχνολογία φωτισμού την επόμενη δεκαετία λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους και της καλής απόδοσης φωτισμού. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι μέσω των λαμπτήρων LED

εξακολουθεί να παράγεται θερμότητα μεταφοράς, η οποία μπορεί να έχει αρνητικό αποτέλεσμα μέσω της αύξησης του ψυκτικού φορτίου εσωτερικού χώρου [61]. Η συγκομιδή στο φως της ημέρας είναι επίσης ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τεχνητό φωτισμό.

Για παράδειγμα, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από φωτισμό μπορεί να μειωθεί σημαντικά με τη χρήση στρατηγικών ελέγχου ενεργοποίησης/απενεργοποίησης ή μείωσης της έντασης που είναι ενσωματωμένες στο φως της ημέρας.

Οι Chen et al. [62] μελέτησαν τις επιπτώσεις των στρατηγικών ελέγχου φωτισμού στην εξοικονόμηση ενέργειας σε μια μεγάλη βιομηχανική μονάδα στο Tianjin. Διαπίστωσαν ότι το δυναμικό εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας των χειριστηρίων on/off και dimming που ενσωματώθηκαν με το φως της ημέρας ήταν 36,1% και 41,5%, αντίστοιχα. Επιπλέον, τα οφέλη του φωτός της ημέρας όχι μόνο παρέχουν απλή εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και αυξάνουν την παραγωγικότητα της εργασίας και την οπτική ικανοποίηση.

Οι συσκευές συμβάλλουν επίσης σημαντικά στην αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στα κτήρια. Σύμφωνα με τις Προοπτικές Ενεργειακής Τεχνολογίας της IEA, η παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των συσκευών το 2030 αναμένεται να είναι διπλάσια από αυτή του 2000. Οι Cabeza et al. [63] συνόψισαν τις τάσεις ανάπτυξης της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από συσκευές. Όλες οι τάσεις σε διάφορες χώρες δείχνουν ότι οι συσκευές ευθύνονται για την αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας των κτηρίων. Ως εκ τούτου, η χρήση ενεργειακά αποδοτικών συσκευών είναι κρίσιμη για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου και επηρεάζεται σημαντικά από τη συμπεριφορά των ενοίκων και την κοινωνική καθοδήγηση.

Ο Kavousian et al.[64] προσέφερε μια νέα μέθοδο για την κατάταξη της ενεργειακής απόδοσης συσκευών σε νοικοκυριά σε 4231 κτήρια στην Ιρλανδία. Διαπίστωσε ότι η ενεργειακή απόδοση της συσκευής επηρεαζόταν κυρίως από δομικούς παράγοντες, κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες και παράγοντες συμπεριφοράς. Τα ευρήματά τους επικύρωσαν επίσης τον κρίσιμο ρόλο των εκπαιδευτικών προγραμμάτων στην αύξηση της ευαισθητοποίησης σχετικά με την ενεργειακή απόδοση του σπιτιού.

Ένα άλλο άρθρο ανασκόπησης παρουσίασε 62 παράγοντες που δυνητικά επηρεάζουν την οικιακή χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και 37 από αυτούς τους παράγοντες σχετίζονται με τη συσκευή [65]. Μια πρόσφατη μελέτη επικεντρώθηκε στον αντίκτυπο της ιδιοκτησίας και της χρήσης της συσκευής στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε 183 σπίτια στο Ηνωμένο Βασίλειο [66]. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα νοικοκυριά ήταν πιθανό να είναι καταναλωτές υψηλής ηλεκτρικής ενέργειας με συγκεκριμένες συσκευές, όπως επιτραπέζιους υπολογιστές, φορητούς υπολογιστές, τηλεοράσεις μεγάλης οθόνης, καταψύκτες, πλυντήρια πιάτων, στεγνωτήρια ρούχων ή ηλεκτρικά ντους. Τέλος, προτείνεται και έξυπνος προγραμματισμός για τη βέλτιστη διαχείριση των συσκευών στον οικιακό τομέα. Για παράδειγμα, ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο/γενετικός αλγόριθμος εφαρμόστηκε στον προγραμματισμό έξυπνων συσκευών [67]. Τα χρονοδιαγράμματα εφαρμόστηκαν με επιτυχία σε σπίτι τεσσάρων υπνοδωματίων, με μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου έως και 40%.

Πίνακας 1.1 Σύνοψη των τεχνολογιών που εξετάστηκαν. [95]

Κατηγορία		Τεχνολογία	Αρχή λειτουργίας	Εφαρμογή / χαρακτηριστικό	Κόστος	Αναφ.
Παθητικός σχεδιασμός	Κέλυφος κτιρίου	Θερμική μόνωση	Μείωση των τιμών U για να μειωθεί το θερμικό κέρδος / απώλεια	Καλύτερη απόδοση σε περιοχές με κρύο κλίμα.	Χαμηλό	[23,24]
		Τεχνολογίες υαλοπινάκων εξοικονόμησης ενέργειας	Μειώνουν το θερμικό κέρδος/απώλεια. Βελτιώνουν την οπτική άνεση	Πρέπει να ληφθεί υπόψη η ισορροπία μεταξύ της ηλιακής θερμότητας και του φωτός της ημέρας	Υψηλό	[25–27]
	Παθητική θέρμανση	Τοίχος Trombe	Παγίδευση και μετάδοση ηλιακής ενέργειας σε ένα κτήριο	Καλύτερα σε ψυχρό κλίμα	Μεσαίο	[28]
	Παθητική ψύξη	Νυχτερινός αερισμός	Μείωση των ψυκτικών φορτίων με τις διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας το καλοκαίρι	Καλύτερα σε μέτριο κλίμα	Χαμηλό	[30,31]

		Εναλλάκτες θερμότητας γης-αέρα (Earth-to-air heat exchangers EAHE)	Ψύξη του αεριζόμενου αέρα μέσω της ανακυκλοφορίας στους υπόγειους σωλήνες	Καλύτερα σε ζεστό και ξηρό κλίμα	Μεσαίο	[32,33]
		Πράσινη στέγη	Μείωση των ψυκτικών φορτίων και μετρίαση των εκπομπών άνθρακα	Καλύτερα σε τροπικό κλίμα. Μπορεί να ενσωματωθεί με Φ/Β	Υψηλό	[35,36]
		Αποθήκευση θερμικής ενέργειας	Υλικά αλλαγής φάσης (PCM)	Έλεγχος θερμότητας κτηρίου με αποθήκευση και απελευθέρωση λανθάνουσας θερμότητας	Καλύτερη ενσωμάτωση με νυχτερινό αερισμό	Υψηλό
Συστήματα	HVAC	Ψύξη με εξάτμιση	Ψύξη αέρα με αύξηση της περιεκτικότητάς του σε υγρασία	Καλύτερα σε ζεστό και ξηρό κλίμα	Χαμηλό	[41]
		Ενεργή θερμική αποθήκευση	Αλλαγή της κατανάλωσης ενέργειας από περιόδους αιχμής σε περιόδους εκτός αιχμής	Κτίρια με υψηλή ψύξη, απαιτήσεις μικρής διάρκειας	Υψηλό	[42]
		Ανάκτηση θερμότητας	Μεταφορά της θερμότητας μεταξύ του καθαρού αέρα και των καυσαερίων	Καλύτερα σε μέτριο κλίμα	Υψηλό	[43,44]
		Θέρμανση/ψύξη με ακτινοβολία	Χειρισμός της αισθητής θερμότητας με ακτινοβολία της και μεταφοράς θερμότητας	Δεν είναι δυνατός ο έλεγχος της υγρασίας του αέρα. Συμπύκνωση σε ψυχρή επιφάνεια. Καλύτερη ενσωμάτωση με αφυγραντικά μέσα εξαερισμού / εκτόπισης	Μεσαίο	[45–48]

		Μεταβλητός όγκος αέρα (VAV)/μεταβλητή ροή ψυκτικού (VRF)	Αλλαγή του παρεχόμενου όγκου αέρα / ταχύτητα ροής ψυκτικού για την ανταπόκριση στα ποικίλα φορτία	Κτήρια με μερικό φορτίο και εξατομικευμένες απαιτήσεις. χρειάζονται βέλτιστη στρατηγική ελέγχου	Υψηλό	[49–53]
DWH		Ηλιακός θερμοσίφωνας (SWH)	Θέρμανση νερού με ηλιακό συλλέκτη ενέργειας και αποθήκευση θερμικής ενέργειας	Λιγότερο αποτελεσματικό υπό συνθήκες νυχτερινού / συννεφιασμένου ουρανού. Καλύτερη ενσωμάτωση με PCM	Χαμηλό	[55–58]
		Σύστημα αντλίας θερμότητας με ηλιακή υποβοήθηση	Χρήση ηλιακού συλλέκτη ως εξαμιστή και μεταφορά της θερμικής ενέργειας για αποθήκευση ZNX	Θέρμανση νερού σε χαμηλή θερμοκρασία	Υψηλό	[59]
		Συνδυασμένη ψύξη, θέρμανση και ισχύς (CCHP)	Παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ταυτόχρονα	Καλύτερη λειτουργία συνδυαστικά με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Χρειάζονται βέλτιστη στρατηγική ελέγχου	Υψηλό	[54,88,89]
		Δίοδοι εκπομπής φωτός (LED)	Φως εξοικονόμησης ενέργειας με μεγάλη διάρκεια ζωής και καλή απόδοση φωτισμού	Κτήρια γραφείων; μπορεί να αυξήσει το φορτίο ψύξης εσωτερικού χώρου	Υψηλό	[60,61]
Φωτισμός		Συγκομιδή του φως της ημέρας	Μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τεχνητό φωτισμό. Βελτίωση της οπτικής άνεσης	Καλύτερα σε ηλιόλουστες περιοχές. Χρειάζονται βέλτιστη στρατηγική ελέγχου	Μεσαίο	[62]
	Συσκευές	Ενεργειακά αποδοτικές συσκευές	Μείωση του ενεργειακού κόστους του κτηρίου με συσκευές υψηλής ενεργειακής	Επιρροή από τη συμπεριφορά των ενοίκων και τους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Καλύτερη ενσωμάτωση με τον έξυπνο προγραμματισμό	Μεσαίο	[63–67]

			απόδοσης και καλύτερες χρήσεις			
Παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας	Ηλιακή ενέργεια	Φ/Β: Ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά σε κτηριακό κέλυφος (BIPV)	Μετατροπή της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	Καλύτερα κάτω από τροπικές και ηλιόλουστες περιοχές. σχετικά χαμηλή απόδοση μετατροπής. Το BIPV μπορεί να μειώσει το κόστος χώρου, υλικών και υποδομής	Μεσαίο	[69,70,73]
		Υβριδικά φωτοβολταϊκά-θερμικά (PV/T)	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας ταυτόχρονα	Θερμική απόδοση χαμηλής θερμοκρασίας. Λιγότερο εμπορευματοποιημένο. Υψηλή απόδοση παραγωγής ενέργειας ανά μονάδα	Υψηλό	[71,72]
	Αιολική ενέργεια	Ανεμογεννήτρια	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική ενέργεια	Ευαίσθητο στην τοποθεσία και τις καιρικές συνθήκες. Χρειάζεται σχεδιασμό με τη βοήθεια CFD. Μπορεί να ενσωματωθεί με Φ/Β	Υψηλό	[75–79]
	Γεωθερμική ενέργεια	Αντλία θερμότητας εδάφους (GSHP)	Χρήση της σταθερής θερμοκρασία της γης ως πηγή θερμότητας σε λειτουργία θέρμανσης και ως ψύκτρα σε λειτουργία ψύξης	Χρήση για εξισορρόπηση των φορτίων θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου όλο το χρόνο. Υψηλό COP	Υψηλό	[80–83]
	Βιοενέργεια	Λέβητας βιομάζας	Παραγωγή θέρμανσης χώρου με την καύση βιομάζας	Καλύτερα εφαρμογή σε κρύο κλίμα. ατμοσφαιρική ρύπανση με μη ορθή χρήση	Χαμηλό	[84]

		Κουζίνα βιομάζας	Μαγείρεμα με καύση καυσίμων βιομάζας	Ευρέως χρησιμοποιημένο. Η ενεργειακή απόδοση χρειάζεται βελτίωση	Χαμηλό	[87]
--	--	------------------	--------------------------------------	--	--------	------

2.3 Συστήματα συμπαραγωγής σε κτηριακό τομέα

2.3.1 Ορισμός

Ένα σύστημα συμπαραγωγής θέρμανσης και ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα σύστημα που παράγει ισχύ και θερμική (θέρμανση και ψύξη) ενέργεια ταυτόχρονα από μία πηγή καυσίμου (Εικόνα 2.1). Η μονάδα αποτελείται από τον κύριο μηχανισμό κίνησης, μια μονάδα ανάκτησης θερμότητας και έναν ψύκτη απορρόφησης ή προσρόφησης. Αυτά τα εξαρτήματα καθορίζονται λεπτομερώς παρακάτω.

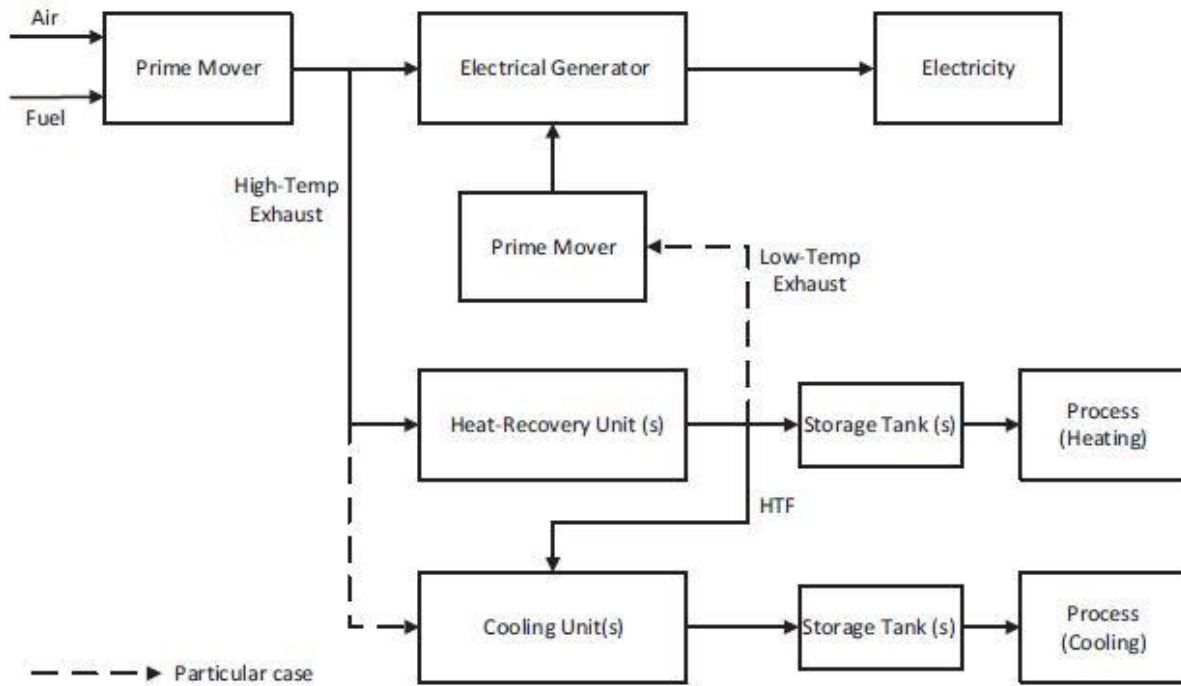
Ο κύριος κινητήρας μιας μονάδας συμπαραγωγής παρέχει τη μηχανική κινητήρια ισχύ. Διάφοροι τύποι κινητήρων παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Ατμοστρόβιλοι.
2. Αεριοστρόβιλοι.
3. Αεριοστρόβιλοι συνδυασμένου κύκλου.
4. Παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης.
5. Μικροστρόβιλοι.

6. Οργανικός κύκλος Rankine.

7. Μηχανές Stirling.

8. Κυψέλες καυσίμου.

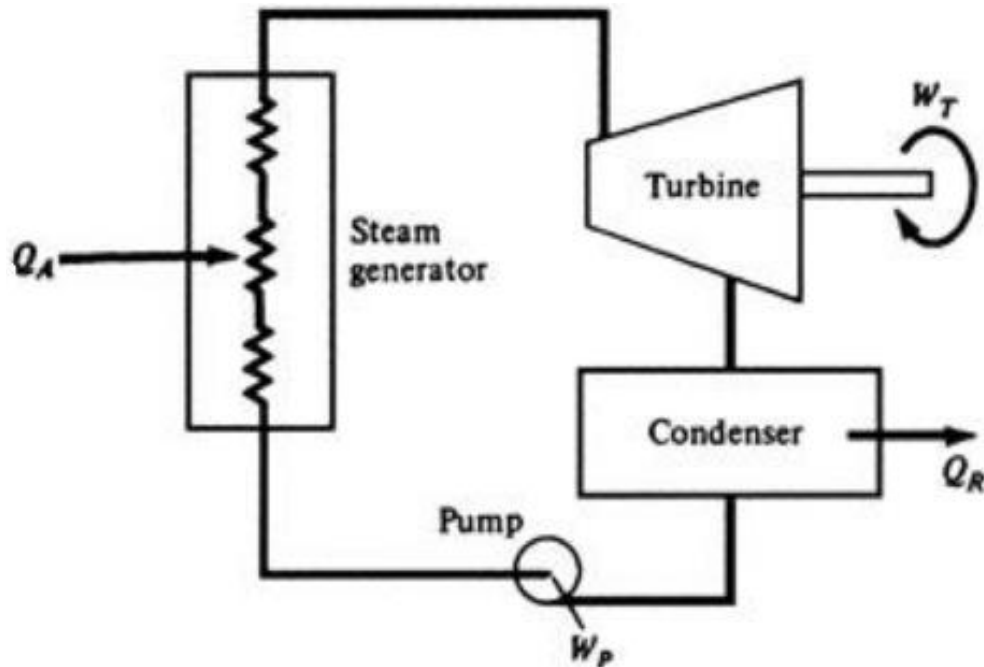


Εικ. 2.1 Έννοια συμπαραγωγής [96]

2.3.2 Ατμοστρόβιλοι

Οι ατμοστρόβιλοι θεωρούνται μια από τις πιο πολυχρηστικές και παλαιότερες τεχνολογίες που αρχικά χρησιμοποιήθηκαν πριν από περίπου 100 χρόνια, όταν αντικατέστησαν εναλλακτικές ατμομηχανές, λόγω της υψηλής απόδοσης και του χαμηλού κόστους τους (Εικόνα 2.2). Η χωρητικότητα των ατμοστροβίλων μπορεί να κυμαίνεται από 50 kW έως αρκετές εκατοντάδες MWs για μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που έκαναν αυτούς τους στροβίλους να χρησιμοποιούνται ευρέως για εφαρμογές συμπαραγωγής. Ο θερμοδυναμικός τους κύκλος είναι ο κύκλος Rankine. Ο κύκλος είναι η βάση των συμβατικών σταθμών παραγωγής ενέργειας και αποτελείται από μια πηγή θερμότητας (λέβητα) που μετατρέπει το νερό σε ατμό υψηλής πίεσης. Στον κύκλο ατμού, το νερό αντλείται πρώτα στο λέβητα σε υψηλή πίεση. Κατόπιν θερμαίνεται στη θερμοκρασία βρασμού που αντιστοιχεί στην πίεση, βράζει (θερμαίνεται υγρό σε ατμό) και συχνά υπερθερμαίνεται (θερμαίνεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από αυτή του βρασμού). Ένας στρόβιλος πολλαπλών σταδίων στην συνέχεια εξάγει ενέργεια από ατμό υψηλής πίεσης και τη μετατρέπει σε ατμό χαμηλής πίεσης. Στη συνέχεια, ο ατμός χαμηλής πίεσης διαφεύγει είτε σε έναν συμπυκνωτή υπό συνθήκες κενού, είτε σε μια ενδιάμεση θερμοκρασία συστήματος διανομής ατμού του οποίου ο ρόλος είναι να μεταφέρει ατμό σε βιομηχανική ή εμπορική εφαρμογή.

Τα συμπυκνώματα από το σύστημα συμπυκνωτή ή ατμού επιστρέφουν στην αντλία κυκλοφορίας νερού για συνέχιση του κύκλου. Οι δύο τύποι ατμοστροβίλων που χρησιμοποιούνται συχνά είναι ο ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (backpressure) και τύπος extraction condensation. Η επιλογή μεταξύ του στροβίλου αντίθλιψης και του στροβίλου συμπύκνωσης εξαγωγής εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, την ποιότητα της θερμότητας και τους οικονομικούς παράγοντες.



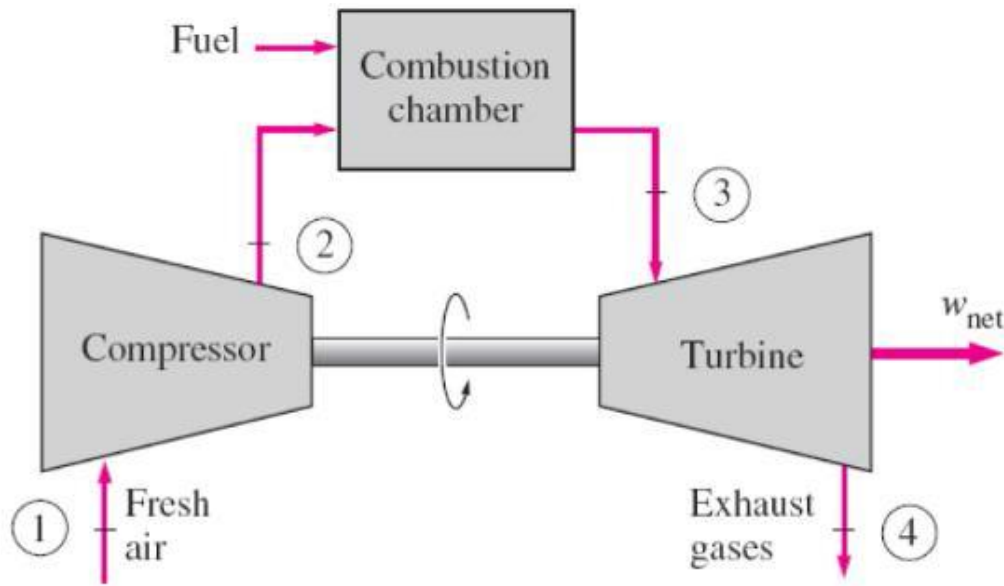
Εικ. 2.2 Κύκλος αμοστροβίλου. [96]

2.3.3 Αεριοστροβίλοι

Τα συστήματα αεριοστροβίλων λειτουργούν στον θερμοδυναμικό κύκλο που είναι γνωστός ως κύκλος Brayton. Σε έναν κύκλο Brayton, ο ατμοσφαιρικός αέρας αναρροφάται στον συμπιεστή, όπου η θερμοκρασία και η πίεση αυξάνονται. Ο αέρας υψηλής πίεσης περνά στον θάλαμο καύσης, όπου το καύσιμο καίγεται υπό σταθερή πίεση. Στη συνέχεια, τα αέρια υψηλής θερμοκρασίας που προκύπτουν εισέρχονται στον στροβίλο, όπου το αέριο διαστέλλεται στην ατμοσφαιρική πίεση μέσω μιας σειράς πτερυγίων (Sawyer, 1972). Αυτή η διαστολή προκαλεί την περιστροφή της τουρμπίνας, η οποία με τη σειρά της περιστρέφει τον εσωτερικό άξονα ενός μαγνητικού πηνίου. Όταν ο άξονας περιστρέφεται μέσα στο μαγνητικό πηνίο, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα (Lane, 2007). Δύο τύποι αυτών των στροβίλων είναι διαθέσιμοι, οι αεριοστροβίλοι ανοιχτού κύκλου και οι τύποι κλειστού κύκλου (Petchers, 2003).

Ο αεριοστρόβιλος ενός συστήματος τριπαραγωγής μπορεί να παράγει ολόκληρη ή μέρος της ενέργειας που απαιτείται από την εφαρμογή. Η ενέργεια που απελευθερώνεται σε υψηλή θερμοκρασία στο σωλήνα εξάτμισης μπορεί να ανακτηθεί για διάφορες εφαρμογές όπως θέρμανση ή ψύξη. Γνωρίζοντας ότι το φυσικό αέριο είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και άλλα καύσιμα όπως το μαζούτ ή το ντίζελ. Το τυπικό εύρος αεριοστρόβιλων κυμαίνεται από κλάσμα MW έως μερικές εκατοντάδες MW.

Η τεχνολογία γύρω από τους αεριοστρόβιλους αναπτύχθηκε σε μεγάλη κλίμακα τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξημένης διαθεσιμότητας φυσικού αερίου, της ραγδαίας τεχνολογικής προόδου, της σημαντικής μείωσης του κόστους εγκατάστασης και των καλών περιβαλλοντικών επιδόσεων. Επιπλέον, η περίοδος ανάπτυξης ενός τέτοιου έργου είναι μικρότερη. Οι αεριοστρόβιλοι έχουν μικρό χρόνο εκκίνησης και παρέχουν ευελιξία διακοπτόμενης λειτουργίας. Αν και έχουν χαμηλή απόδοση μετατροπής θερμότητας σε ισχύ (ρυθμός θερμότητας), περισσότερη θερμότητα μπορεί να ανακτηθεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Εάν η απόδοση θερμότητας είναι χαμηλότερη από αυτή που απαιτείται από τον χρήστη, είναι πιθανό να έχει καεί επιπλέον φυσικό αέριο αναμειγνύοντας πρόσθετο καύσιμο με τα πλούσια σε οξυγόνο καυσαέρια προκειμένου να διεγείρεται η θερμική παραγωγή με πιο αποτελεσματικό τρόπο (Εικόνα 2.3).

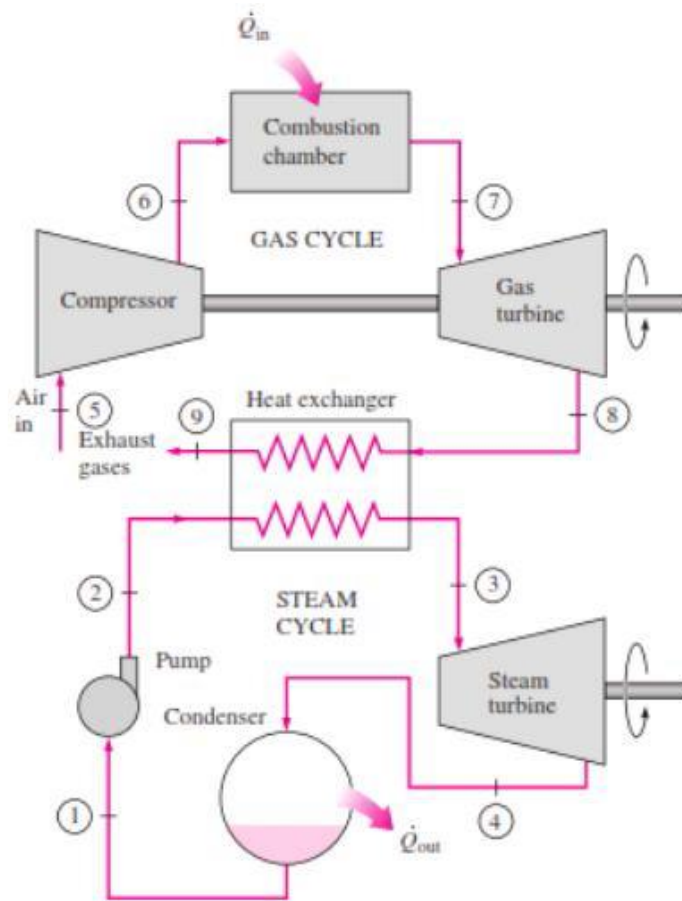


Εικ.2.3. Κύκλος αεριοστρόβιλου. [96]

2.3.4 Αεριοστρόβιλοι συνδυασμένου κύκλου

Θερμοδυναμικά αποτελείται από δύο θερμοδυναμικούς κύκλους, που συνδέονται με ένα εργαζόμενο μέσο και λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας. Στο συνδυασμένο ή κλειστό σύστημα, το ενεργό ρευστό, συνήθως το ήλιο ή ο αέρας, κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα. Θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας πριν φτάσει στον στρόβιλο και ψύχεται μετά την έξοδο από τον στρόβιλο, παράγοντας χρήσιμη θερμότητα. Έτσι, το εργαζόμενο μέσο παραμένει καθαρό και δεν προκαλεί διάβρωση (Εικόνα 2.4).

Η καύση οποιουδήποτε εξωτερικού καυσίμου μπορεί να θεωρηθεί πηγή θερμότητας. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν πηγή η πυρηνική ή η ηλιακή ενέργεια. Τα συστήματα αυτά μπορούν να μετατρέψουν το 70 έως 90% της ενέργειας καυσίμου σε χρήσιμη ενέργεια.



Εικ. 2.4. Συνδυασμένος κύκλος στροβίλου. [96]

2.3.5 Εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης

Οι εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές μεταφορών και σε σταθερές εφαρμογές για την κίνηση πχ ηλεκτρογεννητριών. Αποτελούνται από πολλούς κυλίνδρους στους οποίους η ανάφλεξη ενός μείγματος αέρα-καυσίμου δημιουργεί ένα καυτό αέριο που ωθεί ένα έμβολο. Ένα σύστημα στροφάλου-διωστήρα μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική κίνηση και μεταδίδει ενέργεια σε έναν άξονα που κινεί τον στροφαλοφόρο άξονα (Lévy, 1996).

Μπορεί να είναι είτε κινητήρας ανάφλεξης με σπινθήρα, που λειτουργεί κυρίως με φυσικό αέριο και βενζίνη, είτε κινητήρας ανάφλεξης με συμπίεση που τροφοδοτείται από προϊόντα πετρελαίου όπως το ντίζελ.

Η ανακτώμενη θερμότητα είναι γενικά με τη μορφή ζεστού νερού ή ατμού χαμηλής πίεσης (<30 psig). Τα καυσαέρια σε υψηλή θερμοκρασία μπορούν να δημιουργήσουν ατμό σε μέτρια πίεση (έως περίπου 150 psig).

Ορισμένες βιομηχανικές εφαρμογές συμπαραγωγής χρησιμοποιούν την εξάτμιση από τον κινητήρα απευθείας για ξήρανση. Γενικά, το ζεστό νερό και ο ατμός χαμηλής πίεσης που παράγονται από παλινδρομικούς κινητήρες είναι κατάλληλα για τις χαμηλές θερμοκρασίες (θέρμανση χώρων, θέρμανση πόσιμου νερού) ή για τη λειτουργία των ψυκτών απορρόφησης.

Αυτά τα συστήματα είναι κατάλληλα για μια ποικιλία εφαρμογών αποκεντρωμένης παραγωγής. Αυτές οι εφαρμογές μπορεί να είναι βιομηχανικές, εμπορικές και θεσμικές. Οι παλινδρομικοί κινητήρες έχουν γρήγορη εκκίνηση, προσαρμόζονται καλά στο φορτίο και γενικά έχουν υψηλή αξιοπιστία. Σε αρκετές περιπτώσεις, ορισμένες μονάδες εναλλακτικών κινητήρων μπορούν να αυξήσουν την χωρητικότητα και τη διαθεσιμότητα της συνολικής παραγωγής. Οι εμβολοφόροι κινητήρες έχουν υψηλότερη απόδοση από τους αεριοστρόβιλους ίδιας χωρητικότητας, και επομένως χαμηλό λειτουργικό κόστος που συνδέεται με τα καύσιμα. Επιπλέον, το κόστος των γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος είναι γενικά χαμηλότερο από αυτό των γεννητριών αεριοστρόβιλων με ισχύ μικρότερη από 5 MW.

Οι αποκεντρωμένες πιθανές εφαρμογές παραγωγής για εμβολοφόρους κινητήρες περιλαμβάνουν εφαρμογές παρακολούθησης, αποκοπής, υποστήριξης δικτύου και συμπαραγωγής, όπως θέρμανση ή ψύξη. Αυτοί οι κινητήρες χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως ως άμεσοι μηχανικοί παλλόμενοι για εφαρμογές όπως η άντληση νερού, η συμπίεση αέρα και αερίου και η ψύξη. Η οικονομία των κινητήρων φυσικού αερίου σε εφαρμογές επιτόπιας παραγωγής ενισχύεται από την αποτελεσματική χρήση της θερμικής ενέργειας στα καυσαέρια και την ψύξη, η οποία αντιπροσωπεύει τυπικά το 60 έως 70% της ενέργειας του καυσίμου εισόδου.

2.3.6 Μικροστρόβιλοι

Η θερμοδυναμική διαδικασία ενός μικροστρόβιλου βασίζεται στην πίεση του εισερχόμενου αέρα μέσω ενός συμπιεστή. Ο πεπιεσμένος αέρας και το κατάλληλο καύσιμο αναμειγνύονται και καίγονται στον θάλαμο καύσης. Το θερμό αέριο που προκύπτει από την καύση περιστρέφει τον στρόβιλο. Αυτό ενεργοποιεί τον συμπιεστή και παρέχει την ενέργεια που περιστρέφει τον άξονα του στρόβιλου του συμπιεστή. Με τη βοήθεια της ανάκτησης θερμότητας, τα καυτά καυσαέρια καθιστούν δυνατή την προθέρμανση του αέρα που περνά μέσα από τον συμπιεστή στον θάλαμο καύσης.

Τα κύρια συστήματα των συστημάτων μικροτουρμπίνας είναι ο συμπιεστής, η γεννήτρια στρόβιλου και ο εναλλάκτης θερμότητας. Τα συστήματα μικροστρόβιλων είναι μικρότερες εκδόσεις των στρόβιλων καύσης που παρέχουν εύλογη ηλεκτρική απόδοση περίπου 30%, καύσιμο πολλαπλής χωρητικότητας, χαμηλές εκπομπές και δυναμικό ανάκτησης θερμότητας και ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης.

Για εφαρμογές συμπαραγωγής, μπορεί να επιτευχθεί συνολική απόδοση μεγαλύτερη από 80%. Η χωρητικότητα των υπαρχόντων μικροστρόβιλων κυμαίνεται από 25 έως 80 kW. Αυτή η σειρά είναι κατάλληλη για να καλύψει τις θερμικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις κατοικιών, εμπορικών ή ιδρυματικών κτιρίων. Επιπλέον, η έρευνα συνεχίζεται για συστήματα με χωρητικότητα μικρότερη από 25 kW, για παράδειγμα, 1 και 10 kW (Pilavachi, 2002). Αυτό θα είναι κατάλληλο για ξεχωριστά διαμερίσματα. Οι μικροστρόβιλοι προσφέρουν μια σειρά από πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα συστήματα. Αυτά περιλαμβάνουν μικρό μέγεθος, χαμηλό βάρος, μικρό αριθμό κινούμενων μερών και μειωμένο θόρυβο. Επιπλέον, οι μικροστρόβιλοι έχουν χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης (αλλά απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό), χαμηλούς κραδασμούς και σύντομο χρόνο παράδοσης. Άλλα καύσιμα όπως το ντίζελ, η αιθανόλη, τα βιομηχανικά αέρια και άλλα βιολογικά αέρια και υγρά μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός του φυσικού αερίου ως καύσιμο (Pilavachi, 2002).

2.3.7 Οργανικός κύκλος Rankine

Ένας οργανικός κύκλος Rankine (organic Rankine cycle ORC) βασίζεται στην ίδια αρχή των ατμοστροβίλων, αλλά χρησιμοποιεί ένα οργανικό εργαζόμενο μέσο (όχι νερό), που έχει είτε χαμηλότερο είτε υψηλότερο σημείο βρασμού από το νερό.

Πολλές μελέτες πραγματοποιούνται σχετικά με το ORC. Οι Maraver et al. (2014) εκτέλεσαν μια θερμοδυναμική βελτιστοποίηση του ORC για συμπαραγωγή με καύση βιομάζας. Οι Cioccolanti et al. (2017) ερεύνησαν την αξιολόγηση απόδοσης του ολοκληρωμένου συστήματος μικρής κλίμακας προκειμένου να αξιολογηθεί η πιθανή σκοπιμότητα ενός τέτοιου συστήματος για οικιακές εφαρμογές. Οι Al Sulaiman et al. (2011) διεξήγαγαν μια ενεργειακή ανάλυση μιας μονάδας τριπαραγωγής με βάση την κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου και τον οργανικό κύκλο Rankine (2010). Μια μοντελοποίηση, προσομοίωση και μια τεχνοοικονομική αξιολόγηση του συστήματος τριπαραγωγής που τροφοδοτείται από βιομάζα ενσωματωμένο με τον οργανικό κύκλο Rankine που έγινε από τους Huang et al. (2013). Τέλος μια εξεργειακή μοντελοποίηση χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της εξεργειακής απόδοσης ενός νέου συστήματος τριπαραγωγής χρησιμοποιώντας παραβολικούς ηλιακούς συλλέκτες (PTSC) και έναν οργανικό κύκλο Rankine (ORC) επίσης από τους Sulaiman et al. (2011).

2.3.8 Μηχανές Stirling

Ένας κινητήρας Stirling (SE) είναι ένας κινητήρας θερμότητας εξωτερικής καύσης που λειτουργεί σε κύκλο Stirling που περικλείει μια σταθερή ποσότητα μόνιμα σε αέρια κατάσταση εργαζόμενου μέσου όπως είναι ο αέρας ή το ήλιο (C.T. Group, 2010). Στις τυπικές SE, περίπου το 30% της εισροής θερμότητας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο απορρίπτεται στο σύστημα ψύξης και στα καυσαέρια. Με κατάλληλη

διαμόρφωση ανάκτησης θερμότητας , μπορούν να επιτύχουν θερμική απόδοση CCHP που πλησιάζει το 80%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Κτήριο προς μελέτη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν σκοπό την οικονομοτεχνική μελέτη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτηρίου με χρήση σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ΖΝΧ.

Για τον σκοπό αυτό πρέπει να γίνει αρχικά ενεργειακή εκτίμηση και μελέτη του υφιστάμενου κτηρίου. Το υπολογιστικό πρόγραμμα το οποίο θα χρησιμοποιηθεί είναι το πρόγραμμα ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ.

Το κτήριο το οποίο πρόκειται να μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία αφορά πολυκατοικία, πέντε ορόφων και συνολικής ωφέλιμης επιφάνειας 519,5 m². Τα γενικά στοιχεία του κτηρίου τα οποία εισήχθησαν στο πρόγραμμα φαίνονται κάτωθι στην εικόνα 3.1.

Στο πεδίο «Χρήση κτηρίου» εμφανίζεται η χρήση του κτηρίου όπως ορίστηκε κατά το πρώτο στάδιο της ηλεκτρονικής καταχώρησης της ενεργειακής επιθεώρησης κτηρίου, όπως προβλέπεται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-4.

Σαν συνολική επιφάνεια (m²) εισάγεται η συνολική μεικτή επιφάνεια δαπέδων, κλειστών στεγασμένων θερμαινόμενων και μη χώρων, μετρούμενη βάσει εξωτερικών διαστάσεων. Ως ωφέλιμη επιφάνεια (m²) εισάγεται η μεικτή επιφάνεια δαπέδων των κλειστών στεγασμένων χώρων του κτηρίου που προορίζονται για την εξυπηρέτηση των αναγκών της κύριας χρήσης του, μετρούμενη βάσει εξωτερικών διαστάσεων. Στην ωφέλιμη επιφάνεια δεν προσμετρώνται οι ανεξάρτητοι βοηθητικοί χώροι, όπως χώροι αποθήκευσης, στάθμευσης και εγκατάστασης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του κτηρίου, η επιφάνεια των κοινόχρηστων κλιμακοστασίων και του ανελκυστήρα (όταν είναι μη θερμαινόμενοι χώροι), η επιφάνεια των αιθρών και όλων των διαμπερών ανοιγμάτων ή οδύσεων που λειτουργούν ως φωταγωγοί ή ως αγωγοί κυκλοφορίας του αέρα για τον κλιματισμό του κτηρίου. Με τον όρο ψυχόμενη επιφάνεια (m²) ορίζεται η μεικτή επιφάνεια δαπέδων των κλειστών στεγασμένων χώρων του

κτηρίου που ψύχονται, μετρούμενη βάσει εξωτερικών διαστάσεων. Σαν συνολικός όγκος (m³) λαμβάνουμε τον συνολικό όγκο των χώρων που συμπεριλαμβάνονται στη συνολική επιφάνεια του κτηρίου, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές διαστάσεις της κατασκευής και τέλος σαν ωφέλιμο όγκο (m³) εισάγουμε τον συνολικό όγκο των χώρων που συμπεριλαμβάνονται στην ωφέλιμη επιφάνεια του κτηρίου, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές διαστάσεις της κατασκευής.

Πηγή ενέργειας	Θέρμανση	Ψύξη	Αερισμός	ΖΝΧ	Φωτισμός	Συσκευές	Κατανάλωση	Μονάδες	Περίοδος κατανάλωσης
*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			00/00/00 - 01/01/10

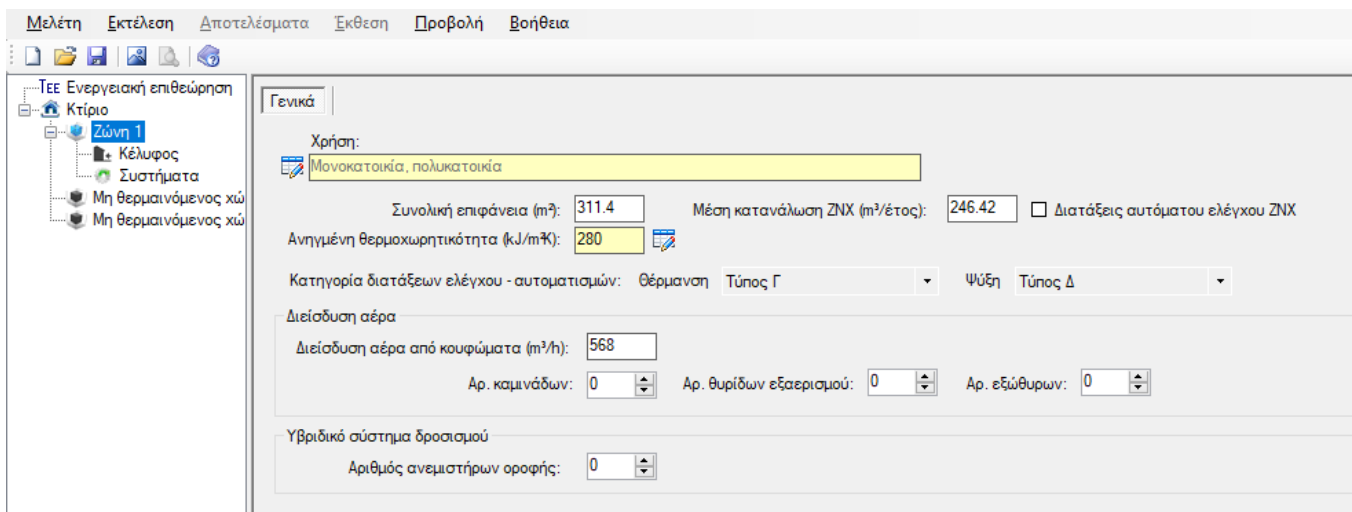
Εικ. 3.1 Γενικά στοιχεία υφιστάμενου κτηρίου

Στην συνέχεια θα πρέπει να εισάγουμε τα γενικά στοιχεία της εκάστοτε θερμικής ζώνης. Στο πεδίο χρήση εισάγεται η χρήση της συγκεκριμένης θερμικής ζώνης. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει σύμφωνα με τις τελικές χρήσεις από τον κατάλογο για τις χρήσεις κτηρίου.

Στο πεδίο ανηγμένη θερμοχωρητικότητα (kJ/m² K) εισάγεται η μέση ανηγμένη ειδική θερμοχωρητικότητα της κατασκευής. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει, την αντίστοιχη τιμή

σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 (§3.2.4. Η θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων. Πίνακας 3.14.-Ανηγγεμένη θερμοχωρητικότητα για τυπικές κατασκευές ανά m² δαπέδου).

Ακολούθως στο πεδίο της μέσης κατανάλωση ZNX (m³/έτος) εισάγεται η υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης για την συγκεκριμένη ζώνη, σύμφωνα με τις τιμές που ορίζονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 (§2.5. Κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης. Πίνακας 2.5.-Τυπική κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης ανά χρήση κτηρίου για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας).



Εικ. 3.2. Γενικά στοιχεία θερμικής ζώνης 1

Στην συνέχεια θα πρέπει να ορίσουμε τα στοιχεία του κελύφους του κτηρίου που αφορούν την θερμική ζώνη. Για κάθε θερμική ζώνη πρέπει να εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς και διαφανείς επιφάνειες του κελύφους και για τις εσωτερικές επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους ή ηλιακούς χώρους, εάν έχουν οριστεί τέτοιοι χώροι.

Αρχικά εισάγουμε τα δεδομένα των αδιαφανών επιφανειών του κελύφους της συγκεκριμένης θερμικής ζώνης που βρίσκονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα. Στο πεδίο «Τύπος».

καθορίζεται ο τύπος του δομικού στοιχείου. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από τον διαθέσιμο κατάλογο. Ακολούθως στο πεδίο «Περιγραφή» εισάγεται μια σύντομη περιγραφή. Ο προσανατολισμός «γ» (deg) του δομικού στοιχείου εισάγεται ακολούθως. Σύμφωνα με την σύμβαση, για επιφάνεια με προσανατολισμό προς Βορά η τιμή είναι 0° , προς Ανατολή 90° , προς Νότο 180° και προς Δύση 270° . Το πεδίο «β» (deg), αφορά την κλίση. Εισάγεται η κλίση του δομικού στοιχείου, μετρούμενη μεταξύ της καθέτου στην επιφάνεια και της κατακόρυφου (ζενίθ) περιοχής. Ένας κατακόρυφος τοίχος έχει κλίση 90° , μια επίπεδη οροφή 0° , ενώ μια πυλωτή 180° . Στο επόμενο πεδίο «Εμβαδό» (m²) εισάγουμε το συνολικό καθαρό εμβαδόν της αδιαφανούς επιφάνειας (δεν περιλαμβάνονται τα ανοίγματα), λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές διαστάσεις της κατασκευής.

Το πεδίο «U» (W/m²K) αφορά τον συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου. Για τα νέα κτήρια υπολογίζεται σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2 (§2.1. Υπολογισμός των συντελεστών θερμοπερατότητας των αδιαφανών δομικών στοιχείων). Για τα νέα κτήρια μετά την ισχύ του αναθεωρημένου ΚΕΝΑΚ, ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων για τις διαφορετικές κλιματικές ζώνες πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 (§3.2. Θερμοφυσικά Χαρακτηριστικά Δομικών Στοιχείων κτηρίου. Πίνακας 3.3α. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτηρίου).

Στο πεδίο Απορροφητικότητα «α» καθορίζουμε τον συντελεστή απορροφητικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική πλευρά της επιφάνειας του δομικού στοιχείου. Εξαρτάται από τον τύπο του δομικού στοιχείου, το υλικό και το χρώμα των τελικών επιστρώσεων, σύμφωνα με τις τυπικές τιμές από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 (§3.2.5. Συντελεστής απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας. Πίνακας 3.15. Επίσης, ο Συντελεστής εκπομπής θερμικής ακτινοβολία «ε» καθορίζεται από την θερμική ακτινοβολία στην εξωτερική πλευρά της επιφάνειας του δομικού στοιχείου σύμφωνα με τις τυπικές τιμές από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 (§3.2.6. Συντελεστής εκπομπής στη θερμική ακτινοβολία. Πίνακας 3.16. Τιμές του συντελεστή εκπομπής (εκπεμπτικότητα) θερμικής ακτινοβολίας).

Εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m²)	U' (W/m²K)	α' (°)	ε' (°)	F _{hor,h} (°)	F _{hor,c} (°)	F _{ov,h} (°)	F _{ov,c} (°)	F _{fn,h} (°)	F _{fn,c} (°)
1	Ταίχος	ΟΗΗ11	135	90	10.99	2.559	0.00	0.00	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	Πόρτα	ΟΗΗ11-Π2	135	90	1.89	3.500	0.00	0.00	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3	Ταίχος	ΟΗΗ12	315	90	19.88	2.624	0.40	0.80	0.810	0.657	0.674	0.664	1.000	1.000
4	Ταίχος	ΟΗΗ Α1	135	90	14.09	3.097	0.40	0.80	0.876	0.934	0.590	0.487	1.000	1.000
5	Ταίχος	ΟΗΗ Α2	45	90	6.00	2.280	0.40	0.80	1.000	1.000	0.455	0.410	1.000	1.000
6	Ταίχος	ΟΗΗ Α3	135	90	7.55	2.291	0.40	0.80	0.892	0.941	0.352	0.331	0.812	0.960
7	Ταίχος	ΟΗΗ Α4	315	90	14.27	2.773	0.40	0.80	0.818	0.695	0.657	0.647	1.000	1.000
8	Ταίχος	ΟΗΗ Α5-ΦΩΤΑΓΩΓΟΣ	0	90	7.80	2.662	0.00	0.00	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
9	Ταίχος	ΟΗΗ Β1	135	90	14.09	3.097	0.40	0.80	0.961	0.975	0.590	0.487	1.000	1.000
10	Ταίχος	ΟΗΗ Β2	45	90	6.00	2.280	0.40	0.80	1.000	1.000	0.455	0.410	1.000	1.000
11	Ταίχος	ΟΗΗ Β3	135	90	7.55	2.291	0.40	0.80	0.964	0.977	0.352	0.331	0.812	0.960
12	Ταίχος	ΟΗΗ Β4	315	90	14.27	2.773	0.40	0.80	0.838	0.761	0.657	0.647	1.000	1.000
13	Ταίχος	ΟΗΗ Β5-ΦΩΤΑΓΩΓΟΣ	0	90	7.80	2.662	0.00	0.00	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
14	Μεσοτοιχία	ΜΕΣΟΤΟΧΙΑ ΙΞ Α Β			114.74									
15	Ταίχος	ΟΗΗ Γ1	135	90	22.64	0.804	0.40	0.80	1.000	1.000	0.438	0.190	1.000	1.000
16	Ταίχος	ΟΗΗ Γ2	315	90	14.27	0.824	0.40	0.80	0.877	0.827	0.657	0.647	1.000	1.000
17	Ταίχος	ΟΗΗ Γ3-ΦΩΤΑΓΩΓΟΣ	0	90	7.80	0.819	0.00	0.00	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
18	Μεσοτοιχία	ΜΕΣΟΤΟΧΙΑ Γ			40.65									
19	Όροφή	ΟΡΟΦΗ Β' ΟΡΟΦΟΥ	0	0	14.30	3.050	0.65	0.80	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
20	Όροφή	ΟΡΟΦΗ Γ' ΟΡΟΦΟΥ	0	0	81.60	0.650	0.65	0.80	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
21	Πυλωτή	ΔΑΠΕΔΟ Α'	0	180	47.50	2.750	0.65	0.80	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Εικ. 3.3 Στοιχεία αδιαφανών επιφανειών για θερμική ζώνη 1

Στην συνέχεια εισάγονται τα στοιχεία των διαφανών επιφανειών του κτηρίου τα οποία περιλαμβάνουν δεδομένα για τις διαφανείς επιφάνειες του κελύφους της συγκεκριμένης ζώνης που βρίσκονται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον.

Εισάγονται τα δεδομένα για τις διαφανείς επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m²)	Τύπος αναίμαγτος*	U (W/m²K)	g _w (°)	F _{hor,h} (°)	F _{hor,c} (°)	F _{ov,h} (°)	F _{ov,c} (°)	F _{fn,h} (°)	F _{fn,c} (°)
1	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ11-Α1	135	90	1.20	Τύπος Π11	4.550	0.460	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ12-Α1	315	90	1.00	Τύπος Π13	4.480	0.440	0.810	0.658	0.642	0.630	1.000	1.000
3	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ12-Α2	315	90	2.00	Τύπος Π12	4.070	0.560	0.810	0.658	0.642	0.630	1.000	1.000
4	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Α1-Α1	135	90	3.68	Τύπος Μ1	3.950	0.410	0.870	0.932	0.670	0.550	1.000	1.000
5	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Α1-Α2	135	90	3.68	Τύπος Μ1	3.950	0.410	0.870	0.932	0.670	0.550	1.000	1.000
6	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Α3-Α1	135	90	1.00	Τύπος Π13	4.480	0.440	0.902	0.945	0.290	0.300	0.810	0.960
7	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Α4-Α1	315	90	1.20	Τύπος Π11	4.550	0.460	0.820	0.700	0.618	0.600	1.000	1.000
8	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Α4-Α2	315	90	5.98	Τύπος Μ2	4.640	0.510	0.816	0.688	0.714	0.704	1.000	1.000
9	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Α5-ΦΩΤΑΓΩΓΟΣ-Α1	0	90	0.60	Τύπος Π4	4.610	0.470	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Β1-Α1	135	90	3.68	Τύπος Μ1	3.950	0.410	0.958	0.974	0.670	0.550	1.000	1.000
11	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Β1-Α2	135	90	3.68	Τύπος Μ1	3.950	0.410	0.958	0.974	0.670	0.550	1.000	1.000
12	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Β3-Α1	135	90	1.00	Τύπος Π13	4.480	0.440	0.966	0.978	0.290	0.300	0.810	0.960
13	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Β4-Α1	315	90	1.20	Τύπος Π11	4.550	0.460	0.840	0.770	0.618	0.600	1.000	1.000
14	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Β4-Α2	315	90	5.98	Τύπος Μ2	4.640	0.510	0.836	0.754	0.714	0.704	1.000	1.000
15	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Β5-ΦΩΤΑΓΩΓΟΣ-Α1	0	90	0.60	Τύπος Π4	4.610	0.470	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
16	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Γ1-Α1	135	90	3.68	Τύπος Μ3	3.645	0.490	1.000	1.000	0.544	0.190	1.000	1.000
17	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Γ1-Α2	135	90	3.68	Τύπος Μ3	3.645	0.490	1.000	1.000	0.544	0.190	1.000	1.000
18	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Γ2-Α1	315	90	1.20	Τύπος Π5	4.610	0.400	0.882	0.832	0.618	0.600	1.000	1.000
19	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Γ2-Α2	315	90	5.98	Τύπος Μ4	3.620	0.550	0.870	0.820	0.714	0.704	1.000	1.000
20	Αναγόμενο κάλυμμα	ΟΗΗ Γ3-ΦΩΤΑΓΩΓΟΣ-Α1	0	90	0.60	Τύπος Π6	4.500	0.420	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Εικ. 3.4 Στοιχεία διαφανών επιφανειών για θερμική ζώνη 1

Ακολούθως θα πρέπει να εισάγουμε τα υφιστάμενα συστήματα που εξυπηρετούν τις ανάγκες του κτηρίου που μελετούμε. Εισάγονται πληροφορίες για τα εξής χαρακτηριστικά

- Θέρμανση
- Ψύξη
- Ύγρανση
- Μηχανικός Αερισμός
- ZNX
- Ηλιακός συλλέκτης
- Φωτισμός

Για την εξυπηρέτηση των αναγκών σε θέρμανση στο υφιστάμενο κτήριο στην θερμική ζώνη 1 έχει εγκατασταθεί ένας κεντρικός λέβητας πετρελαίου ισχύος 150 KW.

Επιλέξτε τα συστήματα της ζώνης: Ύγρανση Μηχανικός αερισμός Ηλιακός συλλέκτης Φωτισμός

Θέρμανση Ψύξη ZNX Ηλιακός συλλέκτης

Παραγωγή

	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	B. An. ² (-)	COP (-)	Jan (-)	Φεβ (-)	Mar (-)	Apr (-)	Μαϊ (-)	Ιουν (-)	Ιουλ (-)	Αυγ (-)	Σεπ (-)	Oct (-)	Νοε (-)	Δεκ (-)
▶ 1	Λέβητας	Πετρέλαιο	150	0.659	1.0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
* 2				1	1												

Δίκτυο διανομής

	Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρας διέλευσης	B. An. ² (-)	Μόνωση
▶ 1	Δίκτυο διανομής θερμού μέσου	20.1	Εσωτερικά ή έως και 20% σε	0.86	<input type="checkbox"/>
2	Αεραγωγοί				<input type="checkbox"/>

Τερματικές μονάδες

	Τύπος	B. An. ² (-)
▶ 1	ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	0.864

Βοηθητικές μονάδες

	Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)
▶ 1	Κυκλοφορητές	1	1
* 2		1	0

Εικ. 3.5 Σύστημα θέρμανσης (Θερμική ζώνη 1)

Για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων έχουν τοποθετηθεί 4 αερόψυκτες αντλίες θερμότητάς τύπου split τα στοιχεία των οποίων φαίνονται στην κάτωθι εικόνα.

Επιλέξτε τα συστήματα της ζώνης: Ύγραση Μηχανικός αερισμός Ηλεκτρικός αερισμός Φωτισμός

Θέρμανση | Ψύξη | ΖΝΧ | Ηλεκτρικός αερισμός

Παραγωγή	Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	B. An. (-)	EER* (-)	Jan (-)	Φεβ (-)	Mar (-)	Apr (-)	Mai (-)	Ιουν (-)	Ιουλ (-)	Αυγ (-)	Σεπ (-)	Οκτ (-)	Νοε (-)	Δεκ (-)
1	Αερόψυκτη A.Θ.	Ηλεκτρισμός	0	1.0	2.2	0	0	0	0	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0	0	0
2	Αερόψυκτη A.Θ.	Ηλεκτρισμός	2.75	1	2.75	0	0	0	0	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0	0	0
3	Αερόψυκτη A.Θ.	Ηλεκτρισμός	3.2	1	3.66	0	0	0	0	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0	0	0
4	Αερόψυκτη A.Θ.	Ηλεκτρισμός	0	1	1.7	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0

Δίκτυο διανομής	Τύπος	Ισχύς (kW)	Χώρος διέλευσης	B. An. (-)	Μόνωση
1	Δίκτυο διανομής ψυχρού μέσου			1	<input type="checkbox"/>
2	Αεραγωγοί				<input type="checkbox"/>

Τερματικές μονάδες	Τύπος	B. An. (-)
1		0.947

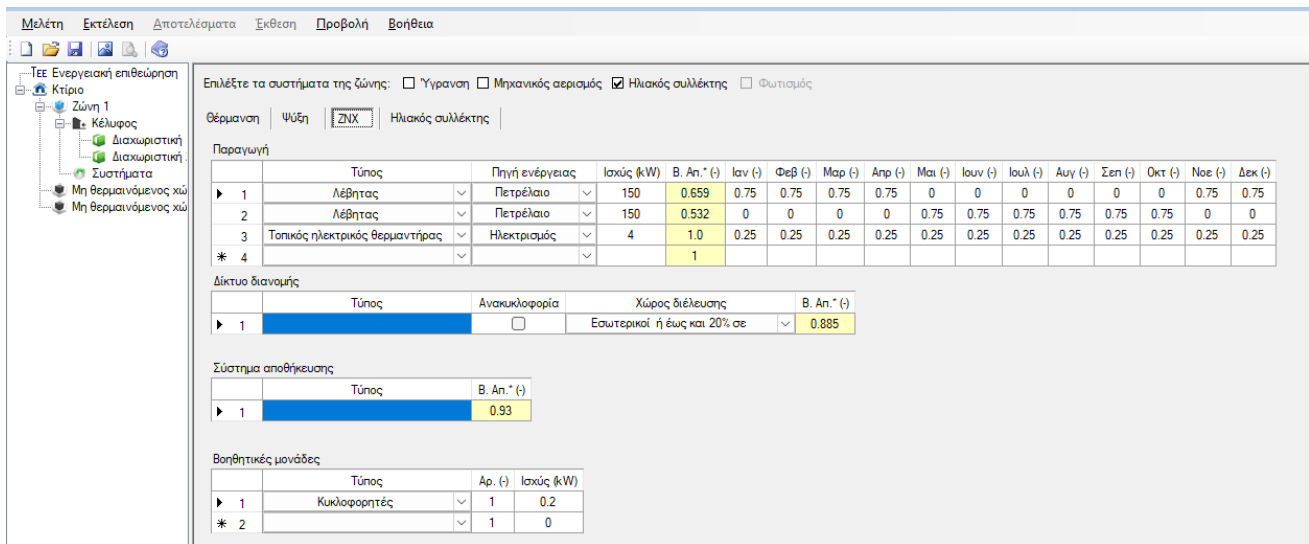
Βοηθητικές μονάδες	Τύπος	Αρ. (-)	Ισχύς (kW)
* 1		1	0

Εικ. 3.6 Σύστημα ψύξης (Θερμική ζώνη 1)

Στην συνέχεια το επόμενο σύστημα, οι ιδιότητες του οποίου πρέπει να εισαχθούν στο υπολογιστικό πρόγραμμα, είναι το σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ZNX) το οποίο αποτελείται από :

- Την παραγωγή
- Το δίκτυο διανομής
- Το σύστημα αποθήκευσης
- Τα βοηθητικά συστήματα

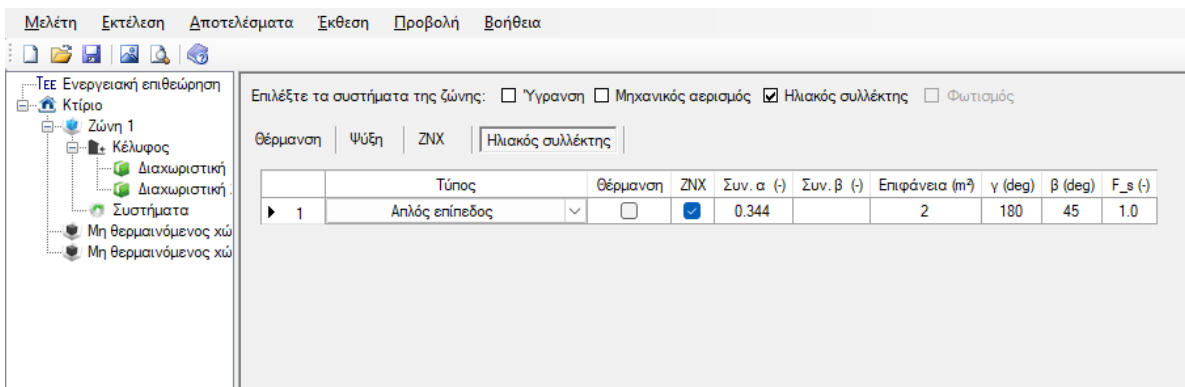
Για την θερμική ζώνη το σύστημα που εξυπηρετεί τις ανάγκες σε ZNX είναι ένα boiler το οποίο λειτουργεί μαζί με τον λέβητα πετρελαίου καθώς επίσης και ένας τοπικός ηλεκτρικός θερμαντήρας ισχύος 4 KW.



Εικ. 3.7 ZNX θερμικής ζώνης 1

Σε όλα τα νέα ή ριζικά ανακαινιζόμενα κτήρια σύμφωνα με το άρθρο 8 του ΚΕΝΑΚ είναι υποχρεωτική η κάλυψη σημαντικού μέρους των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης από ηλιοθερμικά συστήματα. Το ελάχιστο ποσοστό του ηλιακού μεριδίου σε ετήσια βάση καθορίζεται σε 60%.

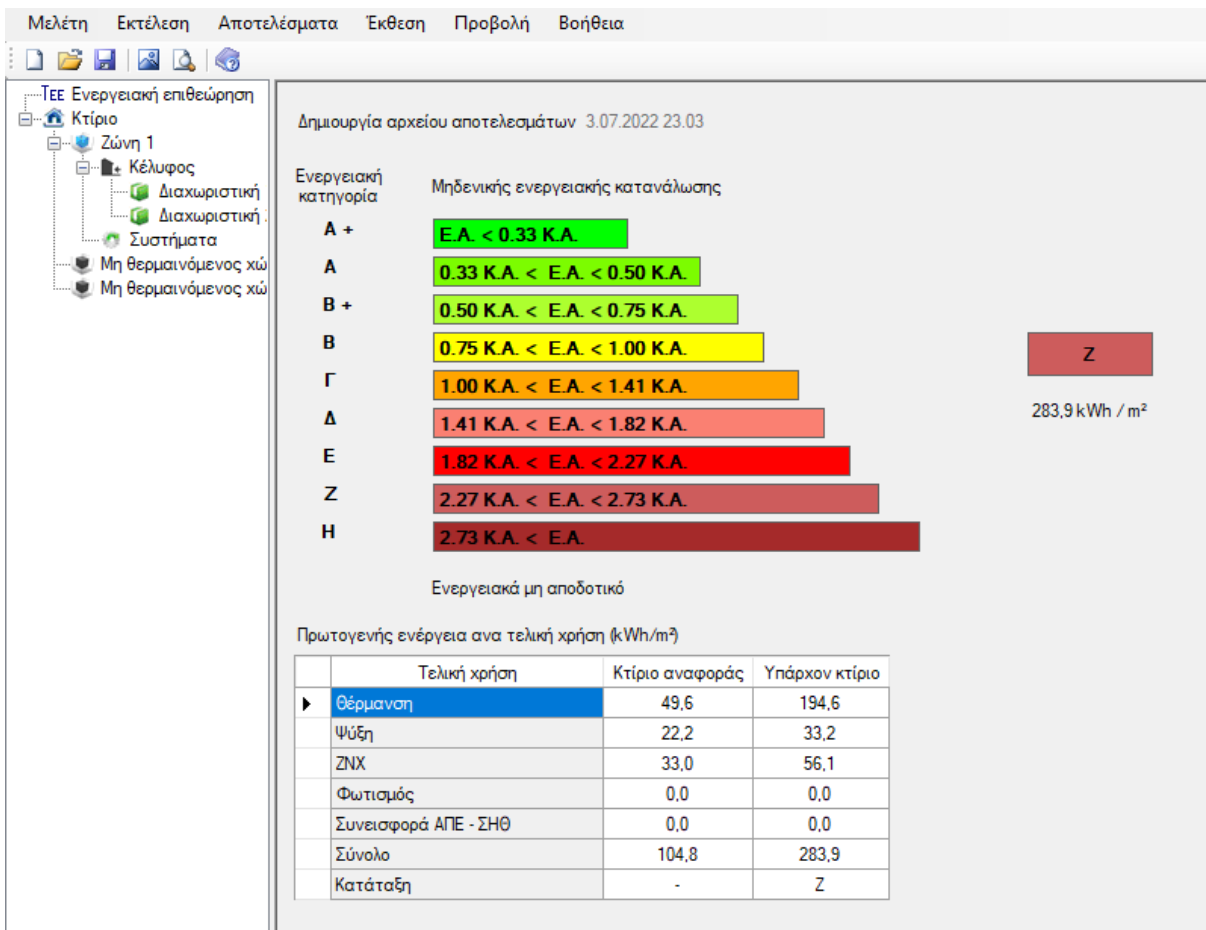
Στην πολυκατοικία υπάρχει εγκατεστημένος ηλιακός συλλέκτης επιφανείας 2 τμ τα στοιχεία του οποίου εισάχθηκαν στην κάτωθι εικόνα.



Εικ. 3.8 Στοιχεία εγκατεστημένου ηλιακού συλλέκτη

3.2 Ενεργειακή απόδοση υφιστάμενου κτηρίου

Η απόδοση του υφιστάμενου κτηρίου φαίνεται στην κάτωθι εικόνα. Η ενεργειακή κατάταξη είναι Z και η πρωτογενής ενέργεια ανά τελική χρήση (KWh/m²) είναι 283,9 KWh/m² σε σχέση με τα 104,8 KWh/m² του κτηρίου αναφοράς.



Εικ. 3.9 Ενεργειακή κατάταξη υφιστάμενου κτηρίου.

Μελέτη Εκτέλεση Αποτελέσματα Έκθεση Προβολή Βοήθεια

ΤΕΕ Ενεργειακή επιθεώρηση

Κτίριο

Υπάρχον κτίριο

Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m ²)	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
Θέρμανση	22,2	18,5	14,1	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	17,2	80,7
Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	7,7	16,7	15,9	1,8	0,0	0,0	0,0	42,7
Υγρανση	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZHX	2,7	2,4	2,6	2,3	2,0	1,7	1,5	1,5	1,6	2,0	2,2	2,6	25,1

Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²)	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
Θέρμανση	46,3	38,7	29,7	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	36,0	169,4
Ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση χώρων	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,1	4,5	4,3	0,5	0,0	0,0	0,0	11,5
ZHX	4,3	3,8	4,0	3,4	3,5	2,7	2,4	2,3	2,7	3,5	3,4	4,0	39,9
Ηλεκτρική ενέργεια για ζεστό νερό χρήσης	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	3,9
Φωτισμός	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ενέργεια από φωτοβολταϊκά - ΣΗΘ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Σύνολο	50,5	42,5	33,7	7,9	3,7	4,8	6,9	6,6	3,2	3,5	17,6	40,1	220,8

Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)	Εκπομπές CO2 (kg/m ²)
Ηλεκτρισμός	22,9	22,6
Πετρέλαιο	197,9	52,2
Φυσικό αέριο	0,0	0,0
Άλλα ορυκτά καύσιμα	0,0	0,0
Ηλεκτρική	3,9	0,0
Βιομάζα	0,0	0,0
Γεωθερμία	0,0	0,0
Άλλο ΑΠΕ	0,0	0,0
Σύνολο	220,8	74,9

Εικ. 3.10 Απαιτήσεις υφιστάμενου κτηρίου

Κόστη και περίοδος αποπληρωμής

	Εξοικονόμηση και κόστη	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
►	Λειτουργικό κόστος (€)	2.582,9	7.291,0
	Αρχικό κόστος επένδυσης (€)		
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)		
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)		
	Τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας (€/kWh)		
	Μείωση εκπομπών CO2 (Kg/m ²)		
	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)		

Εικ. 3.11 Λειτουργικό κόστος υφιστάμενου κτηρίου

Πίνακας 3.1 Πρωτογενής ενέργεια ανά τελική χρήση για υφιστάμενο κτήριο

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΗΡΙΟ	
ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΑ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ (Kwh/m ²)
ΘΕΡΜΑΝΣΗ	194,6
ΨΥΞΗ	33,2
ΖΝΧ	56,1
ΦΩΤΙΣΜΟΣ	0
ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΑΠΕ ΣΗΘ	0
ΣΥΝΟΛΟ	283,9
ΚΑΤΑΤΑΞΗ	Z

3.2.1 Σενάριο 1 – Τοποθέτηση κεντρικής αντλίας θερμότητας

Στο πρώτο σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης επιλέγεται μια αντλία θερμότητα της εταιρίας DAIKIN. Το μοντέλο είναι η αντλία Daikin Altherma HT Flex Type η οποία είναι ιδανική για μεγάλες απαιτήσεις ζεστού νερού χρήσης, όπως πολυκατοικίες ή επαγγελματικούς χώρους. Εξοπλισμένη με τεχνολογία αντλίας θερμότητας αέρα-νερού αποτελεί ένα από τα καλύτερα συστήματα για την κάλυψη υψηλών απαιτήσεων για ζεστό νερό. Χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από την αντλία θερμότητας, το σύστημα μπορεί να θερμάνει τη δεξαμενή ζεστού νερού έως και 75 °C χωρίς τη χρήση ηλεκτρικού θερμαντήρα. Η υψηλή ενεργειακή απόδοση επιτυγχάνει υψηλή βιωσιμότητα και χαμηλό κόστος λειτουργίας. Ο συμπιεστής inverter προσαρμόζει συνεχώς την ταχύτητα του συμπιεστή για να καλύψει την πραγματική ζήτηση. Λιγότερες εκκινήσεις και στάσεις που καταναλώνουν ενέργεια έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένη κατανάλωση ενέργειας (έως 30%) και πιο σταθερές θερμοκρασίες



(α)



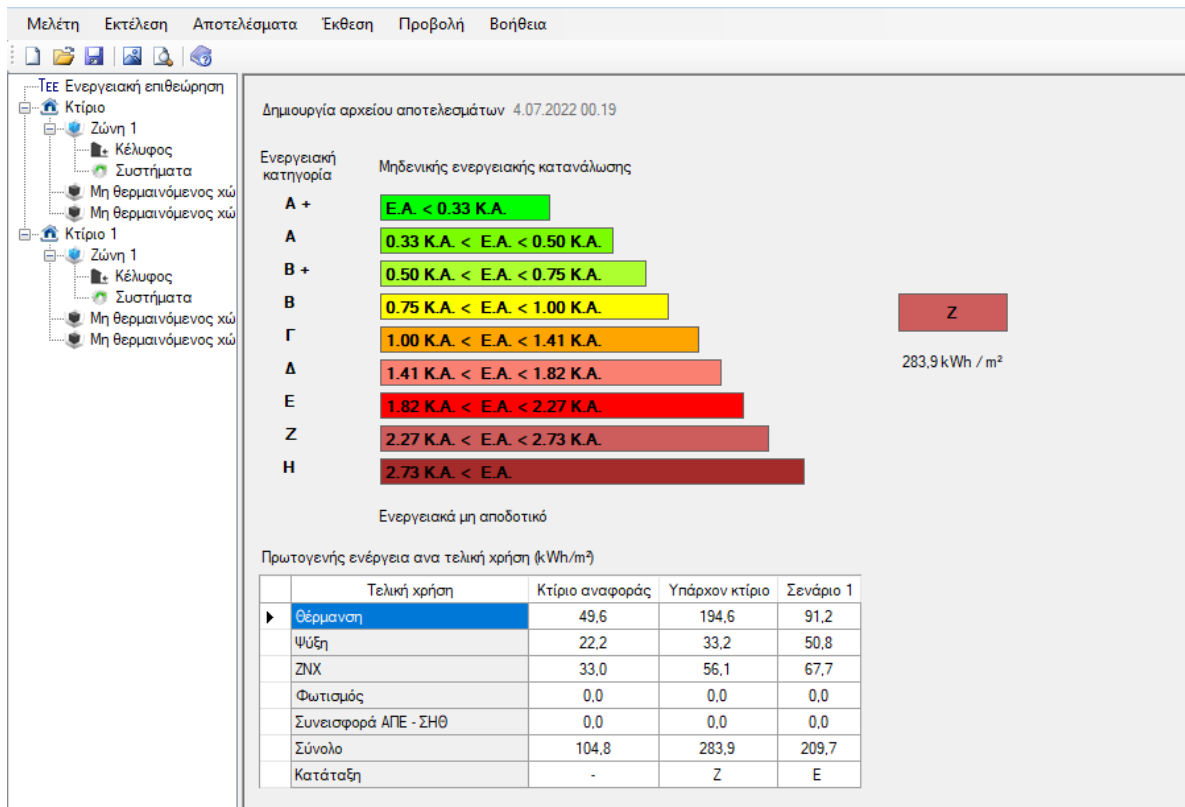
(β)

Εικ. 3.12 Αντλία θερμότητας Daikin που επιλέχθηκε

Heating & Cooling				SEHVX20BAW/ SERHQ020BAW1	SEHVX32BAW/ SERHQ032BAW1	SEHVX40BAW/ SERHQ020BAW1+SERHQ020BAW1	SEHVX64BAW/ SERHQ032BAW1+SERHQ032BAW1	
Cooling capacity	Nom.		kW	21.2 (1)	31.8 (1)	42.3 (1)	63.3 (1)	
Heating capacity	Nom.		kW	20.8 (2)	31.2 (2)	41.7 (2)	62.7 (2)	
Power Input	Cooling	Nom.	kW	7.47 (1)	12.7 (1)	15.1 (1)	25.5 (1)	
	Heating	Nom.	kW	6.76 (2)	10.6 (2)	13.7 (2)	21.4 (2)	
EER				2.84	2.5	2.8	2.48	
COP				3.07	2.93	3.03	2.93	
Space heating	Average climate water outlet 35 °C	General	SCOP ηs (Seasonal space heating efficiency) Seasonal space heating eff. class	%	154	138	149	138
					A++		A+	
Unit for Indoor Installation				SEHVX20BAW	SEHVX32BAW	SEHVX40BAW	SEHVX64BAW	
Dimensions	Unit	Height	mm	1,573				
		Width	mm	766				
		Depth	mm	396				
Weight	Unit		kg	97.0	105	137	153	
	Packed unit		kg	109	117	149	165	
Water side Heat exchanger	Type	Brazed plate						
	Water flow rate	Cooling	Nom.	l/min	3	5	6	9
		Heating	Nom.	l/min	60 (3)	90 (3)	120 (3)	181 (3)
Sound power level	Nom.		dB(A)	63				
	Cooling	Ambient	Min.-Max.	°CDB	-5-43			
		Water side	Min.-Max.	°CDB	5 (4)-20			
Operation range	Heating	Ambient	Min.-Max.	°CDB	-15-35			
		Water side	Min.-Max.	°CDB	25-50			
	Refrigerant	Type / GWP	R-410A / 2,0875					
Water circuit	Circuits	Quantity		1				
	Control	Electronic expansion valve						
	Piping connections diameter	Inch		1-1/4" (female)				
	Piping	Inch		1-1/4"				
Water pressure drop	Cooling	Nom.	kPa	17 (7)	24 (7)	19 (7)	29 (7)	
	Heating	Nom.	kPa	17 (7)	24 (7)	19 (7)	29 (7)	
Power supply	Total water volume		l	4.2 (8)	5.8 (8)	7.9 (8)	11.0 (8)	
	Phase/Frequency/Voltage		Hz/V	3N~/50/400				
Outdoor Unit				SERHQ020BAW1	SERHQ032BAW1	SERHQ032BAW1	SERHQ032BAW1	
Dimensions	Unit	Height	mm	1,680				
		Width	mm	765				
		Depth	mm	930				
Weight	Unit		kg	240			1,240	
	Packed unit		kg	273			356	
Compressor	Quantity			2				
	Type	Hermetically sealed scroll compressor						
Fan	Type	Axial						
	Quantity			1				
	Air flow rate	Cooling	Nom.	m ³ /min	185			233
Heating		Nom.	m ³ /min	185			233	

Εικ. 3.13 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας

Εισάγοντας τα δεδομένα για όλες τις θερμικές ζώνες στο υπολογιστικό πρόγραμμα TEE KENAK προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα για το κτήριο μελέτης που φαίνονται στην κάτωθι εικόνα 3.14.



Εικ. 3.14 Αποτελέσματα για σενάριο Νο1

Παρατηρούμε ότι από την κατηγορία Z το κτήριο κατατάσσεται πλέον σε κατηγορία E. Περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

3.2.2 Σενάριο 2 – Τοποθέτηση κεντρικής αντλίας θερμότητας και φωτοβολταϊκού συστήματος με συμψηφισμό

Σε αυτό το σενάριο επιλέχθηκαν τα ίδια συστήματα με το προηγούμενο σενάριο (Σενάριο 1) σε συνδυασμό με εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος 20 KW με συμψηφισμό στην οροφή της πολυκατοικίας. Τα στοιχεία που εισάχθηκαν στο πρόγραμμα φαίνονται στην κάτωθι εικόνα.

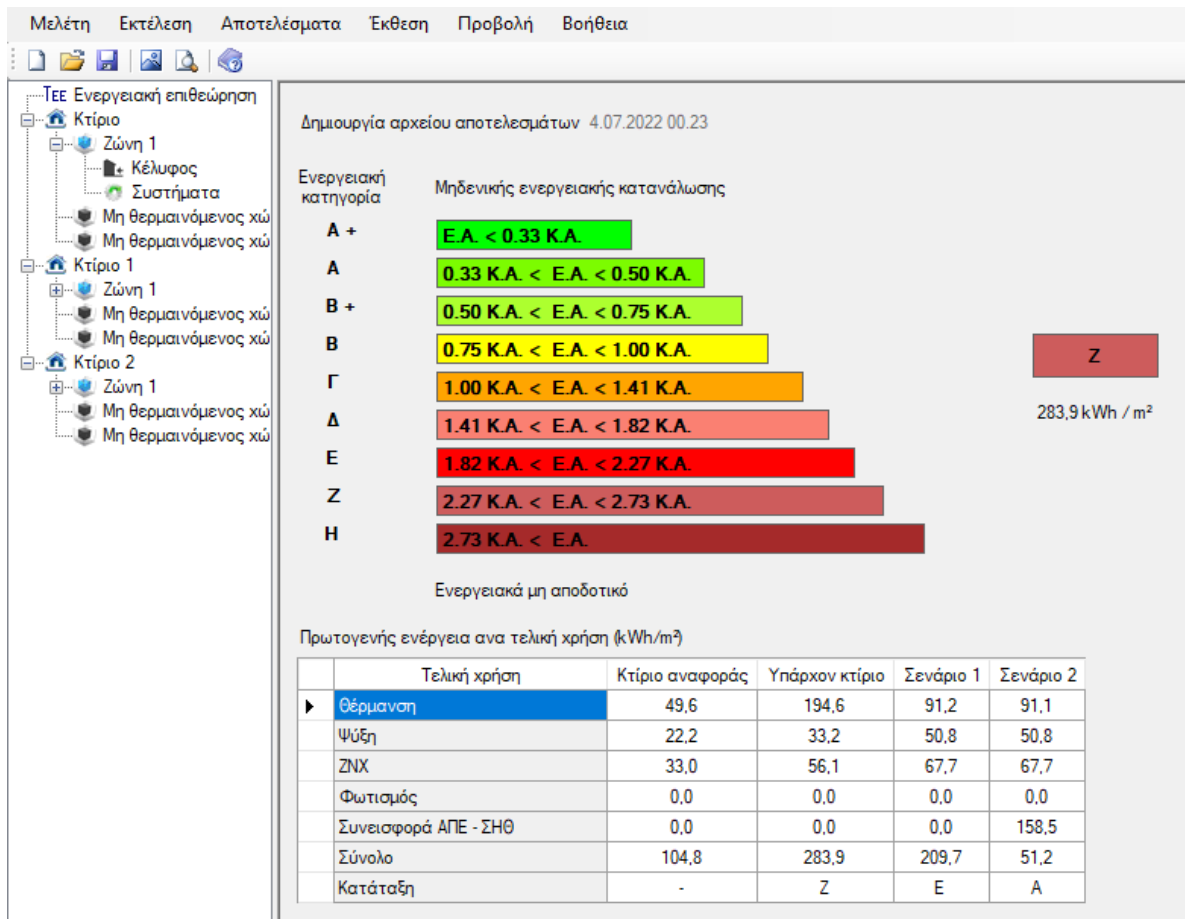
Επιλέξτε τα συστήματα του κτιρίου: ΣΗΘ Φωτοβολταϊκά Ανεμογεννήτριες αστικού περιβάλλοντος

Γενικά | Υδρευση, αποχέτευση, άρδευση | Ανελκυστήρες | **Φωτοβολταϊκά**

	Τύπος	Συν. Α. (-)	Επιφάνεια (m ²)	Ισχύς (kW)	γ (deg)	β (deg)	F_s (-)	Σύνδεση	Κόστος (€/m ²)
▶	Πολυκρυσταλλικό	0.12	110	20	180	45	1.0	Με συμψηφισμό	211
*							1		

Εικ. 3.15 Στοιχεία φωτοβολταϊκού συστήματος

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για το σενάριο 2 φαίνονται στην επόμενη εικόνα 3.16.



Εικ. 3.16 Αποτελέσματα για σενάριο Νο2

3.2.3 Σενάριο 3 – Τοποθέτηση τοπικών αντλιών θερμότητας τύπου split για θέρμανση ψύξη και κεντρικής αντλίας θερμότητας για παραγωγή ZNX

Στο 3^ο σενάριο που δημιουργήθηκε επιλέχθηκαν τοπικές αντλίας θερμότητας τύπου split για την θέρμανση και την ψύξη των απαιτούμενων χώρων και η εγκατάσταση κεντρικής αντλίας θερμότητας για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Το μοντέλο που επιλέχτηκε ήταν της εταιρίας DAIKIN και φαίνεται στην εικόνα 3.17 ενώ η κεντρική αντλία θερμότητας που αφορά την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης φαίνεται στην εικόνα 3.18

Efficiency data			FTXZ + RXZ	25N + 25N	35N + 35N	50N + 50N	
Cooling capacity	Min./Nom./Max.			0.6/2.5/3.9	0.6/3.5/5.3	0.6/5.0/5.8	
Heating capacity	Min./Nom./Max.			0.6/3.6/7.5	0.6/5.0/9.0	0.6/6.3/9.4	
Power input	Cooling	Min./Nom./Max.		0.11/0.41/0.88	0.11/0.66/1.33	0.11/1.10/1.60	
	Heating	Min./Nom./Max.		0.10/0.62/2.01	0.10/1.00/2.53	0.10/1.41/2.64	
Space cooling	Energy efficiency class				A++		
	Capacity	Pdesign	kW	2.50	3.50	5.00	
	SEER			9.54	9.00	8.60	
	Annual energy consumption		kWh/a	92	136	203	
Space heating (Average climate)	Energy efficiency class				A++		
	Capacity	Pdesign	kW	3.50	4.50	5.60	
	SCOP/A			5.90	5.73	5.50	
	Annual energy consumption		kWh/a	831	1,100	1,427	
Nominal efficiency	EER			6.10	5.30	4.55	
	COP			5.80	5.00	4.47	
	Annual energy consumption		kWh	205	330	550	
	Energy labeling Directive	Cooling/Heating			A/A		
Indoor unit			FTXZ	25N	35N	50N	
Dimensions	Unit	HeightxWidthxDepth	mm	295x798x372			
Weight	Unit		kg	15			
Air filter	Type			Auto cleaning filter			
Fan	Air flow rate	Cooling	Silent operation/Low/High	m ³ /min	4.0/5.3/10.7	4.0/5.6/12.1	4.6/6.6/15.0
		Heating	Silent operation/Low/High	m ³ /min	4.8/6.7/11.7	4.8/6.9/13.3	5.9/7.7/14.4
Sound power level	Cooling			dB	54	57	60
	Heating			dB	56	57	59
Sound pressure level	Cooling	Silent operation/Low/Nom./High		dB	19/26/33/38	19/27/35/42	23/30/38/47
	Heating	Silent operation/Low/Nom./High		dB	19/28/35/39	19/29/36/42	24/31/38/44
Control systems	Infrared remote control				ARC477A1		
	Wired remote control				-		
Power supply	Phase/Frequency/Voltage		Hz/V	1~/50/220-240			
Outdoor unit			RXZ	25N	35N	50N	
Dimensions	Unit	HeightxWidthxDepth	mm	693x795x300			
Weight	Unit		kg	50			
Sound power level	Cooling			dB	59	61	63
	Heating			dB	59	61	64
Sound pressure level	Cooling	High		dB	46	48	49
	Heating	High		dB	46	48	50
Operation range	Cooling	Ambient	Min.-Max.	°CDB	-10-43		
	Heating	Ambient	Min.-Max.	°CWB	-20-18		
Refrigerant	Type				R-32		
	GWP				675		
	Charge		kg/CO ₂ Eq		1.34/0.9		
Piping connections	Liquid	OD	mm	6.35			
	Gas	OD	mm	9.5			
	Piping length	OU - IU	Max.	m	10		
	Level difference	IU - OU	Max.	m	8		
Power supply	Phase/Frequency/Voltage		Hz/V	1~/50/220-240			
Current - 50Hz	Maximum fuse amps (MFA)		A	16			

Εικ. 3.17 Τεχνικά χαρακτηριστικά των split units



Εικ. 3.18 Τοπική αντλία θερμότητας τύπου split

Η αντλία θερμότητας ζεστού νερού οικιακής χρήσης είναι η ιδανική αντικατάσταση μιας ηλεκτρικής δεξαμενής ζεστού νερού οικιακής χρήσης για την παροχή ημι-στιγμιαίου ζεστού νερού. Τα πλεονεκτήματα αυτής της λύσης είναι:

- Η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης κατ' απαίτηση κάτι το οποίο συνεπάγεται φρέσκο νερό ανά πάσα στιγμή
- Ο ελάχιστος όγκος αποθηκευμένου ζεστού νερού χρήσης αποτρέπει τον κίνδυνο μόλυνσης και καθίζησης
- Απουσία ύπαρξης δεξαμενής πίεσης νερού και περιορισμένη πίεση στον εναλλάκτη θερμότητας
- Χαμηλή συντήρηση: Απουσία ύπαρξης ανόδου κάτι το οποίο σημαίνει ότι δεν υπάρχουν άλατα και εναποθέσεις ασβέστη ή διάβρωση.
- Συμπαγής διάταξη και σχεδιασμένο με πρόσθετους ελεγκτές για εύκολη εγκατάσταση και συντήρηση
- Ενεργειακή απόδοση. Η αντλία θερμότητας εξάγει ανανεώσιμη ενέργεια από τον εξωτερικό αέρα για την παραγωγή ζεστού νερού άρα και αύξηση της εξοικονόμησης ενέργειας και απόδοσης συνδέοντας τη μονάδα σε ηλιακούς συλλέκτες

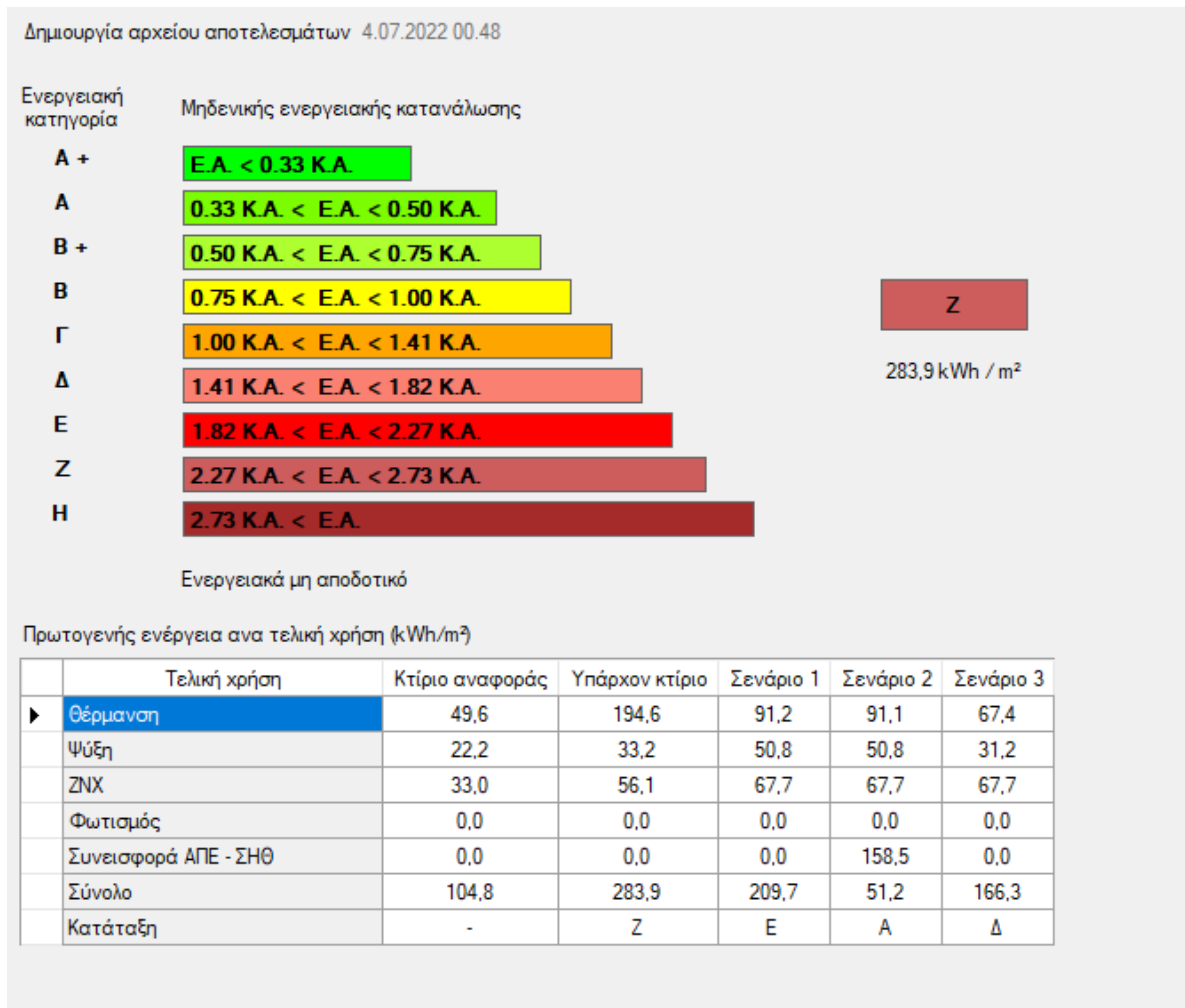


Εικ. 3.19 Τοπική αντλία θερμότητας τύπου split για παραγωγή ΖΝΧ

Efficiency data		EKHHP + ERWQ		300A2V3 + 02AV3	500A2V3 + 02AV3
Domestic hot water heating	General	Declared load profile		L	XL
	Average climate	η _{wh} (water heating efficiency)	%	119	124
		Water heating energy efficiency class		A+	
COP				4.30 (I)	
Indoor Unit		EKHHP		300A2V3	500A2V3
Casing	Colour	Traffic white (RAL9016) / Dark grey (RAL7011)			
Dimensions	Unit	Height x Width x Depth	mm	1,772 x 595 x 615	1,778 x 790 x 790
Weight	Unit		kg	70	80
Tank	Water volume		l	294	477
	Maximum water temperature		°C	85	
Operation range	Domestic hot water	Ambient Min.–Max.	°CDB	2–35	
	hot water	Water side Min.–Max.	°C	5–55	
Refrigerant	Type	R-410A			
Outdoor Unit		ERWQ		02AV3	02AV3
Dimensions	Unit	Height x Width x Depth	mm	550 x 765 x 285	
Weight	Unit		kg	35	
Compressor	Quantity	1			
	Type	Hermetically sealed swing compressor			
Operation range	Domestic hot water	Min.–Max.	°CDB	-15–35	
Refrigerant	Type	R-410A			
	GWP	2,087.5			
	Charge		kg	1.05	
	Charge		TCO ₂ Eq	2.2	
Sound pressure level	Heating	Nom.	dB(A)	47	
	Cooling	Nom.	dB(A)	47	
Power supply	Name/Phase/Frequency/Voltage	V3/1~/50/230			

(I) At 7 °C ambient temperature (II) Contains fluorinated greenhouse gases

Εικ. 3.20 Τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας τύπου split για παραγωγή ΖΝΧ



Εικ. 3.21 Αποτελέσματα για σενάριο Νο3

3.2.4 Σενάριο 4 – Τοποθέτηση συστήματος συμπαραγωγής (ΟΤΤΟ) και τοπικών αντλιών τύπου split για ψύξη

Η διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συστήματος συμπαραγωγής για τη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι αρκετά περίπλοκη και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Το σύστημα συμπαραγωγής που θα χρησιμοποιήσουμε ανήκει στην κατηγορία των συστημάτων συμπαραγωγής πολύ μικρής κλίμακας.

Μια μονάδα ΣΗΘ η οποία μπορεί να εξυπηρετήσει την εφαρμογή μας είναι το μοντέλο Mephisto G26 της Kraftwerk GmbH, που αποτελεί ένα παλινδρομικό σύστημα. Η συγκεκριμένη μονάδα λειτουργεί με μηχανή κύκλου Otto, έχει μέγιστη ηλεκτρική ισχύ 26 kWe, μέγιστη θερμική παραγόμενη ισχύ 55 kWth και βαθμό απόδοσης $\eta = 98\%$ σε καθαρή εκμεταλλεύσιμη ενέργεια (30,5% ηλεκτρική και 67,5% θερμική). Η μονάδα αυτή είναι Γερμανικής προέλευσης και έχει τα τεχνικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 3.2.

Τα στοιχεία της επιλεγμένης μονάδας φαίνονται στον επόμενο πίνακα

Πίνακας 3.2 Στοιχεία επιλεγμένης μονάδας ΣΗΘ

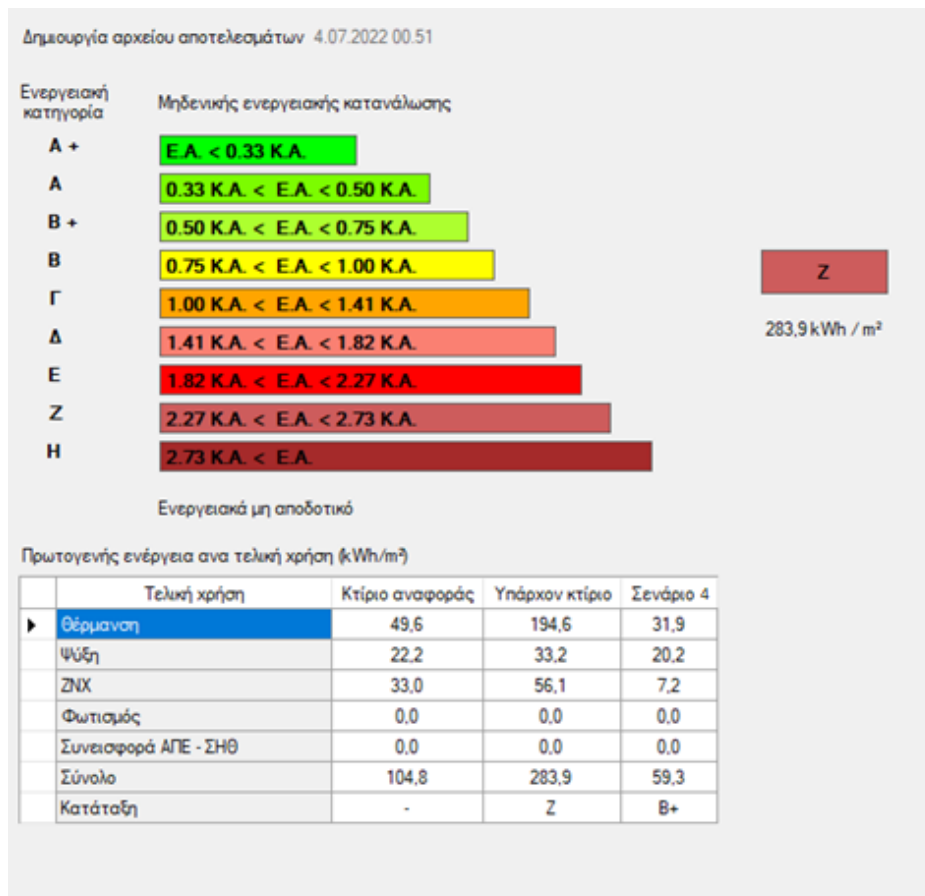
Κινητήρας	4-κύλινδρος Perkins 1004 Si 3990cm ³
Γεννήτρια	Τετραπολική επαγωγής
Απόδοση Γεννήτριας	>94%
Ηλεκτρική Ισχύς	10-26 kW
Θερμική Ισχύς	38-55 kW
Ισχύς καυσίμου	46-79 kW
Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης	30,5%
Θερμικός Βαθμός Απόδοσης	67,5%
Συνολικός Βαθμός Απόδοσης	98%
Καύσιμο Λειτουργίας	Φυσικό αέριο
Διαστάσεις	1800 × 1040 × 1300 mm
Βάρος	1200 kg

Πίνακας 3.3 Ανάλυση του αρχικού κόστους επένδυσης

Είδος εργασιών	Κόστος (€)
Αγορά και εγκατάσταση μονάδας	38.692
Τεχνολογία Συμπύκνωσης μονάδας	5.826
Εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης	3.000
Εγκατάσταση chiller	15.075
Σύνδεση Φ.Α.	700
Άλλα	1000
Συνολικό κόστος	64.293



Εικ. 3.22 Μοντέλο Mephisto G26 της Kraftwerk GmbH



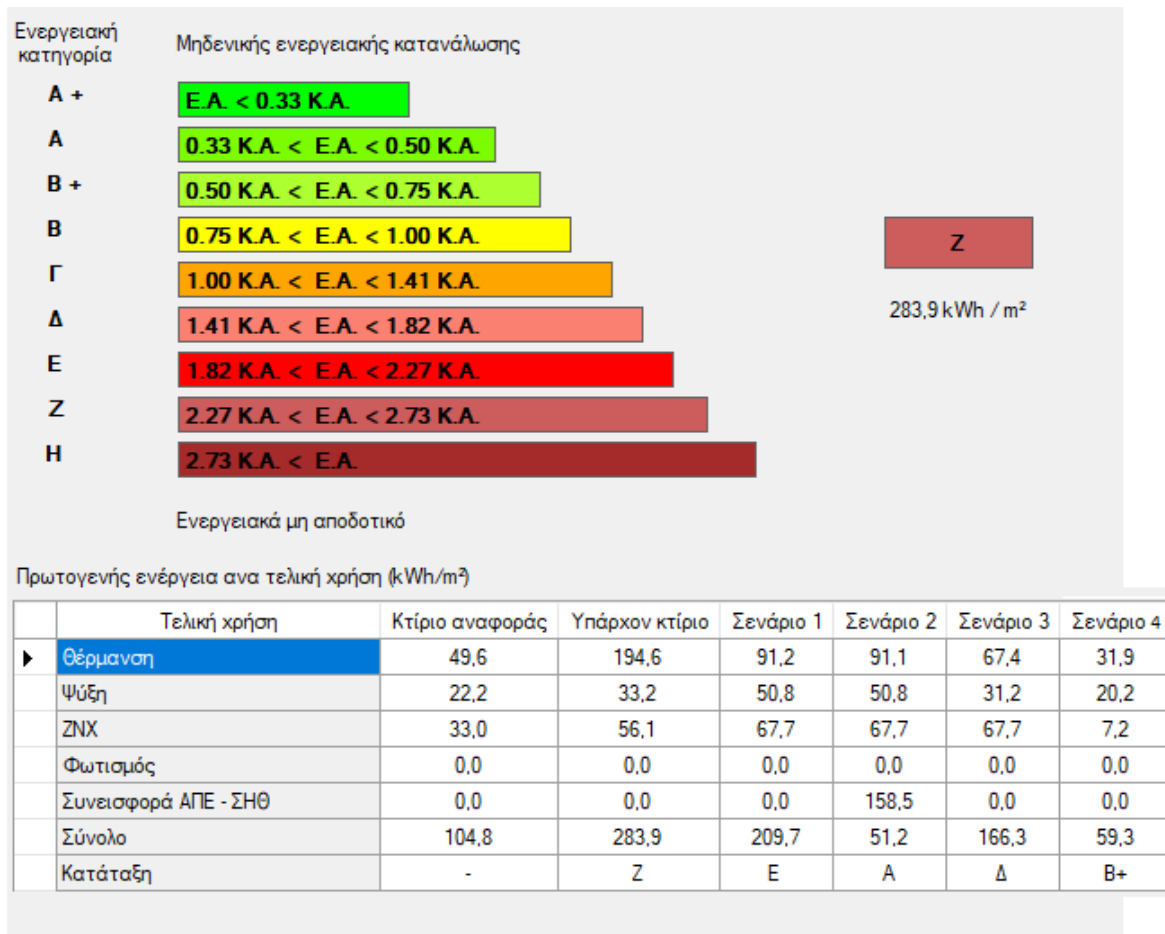
Εικ. 3.23 Αποτελέσματα για σενάριο Νο4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τους ενεργειακούς υπολογισμούς τόσο του υφιστάμενου κτηρίου όσο και των υπολογισμών που αφορούν τα τέσσερα σενάρια που δημιουργήθηκαν.

Αρχικά στην εικόνα 4.1 φαίνεται η ενεργειακή κατάταξη του υφιστάμενου κτηρίου αλλά και των σεναρίων.



Εικ. 4.1 Αποτελέσματα υπολογισμών για τα τέσσερα σενάρια

4.2 Κόστος δαπανών για υλοποίηση σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης

Για τον υπολογισμό του κόστους για τις προτεινόμενες παρεμβάσεις στα τέσσερα σενάρια λήφθηκαν τιμές κατόπιν έρευνας της εγχώριας αγοράς

Πίνακας 4.1 Κόστος ανά παρέμβαση για προτεινόμενες παρεμβάσεις σεναρίων 1,2,3 και 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ
ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟ1	38.960,00 Ε
ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟ2	62.170,00 Ε
ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟ3	37.863,00 Ε
ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟ4	93.966,00 Ε

Λαμβανομένου υπόψη τις ανωτέρω τιμές το συνολικό κόστος της επένδυσης για τα εκάστοτε σενάρια είναι το εξής:

	Εξοικονόμηση και κόστη	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
►	Λειτουργικό κόστος (€)	2.582,9	7.291,0	3.826,5	0,0	3.034,3	1.089,0
	Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			38.960,0	62.170,0	38.470,0	93.966,0
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)			74,2	232,7	117,7	224,7
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			26,1	82,0	41,4	79,1
	Τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας (€/kWh)			1,7	0,9	1,0	1,3
	Μείωση εκπομπών CO ₂ (Kg/m ²)			3,3	74,9	18,1	61,0
	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)			11,2	8,5	9,0	15,2

Εικ. 4.2 Οικονομοτεχνικά αποτελέσματα λογισμικού TEE KENAK

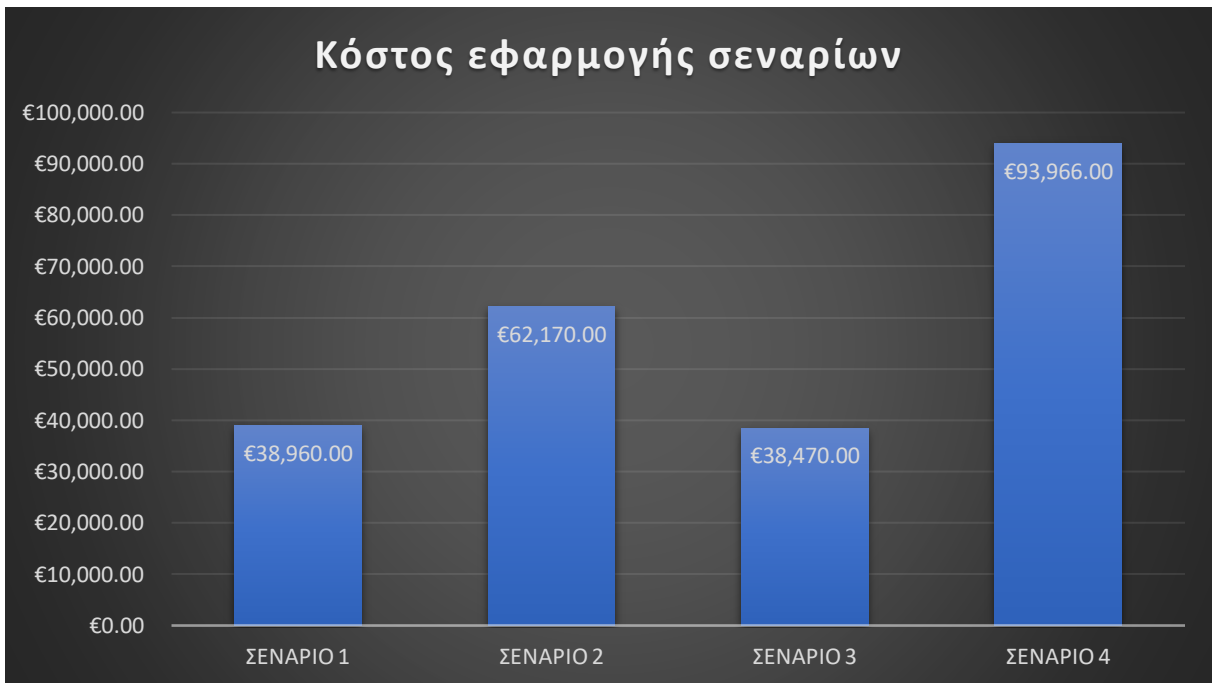
Όπως παρατηρούμε οι χρόνοι αποπληρωμής για τα τέσσερα σενάρια τα οποία δημιουργήθηκαν είναι:

- Σενάριο 1: **11.2 έτη (Κόστος επένδυσης : 38.960,00 Ε)**
- Σενάριο 2: **8.5 έτη (Κόστος επένδυσης : 62.170,00 Ε)**
- Σενάριο 3: **9 έτη (Κόστος επένδυσης : 38.470,00 Ε)**
- Σενάριο 4: **15.2 έτη (Κόστος επένδυσης : 93.966,00 Ε)**

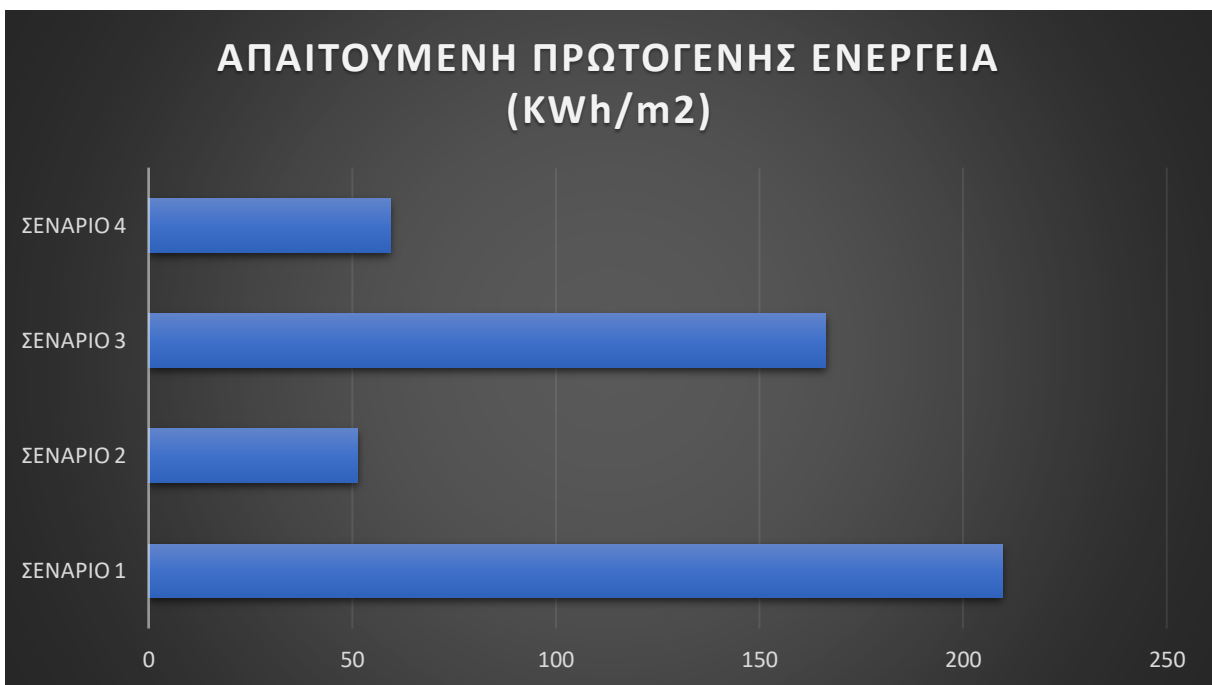
Άρα συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το σύνολο των σεναρίων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 4.2 Συγκριτικά αποτελέσματα συνόλου σεναρίων

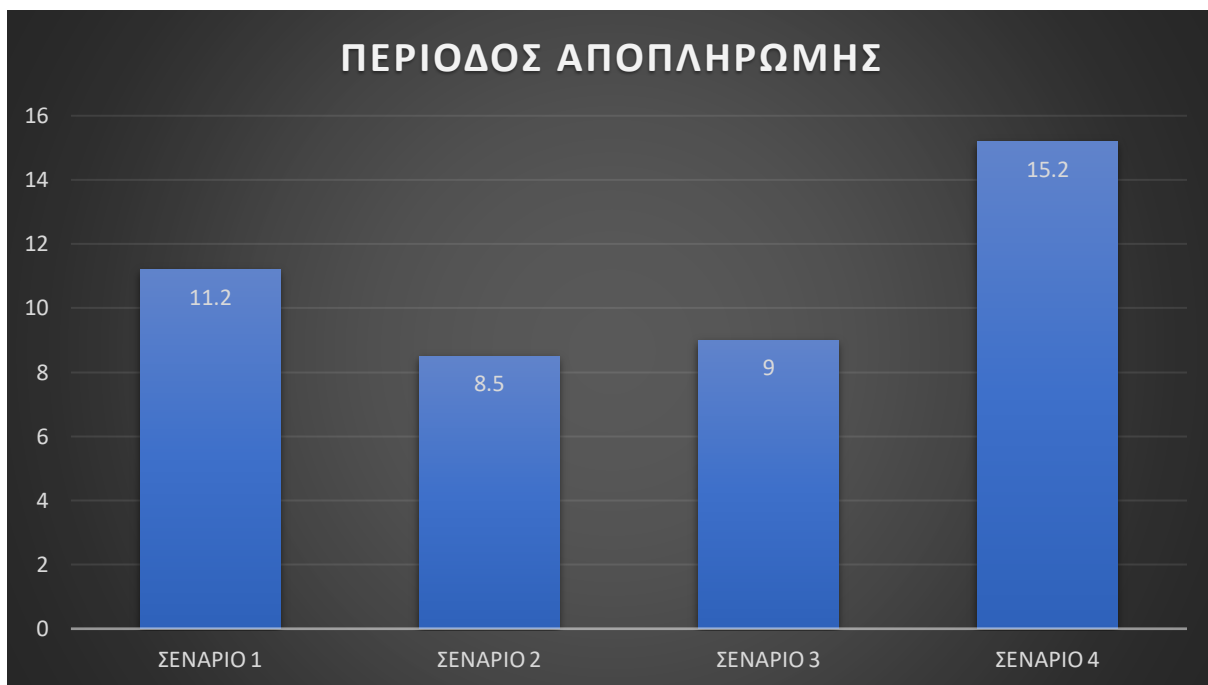
Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΟΣΤΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΛΑΣΗ	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ	ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ (KG/ m ²)
				ΤΙΜΗ KWh/m ²	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ		
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	Τοποθέτηση συστήματος αντλίας θερμότητας	38.960,00 €	E	209.7	-26,38%	11.2	3.3
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	Τοποθέτηση συστήματος αντλίας και φωτοβολταϊκού συστήματος με συμψηφισμό	62.170,00 €	A	51.2	-81.96%	8.5	74.9
ΣΕΝΑΡΙΟ 3	Τοποθέτηση τοπικών αντλιών θερμότητας τύπου split για θέρμανση ψύξη και κεντρικής αντλίας θερμότητας για παραγωγή ZNX	38.470,00 €	Δ	166.3	-41.42%	9	18.1
ΣΕΝΑΡΙΟ 4	Τοποθέτηση συστήματος συμπαραγωγής (ΟΤΤΟ) και τοπικών αντλιών τύπου split για ψύξη	93.966,00 €	B+	59.3	-79.11%	15.2	61
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΗΡΙΟ	-	-	Z	283.9	-	-	-



Διάγραμμα 4.1 Κόστος σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίου



Διάγραμμα 4.2 Απαιτούμενη πρωτογενής ενέργεια για υφιστάμενο κτήριο και σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίου



Διάγραμμα 4.3 Περίοδος αποπληρωμής για κάθε σενάριο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5.1 Επίλογος - Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ήταν η ενεργειακή αναβάθμιση σε υφιστάμενο κτήριο (πολυκατοικία) με αντικατάσταση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ZNX καθώς επίσης και η οικονομοτεχνική μελέτη της ανωτέρω αναβάθμισης.

Από την ενεργειακή επιθεώρηση που εκπονήθηκε το υφιστάμενο κτήριο κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία Z.

Με στόχο την αναβάθμιση του κτιρίου ενεργειακά δημιουργήθηκαν τέσσερα (4) πιθανά σενάρια αναβάθμισης.

Το πρώτο σενάριο αφορούσε την αντικατάσταση του υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης και την τοποθέτηση κεντρικής αντλίας θερμότητας για θέρμανση, ψύξη κλιματισμό και παραγωγή ZNX. Το κόστος για αυτό το σενάριο ήταν 38.960,00 € και με το συγκεκριμένο σενάριο το κτήριο αναβαθμίζεται στην κατηγορία E .

Το δεύτερο σενάριο περιελάμβανε την τοποθέτηση υβριδικού συστήματος αντλίας θερμότητας - λέβητα φυσικού αερίου και την προσθήκη φωτοβολταϊκού συστήματος με συμψηφισμό. Σε αυτήν την περίπτωση το κόστος για την υλοποίηση του σεναρίου ήταν 62.170,00 € και υπήρχε αναβάθμιση του κτηρίου στην κατηγορία A .

Στην συνέχεια το τρίτο σενάριο προέβλεπε την τοποθέτηση τοπικών αντλιών θερμότητας τύπου split για θέρμανση ψύξη και κεντρικής αντλίας θερμότητας για παραγωγή ZNX. Το κόστος για την υλοποίηση του σεναρίου ήταν 38.470,00 € και υπήρχε αναβάθμιση του κτηρίου στην κατηγορία B.

Τέλος, το τελευταίο σενάριο αφορούσε την αντικατάσταση του υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης ψύξης και ZNX με σύστημα συμπαραγωγής (OTTO) και τοπικών αντλιών τύπου

split για ψύξη. Το κόστος για την υλοποίηση του σεναρίου ήταν 93.966,00 Ε και υπήρχε αναβάθμιση του κτηρίου στην κατηγορία B+.

Λαμβανομένου υπόψη της μείωσης του κόστους και του αρχικού κόστους κεφαλαίου που απαιτείται για κάθε σενάριο προκύπτει ο χρόνος αποπληρωμής ο οποίος είναι για το σενάριο Νο1 11,2 έτη, για το σενάριο Νο2 8,5 έτη, για το σενάριο Νο3 9 έτη για την απόσβεση και τέλος για το σενάριο Νο4 15,2 χρόνια.

Συμπερασματικά, βλέπουμε ότι μπορούμε να επιτύχουμε 81,96% μείωση της ενεργειακής απαίτησης του κτηρίου και χρόνο αποπληρωμής της επένδυσης 8,5 χρόνια. Άρα αναλόγως των συνθηκών χρηματοδότησης του έργου γενικά μπορεί να θεωρηθεί αρκετά συμφέρουσα επένδυση η υλοποίηση του σεναρίου Νο2 (συστήματος αντλίας θερμότητας και προσθήκη φωτοβολταϊκού συστήματος με συμψηφισμό).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. U.S.E.I. Administration, International Energy Outlook 2013, in, 2013.
- [2]. IEA, World Energy Outlook, IEA Publications, Paris, 2013, pp. 2013.
- [3]. U.S.D.o. Energy, Building Energy Data Book 2011, in, 2011.
- [4]. IEA, Energy Balances Of Non-oecd Countries, 2012 (Available from: <http://www.iea.org/media/training/presentations/statisticsmarch/balancesofnonoecdcountries.pdf>).
- [5]. D. Bosseboeuf, Energy Efficiency Trends and Policies in the Household and Tertiary Sectors An Analysis Based on the ODYSSEE and MURE Databases, 2015 (Available from: <http://www.odyssee-mure.eu/publications/br/energy-efficiency-trends-policies-buildings.pdf>).
- [6]. IEA, Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050, 2013 (Available from: <http://www.iea.org/etp/buildings/>).
- [7]. Building energy conservation research center, 2015 annual report on china building energy efficiency, (2015).
- [8]. Building energy conservation research center, 2012 annual report on china building energy efficiency, in, 2012.
- [9]. H. Amecke, J. Deason, A. Hobbs, A. Novikova, Y. Xiu, Z. Shengyuan, Buildings energy efficiency in China, Germany, and the United States, Clim. Policy Initiative (2013).
- [10]. M. Caldera, S.P. Corgnati, M. Filippi, Energy demand for space heating through a statistical approach: application to residential buildings, Energy Build. 40 (10) (2008) 1972–1983.
- [11]. N. Zhou, D. Fridley, N.Z. Khanna, J. Ke, M. McNeil, M. Levine, China’s Energy and Carbon Emissions Outlook to 2050, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2011.
- [12]. BPIE, Europe’s Buildings Under the Microscope A Country-by-Country Review of the Energy Performance of Buildings, 2011, Available from: <http://www.institutebe.com/InstituteBE/media/Library/Resources/Existing%20Building%20Retrofits/Europes-Buildings-Under-the-Microscope-BPIE.pdf>.

- [13]. EIA, What is U.S. Electricity Generation by Energy Source? 2015, Available from: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=427&t=3>.
- [14]. P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, D. Crawley, Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, US, 2006.
- [15]. E. Recast, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast) Off. J. Eur. Union 18 (06) (2010) 2010.
- [16]. D. Crawley, S. Pless, P. Torcellini, Getting to net zero, ASHRAE J. 51 (9) (2009) 18–25.
- [17]. A.J. Marszal, P. Heiselberg, J. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, A. Napolitano, Zero Energy Building – a review of definitions and calculation methodologies, Energy Build. 43 (4) (2011) 971–979.
- [18]. I. Sartori, A. Napolitano, A.J. Marszal, S. Pless, P. Torcellini, K. Voss, Criteria for definition of net zero energy buildings, International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings (EuroSun 2010) (2010).
- [19]. S. Deng, R. Wang, Y. Dai, How to evaluate performance of net zero energy building – a literature research, Energy 71 (2014) 1–16.
- [20]. M. Khan, M. Iqbal, Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland, Renew. Energ. 30 (6) (2005) 835–854.
- [21]. A. Hermelink, S. Schimschar, T. Boermans, L. Pagliano, P. Zangheri, R. Armani, K. Voss, E. Musall, Towards nearly zero-energy buildings: definition of common principles under the EPBD, final report prepared for the European Commission, Ecofys March (2013).
- [22]. S.B. Sadineni, S. Madala, R.F. Boehm, Passive building energy savings: a review of building envelope components, Renew. Sustain. Energy Rev. 15 (8) (2011) 3617–3631.
- [23]. M. Shan, P. Wang, J. Li, G. Yue, X. Yang, Energy and environment in Chinese rural buildings: situations, challenges, and intervention strategies, Build. Environ. 91 (2015) 271–282.

- [24]. X. Cao, J. Liu, X. Cao, Q. Li, E. Hu, F. Fan, Study of the thermal insulation properties of the glass fiber board used for interior building envelope, *Energy Build.* 107 (2015) 49–58.
- [25]. A. Shehabi, N. DeForest, A. McNeil, E. Masanet, J. Greenblatt, E.S. Lee, G. Masson, B.A. Helms, D.J. Milliron, US energy savings potential from dynamic daylighting control glazings, *Energy Build.* 66 (2013) 415–423.
- [26]. W. Hee, M. Alghoul, B. Bakhtyar, O. Elayeb, M. Shameri, M. Alrubaih, K. Sopian, The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 42 (2015) 323–343.
- [27]. E. Gago, T. Muneer, M. Knez, H. Köster, Natural light controls and guides in buildings. Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 41 (2015) 1–13.
- [28]. J. Eshraghi, N. Narjabadifam, N. Mirkhani, S.S. Khosroshahi, M. Ashjaee, A comprehensive feasibility study of applying solar energy to design a zero energy building for a typical home in Tehran, *Energy Build.* 72 (2014) 329–339.
- [29]. M. Santamouris, D. Kolokotsa, Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: the state of the art, *Energy Build.* 57 (2013) 74–94.
- [30]. H. Campanic, o, P. Hollmuller, P.M. Soares, Assessing energy savings in cooling demand of buildings using passive cooling systems based on ventilation, *Appl. Energ.* 134 (2014) 426–438.
- [31]. T. Schulze, U. Eicker, Controlled natural ventilation for energy efficient buildings, *Energy Build.* 56 (2013) 221–232.
- [32]. M. Benhammou, B. Draoui, Parametric study on thermal performance of earth-to-air heat exchanger used for cooling of buildings, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 44 (2015) 348–355.
- [33]. T.S. Bisoniya, A. Kumar, P. Baredar, Energy metrics of earth–air heat exchanger system for hot and dry climatic conditions of India, *Energy Build.* 86 (2015) 214–221.
- [34]. L. Li, M. Qu, S. Peng, Performance evaluation of building integrated solar thermal shading system: building energy consumption and daylight provision, *Energy Build.* 113 (2016) 189–201.
- [35]. K. Vijayaraghavan, Green roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 57 (2016) 740–752.

- [36]. P. Karachaliou, M. Santamouris, H. Pangalou, Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens, *Energy Build.* (2015).
- [37]. M. Kenisarin, K. Mahkamov, Passive thermal control in residential buildings using phase change materials, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 55 (2016) 371–398.
- [38]. E. Solgi, R. Fayaz, B.M. Kari, Cooling load reduction in office buildings of hot-arid climate, combining phase change materials and night purge ventilation, *Renew. Energ.* 85 (2016) 725–731.
- [39]. M. Zhao, H.M. Künzle, F. Antretter, Parameters influencing the energy performance of residential buildings in different Chinese climate zones, *Energy Build.* 96 (2015) 64–75.
- [40]. V. Vakiloroyaya, B. Samali, A. Fakhari, K. Pishghadam, A review of different strategies for HVAC energy saving, *Energy Convers. Manage.* 77 (2014) 738–754.
- [41]. P.M. Cuce, S. Riffat, A state of the art review of evaporative cooling systems for building applications, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 54 (2016) 1240–1249.
- [42]. A.A. Al-Abidi, S.B. Mat, K. Sopian, M.Y. Sulaiman, C.H. Lim, A. Th, Review of thermal energy storage for air conditioning systems, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16 (8) (2012) 5802–5819.
- [43]. P.M. Cuce, S. Riffat, A comprehensive review of heat recovery systems for building applications, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 47 (2015) 665–682.
- [44]. A. Mardiana-Idayu, S. Riffat, Review on heat recovery technologies for building applications, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16 (2) (2012) 1241–1255.
- [45]. K.-N. Rhee, K.W. Kim, A 50 year review of basic and applied research in radiant heating and cooling systems for the built environment, *Build. Environ.* 91 (2015) 166–190.
- [46]. A. Binghooth, Z. Zainal, Performance of desiccant dehumidification with hydronic radiant cooling system in hot humid climates, *Energy Build.* 51(2012) 1–5.
- [47]. W. Chakroun, K. Ghali, N. Ghaddar, Air quality in rooms conditioned by chilled ceiling and mixed displacement ventilation for energy saving, *Energy Build.* 43 (10) (2011) 2684–2695.

- [48]. S. Weidner, J. Doerger, M. Walsh, Cooling with less air, *ASHRAE J.* 51 (12)(2009) 34–40.
- [49]. G.S. Okochi, Y. Yao, A review of recent developments and technological advancements of variable-air-volume (VAV) air-conditioning systems, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 59 (2016) 784–817.
- [50]. K. Ahmed, J. Kurnitski, P. Sormunen, Demand controlled ventilation indoor climate and energy performance in a high performance building with airflow rate controlled chilled beams, *Energy Build.* 109 (2015) 115–126.
- [51]. T.N. Aynur, Variable refrigerant flow systems: a review, *Energy Build.* 42 (7)(2010) 1106–1112.
- [52]. A. Amarnath, M. Blatt, Variable refrigerant flow: where why, and how, *Eng.Syst.* 25 (2) (2008) 54.
- [53]. Y. Zhu, X. Jin, X. Fang, Z. Du, Optimal control of combined air conditioning system with variable refrigerant flow and variable air volume for energy saving, *Int. J. Refrig.* 42 (2014) 14–25.
- [54]. E. Fabrizio, F. Seguro, M. Filippi, Integrated HVAC and DHW production systems for zero energy buildings, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 40 (2014) 515–541.
- [55]. M.R. Islam, K. Sumathy, S.U. Khan, Solar water heating systems and their market trends, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 17 (2013) 1–25.
- [56]. E. Baerbel, China: 2013 Market Statistics and Trends, 2014, Available from: <http://www.solarthermalworld.org/content/china-2013-market-statistics-and-trends>.
- [57]. S. Seddegh, X. Wang, A.D. Henderson, Z. Xing, Solar domestic hot water systems using latent heat energy storage medium: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 49 (2015) 517–533.
- [58]. R. Singh, I.J. Lazarus, M. Souliotis, Recent developments in integrated collector storage (ICS) solar water heaters: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 54 (2016) 270–298.
- [59]. M.S. Buker, S.B. Riffat, Solar assisted heat pump systems for low temperature water heating applications: a systematic review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 55 (2016) 399–413.

- [60]. M.-C. Dubois, Å. Blomsterberg, Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: a literature review, *Energy Build.* 43 (10) (2011) 2572–2582.
- [61]. B.-L. Ahn, C.-Y. Jang, S.-B. Leigh, S. Yoo, H. Jeong, Effect of LED lighting on the cooling and heating loads in office buildings, *Appl. Energy* 113 (2014) 1484–1489.
- [62]. Y. Chen, J. Liu, J. Pei, X. Cao, Q. Chen, Y. Jiang, Experimental and simulation study on the performance of daylighting in an industrial building and its energy saving potential, *Energy Build.* 73 (2014) 184–191.
- [63]. L.F. Cabeza, D. Urge-Vorsatz, M.A. McNeil, C. Barreneche, S. Serrano, Investigating greenhouse challenge from growing trends of electricity consumption through home appliances in buildings, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 36 (2014) 188–193.
- [64]. A. Kavousian, R. Rajagopal, M. Fischer, Ranking appliance energy efficiency in households: utilizing smart meter data and energy efficiency frontiers to estimate and identify the determinants of appliance energy efficiency in residential buildings, *Energy Build.* 99 (2015) 220–230.
- [65]. R.V. Jones, A. Fuertes, K.J. Lomas, The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 43 (2015) 901–917.
- [66]. R.V. Jones, K.J. Lomas, Determinants of high electrical energy demand in UK homes: appliance ownership and use, *Energy Build.* 117 (2016) 71–82.
- [67]. B. Yuce, Y. Rezugui, M. Mourshed, ANN–GA smart appliance scheduling for optimised energy management in the domestic sector, *Energy Build.* 111 (2016) 311–325.
- [68]. IRENA. *REmap: Roadmap for a Renewable Energy Future*, 2016 Ed., 2016; Available from: www.irena.org/remap.
- [69]. J. Khan, M.H. Arsalan, Solar power technologies for sustainable electricity generation – a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 55 (2016) 414–425.
- [70]. A.K. Pandey, V.V. Tyagi, J.A.L. Selvaraj, N.A. Rahim, S.K. Tyagi, Recent advances in solar photovoltaic systems for emerging trends and advanced applications, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 53 (2016) 859–884.

- [71]. T.-C. Cheng, C.-H. Cheng, Z.-Z. Huang, G.-C. Liao, Development of an energy-saving module via combination of solar cells and thermoelectric coolers for green building applications, *Energy* 36 (1) (2011) 133–140.
- [72]. C. Good, I. Andresen, A.G. Hestnes, Solar energy for net zero energy buildings – a comparison between solar thermal, PV and photovoltaic – thermal (PV/T) systems, *Sol. Energy* 122 (2015) 986–996.
- [73]. P.K. Ng, N. Mithraratne, Lifetime performance of semi-transparent building-integrated photovoltaic (BIPV) glazing systems in the tropics, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 31 (2014) 736–745.
- [74]. R. Fucci, L. Lancellotti, C. Privato, A procedure for assessing the reliability of short circuited concentration photovoltaic systems in outdoor degradation conditions, *Microelectron. Reliab.* 54 (1) (2014) 182–187.
- [75]. D. Ayhan, S. Saglam, A technical review of building-mounted wind power systems and a sample simulation model, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16 (1) (2012) 1040–1049.
- [76]. I. Abohela, N. Hamza, S. Dudek, Effect of roof shape wind direction, building height and urban configuration on the energy yield and positioning of roof mounted wind turbines, *Renew. Energ.* 50 (2013) 1106–1118.
- [77]. S.-Y. Liu, Y.-F. Ho, Wind energy applications for Taiwan buildings: what are the challenges and strategies for small wind energy systems exploitation? *Renew. Sustain. Energy Rev.* 59 (2016) 39–55.
- [78]. L. Arribas, L. Cano, I. Cruz, M. Mata, E. Llobet, PV–wind hybrid system performance: a new approach and a case study, *Renew. Energ.* 35 (1) (2010) 128–137.
- [79]. A.S. Al Busaidi, H.A. Kazem, A.H. Al-Badi, M. Farooq Khan, A review of optimum sizing of hybrid PV–Wind renewable energy systems in oman, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 53 (2016) 185–193.
- [80]. Y. Hwang, J.-K. Lee, Y.-M. Jeong, K.-M. Koo, D.-H. Lee, I.-K. Kim, S.-W. Jin, S.H. Kim, Cooling performance of a vertical ground-coupled heat pump system installed in a school building, *Renew. Energ.* 34 (3) (2009) 578–582.
- [81]. X. Tian, M.J. Yang, J.W. Zhao, S.M. He, J. Zhao, A study on operational strategy of ground–source heat pump system based on variation of building load, *Energy Procedia* 75 (2015) 1508–1513.

- [82]. Z. Liu, W. Xu, C. Qian, X. Chen, G. Jin, Investigation on the feasibility and performance of ground source heat pump (GSHP) in three cities in cold climate zone, China, *Renew. Energy* 84 (2015) 89–96.
- [83]. G. Emmi, A. Zarrella, M. De Carli, A. Galgaro, An analysis of solar assisted ground source heat pumps in cold climates, *Energy Convers. Manage.* 106 (2015) 660–675.
- [84]. M.J. Stolarski, M. Krzyz' aniak, K. Warmin' ski, M. S' nieg, Energy, economic and environmental assessment of heating a family house with biomass, *Energy Build.* 66 (2013) 395–404.
- [85]. G. Cao, J. Jokisalo, G. Feng, L. Duanmu, M. Vuolle, J. Kurnitski, Simulation of the heating performance of the Kang system in one Chinese detached house using biomass, *Energy Build.* 43 (1) (2011) 189–199.
- [86]. P. Wang, M. Shan, D. Xiong, X. Yang, A new Chinese Kang with forced convection: system design and thermal performance measurements, *Energy Build.* 85 (2014) 410–415.
- [87]. M.P. Kshirsagar, V.R. Kalamkar, A comprehensive review on biomass cookstoves and a systematic approach for modern cookstove design, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 30 (2014) 580–603.
- [88]. D. Maraver, A. Sin, J. Royo, F. Sebastián, Assessment of CCHP systems based on biomass combustion for small-scale applications through a review of the technology and analysis of energy efficiency parameters, *Appl. Energ.* 102 (2013) 1303–1313.
- [89]. S. Muench, Greenhouse gas mitigation potential of electricity from biomass, *J. Clean. Prod.* 103 (2015) 483–490.
- [90]. T. Stocker, D. Qin, G. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, IPCC, Summary for Policymakers in Climate Change 2013: the Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, New York, USA, 2013.
- [91]. M. Isaac, D.P. Van Vuuren, Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change, *Energy Policy* 37 (2) (2009) 507–521.
- [92]. H. Wang, Q. Chen, Impact of climate change heating and cooling energy use in buildings in the United States, *Energy Build.* 82 (2014) 428–436.

- [93]. K.J. Lomas, Y. Ji, Resilience of naturally ventilated buildings to climate change: advanced natural ventilation and hospital wards, *Energy Build.* 41 (6) (2009) 629–653.
- [94]. X. Wang, D. Chen, Z. Ren, Global warming and its implication to emission reduction strategies for residential buildings, *Build. Environ.* 46 (4) (2011) 871–883.
- [95]. Xiaodong Cao, Xilei Dai, Junjie Liu* Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. (2016)
- [96]. Chawki Lahoud*, Joseph Al Asmar and Marwan Brouche Review of cogeneration and trigeneration systems (2018) Saint Joseph University (ESIB), Beirut 2753, Lebanon