ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΑΛΗΣ

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

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Ε. Κορωνάκη, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα 2022

--- κενή σελίδα ---

<u>Υπεύθυνη δήλωση</u> 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
Γεώργιος Ν. Καραλής

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 6
ABSTRACT 7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο 8
1.1 Εισαγωγή 8
1.2 Τελικές χρήσεις ενέργειας κτηρίων 10
1.3 Κατανάλωση ενέργειας κτηρίων ανά τύπο καυσίμου 15
1.4 Έννοια του κτηρίου μηδενικής ενέργειας (ZEB) 18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2Ο 22
2.1 Παθητικές τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας κτηρίων 22
2.2 Ενεργειακά αποδοτικά συστήματα σε κτηριακό τομέα 25
2.2.1 Συστήματα HVAC 26
2.2.2 Άλλα συστήματα κτηρίων (ΖΝΧ-Φωτισμός) 29
2.3 Τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές 32
2.3.1 Ηλιακή και αιολική ενέργεια 33
2.3.2 Γεωθερμική ενέργεια 36
2.3.3 Βιοενέργεια 38
2.4 Μελλοντικές προκλήσεις της ενέργειας των κτηρίων - Επιπτώσεις της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής στη ζήτηση ενέργειας των κτηρίων 43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3Ο 45
3.1 Κτήριο προς μελέτη 45
3.2 Ενεργειακή απόδοση υφιστάμενου κτηρίου 62
3.2.1 Σενάριο 1 – Τοποθέτηση υβριδικού συστήματος αντλίας θερμότητας και λέβητα φυσικού αερίου 63
3.2.2 Σενάριο 2 – Τοποθέτηση υβριδικού συστήματος αντλίας θερμότητας - λέβητα φυσικού αερίου και φωτοβολταϊκού συστήματος με συμψηφισμό 67
3.2.3 Σενάριο 3 – Τοποθέτηση τοπικών αντλιών θερμότητας τύπου split για θέρμανση ψύξη και κεντρικής αντλίας θερμότητας για παραγωγή ΖΝΧ 69

3.2.4 Σενάριο 4 – Τοποθέτηση συστήματος συμπαραγωγής (ΟΤΤΟ) και τοπικών αντλιών τύπου split για ψύξη 72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{Ο} 75
4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων 75
4.2 Κόστος δαπανών για υλοποίηση σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης....76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{Ο} 79
5.1 Επίλογος - Συμπεράσματα....79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 82

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ήταν η οικονομοτεχνική μελέτη ενεργειακής αναβάθμισης σε υφιστάμενο κτήριο (ξενοδοχείο) με την αντικατάσταση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ΖΝΧ. Αρχικά στα δυο 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 αναλύθηκε και ο ορισμός των κτηρίων μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Ακολούθως στο τρίτο κεφάλαιο μελετήθηκε ενεργειακά το υφιστάμενο ξενοδοχείο και έγινε κατάταξη στην κατάλληλή ενεργειακή κλάση. Δημιουργήθηκαν τέσσερα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης (Σενάριο 1 – Τοποθέτηση υβριδικού συστήματος αντλίας θερμότητας και λέβητα φυσικού αερίου, Σενάριο 2 – Τοποθέτηση υβριδικού συστήματος αντλίας θερμότητας - λέβητα φυσικού αερίου και φωτοβολταϊκού συστήματος με συμψηφισμό, Σενάριο 3 – Τοποθέτηση τοπικών αντλιών θερμότητας τύπου split για θέρμανση ψύξη και κεντρικής αντλίας θερμότητας για παραγωγή ΖΝΧ και Σενάριο 4 – Τοποθέτηση συστήματος συμπαραγωγής (ΟΤΤΟ) και τοπικών αντλιών τύπου split για ψύξη), μελετήθηκε 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 (hotel) 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 definition of zero energy building was analyzed. Subsequently, in the third chapter, the existing hotel was studied energetically and classified in the appropriate energy class. Four energy upgrade scenarios were created (Scenario 1 – Installation of a hybrid heat pump system and natural gas boiler, Scenario 2 – Installation of a hybrid heat pump system - natural gas boiler 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*

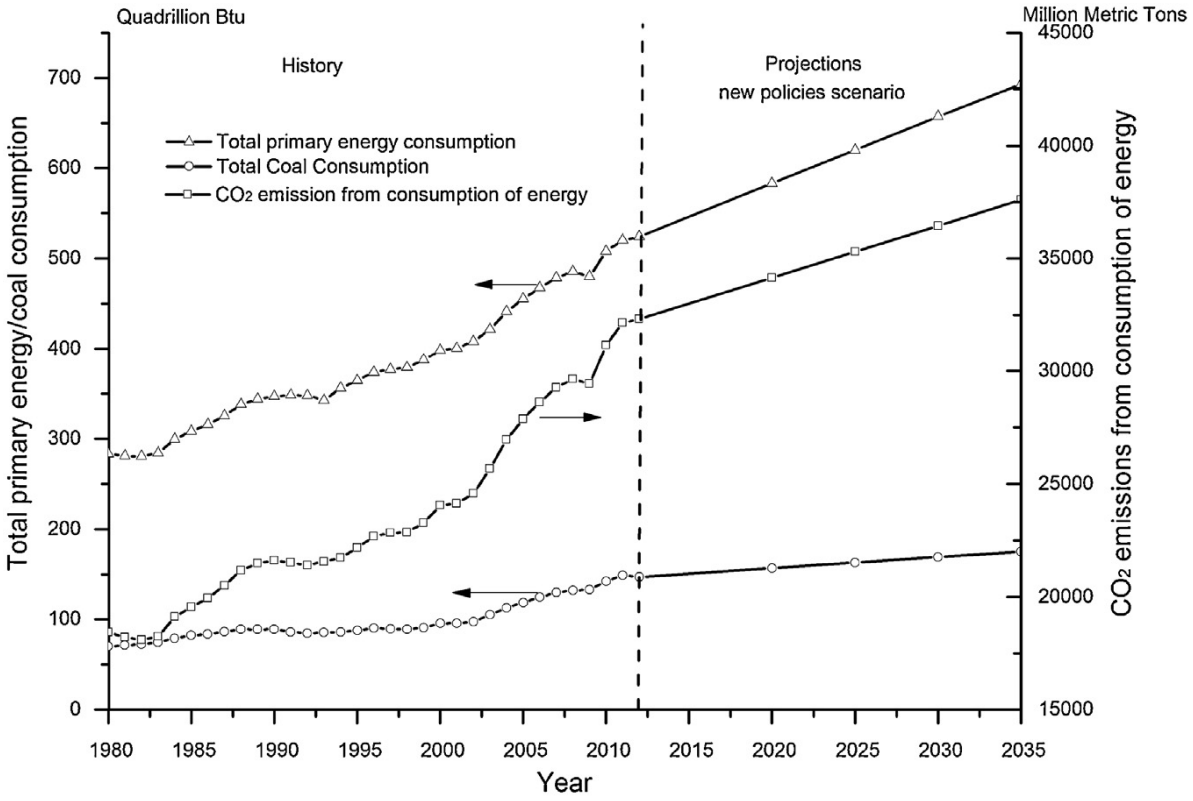
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1.1 Εισαγωγή

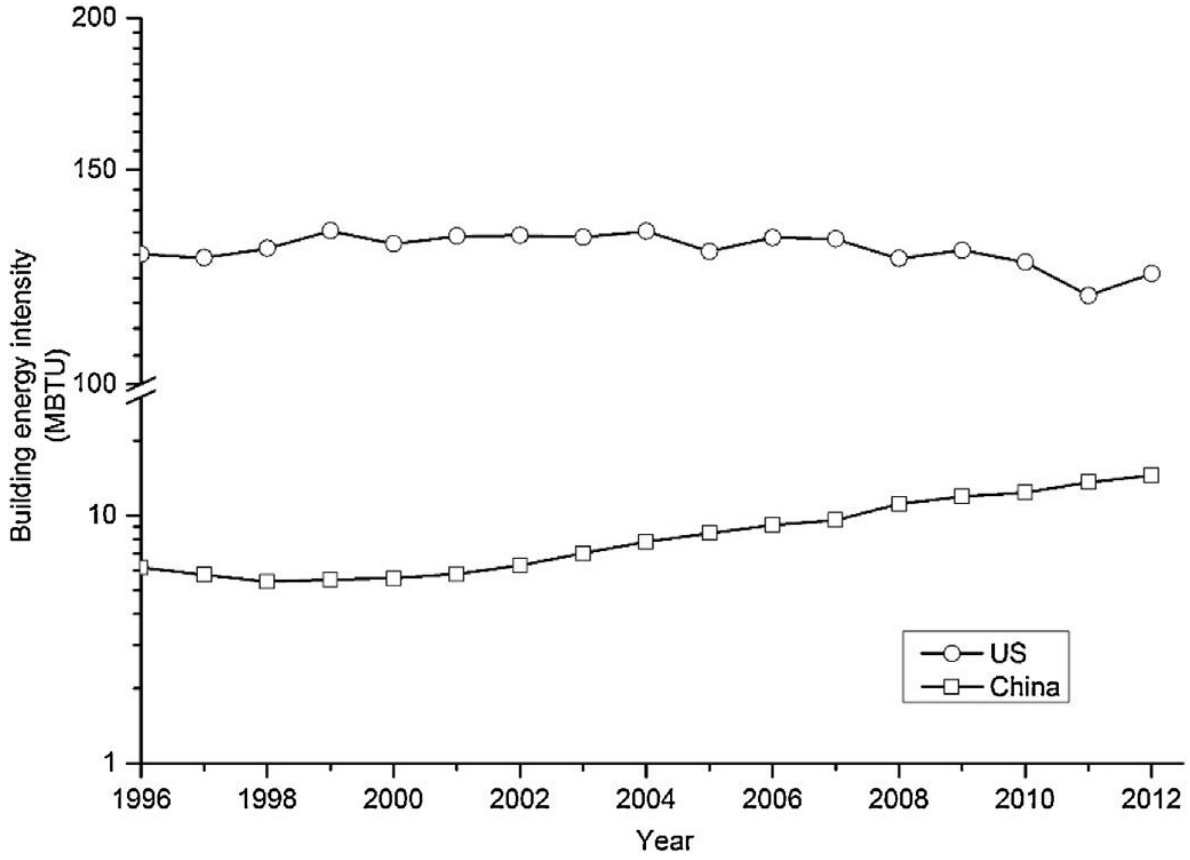
Τα παγκόσμια σύνολα κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών CO2 αυξήθηκαν κατά αντίστοιχα 85% και 75% από το 1980 έως το 2012, με μέση ετήσια αύξηση 2% και 1,7%, αντίστοιχα (Εικ. 1.1). Ο άνθρακας αντιπροσωπεύει περίπου το 25% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας τα περισσότερα από αυτά τα χρόνια, 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 κτηρίων 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

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].



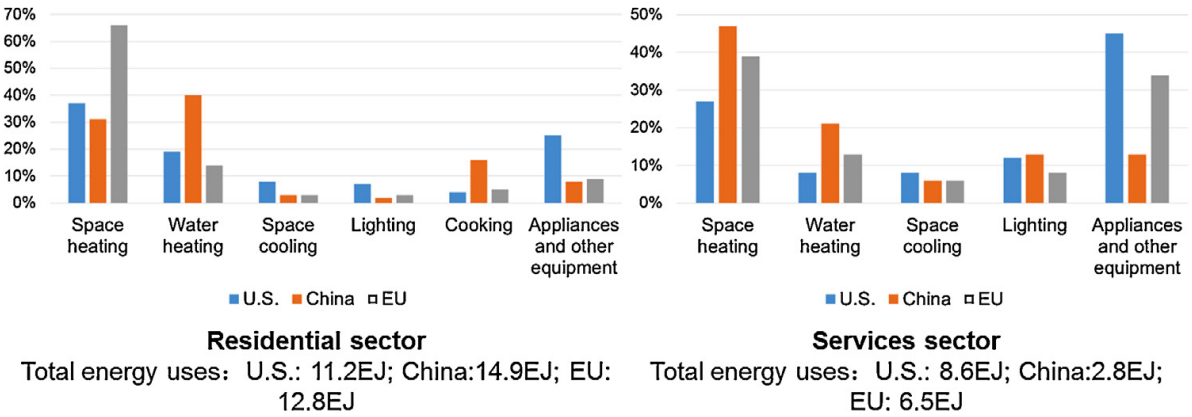
Εικ. 1.2. Κατανάλωση ενέργειας κατά κεφαλήν κτηρίων στις ΗΠΑ και την Κίνα. Πηγή δεδομένων: Η.Π.Α [93]

1.2 Τελικές χρήσεις ενέργειας κτηρίων

Η εικόνα 1.3 δείχνει την ανάλυση των τελικών ενεργειακών χρήσεων των κτηρίων για τις ΗΠΑ, την Κίνα και την Ε.Ε. το 2010, με βάση τα στοιχεία που προέρχονται από την μελέτη [6]. Όπως φαίνεται στο Σχ. 1.3, η ενέργεια θέρμανσης (θέρμανση χώρου και θέρμανση νερού) αποτελεί ξεκάθαρα το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε αυτές τις

περιοχές. Στον οικιακό τομέα, η θέρμανση χώρων και η θέρμανση νερού είναι οι κύριες τελικές χρήσεις και ακολουθούν οι συσκευές, το μαγείρεμα και ο φωτισμός.

Η ψύξη χώρου καταλαμβάνει το μικρότερο μέρος της τελικής ενεργειακής ζήτησης. Στον τομέα των υπηρεσιών, η θέρμανση και η ψύξη χώρων είναι η κυρίαρχη τελική χρήση ενέργειας, ακολουθούμενη από τις συσκευές και άλλο εξοπλισμό, τη θέρμανση νερού και τον φωτισμό.



Εικ. 1.3. Ανάλυση τελικών ενεργειακών χρήσεων κτηρίων στις ΗΠΑ, την Κίνα και την ΕΕ, 2010. [93]

Υπάρχουν επίσης διαφορές στο κλάσμα της τελικής χρήσης ενέργειας μεταξύ των ΗΠΑ, της Κίνας και της ΕΕ. Στις ΗΠΑ, η ενέργεια που καταναλώνεται από τη θέρμανση χώρων αντιπροσωπεύει το 37% της κατανάλωσης ενέργειας για κατοικίες και περισσότερο από το 25% της κατανάλωσης ενέργειας στον τομέα των υπηρεσιών.

Η θέρμανση του νερού αντιπροσωπεύει το συνολικό μερίδιο 15% των συνολικών τελικών ενεργειακών χρήσεων των κτηρίων. Η ενέργεια που καταναλώνεται από συσκευές και εξοπλισμό σέρβις στις ΗΠΑ είναι σαφώς υψηλότερη από ό,τι στην Κίνα και την ΕΕ.

Στην Κίνα, η θέρμανση χώρου και νερού αντιπροσωπεύουν το 71% και το 68% της συνολικής ζήτησης τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα και στον τομέα των υπηρεσιών, αντίστοιχα, και το μαγείρεμα προσεγγίζει το 16%—πολύ υψηλότερο από τις ΗΠΑ και την ΕΕ. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην υψηλή χρήση παραδοσιακής βιομάζας στις αγροτικές περιοχές.

Εν τω μεταξύ, οι συσκευές και ο εξοπλισμός αντιπροσωπεύουν μόνο το 13% της χρήσης ενέργειας στον κινεζικό τομέα υπηρεσιών, το οποίο είναι σχετικά χαμηλότερο από τους άλλους. Στην ΕΕ, η θέρμανση χώρων είναι η μεγαλύτερη τελική χρήση όσον αφορά την τελική κατανάλωση ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας το 66% της χρήσης ενέργειας για κατοικίες και το 39% της κατανάλωσης ενέργειας στον τομέα των υπηρεσιών - ένα υψηλότερο επίπεδο συνολικά από τις ΗΠΑ και την Κίνα. Οι αναλογίες χρήσης ενέργειας από ψύξη και φωτισμό χώρου είναι γενικά παρόμοιες μεταξύ αυτών των χωρών και περιοχών.

Στις ΗΠΑ, τα σημεία αναφοράς θέρμανσης για υπάρχοντα μεγάλα κτήρια γραφείων μετά το 1980 κυμαίνονταν από 9800 Btu/τετραγωνικό πόδι (30,9 kWh/m2) στη Βαλτιμόρη (κλιματική ζώνη 4A,) έως 19600 Btu/τετραγωνικό πόδι (61,8 kWh/m2) Μινεάπολη (κλιματική ζώνη 6A) [3].

Στην αστική περιοχή της βόρειας Κίνας, η ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση χώρων αντιπροσωπεύει το 24% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας των κτηρίων, με μοναδιαία κατανάλωση ενέργειας 15,1 kgce/m2 που ισοδυναμούσε με 47,5 kWh/m2 το 2013 [7]. Είναι αξιοσημείωτο ότι η χρήση ενέργειας θέρμανσης παρουσίασε πτώση 34% σε σύγκριση με το 2001, δείχνοντας σημαντικά βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση για τα συστήματα τηλεθέρμανσης στη βόρεια Κίνα.

Επιπλέον, η θέρμανση χώρων έχει γίνει επίσης δημοφιλής στης περιοχές όπου επικρατεί ζεστό καλοκαίρι και κρύος χειμώνας στην Κίνα. Η επιφάνεια δαπέδου σε αυτήν την περιοχή αυξήθηκε από 1,3 δισεκατομμύρια m2 σε 5,8 δισεκατομμύρια m2 μεταξύ 1996 και 2010 και το μοναδιαίο επίπεδο ενέργειας που καταναλώθηκε για τη θέρμανση χώρων ήταν 6,8 kWh/m2 το 2010, αυξάνοντας κατά 50% από το 2005 [8]. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης έχει σχεδόν τριπλασιαστεί στα κινεζικά αστικά κτήρια κατοικιών μεταξύ 1996 και 2008 [9]. Στα ευρωπαϊκά κτήρια, η θέρμανση χώρων αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της

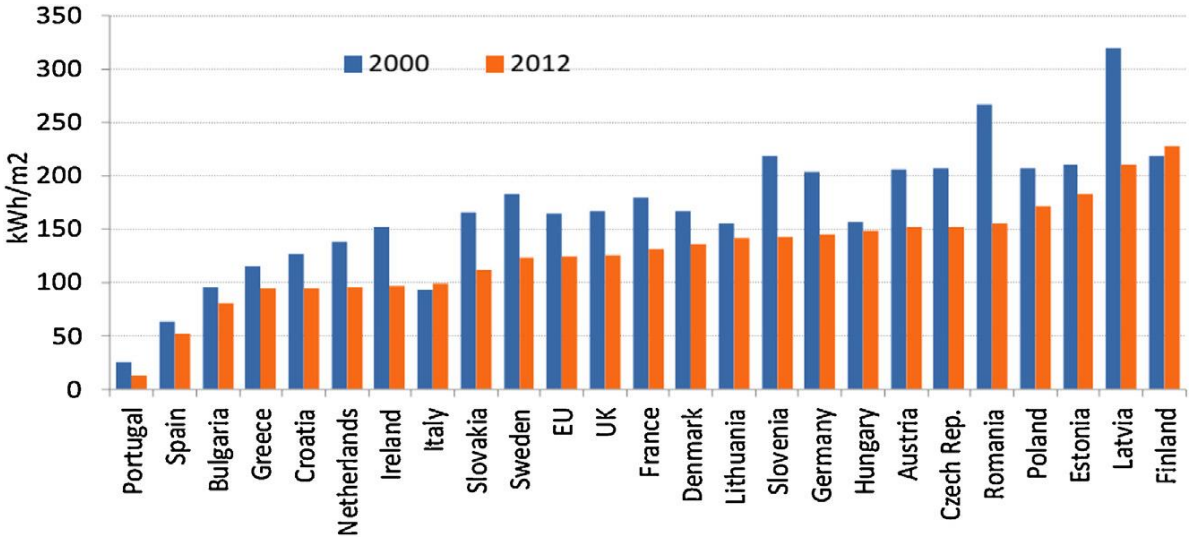
χρήσης ενέργειας, καταναλώνοντας πάνω από το 50% της ζήτησης πρωτογενούς ενέργειας [10].

Η εικόνα 1.4 δείχνει τη μέση κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης χώρου στις χώρες της Ε.Ε. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι η ενέργεια θέρμανσης έχει μειωθεί στις περισσότερες χώρες από το 2000 λόγω βελτιώσεων στην ενεργειακή απόδοση. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ της χώρες της Ε.Ε., από 60 έως 90 kWh/m2 στις νότιες χώρες με χαμηλότερες ανάγκες θέρμανσης και έως 175–235 kWh/m2 σε ψυχρότερες χώρες στη βόρεια και δυτική Ευρώπη. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, η χρήση ενέργειας θέρμανσης ανά μονάδα επιφάνειας στην Κίνα εξακολουθεί να είναι χαμηλότερη στις ΗΠΑ και την Ε.Ε.

Οι τελικές χρήσεις ενέργειας των κτηρίων προβλέπεται να αυξηθούν στο μέλλον λόγω της αύξησης του πληθυσμού, της οικονομικής ανάπτυξης και της κλιματικής αλλαγής. Οι Zhou et al. [11] προέβλεψαν τη μελλοντική κινεζική κατανάλωση ενέργειας κτηρίων σε δύο σενάρια ανάπτυξης και διαπίστωσαν ότι η κατανάλωση θα συνεχίσει να αυξάνεται τις επόμενες δεκαετίες, ακόμη και με την εφαρμογή τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας.

Διαφορετικές χώρες θα απαιτήσουν τις δικές τους στρατηγικές για να διατηρήσουν την κατανάλωση ενέργειας των κτηρίων σε αποδεκτό επίπεδο. Η ταχεία οικονομική ανάπτυξη και η αστικοποίηση στην Κίνα καταγράφουν την πιο απότομη επέκταση του κτηριακού αποθέματος παγκοσμίως και αναπόφευκτα την ταχεία αύξηση στη χρήση ενέργειας των κτηρίων. Ως εκ τούτου, η Κίνα είναι κυρίαρχη στο παγκόσμιο κίνημα εξοικονόμησης ενέργειας των κτηρίων. Στην Κίνα, διαφορετικές κλιματικές ζώνες έχουν ισχυρή επιρροή στις τεχνολογικές επιλογές εξοικονόμησης ενέργειας. Στις βόρειες περιοχές, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης τηλεθέρμανσης αποτελεί προτεραιότητα, ενώ σε μέτριες κλιματολογικές περιοχές, μπορεί να προτιμώνται οι αντλίες θερμότητας. Οι προηγμένες τεχνολογίες ψύξης προτιμώνται στη νότια περιοχή. Στη βόρεια Κίνα, ισχυρά κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας μπορούν να παρασχεθούν από τη χαμηλή τιμολόγηση της ενέργειας και τη μεταρρύθμιση της μέτρησης θερμότητας στα συστήματα τηλεθέρμανσης. Η Κίνα πρέπει επίσης να αναζητήσει την ισορροπία μεταξύ της αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης των κτηρίων και της βελτίωσης της άνεσης και των υπηρεσιών. Είναι ωφέλιμο να διατηρηθεί

κατάλληλα η παράδοση χαμηλής κατανάλωσης (φυσικός αερισμός, μέτρια ρύθμιση θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου).



Εικ. 1.4 Χρήση ενέργειας θέρμανσης χώρου ανά m2 στις ευρωπαϊκές χώρες [5].

Το πρωταρχικό καθήκον εξοικονόμησης ενέργειας για την Ε.Ε. αυξάνει την απόδοση θέρμανσης χώρων μέσω ανακαινίσεων σε κελύφη κτηρίων και εξοπλισμού θέρμανσης σε υπάρχον κτηριακό απόθεμα. Το κτηριακό απόθεμα στην Ε.Ε. χαρακτηρίζεται από υψηλό μερίδιο κτηρίων τα οποία υφίστανται ήδη (παλαιά κτήρια). Η μεγάλη διάρκεια ζωής των υφιστάμενων κτηρίων καθιστά απαραίτητη την εκ των υστέρων αναβάθμιση της θερμικής τους απόδοσης. Η αναβάθμιση των συσκευών και του εξοπλισμού είναι επίσης ζωτικής σημασίας για τη μείωση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στα κτήρια και τα φορτία αιχμής του δικτύου, ειδικά στον οικιακό τομέα. Για παράδειγμα, είναι χρήσιμο να αντικαθίστανται σταδιακά οι συμβατικοί τρόποι θέρμανσης με ηλεκτρισμό με την αντλία θερμότητας για θέρμανση χώρου και νερού.

Οι συσκευές καταναλώνουν μεγάλο μερίδιο της συνολικής κατανάλωσης στις Η.Π.Α. Επομένως, οι ενεργειακά αποδοτικές συσκευές δυνητικά μπορούν να έχουν σημαντικές

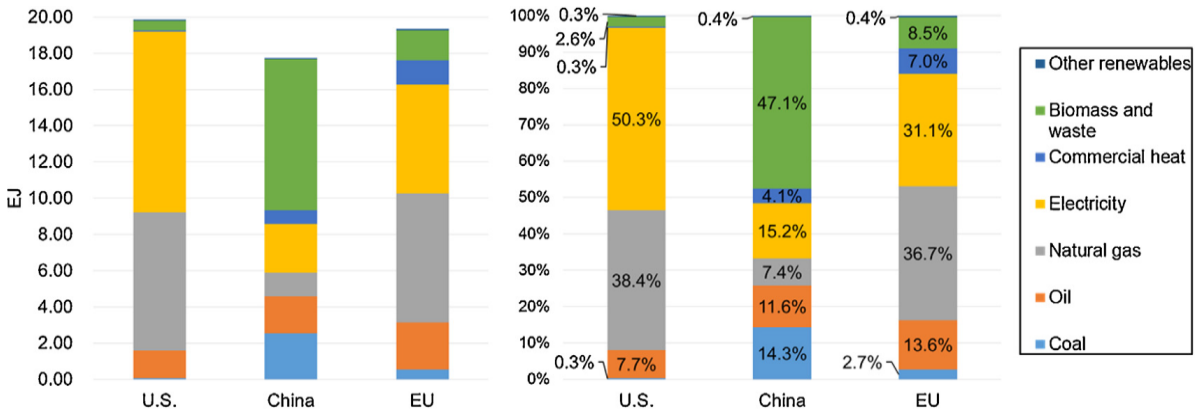
δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας στις ΗΠΑ. Επί του παρόντος οι ΗΠΑ έχουν ήδη υιοθετήσει πολύ επιθετικά υποχρεωτικά πρότυπα συσκευών και εξοπλισμού. Το τμήμα των υπηρεσιών καταναλώνει σημαντικά υψηλό μερίδιο των συνολικών ενεργειακών χρήσεων των κτηρίων των ΗΠΑ. Αυτό υποδηλώνει σημαντικές ευκαιρίες για εξοικονόμηση ενέργειας σε δημόσια και εμπορικά κτήρια. Η θέρμανση και η ψύξη των χώρων θα πρέπει να αντιμετωπιστούν τόσο στις νέες κατασκευές όσο και στη μετασκευή υφιστάμενων κτηρίων. Γενικά, οι μετασκευές κτηρίων μπορούν να προσφέρουν σημαντική πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας σε χώρες με υψηλά επίπεδα ενεργειακής έντασης, όπως οι ΗΠΑ και η ΕΕ. Αντίθετα, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε νέα κτήρια είναι πιο αποτελεσματική για χώρες που αντιμετωπίζουν ταχεία αστικοποίηση και ισχυρές νέες κατασκευές, όπως η Κίνα.

1.3 Κατανάλωση ενέργειας κτηρίων ανά τύπο καυσίμου

Η εικόνα 1.5 απεικονίζει την κατανάλωση τελικής ενέργειας κτηρίων ανά τύπο καυσίμου στις Η.Π.Α., την Κίνα και την Ε.Ε [6]. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι η ηλεκτρική ενέργεια και το φυσικό αέριο είναι οι κύριες πηγές καυσίμων για τη χρήση ενέργειας στα κτήρια στις ΗΠΑ, με μερίδια σχεδόν 50% και 40% της τελικής χρήσης ενέργειας, αντίστοιχα. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η μεγαλύτερη τελική πηγή ενέργειας στον κτηριακό τομέα των ΗΠΑ και χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και συσκευές. Όταν εξετάζονται οι απώλειες από το μέρος παραγωγής στο μέρος τελικής χρήσης, η ηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει το 72,9% της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιείται στον κτηριακό τομέα [3].

Ωστόσο, ο συμβατικός εξοπλισμός θέρμανσης και ψύξης που τροφοδοτείται από φυσικό αέριο και πετρέλαιο εξακολουθεί να είναι ευρέως διαδεδομένος στις ΗΠΑ και το φυσικό αέριο είναι επίσης η κύρια πηγή καυσίμου για τη θέρμανση του νερού. Ο άνθρακας και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν μόνο το 3,2% της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας των κτηρίων στις Η.Π.Α. Αντίθετα, η βιομάζα και τα απόβλητα είναι

οι κυρίαρχες πηγές ενέργειας στον τομέα των κατοικιών στην Κίνα λόγω της χρήσης τους για θέρμανση και μαγείρεμα. Ο οικιακός τομέας στην Κίνα καταναλώνει περισσότερο από 5 φορές την ενέργεια που καταναλώνει ο τομέας των υπηρεσιών.

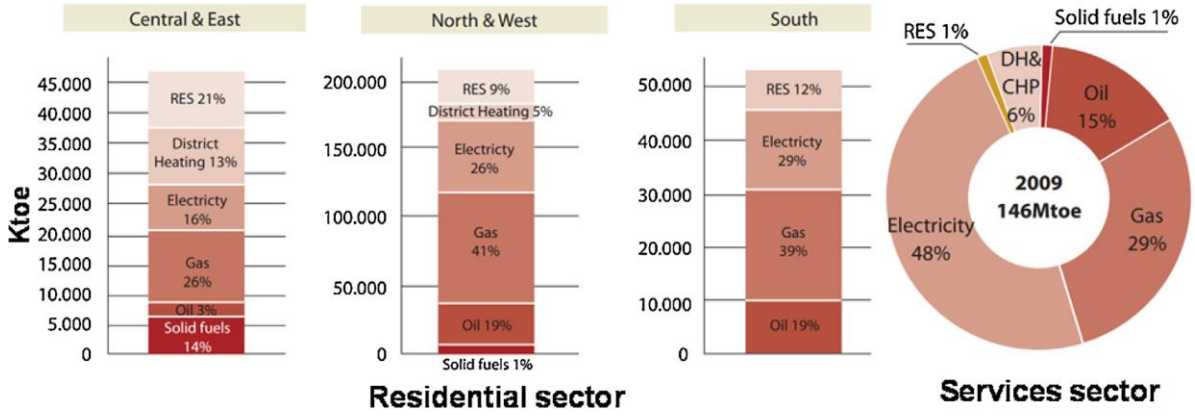


Εικ. 1.5. Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στις ΗΠΑ, την Κίνα και την ΕΕ, 2010. [93]

Ως εκ τούτου, η αλλαγή πηγών καυσίμου από την παραδοσιακή βιομάζα σε σύγχρονες επιλογές καυσίμων είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση της συνολικής ενέργειας που χρησιμοποιείται, σε μεγάλο βαθμό στις αγροτικές περιοχές. Επιπλέον, ο άνθρακας αντιπροσωπεύει το 14,3% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας των κτηρίων στην κίνα - ένα πολύ υψηλότερο επίπεδο από αυτό στις ΗΠΑ και την ΕΕ. Ωστόσο, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για εμπορική θερμότητα αυξήθηκε απότομα κατά την τελευταία δεκαετία. Το 2013, η ηλεκτρική ενέργεια αντιπροσώπευε το 57% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας των κτηρίων στην Κίνα [7]. Στην ΕΕ, η χρήση τελικής ενέργειας κυριαρχείται από την ηλεκτρική ενέργεια και το φυσικό αέριο, παρόμοια με τις τάσεις στις ΗΠΑ, η βιομάζα και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν το 9% της τελικής χρήσης ενέργειας των κτηρίων, κυρίως για σκοπούς θέρμανσης.

Η εικόνα 1.6 δείχνει το τελικό ενεργειακό μείγμα στον κτηριακό τομέα σε διάφορες περιοχές της Ε.Ε. Στον οικιακό τομέα, το φυσικό αέριο είναι το πιο κοινό καύσιμο σε όλες τις περιοχές. Η τηλεθέρμανση, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τα στερεά καύσιμα είναι πιο δημοφιλή στις κεντρικές και ανατολικές περιοχές. Η τηλεθέρμανση και τα στερεά καύσιμα δεν συναντώνται στις νότιες περιοχές λόγω της χαμηλής ζήτησης θέρμανσης. Στον τομέα των υπηρεσιών, η ηλεκτρική ενέργεια είναι η κυρίαρχη κατανάλωση τελικής ενέργειας. Υπολογίζεται ότι η κατανάλωση ενέργειας των συστημάτων στον τομέα των υπηρεσιών είναι 280 kWh/m2, τουλάχιστον 40% μεγαλύτερη από ό,τι στον οικιακό τομέα [12].

Όπως φαίνεται παραπάνω, τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας χρήσης ενέργειας των κτηρίων. Εκτός από την άμεση χρήση του στον κτηριακό τομέα, η καύση ορυκτών καυσίμων παρέχει το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, σχεδόν το 67% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων στις ΗΠΑ το 2015 [13]. Με την προώθηση της περιβαλλοντικής συνείδησης, οι άνθρωποι έμαθαν ότι η καύση ορυκτών καυσίμων οδηγεί σε σοβαρή ατμοσφαιρική ρύπανση και εκπομπές άνθρακα. Ως εκ τούτου, η απομάκρυνση του άνθρακα από την παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί προτεραιότητα τόσο για την εξοικονόμηση ενέργειας όσο και για τη μείωση των εκπομπών και οι ανανεώσιμες πηγές και η καθαρή ενέργεια είναι προφανώς καλύτερη επιλογή από τα ορυκτά καύσιμα. Τα μελλοντικά κτήρια δεν θα απαιτούν μόνο τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας αλλά και μεταρρυθμίσεις της τρέχουσας ενεργειακής δομής.



Εικ. 1.6 Τελικό ενεργειακό μείγμα στα ευρωπαϊκά κτήρια. [93]

1.4 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/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].

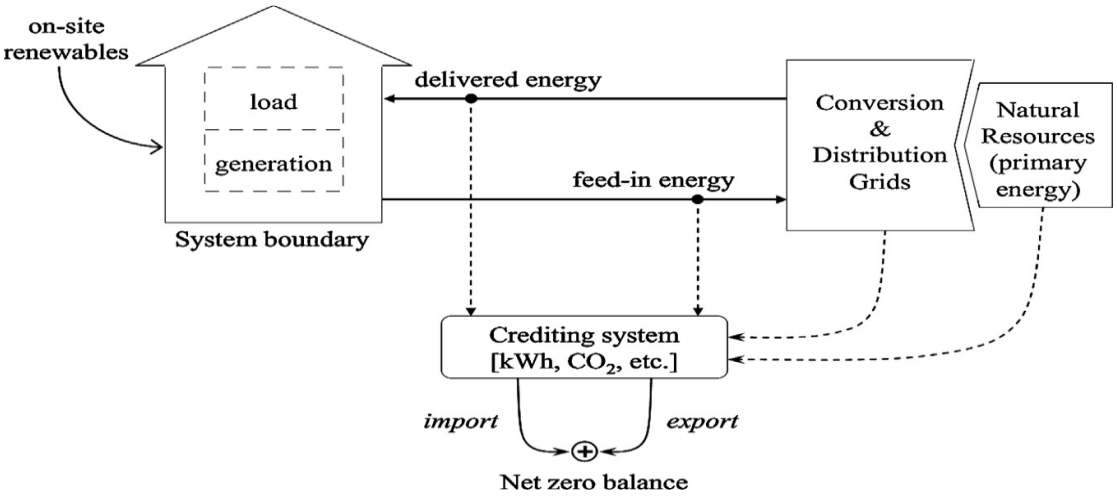
Το Σχ. 1.7 δείχνει τα βασικά στοιχεία για ένα ZEB συνδεδεμένο στο δίκτυο [18]. Η σχεδόν μηδενική ενέργεια μπορεί να επιτευχθεί μέσω του ενεργειακού ισοζυγίου μεταξύ των κτηρίων και των δικτύων. Ένα αυτόνομο ZEB είναι ένα αυτόνομο κτήριο που έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει επαρκή ανανεώσιμη ενέργεια 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. 1.7 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:

Α) μείωση της θερμικής μετάδοσης (τιμές U) και

Β) 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 μονώροφου σπιτιού σε ένα προάστιο του Πεκίνου. Εφάρμοσαν συγκολλητική στρώση κόκκων πολυστυρενίου 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 κτηρίου. 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 ΖΕΒ, 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 (ΖΝΧ), 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 αντιμετωπίζετε 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 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 κτηρίων (ΖΝΧ-Φωτισμός)

Τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης για συστήματα ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ) 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 η 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. OI 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%.

2.3 Τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές

Ακόμη και με την εφαρμογή των διαφόρων μέτρων ενεργειακής απόδοσης που αναφέρθηκαν παραπάνω, απαιτείται περισσότερη ή λιγότερη ενέργεια για τη διατήρηση της καθημερινής λειτουργίας ενός κτηρίου. Στα ΖΕΒ, η κατανάλωση ενέργειας συνήθως συμπληρώνεται από την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Οι κύριες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που διατίθενται για τα κτήρια είναι η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια και η βιοενέργεια.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όχι μόνο μειώνει τις εκπομπές άνθρακα, αλλά προσφέρει επίσης μια σειρά πρόσθετων πλεονεκτημάτων, όπως καθαρό αέρα και ενεργειακή ασφάλεια. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται πλέον κλειδί για την επίτευξη των στόχων για το κλίμα και την αειφορία, όπως ενισχύθηκαν από τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Κλίμα το 2015 στο Παρίσι. Επί του παρόντος, το μεγαλύτερο μέρος της συνεισφοράς των ανανεώσιμων

πηγών ενέργειας εξακολουθεί να προέρχεται από την παραδοσιακή βιομάζα που χρησιμοποιείται για θέρμανση και μαγείρεμα χώρων στους οικιακούς τομείς των αναπτυσσόμενων χωρών [2]. Αυτή η χρήση δεν είναι βιώσιμη λόγω της χαμηλής απόδοσης μετατροπής και των επιβλαβών εκπομπών που παράγονται. Στην Ε.Ε. και στις ΗΠΑ, χρησιμοποιούνται πιο σύγχρονες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (καθαρή βιοενέργεια, γεωθερμία και ηλιακή θερμική ενέργεια) αντί για την καύση της παραδοσιακής βιομάζας. Πάνω από το 40% της θερμότητας που παράγεται από τις σύγχρονες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καταναλώνεται στην Ευρώπη, κυρίως με τη μορφή καθαρής βιοενέργειας για θέρμανση χώρων. Η Κίνα είναι επίσης μια ταχέως αναπτυσσόμενη αγορά για τις σύγχρονες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως καθοδηγείται από την αυξανόμενη ανάπτυξη του ηλιακού θερμοσίφωνα.

Ο Διεθνής Οργανισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IRENA) πρότεινε ένα έργο με το όνομα REmap που στοχεύει να διπλασιάσει το μερίδιο των σύγχρονων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα μέχρι το 2030 [68]. Προβλέπουν ότι η Κίνα (20%), οι ΗΠΑ (15%) και η Ε.Ε. (14%) θα γίνουν οι τρεις μεγαλύτεροι καταναλωτές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, φτάνοντας τελικά σε ένα συνδυασμένο παγκόσμιο μερίδιο 49%. Με αυτές τις επιλογές του REmap [68], το μερίδιο του άνθρακα στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα συρρικνωθεί στο 25% έως το 2030, σε σύγκριση με 43% σήμερα. Σύμφωνα με το ίδιο σενάριο, η αιολική ενέργεια θα είναι εξέχουσα επιλογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αυξανόμενη από 3% σε 14%, και η ηλιακή φωτοβολταϊκή (ΦΒ) ενέργεια θα αυξηθεί επίσης από λιγότερο από 1% σε σχεδόν 7% από το 2014 έως το 2030.

2.3.1 Ηλιακή και αιολική ενέργεια

Τα φωτοβολταϊκά ή τα ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά κτηρίων (building integrated photovoltaic BIPV) είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια για τα ZEB. Οι τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

μετατρέπουν άμεσα την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο [69]. Οι Pandey et al. [70] επανεξέτασαν συστηματικά τις πρόσφατες προόδους στις τεχνολογίες φωτοβολταϊκών. διαπίστωσαν ότι η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων κυμαίνεται από 10% έως 23%. Ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πάνελ μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, μειώνοντας έτσι την απόδοση μετατροπής αυξάνοντας τη θερμοκρασία λειτουργίας των Φ/Β στοιχείων.

Η ενσωμάτωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμικής συλλογής είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για αυτό το τεχνικό πρόβλημα. Τα υβριδικά φωτοβολταϊκά-θερμικά συστήματα (PV/T photovoltaic - thermal) παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα [71]. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή συνολική απόδοση παραγωγής ενέργειας και εξοικονόμηση χώρου ανά μονάδα επιφανείας. Ωστόσο, η αγορά PV/T εξακολουθεί να είναι πολύ μικρότερη από αυτή των Φ/Β και των ηλιακών θερμικών τεχνολογιών [70].

Εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις όσον αφορά τη βελτίωση της απόδοσης των PV/T συστημάτων. Οι Good et al. [72] συνέκριναν την απόδοση των ηλιακών θερμικών, Φ/Β και Φ/Β/Τ συστημάτων σε οικιακά ZEB στη Νορβηγία. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι το κτήριο με μόνο υψηλής απόδοσης φωτοβολταϊκές μονάδες ήταν πιο κοντά στην επίτευξη ισορροπίας μηδενικής ενέργειας. Ένα σύστημα με ακάλυπτες μονάδες φωτοβολταϊκών/Τ μπορεί να παρέχει καλή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά η θερμική ισχύς εξακολουθεί να είναι μικρή και χαμηλής θερμοκρασίας.

Οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες εγκαθίστανται συνήθως σε στέγες τόσο σε αστικές όσο και σε αγροτικές περιοχές. Ωστόσο, η επιφάνεια της στέγης μπορεί να είναι περιορισμένη, ιδιαίτερα για πολυώροφα κτήρια. Τα συστήματα BIPV ενσωματώνουν φωτοβολταϊκές μονάδες με το τα δομικά στοιχεία των κτηρίων, όπως τοίχους, στέγες και παράθυρα και μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, τα συστήματα BIPV μπορούν να μειώσουν το κόστος χώρου, υλικών και υποδομής του κτηρίου, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην τάση για μελλοντικά σχέδια ZEB. Οι Ng και Mithraratne [73] μελέτησαν αριθμητικά την απόδοση των ημιδιαφανών μονάδων BIPV που διατίθενται στο

εμπόριο για εφαρμογές παραθύρων στη Σιγκαπούρη. Με βάση τη μελέτη τους, ο χρόνος απόσβεσης ενέργειας δεν ήταν μεγαλύτερος από 2 χρόνια, ενώ η επιστροφή ενέργειας θα μπορούσε να είναι τόσο υψηλή όσο 35 φορές το αρχικό κόστος.

Έτσι, όταν τα κτήρια έχουν περιορισμένους χώρους στέγης, αλλά μεγάλες επιφάνειες πρόσοψης, η υιοθέτηση ημιδιαφανών παραθύρων BIPV είναι μια καλή επιλογή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών μονάδων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες. Γεωγραφικά τα συστήματα είναι πιο αποτελεσματικά σε τροπικές και ηλιόλουστες περιοχές με αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία.

Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι πολύ κατάλληλα για τροπικά κλίματα όπου υπάρχει τεράστια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό το καλοκαίρι. Η παραγωγή ενέργειας των φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να προβλεφθεί αξιόπιστα με βάση εποχιακά και καθημερινά πρότυπα. Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά πάνελ εξοπλισμένα με συστήματα παρακολούθησης του ήλιου [74] μπορούν να μειώσουν την επίδραση των μεταβλητών συνθηκών του ουρανού, αλλά αυτά τα συστήματα είναι σημαντικά πιο ακριβά.

Σε αντίθεση με την ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια είναι γενικά πιο στοχαστική και λιγότερο προβλέψιμη, με ωριαίες και ημερήσιες διακυμάνσεις. Γεωγραφικά, οι καλές αιολικές τοποθεσίες βρίσκονται συνήθως στην υπεράκτια, σε ανοιχτούς αγροτικούς χώρους και σε λόφους. Οι ανεμογεννήτριες είναι η κύρια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας από ανεμογεννήτριες ποικίλλει ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Για εφαρμογές ZEB, η χρήση ανεμογεννητριών που τοποθετούνται σε κτήρια και μικρής κλίμακας είναι μια κατάλληλη επιλογή. Υπάρχουν τρεις συνήθεις τύποι ανεμογεννητριών για κτήρια: οριζόντιες αξονικές ανεμογεννήτριες, κάθετες αξονικές ανεμογεννήτριες Darrieus και Savonius [75]. Ο σχεδιασμός κατάλληλων ανεμογεννητριών που τοποθετούνται στο κτήριο απαιτεί την εξέταση πολλών σημαντικών παραγόντων: επικρατούσες συνθήκες ανέμου, γειτονικά σενάρια γεωμετρίας, κτήρια διατάξεις και φόρμες συναρμολόγησης [75]. Η υπολογιστική ρευστοδυναμική (CFD) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των ετήσιων ροών ανέμου πάνω από κτήρια για την ανάλυση, τον εντοπισμό και τον σχεδιασμό συστημάτων αιολικής ενέργειας που

τοποθετούνται στο κτήριο τόσο για λήψη υψηλών ταχυτήτων ανέμου όσο και για την αποφυγή στρωμάτων αναταράξεων.

Οι Abohela et al.[76] χρησιμοποίησαν την τεχνολογία CFD για να μελετήσουν την επίδραση του σχήματος της στέγης, της κατεύθυνσης του ανέμου, του ύψους του κτηρίου και της αστικής διαμόρφωσης στο σχεδιασμό των ανεμογεννητριών που τοποθετούνται στην οροφή. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης θα μπορούσε να φτάσει το 56,1% στην περίπτωση θολωτής στέγης με τεκμηριωμένη εκτίμηση ανέμου πάνω από την οροφή. Η καθοδήγηση πολιτικής έχει επίσης σημαντική επίδραση στις εφαρμογές ανεμογεννητριών σε κτήρια.

Ο Liuand Ho [77] αξιολόγησε τις προκλήσεις και τις στρατηγικές της εκμετάλλευσης μικρών συστημάτων αιολικής ενέργειας για κτήρια της Ταϊβάν. Οι στόχοι αξιολόγησης που απέδωσαν τον υψηλότερο συναινετικό βαθμό σημασίας ήταν οι προωθήσεις της κυβερνητικής πολιτικής, ακολουθούμενες από συστήματα οικονομικού κόστους. Επιπλέον, τα υβριδικά φωτοβολταϊκά-αιολικά συστήματα [78] φαίνεται να είναι μια εναλλακτική λύση για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης παραγωγής ενέργειας όταν λαμβάνεται υπόψη η μεταβλητότητα των καιρικών συνθηκών. Σε αυτή την περίπτωση, είναι απαραίτητες προσεγγίσεις βελτιστοποίησης για την ανάλυση της απόδοσης κόστους ενέργειας διαφορετικών διαμορφώσεων υβριδικών συστημάτων [79].

2.3.2 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιεί το γεγονός ότι η γη έχει μια σχετικά σταθερή θερμοκρασία σε ένα ορισμένο βάθος. Μια αντλία θερμότητας εδάφους (ground source heat pump GSHP) έχει προωθηθεί ως ένα αποτελεσματικό ενεργειακό σύστημα του κτηριακού τομέα που χρησιμοποιεί τη θερμοκρασία της γης ως πηγή θερμότητας σε λειτουργία θέρμανσης και ως μέσο απαγωγής θερμότητας σε λειτουργία ψύξης. Γενικά, ένα σύστημα GSHP έχει

υψηλότερο συντελεστή απόδοσης (COP) από μια αντλία θερμότητας πηγής αέρα για ψύξη λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας συμπύκνωσης [80].

Η απόδοση των συστημάτων GSHP βασίζεται στην καλή αντιστοίχιση μεταξύ της θερμότητας συμπύκνωσης που απελευθερώνεται στο έδαφος το καλοκαίρι και της θερμότητας εξάτμισης που απορροφάται από το έδαφος το χειμώνα, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τύπος εποχιακής θερμικής αποθήκευσης. Επομένως, τα GSHP γενικά έχουν καλύτερη απόδοση σε κλίματα όπου τα φορτία θέρμανσης και ψύξης των κτηρίων είναι καλά ισορροπημένα όλο το χρόνο. Ωστόσο, όταν τα κτηριακά φορτία είναι πρακτικά μη ισορροπημένα και μεταβλητά, προτείνεται μια βελτιστοποιημένη συνδυασμένη επιχειρησιακή στρατηγική για μια δυναμική αντιστοίχιση μεταξύ της ζήτησης και της προσφοράς ενέργειας [81].

Η μακροπρόθεσμη εκτίμηση της θερμοκρασίας του εδάφους είναι επίσης ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της απόδοσης των GSHP. Οι Liu et al. [82] ερεύνησε τη σκοπιμότητα και την απόδοση ενός GSHP σε μια κινεζική ζώνη ψυχρού κλίματος. Ανέφεραν ότι η θερμοκρασία εισόδου/εξόδου του θαμμένου σωλήνα και η θερμοκρασία του εδάφους θα απαιτούσαν μια δεκαετή αξιολόγηση για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας του συστήματος GSHP. Συγκεκριμένα, σε κτήρια όπου κυριαρχεί η θέρμανση σε αντίξοες κλιματικές συνθήκες, προτιμώνται τα υβριδικά συστήματα GSHP με ηλιακούς συλλέκτες για την αποφυγή της θερμικής εξάντλησης του εδάφους. Η συλλεγόμενη ηλιακή θερμότητα παράγει ΖΝΧ το καλοκαίρι και επαναφορτίζει το έδαφος κατά τους χειμερινούς μήνες.

Οι Emmi et al. [83] ερεύνησαν την απόδοση ενός ηλιακού υποβοηθούμενου GSHP σε ψυχρά κλίματα. Με βάση τις προσομοιώσεις τους, η ενεργειακή απόδοση της αντλίας θερμότητας μειώθηκε κατά περίπου 10% σε ψυχρά κλίματα χωρίς ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες σε μια περίοδο δέκα ετών. Η αναλογία μεταξύ της ηλιακής θερμότητας που συλλέγεται και απορρίπτεται στο έδαφος ήταν μεταξύ 80% και 95%.

2.3.3 Βιοενέργεια

Η βιοενέργεια είναι μια πηγή ενέργειας υψηλής ζήτησης για πολλαπλές χρήσεις στον κτηριακό τομέα που προέρχεται από απόβλητα από γεωργικές και δασοκομικές δραστηριότητες. Οι λέβητες βιομάζας χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα υπολειπόμενων πόρων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης χώρου. Μια πρόσφατη μελέτη διεξήχθη για να αξιολογήσει τους ενεργειακούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες της καύσης μπρικέτων ξύλου για τη θέρμανση ενός οικογενειακού σπιτιού στη βορειοανατολική Πολωνία κατά τη διάρκεια τριών περιόδων θέρμανσης [84].

Αυτή η μελέτη έδειξε ότι το κόστος παραγωγής θερμότητας από μπρικέτες ήταν χαμηλό σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, η χρήση μπρικετών ξύλου οδήγησε σε σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τον λιθάνθρακα, το πετρέλαιο θέρμανσης ή το φυσικό αέριο.

Η βιοενέργεια μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για μαγείρεμα και παραγωγή ΖΝΧ. Σχεδόν ο μισός πληθυσμός του πλανήτη χρησιμοποιεί διαφορετικούς τύπους καυσίμων βιομάζας για το μαγείρεμα. Μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση τόνισε τις πρόσφατες βελτιώσεις στα σχέδια εστιών μαγειρικής βιομάζας [85]. Ο στόχος μιας σόμπας μαγειρικής βιομάζας είναι να επιτύχει την ποιότητα των ενεργειακών υπηρεσιών συγκρίσιμη με εκείνη από το υγραέριο (LPG). Επιπλέον, η καύση βιομάζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για εφαρμογές CCHP [86]. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από καθαρή βιομάζα μπορεί να είναι ένα κατάλληλο μέτρο για τον μετριασμό των αερίων του θερμοκηπίου [87]. Εν ολίγοις, η βιοενέργεια είναι σήμερα δημοφιλής ανανεώσιμη πηγή ενέργειας παγκοσμίως, αλλά εξακολουθεί να μπορεί να βελτιωθεί ώστε να είναι πιο ενεργειακά αποδοτική και φιλική προς το περιβάλλον.

Ο Πίνακας 1.1 συνοψίζει τις τεχνολογίες που προαναφέρθηκαν σε αυτήν την ενότητα. Το κόστος υπολογίζεται για συγκεκριμένη κατηγορία και υπόκειται σε αλλαγές σε διαφορετικές καταστάσεις. Ορισμένες τεχνικές υψηλού κόστους δεν χρησιμοποιούνται επί του παρόντος ευρέως, όπως οι υαλοπίνακες υψηλού R, η θερμική αποθήκευση, η ηλιακή αντλία

θερμότητας, η CCHP, η VAV/VAF, η BIPV/T και η ανεμογεννήτρια κ.λπ. Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες μπορεί να έχουν μεγάλες δυνατότητες και οφέλη για τα ZEB μακροπρόθεσμα και αξίζουν περισσότερη εξερεύνηση και έρευνα.

Πίνακας 1.1 Σύνοψη των τεχνολογιών που εξετάστηκαν. [93]

Κατηγορία		Τεχνολογία	Αρχή λειτουργίας	Εφαρμογή / χαρακτηριστικό	Κόστος	Αναφ.
Παθητικός σχεδιασμός	Κέλυφος κτηρίου	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 μετριάση 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	[37,38]

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	Κτήρια 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 υγρασία 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 εξατμιστή και μεταφορά της θερμικής ενέργειας για αποθήκευση ZNX	Θέρμανση νερού σε χαμηλή θερμοκρασία	Υψηλό	[59]

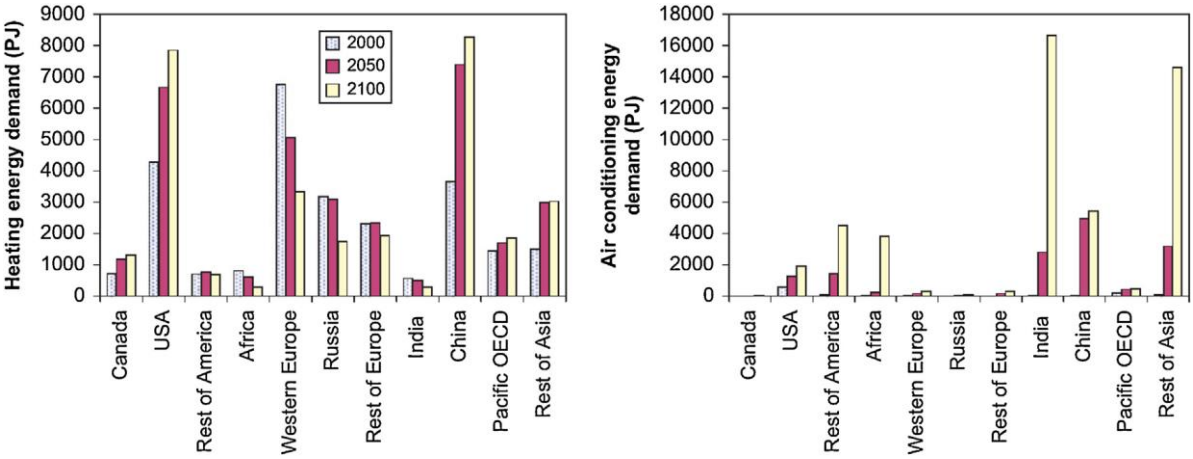
		Συνδυασμένη ψύξη, θέρμανση και ισχύς (CCHP)	Παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ταυτόχρονα	Καλύτερη λειτουργία συνδυαστικά με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Χρειάζονται βέλτιστη στρατηγική ελέγχου	Υψηλό	[54,86,87]
	Φωτισμός	Δίοδοι εκπομπής φωτός (LED)	Φως εξοικονόμησης ενέργειας με μεγάλη διάρκεια ζωής και καλή απόδοση φωτισμού	Κτήρια γραφείων; μπορεί να αυξήσει το φορτίο ψύξης εσωτερικού χώρου	Υψηλό	[60,61]
		Συγκομιδή το 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 απόδοσης και καλύτερες χρήσεις	Επιρροή από τη συμπεριφορά των ενοίκων και τους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. καλύτερη ενσωμάτωση με τον έξυπνο προγραμματισμό	Μεσαίο	[63–67]
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. Χρειάζεστε 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	[85]

2.4 Μελλοντικές προκλήσεις της ενέργειας των κτηρίων - Επιπτώσεις της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής στη ζήτηση ενέργειας των κτηρίων

Δεδομένης της μεγάλης διάρκειας ζωής και του υψηλού αρχικού κόστους των κτηρίων, οι σχεδιαστές θα πρέπει να εξετάσουν την πιθανή επίδραση της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με την IPCC [88], το 1983-2012 ήταν πιθανώς η θερμότερη περίοδος 30 ετών των τελευταίων 1400 ετών στο βόρειο ημισφαίριο. Ο Isaac et al. [89] ανέπτυξε ένα μοντέλο για την πρόβλεψη των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας των κτηρίων και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, στο σενάριο αναφοράς, η παγκόσμια ζήτηση θέρμανσης κατοικιών θα μειωνόταν κατά 34% και η ζήτηση ψύξης θα αυξηθεί κατά 72% έως το 2100. Η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας για ψύξη στα κτήρια θα ξεπεράσει τη θέρμανση έως το 2070.

Η εικόνα 2.5 δείχνει τις προβλέψεις τους για την ενεργειακή ζήτηση κτηρίων κατοικιών για τις τελικές ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης τον επόμενο αιώνα [89]. Οι απαιτήσεις σε ενέργεια θέρμανσης στην Ευρώπη θα μειωθούν λόγω της μείωσης του πληθυσμού, της χαμηλότερης έντασης θέρμανσης και του θερμαινόμενου κλίματος. Για την Κίνα και τις ΗΠΑ, οι ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης του οικιακού τομέα θα αυξάνονται καθ' όλη τη διάρκεια του αιώνα. Μια ετήσια αύξηση της τάξης του 0,7% στη ζήτηση ενέργειας θέρμανσης στις ΗΠΑ θα οφείλεται στην αύξηση του πληθυσμού και των κατοικιών, ενώ η αύξηση της έντασης της θέρμανσης θα οδηγήσει σε ετήσια αύξηση 1,7% στην Κίνα πριν από το 2040. Οι απαιτήσεις ψύξης θα αυξηθούν δραματικά σε αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία λόγω της ταχέως αυξανόμενης ιδιοκτησίας κλιματιστικών και του θερμαινόμενου κλίματος. Αντίθετα, τα ψυκτικά φορτία στις ΗΠΑ και την Ευρώπη θα αυξηθούν ελαφρά μόνο τον επόμενο αιώνα. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής εξαρτάται από τις τοπικές καιρικές και οικονομικές συνθήκες. Η συνολική ζήτηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη θα αυξήσει κατά κύριο λόγο τις περιοχές που κυριαρχούν στην ψύξη και οι λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές.



Εικ 2.5 Απαίτηση ενέργειας κτηρίων κατοικιών για θέρμανση (αριστερά) και ψύξη (δεξιά) το 2000, το 2050 και το 2100 [89].

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει τις τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας στο μέλλον. Οι Wang et al. [90] έλεγξαν την επίδραση του νυχτερινού φυσικού αερισμού στο Σαν Φρανσίσκο, το Σαν Ντιέγκο και το Σιάτλ. Διαπίστωσαν ότι ο φυσικός αερισμός δεν ήταν πλέον κατάλληλος για το Σαν Ντιέγκο λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, αλλά ήταν ακόμα αποδεκτός στο Σαν Φρανσίσκο και το Σιάτλ.

Οι Lomas et al. [91] ερευνήσαν και αξιολογήσαν την ανθεκτικότητας των κτηρίων με φυσικό αερισμό στην κλιματική αλλαγή λόγω της πιθανότητας υπερθέρμανσης. Όταν η υπερθέρμανση του πλανήτη γίνεται σοβαρή, τα προηγούμενα σενάρια για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα μπορεί να είναι λιγότερο αποτελεσματικά για ζώνες που κυριαρχούνται από ψύξη ή εύκρατες κλιματικές ζώνες [92].

Αυτές οι μελέτες τόνισαν την πιθανή επιδείνωση των τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας με την κλιματική αλλαγή. Οι κατάλληλες προσεγγίσεις εξοικονόμησης ενέργειας μπορούν επίσης να μετριάσουν τις τάσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη και να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{ο}

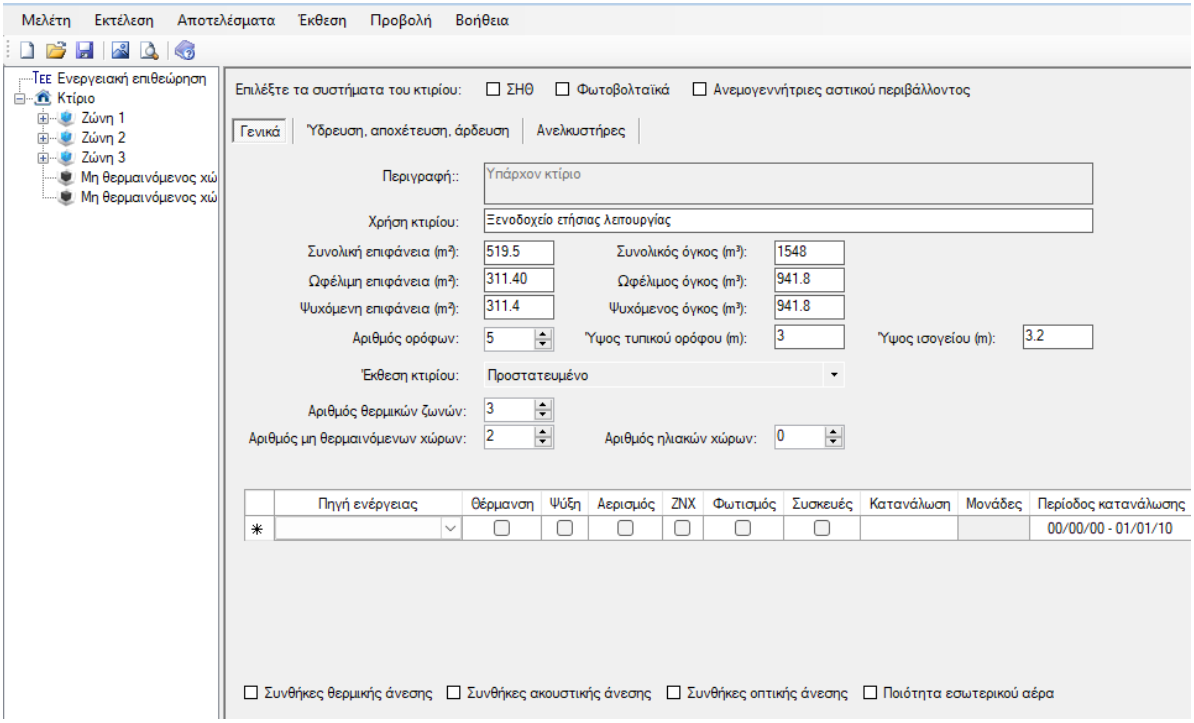
3.1 Κτήριο προς μελέτη

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. Το κτήριο το οποίο πρόκειται να μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία αφορά ένα ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας, 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.

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.

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 αίθριων και όλων των διαμπερών ανοιγμάτων ή οδεύσεων 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 συνολικός όγκο των χώρων που συμπεριλαμβάνονται στη συνολική

επιφάνεια του κτηρίου, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές διαστάσεις της κατασκευής και τέλος σαν ωφέλιμος όγκος (m3) εισάγουμε τον συνολικός όγκο των χώρων που συμπεριλαμβάνονται στην ωφέλιμη επιφάνεια του κτηρίου, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές διαστάσεις της κατασκευής.



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.

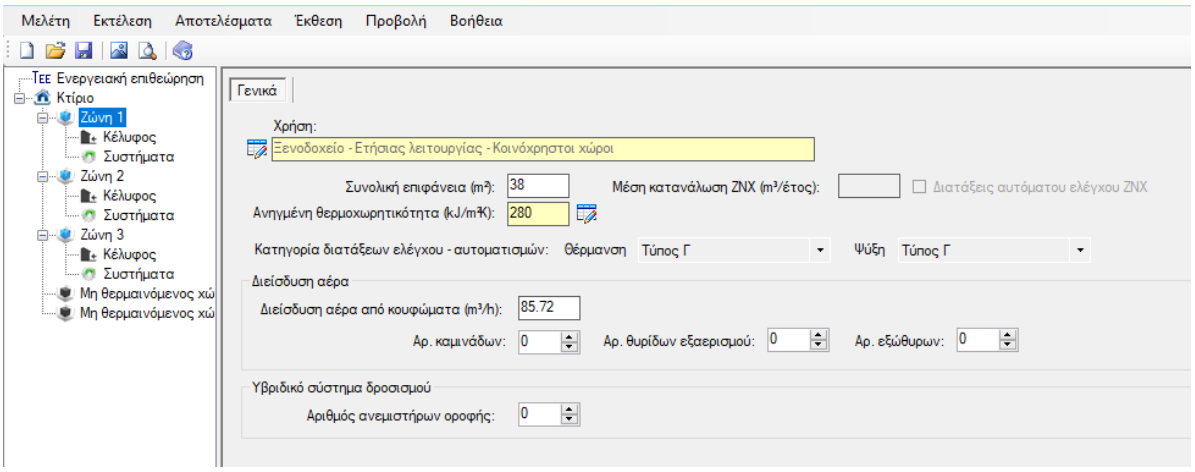
Στο πεδίο ανηγμένη θερμοχωρητικότητα (kJ/m2 K) εισάγεται η μέση ανηγμένη ειδική θερμοχωρητικότητα της κατασκευής. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει, την αντίστοιχη τιμή

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

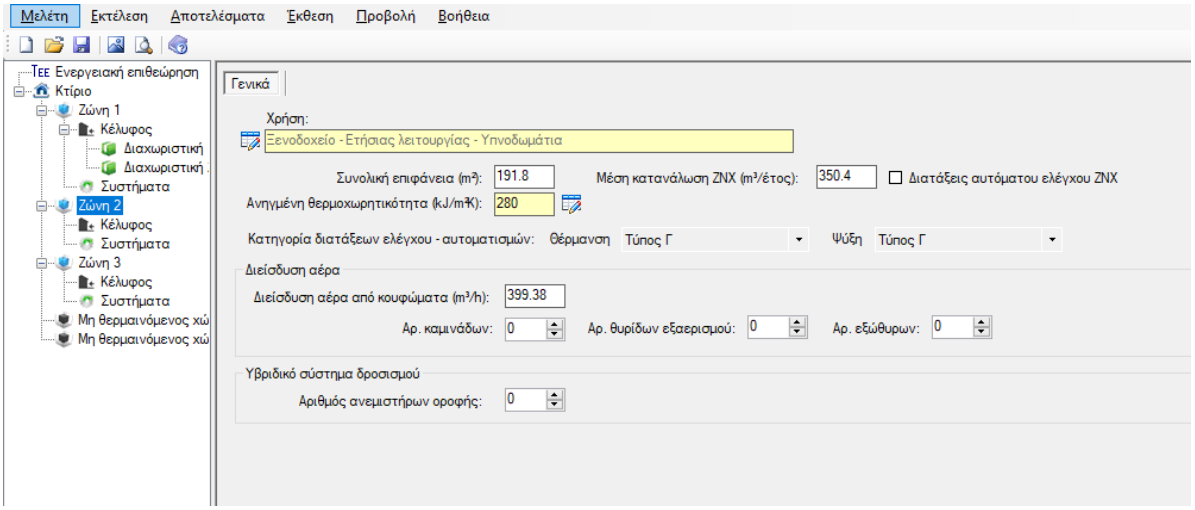
Ακολούθως στο πεδίο της μέσης κατανάλωση ΖΝΧ (m3/έτος) εισάγεται η υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης για την συγκεκριμένη ζώνη, σύμφωνα με τις τιμές που ορίζονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 (§2.5. Κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης. Πίνακας 2.5.-Τυπική κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης ανά χρήση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

Όσον αφορά τις διατάξεις αυτομάτου ελέγχου ΖΝΧ καταγράφεται η ύπαρξη διατάξεων αυτομάτου ελέγχου του κεντρικού συστήματος παραγωγής Ζ.Ν.Χ, επιλέγοντας το αντίστοιχο σύμβολο ελέγχου. Τέτοιες διατάξεις μπορεί να είναι αυτοματισμός για τη λειτουργία του συστήματος μόνο όταν ζητείται ζεστό νερό (π.χ. με χρονοδιακόπτη), διαφορικός έλεγχος λειτουργίας μεταξύ λέβητα / αντλίας θερμότητας και ηλιακών κ.ά. συναφή συστήματα. Σε περίπτωση που το εξεταζόμενο κτήριο δεν διαθέτει διατάξεις αυτομάτου ελέγχου σε τμήμα ή στο σύνολο του κεντρικού συστήματος παραγωγής Ζ.Ν.Χ., τότε δεν επιλέγεται το αντίστοιχο σύμβολο ελέγχου.

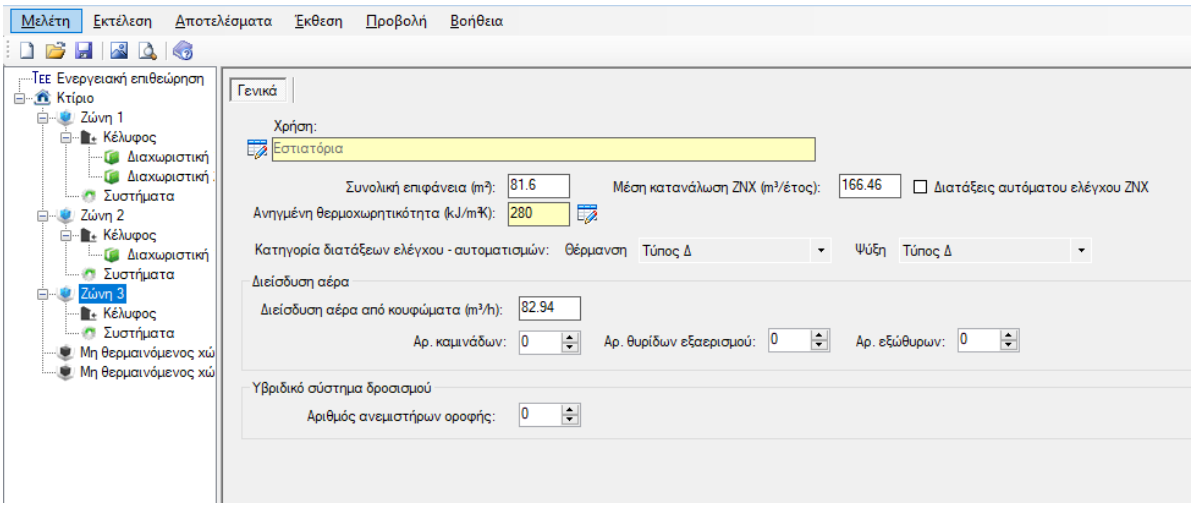
Στο πεδίο κατηγορία διατάξεων ελέγχου & αυτοματισμών για θέρμανση και για ψύξη καθορίζεται, η κατηγορία διατάξεων αυτομάτου ελέγχου που αφορούν ανεξάρτητα στα συστήματα Θέρμανσης και Ψύξης (μονάδες παραγωγής / δίκτυο διανομής / τερματικές μονάδες). Οι Μονάδες Αερισμού της συγκεκριμένης ζώνης συμπεριλαμβάνονται και στα συστήματα θέρμανσης και στα συστήματα ψύξης, σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 (§5.2. Διατάξεις Αυτομάτου Ελέγχου. Πίνακας 5.5.-Κατηγορίες διατάξεων ελέγχου & αυτοματισμών). Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν τέτοιες διατάξεις ορίζουμε κατηγορία «Δ».



Εικ. 3.2. Γενικά στοιχεία θερμικής ζώνης 1 (κοινόχρηστοι χώροι ξενοδοχείου)



Εικ. 3.3 Γενικά στοιχεία θερμικής ζώνης 2 (Υπνοδωμάτια)



Εικ.3.4 Γενικά στοιχεία θερμικής ζώνης 3 (Εστιατόριο)

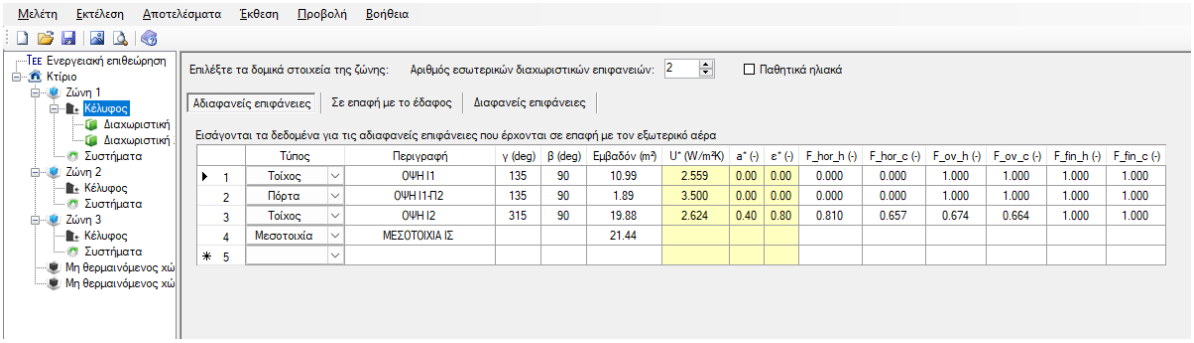
Στην συνέχεια θα πρέπει να ορίσουμε σε κάθε μια από τις 3 θερμικές ζώνες τα στοιχεία του κελύφους του κτηρίου που αφορούν κάθε ζώνη. Για κάθε θερμική ζώνη εισάγονται τα δεδομένα για τις αδιαφανείς και διαφανείς επιφάνειες του κελύφους και για τις εσωτερικές επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με μη θερμαινόμενους 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.

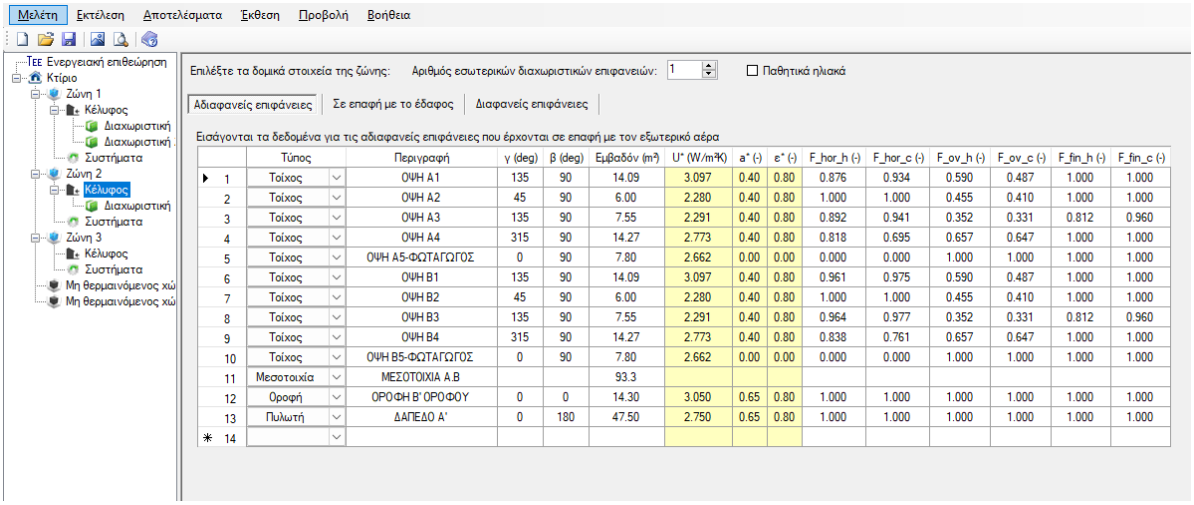
Το πεδίο «U» (W/m2K) αφορά τον συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου. Για τα νέα κτήρια υπολογίζεται σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2 (§2.1. Υπολογισμός των συντελεστών θερμοπερατότητας των αδιαφανών δομικών στοιχείων). Για τα νέα κτήρια μετά την ισχύ του αναθεωρημένος ΚΕΝΑΚ, ο μέγιστος 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 «a» καθορίζουμε τον συντελεστής απορροφητικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική πλευρά της επιφάνειας του δομικού στοιχείου. Εξαρτάται από τον τύπο του δομικού στοιχείου, το υλικό και το χρώμια 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 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).



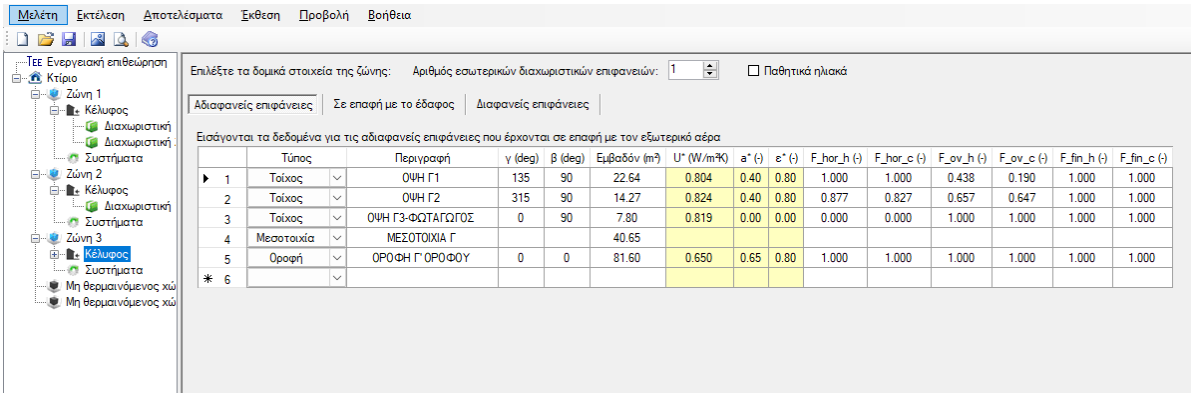
	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m²)	U* (W/m²K)	a* (-)	ε* (-)	F_hor_h (-)	F_hor_c (-)	F_ov_h (-)	F_ov_c (-)	F_fin_h (-)	F_fin_c (-)
1	Τοίχος	ΟΨΗ Ι1	135	90	10.99	2.559	0.00	0.00	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	Πόρτα	ΟΨΗ Ι1-Π2	135	90	1.89	3.500	0.00	0.00	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3	Τοίχος	ΟΨΗ Ι2	315	90	19.88	2.624	0.40	0.80	0.810	0.657	0.674	0.664	1.000	1.000
4	Μεσοτοιχία	ΜΕΣΟΤΟΙΧΙΑ ΙΣ			21.44									
5														

Εικ. 3.5 Στοιχεία αδιαφανών επιφανειών για θερμική ζώνη 1



	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m²)	U* (W/m²K)	a* (-)	ε* (-)	F_hor_h (-)	F_hor_c (-)	F_ov_h (-)	F_ov_c (-)	F_fin_h (-)	F_fin_c (-)
1	Τοίχος	ΟΨΗ Α1	135	90	14.09	3.097	0.40	0.80	0.876	0.934	0.590	0.487	1.000	1.000
2	Τοίχος	ΟΨΗ Α2	45	90	6.00	2.280	0.40	0.80	1.000	1.000	0.455	0.410	1.000	1.000
3	Τοίχος	ΟΨΗ Α3	135	90	7.55	2.291	0.40	0.80	0.892	0.941	0.352	0.331	0.812	0.960
4	Τοίχος	ΟΨΗ Α4	315	90	14.27	2.773	0.40	0.80	0.818	0.695	0.657	0.647	1.000	1.000
5	Τοίχος	ΟΨΗ Α5-ΦΩΤΑΓΩΓΟΣ	0	90	7.80	2.662	0.00	0.00	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	Τοίχος	ΟΨΗ Β1	135	90	14.09	3.097	0.40	0.80	0.961	0.975	0.590	0.487	1.000	1.000
7	Τοίχος	ΟΨΗ Β2	45	90	6.00	2.280	0.40	0.80	1.000	1.000	0.455	0.410	1.000	1.000
8	Τοίχος	ΟΨΗ Β3	135	90	7.55	2.291	0.40	0.80	0.964	0.977	0.352	0.331	0.812	0.960
9	Τοίχος	ΟΨΗ Β4	315	90	14.27	2.773	0.40	0.80	0.838	0.761	0.657	0.647	1.000	1.000
10	Τοίχος	ΟΨΗ Β5-ΦΩΤΑΓΩΓΟΣ	0	90	7.80	2.662	0.00	0.00	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	Μεσοτοιχία	ΜΕΣΟΤΟΙΧΙΑ Α.Β			93.3									
12	Οροφή	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
13	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
14														

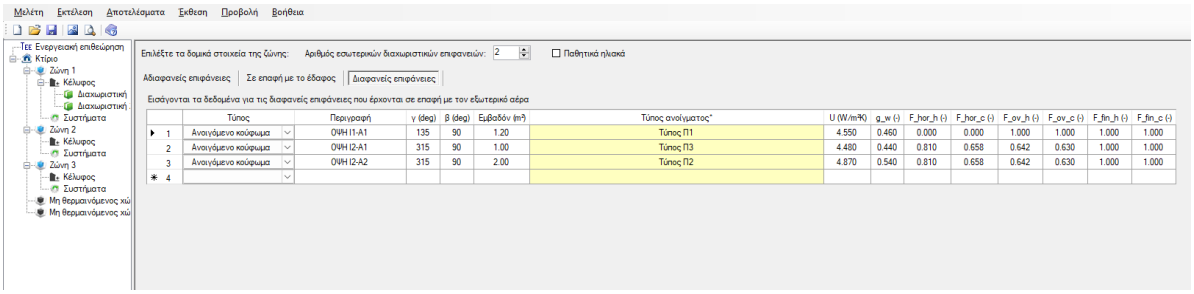
Εικ. 3.6 Στοιχεία αδιαφανών επιφανειών για θερμική ζώνη 2



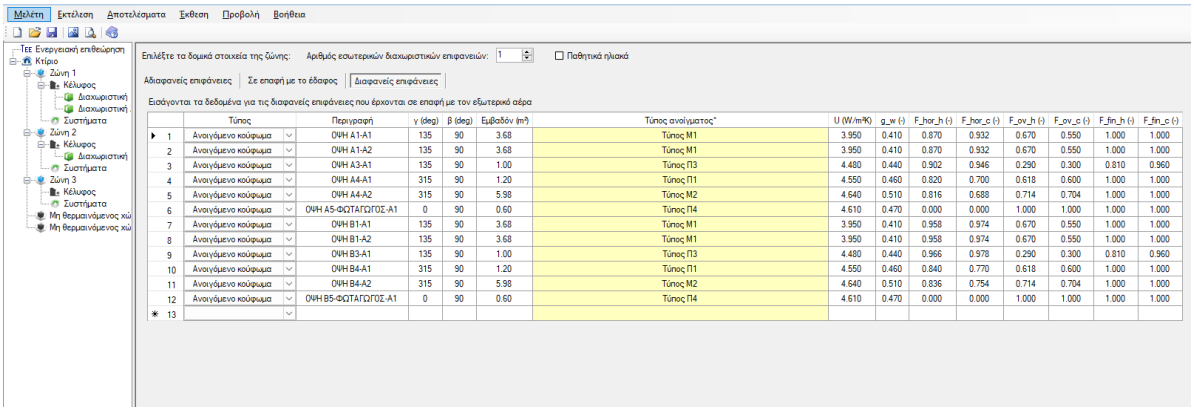
	Τύπος	Περιγραφή	γ (deg)	β (deg)	Εμβαδόν (m²)	U* (W/m²K)	a* (-)	ε* (-)	F_hor_h (-)	F_hor_c (-)	F_ov_h (-)	F_ov_c (-)	F_fin_h (-)	F_fin_c (-)
1	Τοίχος	ΟΨΗ Γ1	135	90	22.64	0.804	0.40	0.80	1.000	1.000	0.438	0.190	1.000	1.000
2	Τοίχος	ΟΨΗ Γ2	315	90	14.27	0.824	0.40	0.80	0.877	0.827	0.657	0.647	1.000	1.000
3	Τοίχος	ΟΨΗ Γ3-ΦΩΤΑΓΩΓΟΣ	0	90	7.80	0.819	0.00	0.00	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	Μεσοτοιχία	ΜΕΣΟΤΟΙΧΙΑ Γ			40.65									
5	Οροφή	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
6														

Εικ. 3.7 Στοιχεία αδιαφανών επιφανειών για θερμική ζώνη 3

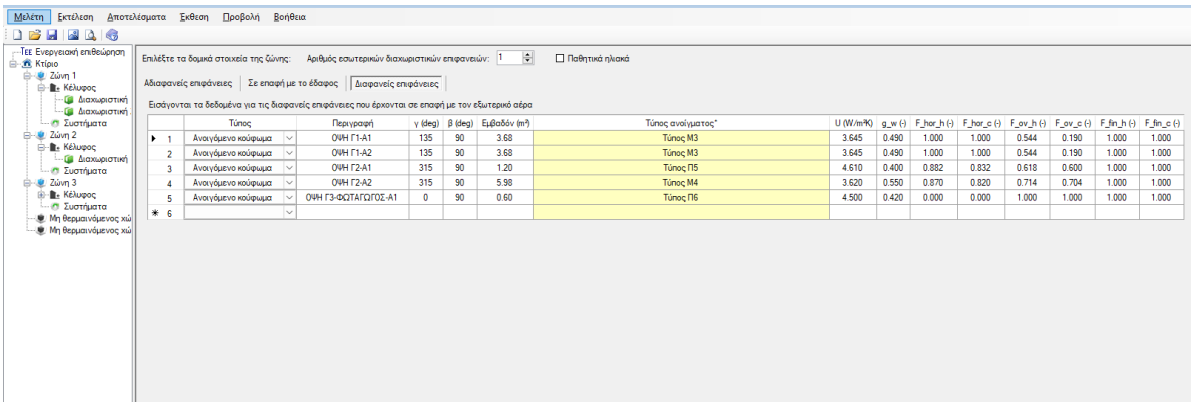
Στην συνέχεια εισάγονται τα στοιχεία των διαφανών επιφανειών του κτηρίου τα οποία περιλαμβάνουν δεδομένα για τις διαφανείς επιφάνειες του κελύφους της συγκεκριμένης ζώνης που βρίσκονται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον.



Εικ. 3.8 Στοιχεία διαφανών επιφανειών για θερμική ζώνη 1



Εικ. 3.9 Στοιχεία διαφανών επιφανειών για θερμική ζώνη 2

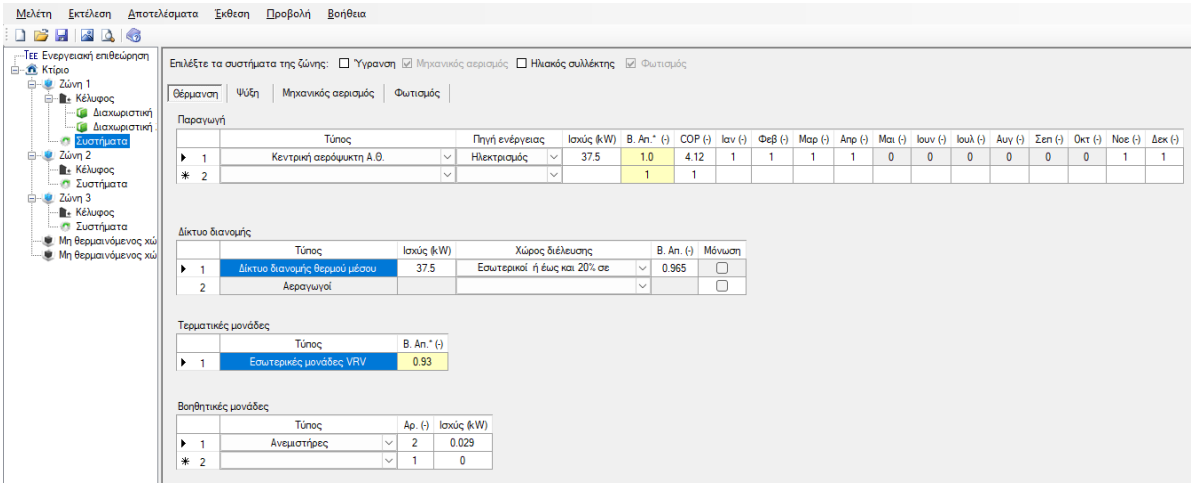


Εικ. 3.10 Στοιχεία διαφανών επιφανειών για θερμική ζώνη 3

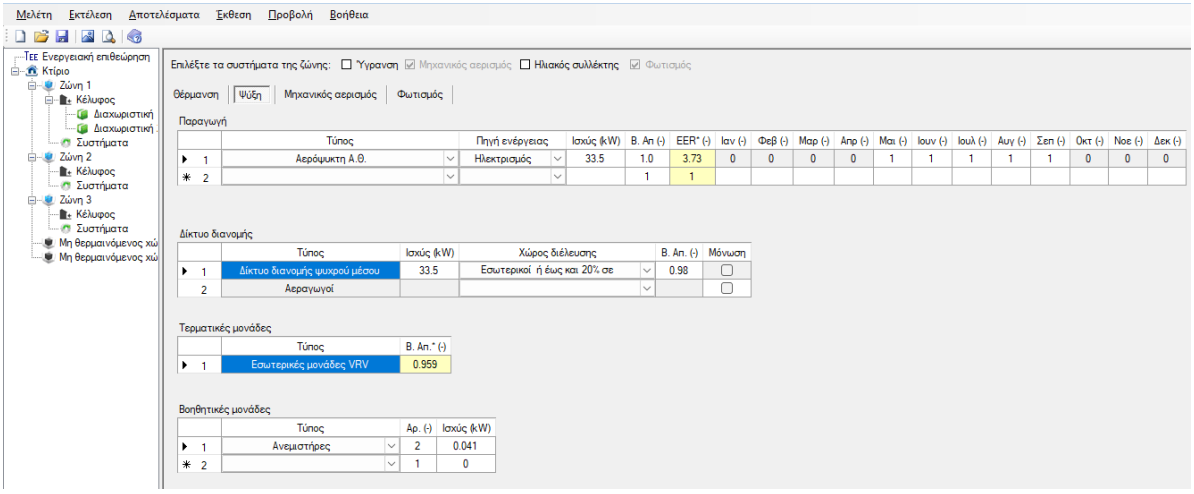
Ακολούθως θα πρέπει να εισάγουμε τα υφιστάμενα συστήματα που εξυπηρετούν τις ανάγκες του κτηρίου που μελετούμε. Εισάγονται πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τα εξής χαρακτηριστικά

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

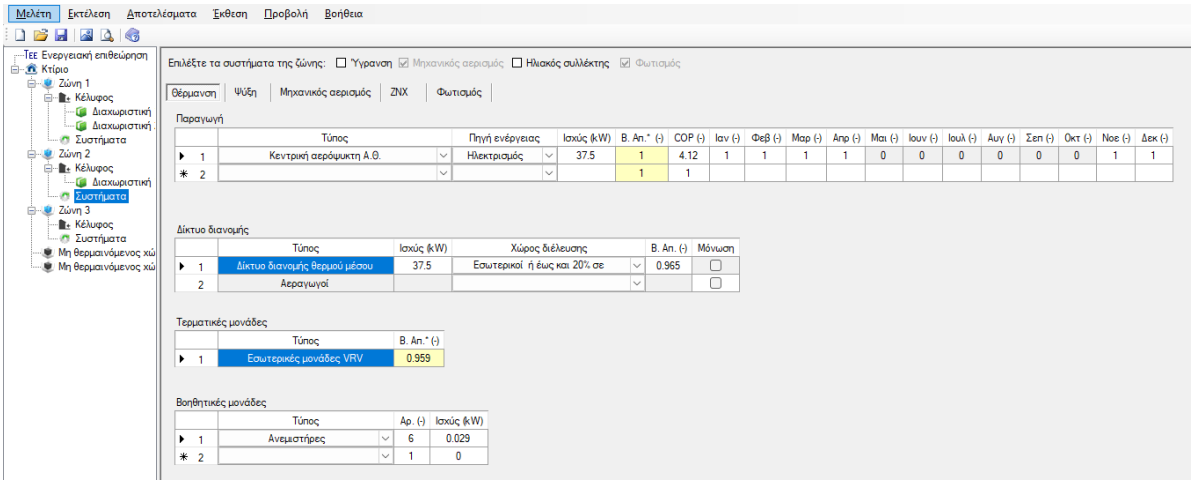
Για την εξυπηρέτηση των αναγκών σε θέρμανση και ψύξη το υφιστάμενο κτήριο στην θερμική ζώνη 1 και 2 έχει εγκατασταθεί μια κεντρική αερόψυκτη αντλία θερμότητας ισχύος 37,5 KW με συντελεστή συμπεριφοράς για θέρμανση COP=4.12 και για ψύξη EER=3.73.



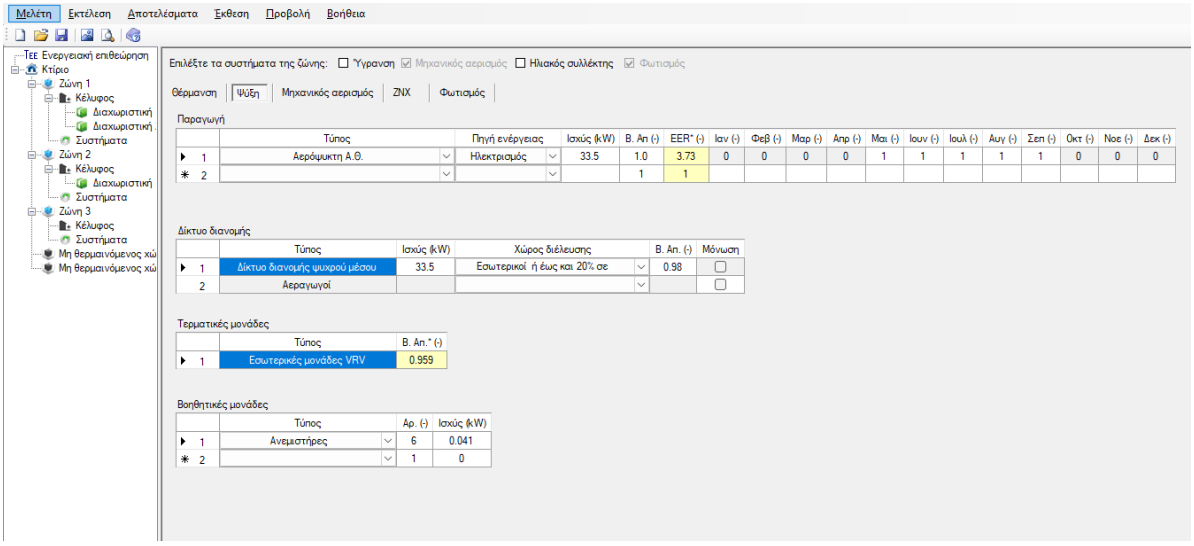
Εικ. 3.11 Σύστημα θέρμανσης (Θερμική ζώνη 1)



Εικ. 3.12 Σύστημα ψύξης (Θερμική ζώνη 1)

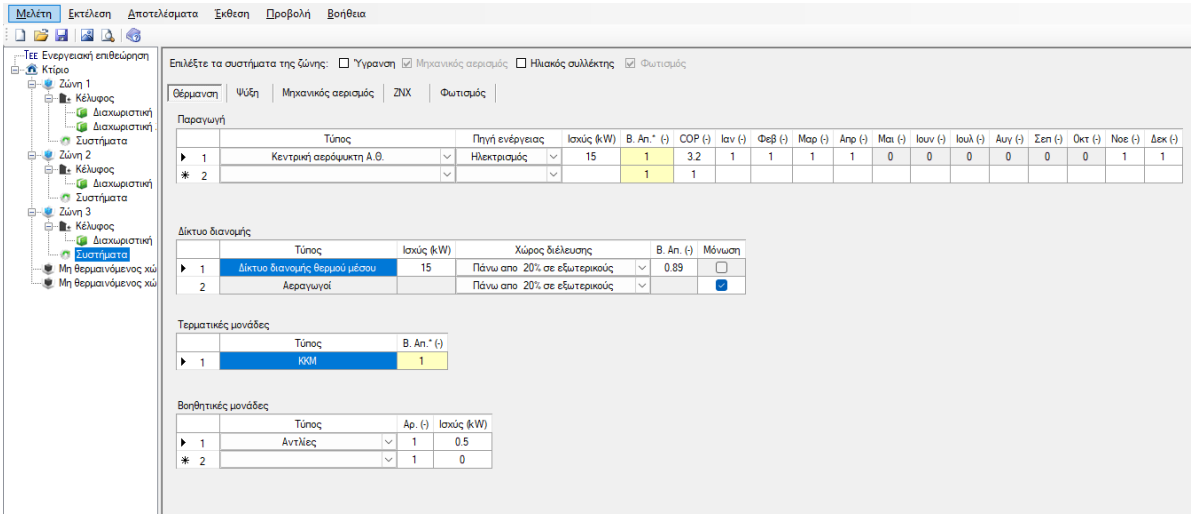


Εικ. 3.13 Σύστημα θέρμανσης (Θερμική ζώνη 2)

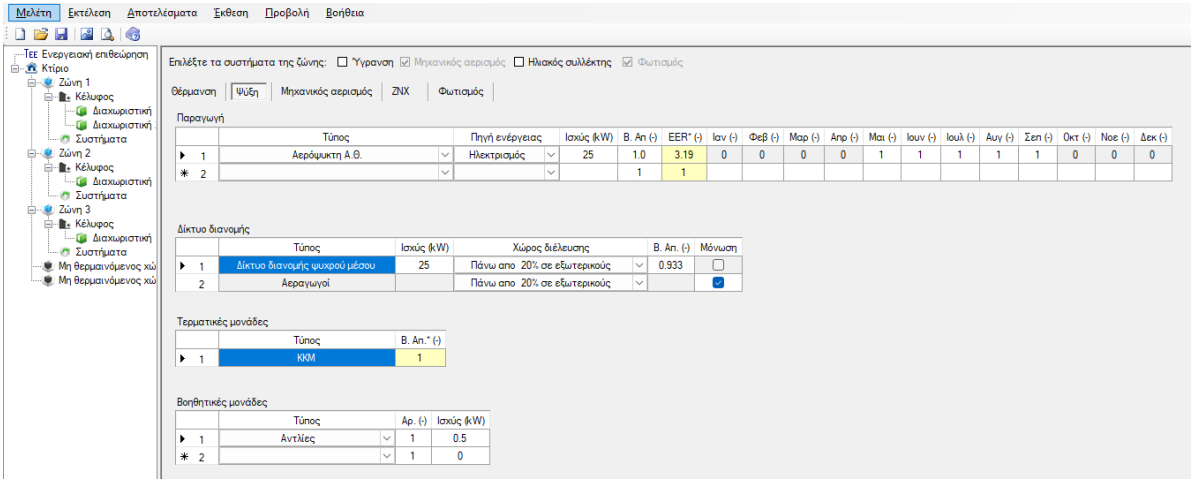


Εικ. 3.14 Σύστημα ψύξης (Θερμική ζώνη 2)

Για τη θερμική ζώνη 3 έχει εγκατασταθεί μια κεντρική αερόψυκτη αντλία θερμότητας για θέρμανση 15 KW με COP 3.2 και μια αερόψυκτη αντλία θερμότητας με EER 3,19 για ψύξη.

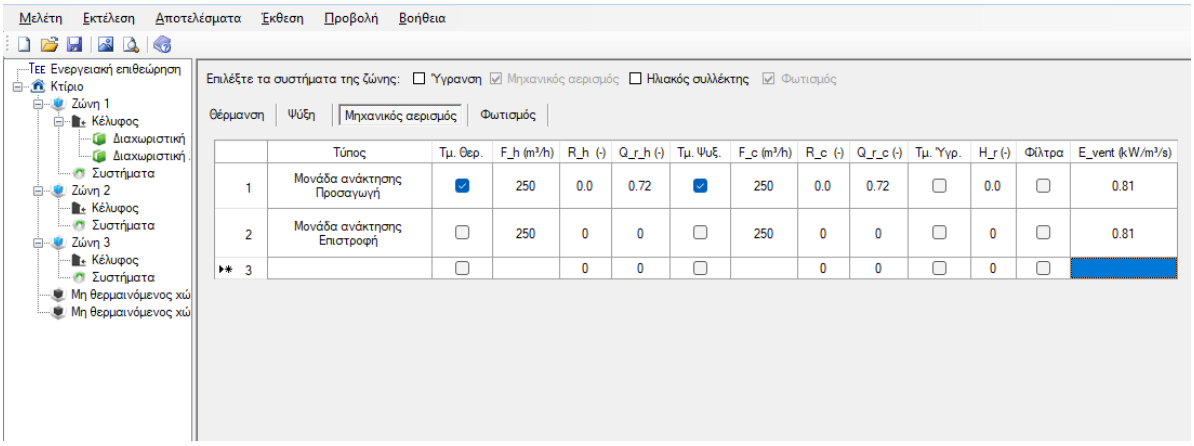


Εικ. 3.15 Σύστημα θέρμανσης (Θερμική ζώνη 3)

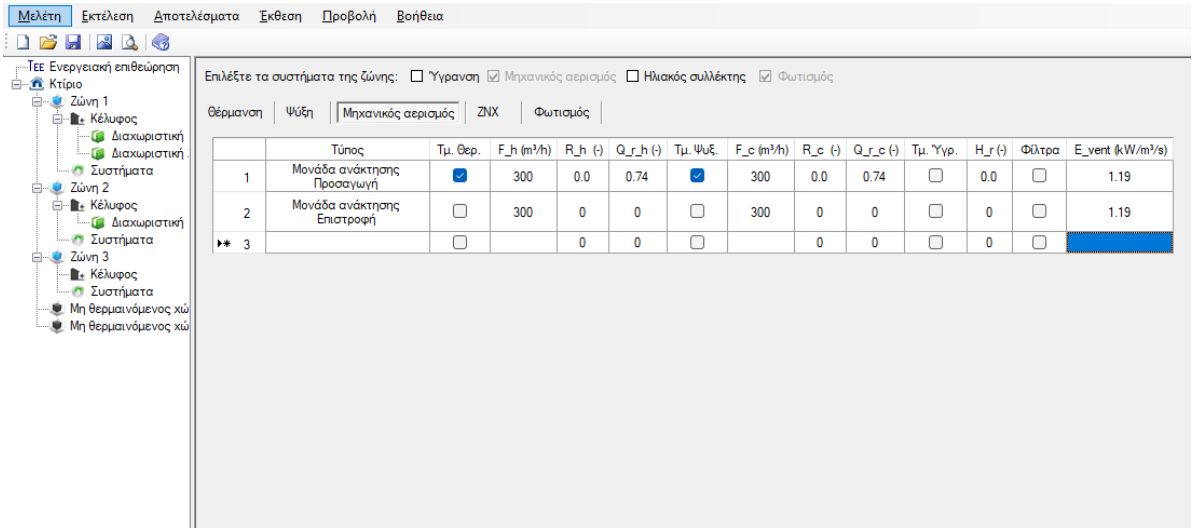


Εικ. 3.16 Σύστημα ψύξης (Θερμική ζώνη 3)

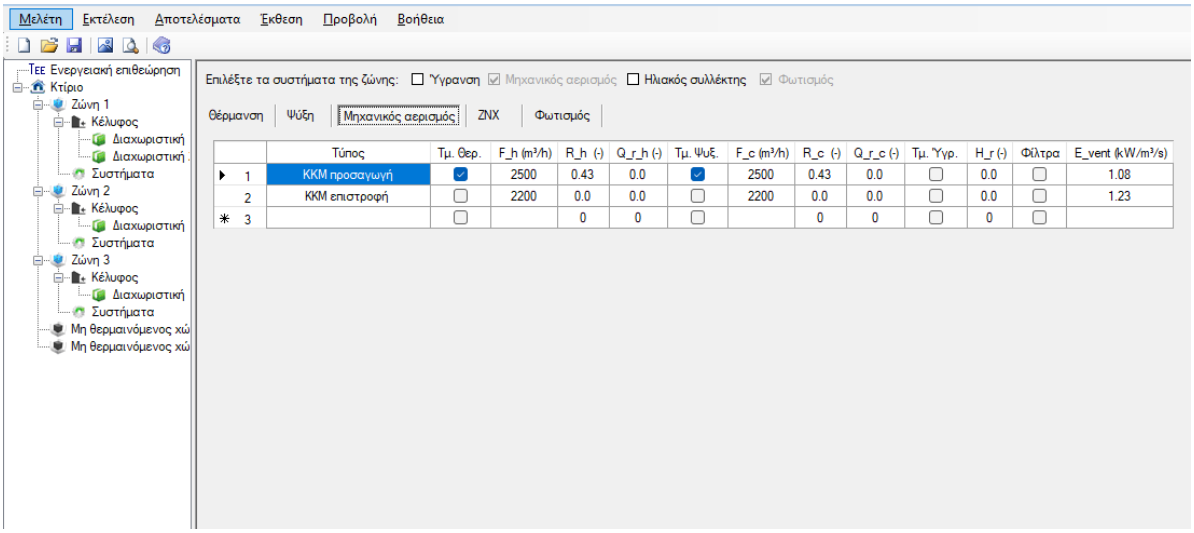
Στην συνέχεια στην επόμενη καρτέλα αναγράφονται τα στοιχεία του μηχανικού αερισμού που εξυπηρετούν το ξενοδοχείο. Υπάρχει μονάδα ανάκτησης θερμότητας (προσαγωγή και επιστροφή). Η συνολική ενιαία ειδική ονομαστική ισχύς των ανεμιστήρων προσαγωγής και επιστροφής για το σύστημα της θερμικής ζώνης 1 είναι E_vent=0,81 kW/m3/s για την θερμική ζώνη 2 είναι E_vent=1,19 kW/m3/s και για την Τρίτη ζώνη E_vent=1,08 kW/m3/s (προσαγωγή) και E_vent=1,23 kW/m3/s (επιστροφή).



Εικ. 3.17 Στοιχεία μηχανικού αερισμού για κτήριο μελέτης (Θερμική ζώνη 1)



Εικ. 3.18 Στοιχεία μηχανικού αερισμού για κτήριο μελέτης (Θερμική ζώνη 2)

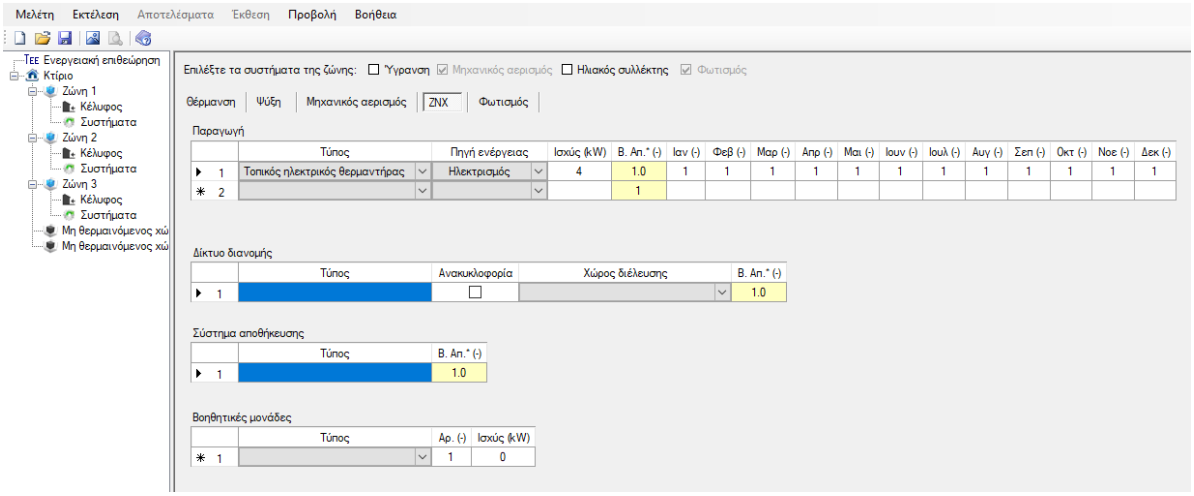


Εικ. 3.19 Στοιχεία μηχανικού αερισμού για κτήριο μελέτης (Θερμική ζώνη 3)

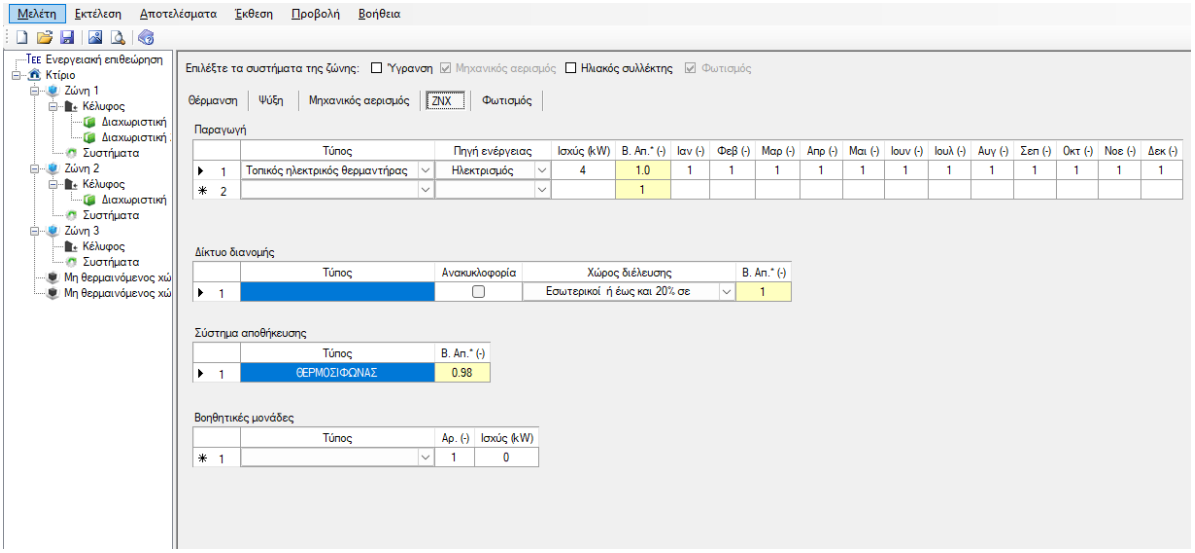
Στην συνέχεια το επόμενο σύστημα οι ιδιότητες του οποίου πρέπει να εισαχθούν στο υπολογιστικό πρόγραμμα είναι το σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ZNX) το οποίο αποτελείται από :

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

Για την πρώτη θερμική ζώνη το σύστημα που εξυπηρετεί τις ανάγκες της θερμικής ζώνης 1 και 2 είναι ένας τοπικός ηλεκτρικός θερμαντήρας ισχύος 4 KW.

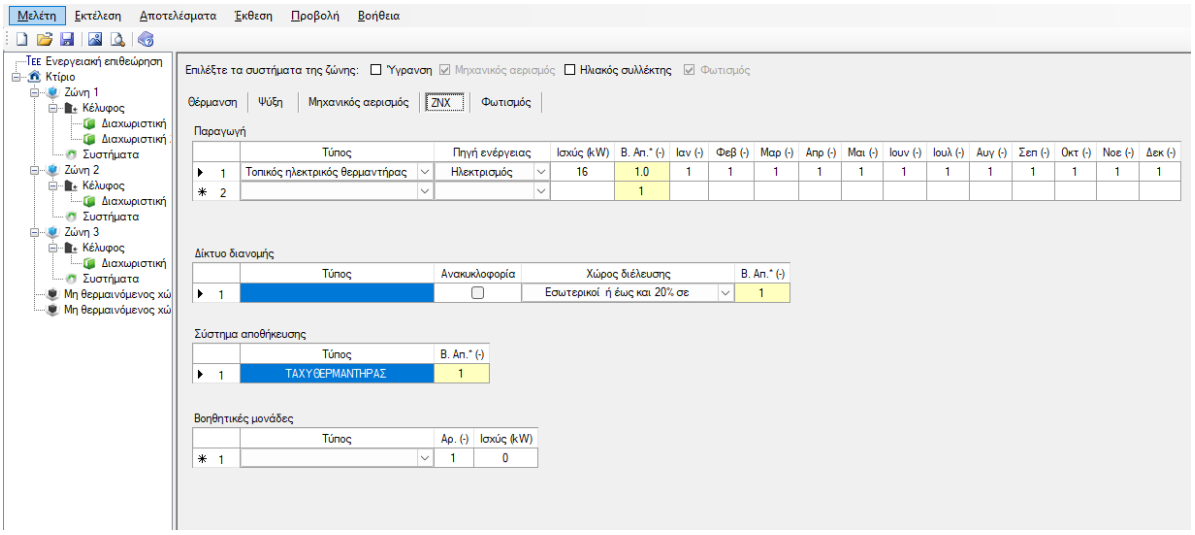


Εικ. 3.20 ZNX θερμικής ζώνης 1



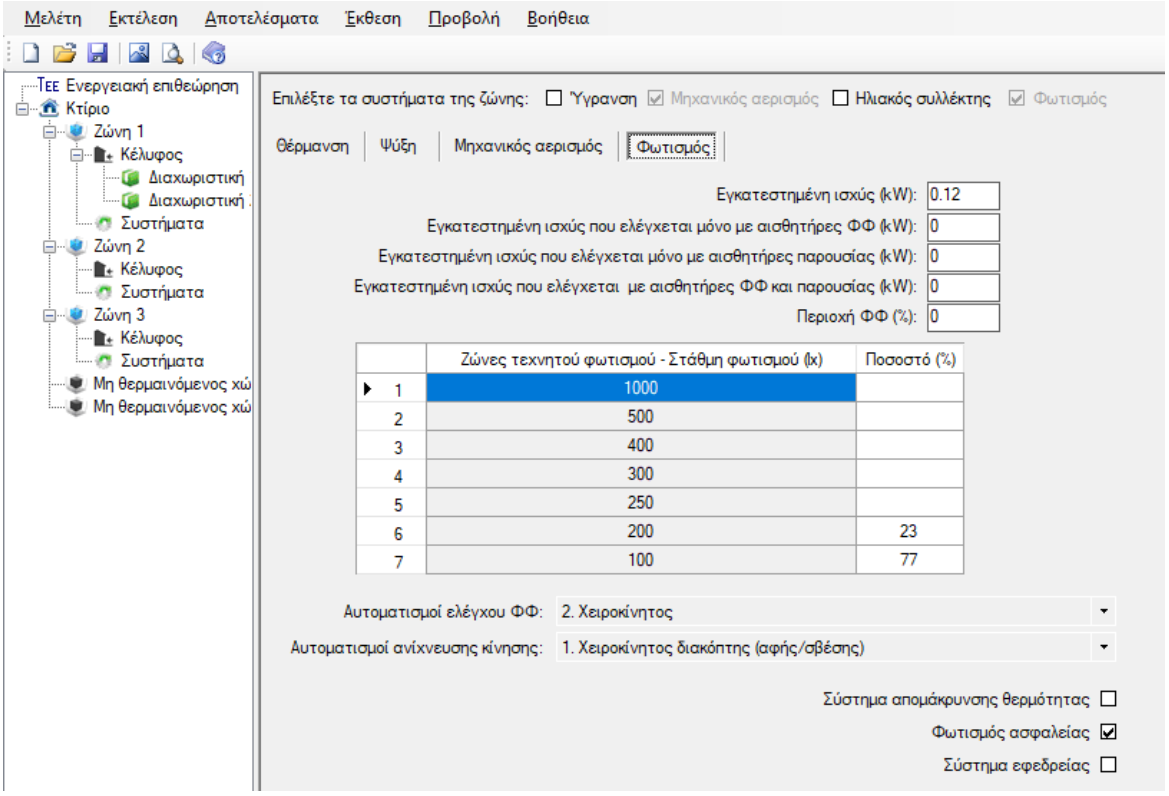
Εικ. 3.21 ZNX θερμικής ζώνης 2

Για την θερμική ζώνη 3 έχει τοποθετηθεί ένας τοπικός ηλεκτρικός θερμαντήρας ισχύος 16 KW.

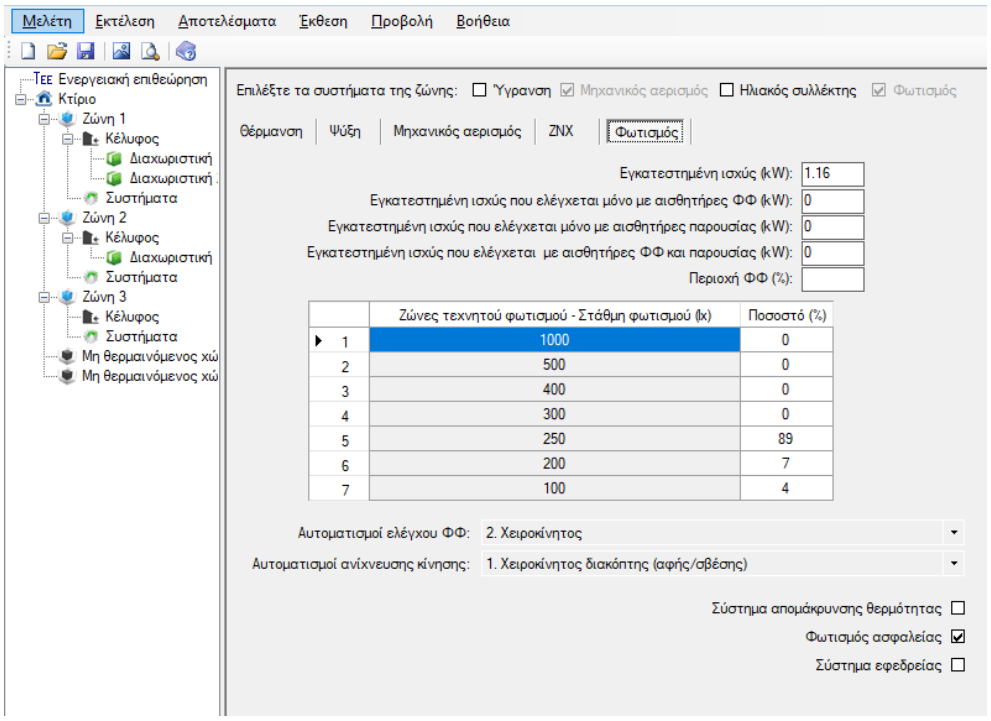


Εικ. 3.22 ZNX θερμικής ζώνης 3

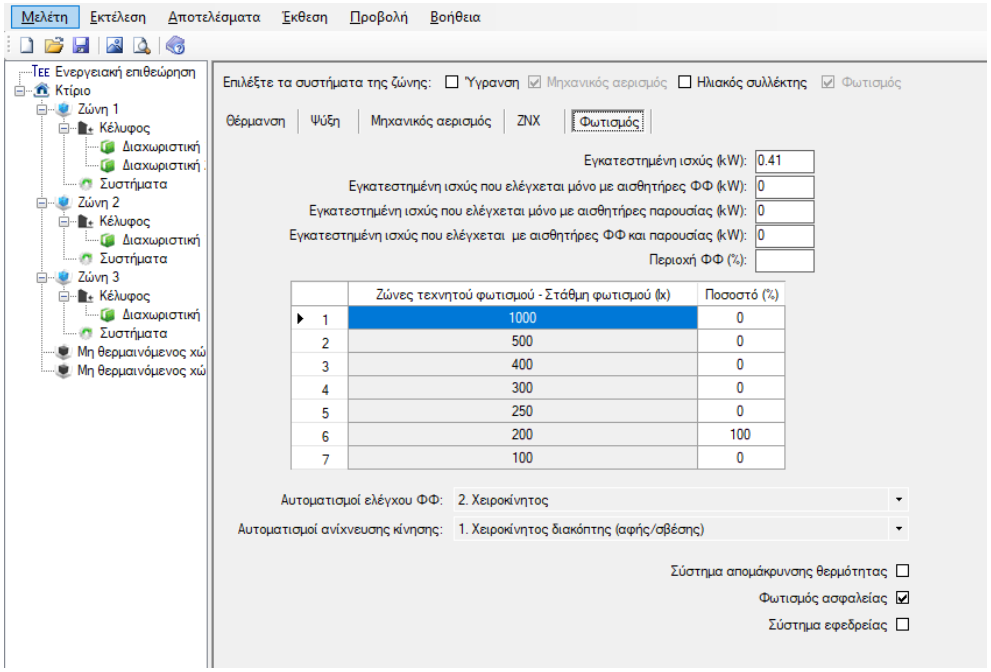
Το σύστημα φωτισμού δεν είναι ενεργό για κτήρια κατοικιών (μονοκατοικίες, πολυκατοικίες) αλλά μόνο για κτήρια τριτογενή τομέα. Λόγω της χρήσης (ξενοδοχείο) στην παρούσα διπλωματική εργασία θα πρέπει να ληφθεί υπόψη. Τα στοιχεία για κάθε θερμική ζώνη φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικ. 3.23 Στοιχεία φωτισμού για θερμική ζώνη 1



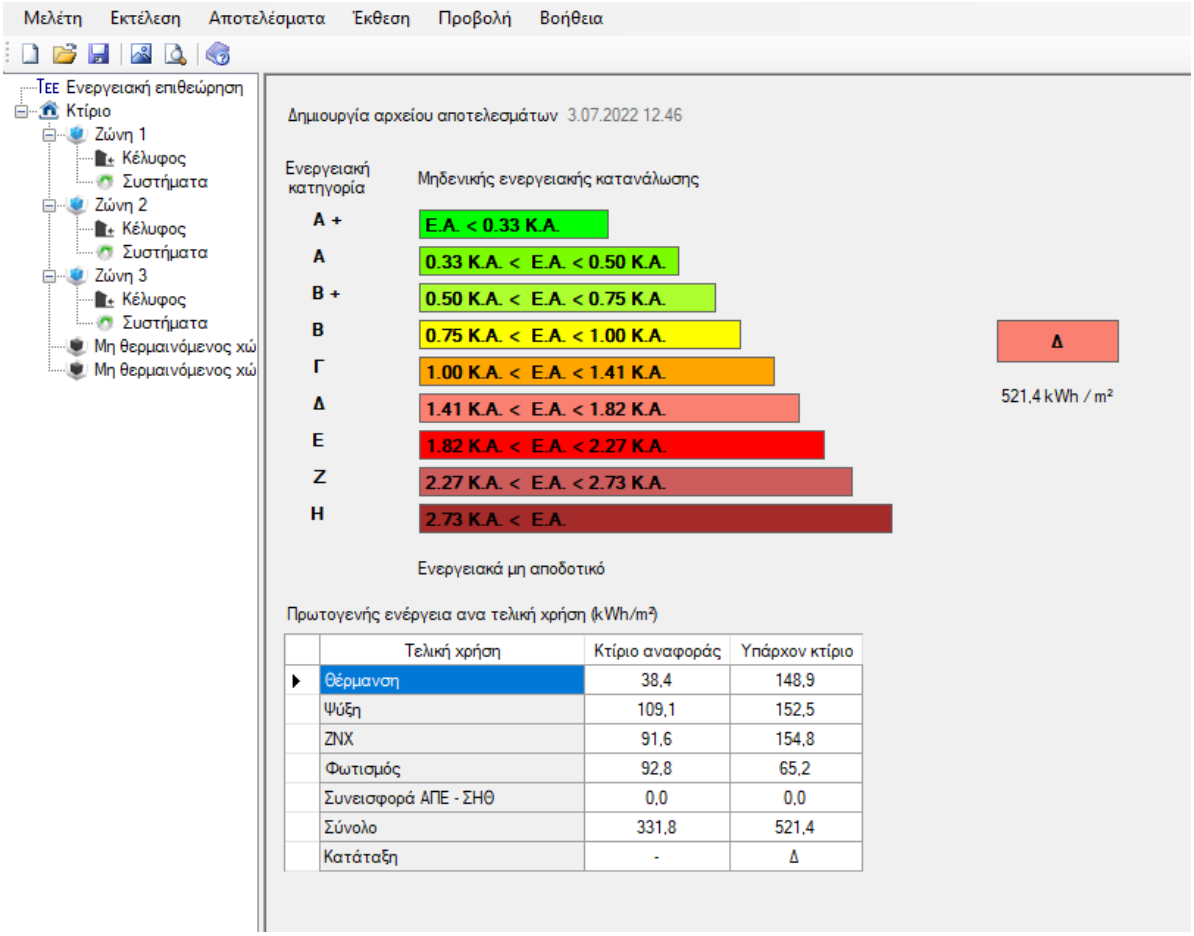
Εικ. 3.24 Στοιχεία φωτισμού για θερμική ζώνη 2



Εικ. 3.25 Στοιχεία φωτισμού για θερμική ζώνη 3

3.2 Ενεργειακή απόδοση υφιστάμενου κτηρίου

Η απόδοση του υφιστάμενου κτηρίου φαίνεται στην κάτωθι εικόνα. Η ενεργειακή κατάταξη είναι Δ και η πρωτογενής ενέργεια ανά τελική χρήση (KWh/m2) είναι 521,4 KWh/m2 σε σχέση με το 331,8 KWh/m2 του κτηρίου αναφοράς.



	Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
▶	Θέρμανση	38,4	148,9
	Ψύξη	109,1	152,5
	ΖΝΧ	91,6	154,8
	Φωτισμός	92,8	65,2
	Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0,0	0,0
	Σύνολο	331,8	521,4
	Κατάταξη	-	Δ

Εικ. 3.26 Ενεργειακή κατάταξη υφιστάμενου κτηρίου.

Πίνακας 3.1 Πρωτογενής ενέργεια ανά τελική χρήση για υφιστάμενο κτήριο

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΗΡΙΟ	
ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΑ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ (Kwh/m2)
ΘΕΡΜΑΝΣΗ	148,9
ΨΥΞΗ	148,8
ΖΝΧ	154,8
ΦΩΤΙΣΜΟΣ	65,2
ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΑΠΕ ΣΗΘ	0
ΣΥΝΟΛΟ	517,7
ΚΑΤΑΤΑΞΗ	**Δ**

3.2.1 Σενάριο 1 – Τοποθέτηση υβριδικού συστήματος αντλίας θερμότητας και λέβητα φυσικού αερίου

Στο πρώτο σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης επιλέγεται μια υβριδική αντλία θερμότητα. Αυτού το είδος η αντλία μπορεί να καθορίζει αυτόματα τον πιο οικονομικό και ενεργειακά αποδοτικό συνδυασμό θέρμανσης.

› Λειτουργία αντλίας θερμότητας:

Η καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία για τη βελτιστοποίηση του κόστους λειτουργίας σε μέτριες εξωτερικές θερμοκρασίες

› Υβριδική λειτουργία:

Τόσο ο λέβητας αερίου όσο και η αντλία θερμότητας λειτουργούν ταυτόχρονα για να προσφέρουν την απόλυτη άνεση.

› Λειτουργία αερίου:

Όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες πέφτουν δραστικά, η μονάδα θα μεταβαίνει αυτόματα στη λειτουργία λειτουργίας αερίου

Για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ο διπλός εναλλάκτης θερμότητας του λέβητα συμπύκνωσης αερίου αυξάνει την απόδοση ζεστού νερού έως και 15% σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς λέβητες αερίου. Για την ψύξη υπάρχει ενσωματωμένη λύση κάλυψης και των ψυκτικών φορτίων για μια συνολική λύση που συνδυάζεται άψογα είτε με ενδοδαπέδια θέρμανση είτε καλοριφέρ.

Καθώς η εσωτερική μονάδα αντλίας θερμότητας και ο λέβητας συμπύκνωσης αερίου παραδίδονται ως ξεχωριστές μονάδες, είναι ευκολότερος ο χειρισμός και η εγκατάσταση τους. Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα σύνδεσης με φωτοβολταϊκά ηλιακά πάνελ για βελτιστοποίηση της ιδιοκατανάλωσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

Ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία, τις τιμές ενέργειας και το εσωτερικό θερμικό φορτίο, η υβριδική αντλία θερμότητας επιλέγει έξυπνα μεταξύ της αντλίας θερμότητας ή/και του λέβητα αερίου, πιθανώς σε ταυτόχρονη λειτουργία, και επιλέγει πάντα τον πιο οικονομικό τρόπο λειτουργίας.

Ο διπλός εναλλάκτης θερμότητας αυξάνει την απόδοση έως και 15% σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς λέβητες αερίου. Το κρύο νερό της βρύσης ρέει απευθείας στον εναλλάκτη θερμότητας. Επίσης υπάρχει βέλτιστη και συνεχής συμπύκνωση των καυσαερίων κατά την προετοιμασία ζεστού νερού οικιακής χρήσης

Συγκεντρωτικά η επιλογή μας βασίζεται στα εξής:

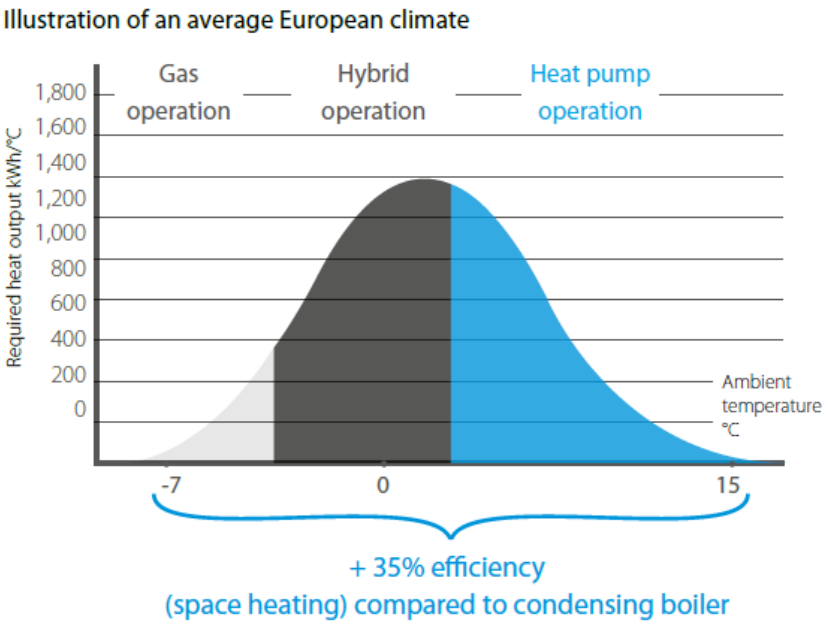
› Χαμηλό κόστος επένδυσης χωρίς ανάγκη αντικατάστασης υπαρχουσών σωληνώσεων και καλοριφέρ

› Χαμηλό κόστος λειτουργίας για θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης

› Συμπαγείς διαστάσεις

› Ιδανικό για εφαρμογές ανακαίνισης

› Εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση



Εικ. 3.27 Διάγραμμα απόδοσης υβριδικής αντλίας θερμότητας για μέσο Ευρωπαϊκό κλίμα

Εικ. 3.28 Υβριδική αντλία θερμότητας και λέβητας φυσικού αερίου Daikin που επιλέχτηκε

Efficiency data					EHYHBH05AV32 + EVLQ05CV3	EHYHBH08AV32 + EVLQ08CV3	EHYHBX08AV3 + EVLQ08CV3
Space heating	Average climate water outlet 55 °C	General	SCOP		3.28	3.24	3.29
			ηs (Seasonal space heating efficiency)	%	128	127	129
			Seasonal space heating eff. class		A++		
Domestic hot water heating	General	Declared load profile			XL		
	Average climate	ηwh (water heating efficiency)		%	83.8		
		Water heating energy efficiency class			A		
Heating capacity	Nom.			kW	4.40(1) / 4.03(2)	7.40(1) / 6.89(2)	7.40(1) / 6.89(2)
Cooling capacity	Nom.			kW	-		6.86(1) / 5.36(2)
Power input	Heating	Nom.		kW	0.870(1) / 1.13(2)	1.66(1) / 2.01(2)	1.66(1) / 2.01(2)
	Cooling	Nom.		kW	-		2.01(1) / 2.34(2)
COP					5.04(1) / 3.58(2)	4.45(1) / 3.42(2)	4.45(1) / 3.42(2)
EER					-		3.42(1) / 2.29(2)

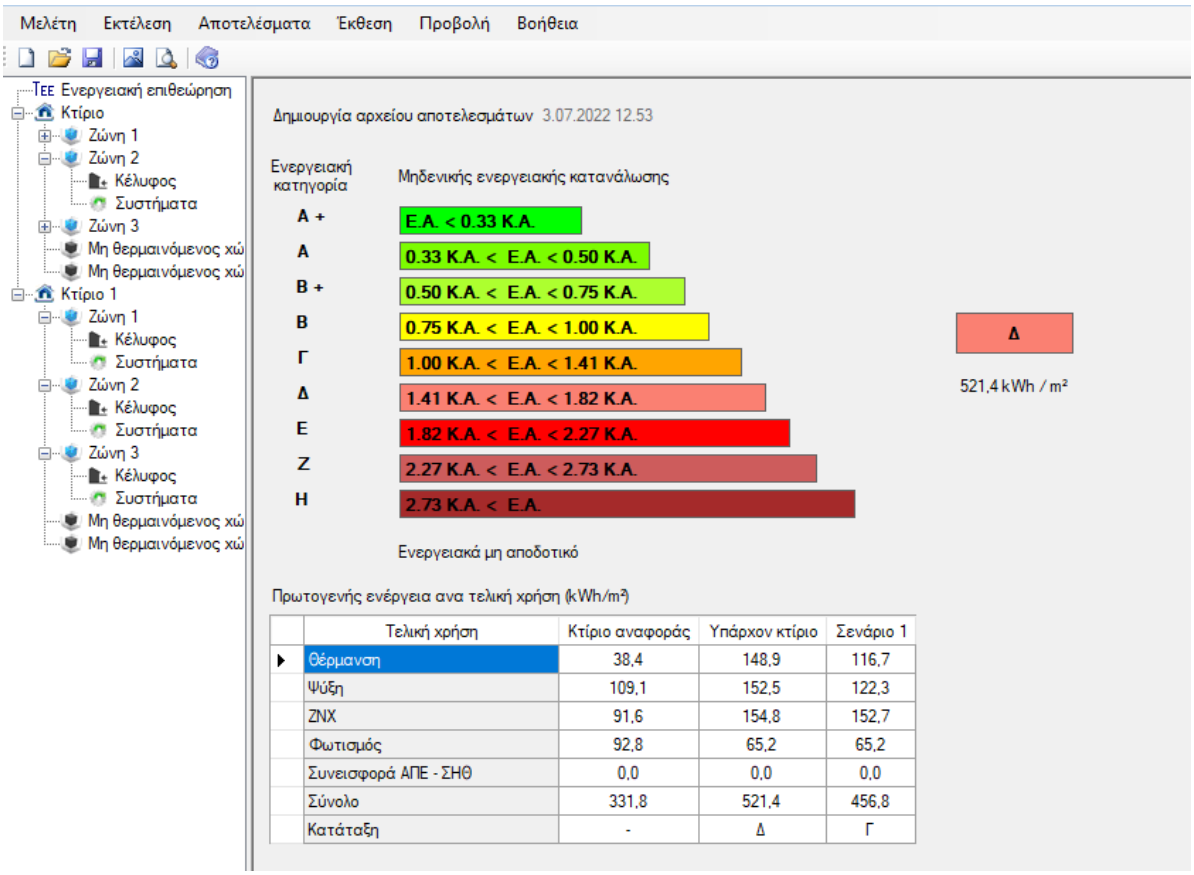
Indoor unit (Hydrobox & Boiler)					EHYHBH05AV32	EHYHBH08AV32	EHYHBX08AV3	EHYKOMB33AA2	EHYKOMB33AA3
Central heating	Rated input (Output calorific value)	Nom	Min/Max	kW	-			6.2 / 7.6 / 7.6 /22.1 / 27.0 / 27.0	
	Output Ta DB/WB °C	Min/Nom		kW	-			6.7 / 8.2 / 8.2 /21.8 / 26.6 / 26.6	
	Efficiency	Net calorific value		%	-			98 / 107	
	Operation range	Min/Max		°C	-			15 /80	
Domestic hot water	Output	Min/Nom		kW	-			7.6/32.7	
	Water flow	Rate	Nom	l/min	-			9.0 / 15.0	
	Operation range	Min/Max		°C	-			40/65	
Gas	Connection	Diameter		mm	-			15	
	Consumption (CH)	Min/Max		m³/h	-			0.78/3.39	
	Consumption (DHW)	Min/Max		m³/h	-			0.90/3.93	
	Consumption (G31)	Min/Max		m³/h	-			0.30/1.29	
Supply air	Connection			mm	-			100	
	Concentric				-			1	
Flue gas	Connection			mm	-			60	
Casing	Colour				White			White - RAL9010	
	Material				Precoated sheet metal			Precoated sheet metal	
Dimensions	Unit	Height x Width x Depth	Casing	mm	902 x 450 x 164			710 x 450 x 240	
Weight	Unit	Empty		kg	30.0	31.2		36	
Power supply	Phase/Frequency/Voltage			Hz/V	-			1~/50/230	
Electrical power consumption	Max.			W	-			55	
	Standby			W	-			2	
Operation range	Heating	Ambient	Min.~Max.	°C	-25~25			-	
		Water side	Min.~Max.	°C	25~55			-	
	Cooling	Ambient	Min.~Max.	°CDB	-/~		10~43	-	
		Water side	Min.~Max.	°C	-/~		5~22	-	

Outdoor unit					EVLQ05CV3	EVLQ08CV3
Dimensions	Unit		Height x Width x Depth	mm	735 x 832 x 307	
Weight	Unit			kg	54	56
Compressor	Quantity				1	
	Type				Hermetically sealed swing compressor	
Operation range	Heating		Min.~Max.	°CWB	-25~25	
Refrigerant	Type				R-410A	
	GWP				2,088	
	Charge			kg	1.5	1.6
	Charge			TCO_2Eq	3.0	3.3
	GWP				2,088	
Sound power level	Heating		Nom.	dBA	61	62
Sound pressure level	Heating		Nom.	dBA	48	49
Power supply	Name/Phase/Frequency/Voltage			Hz/V	V3/1~/50/230	
Current	Recommended fuses			A	16	20

(1) Ta DB/WB 7 °C/6 °C - LWC 35 °C (DT = 5 °C) (2) Condition: Ta DB/WB 7 °C/6 °C - LWC 45 °C (DT=5 °C) (3) Cooling Ta 35 °C - LWE 18 °C (DT = 5 °C); heating Ta DB/WB 7 °C/6 °C - LWC 35 °C (DT = 5 °C).
(4) Cooling Ta 35 °C - LWE 7 °C (DT = 5 °C); heating Ta DB/WB 7 °C/6 °C - LWC 45 °C (DT = 5 °C).
This product contains fluorinated greenhouse gases.

Εικ. 3.29 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας

Εισάγοντας τα δεδομένα για όλες τις θερμικές ζώνες στο υπολογιστικό πρόγραμμα ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα για το κτήριο μελέτης που φαίνονται στην κάτωθι εικόνα 3.30.



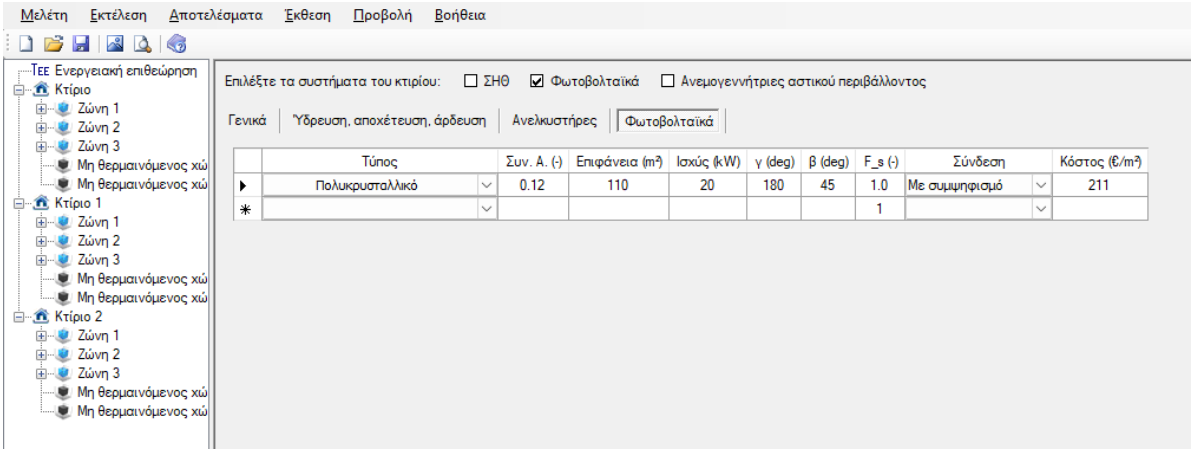
Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Σενάριο 1
Θέρμανση	38,4	148,9	116,7
Ψύξη	109,1	152,5	122,3
ΖΝΧ	91,6	154,8	152,7
Φωτισμός	92,8	65,2	65,2
Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0,0	0,0	0,0
Σύνολο	331,8	521,4	456,8
Κατάταξη	-	Δ	Γ

Εικ. 3.30 Αποτελέσματα για σενάριο Νο1

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

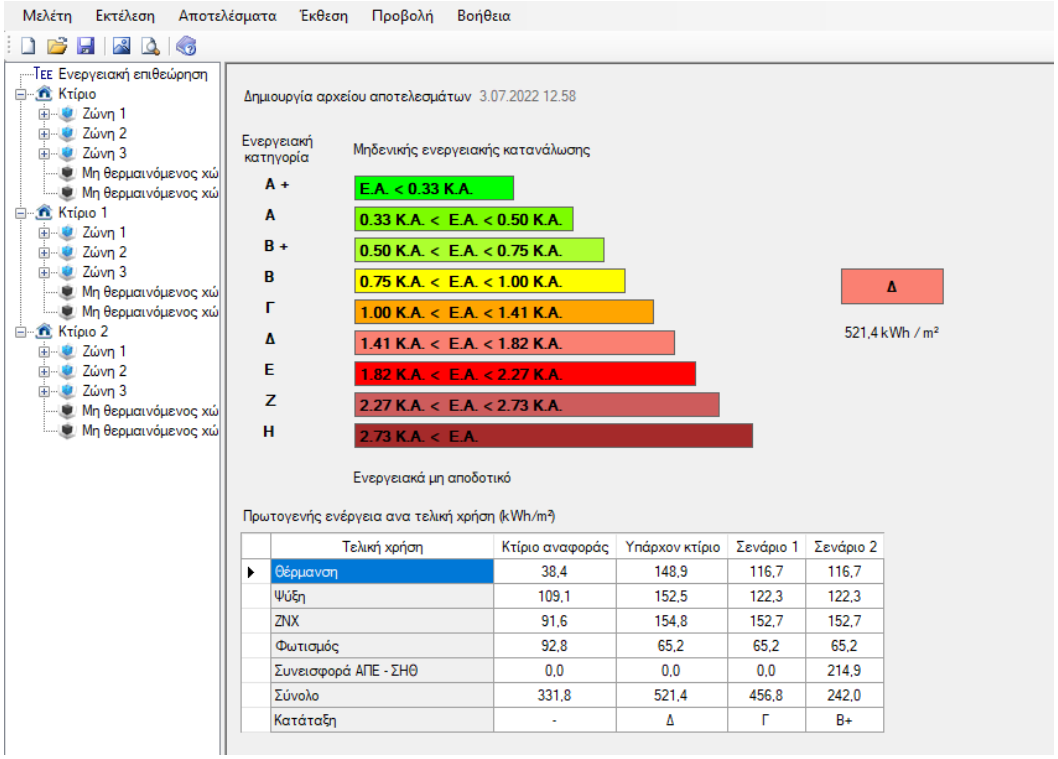
3.2.2 Σενάριο 2 – Τοποθέτηση υβριδικού συστήματος αντλίας θερμότητας - λέβητα φυσικού αερίου και φωτοβολταϊκού συστήματος με συμψηφισμό

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



Εικ. 3.31 Στοιχεία φωτοβολταϊκού συστήματος

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για το σενάριο 2 φαίνονται στην επόμενη εικόνα 3.30



Εικ. 3.32 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 3ο 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 3.33 ενώ η κεντρική αντλία θερμότητας που αφορά την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης φαίνεται στην εικόνα 3.34

Efficiency data					FTXZ + RXZ	25N + 25N	35N + 35N	50N + 50N
Cooling capacity	Min./Nom./Max.				kW	0.6/2.5/3.9	0.6/3.5/5.3	0.6/5.0/5.8
Heating capacity	Min./Nom./Max.				kW	0.6/3.6/7.5	0.6/5.0/9.0	0.6/6.3/9.4
Power input	Cooling		Min./Nom./Max.		kW	0.11/0.41/0.88	0.11/0.66/1.33	0.11/1.10/1.60
	Heating		Min./Nom./Max.		kW	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				dBA	54	57	60
	Heating				dBA	56	57	59
Sound pressure level	Cooling		Silent operation/Low/Nom./High		dBA	19/26/33/38	19/27/35/42	23/30/38/47
	Heating		Silent operation/Low/Nom./High		dBA	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				dBA	59	61	63
	Heating				dBA	59	61	64
Sound pressure level	Cooling		High		dBA	46	48	49
	Heating		High		dBA	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/TCO2Eq		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. 3.33 Τεχνικά χαρακτηριστικά των split units

Εικ. 3.34 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 λύσης είναι:

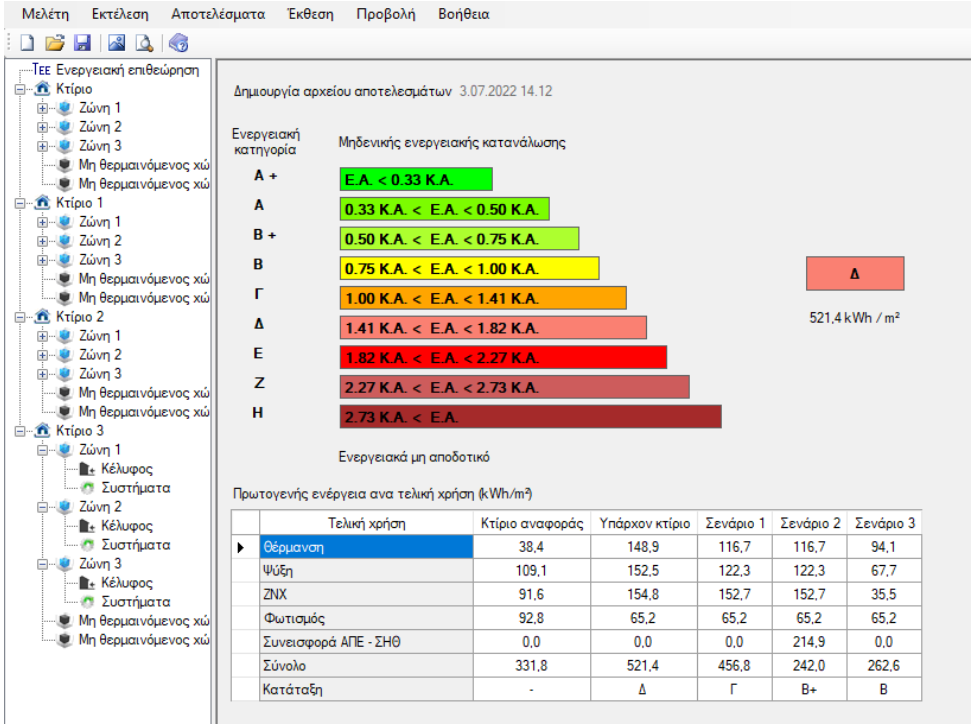
- Η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης κατ' απαίτηση κάτι το οποίο συνεπάγεται σημαίνει φρέσκο νερό ανά πάσα στιγμή
- Ο ελάχιστος όγκος αποθηκευμένου ζεστού νερού χρήσης αποτρέπει τον κίνδυνο μόλυνσης και καθίζησης
- Απουσία ύπαρξης δεξαμενής πίεσης νερού και περιορισμένη πίεση στον εναλλάκτη θερμότητας
- 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
- Ενεργειακής απόδοσης. 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. 3.35 Τοπική αντλία θερμότητας τύπου split για παραγωγή ZNX

Efficiency data				EKHHP + ERWQ	300A2V3 + 02AV3	500A2V3 + 02AV3
Domestic hot water heating	General	Declared load profile			L	XL
	Average climate	ηwh (water heating efficiency)		%	119	124
		Water heating energy efficiency class			A+	
COP					4.30 (1)	
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	
		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_2Eq	2.2	
Sound pressure level	Heating	Nom.		dBA	47	
	Cooling	Nom.		dBA	47	
Power supply	Name/Phase/Frequency/Voltage			Hz/V	V3/1~/50/230	

(1) At 7°C ambient temperature (2) Contains fluorinated greenhouse gases

Εικ. 3.36 Τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλία θερμότητας τύπου split για παραγωγή ZNX



Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Θέρμανση	38,4	148,9	116,7	116,7	94,1
Ψύξη	109,1	152,5	122,3	122,3	67,7
ΖΝΧ	91,6	154,8	152,7	152,7	35,5
Φωτισμός	92,8	65,2	65,2	65,2	65,2
Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0,0	0,0	0,0	214,9	0,0
Σύνολο	331,8	521,4	456,8	242,0	262,6
Κατάταξη	-	Δ	Γ	Β+	Β

Εικ. 3.37 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 n = 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

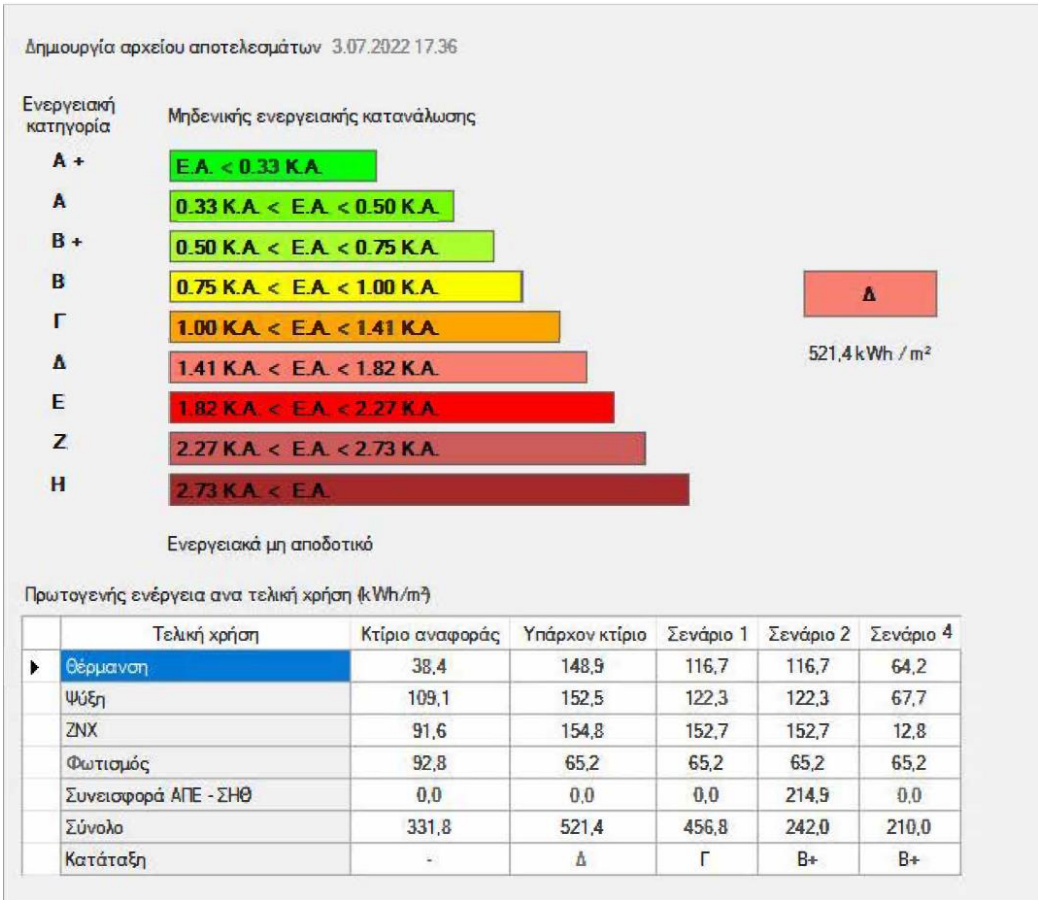
Πίνακας 3.2 Στοιχεία επιλεγμένης μονάδας ΣΗΘ

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. 3.38 Μοντέλο Mephisto G26 της Kraftwerk GmbH



Πρωτογενής ενέργεια ανα τελική χρήση (kWh/m²)

	Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 4
▶	Θέρμανση	38,4	148,9	116,7	116,7	64,2
	Ψύξη	109,1	152,5	122,3	122,3	67,7
	ΖΝΧ	91,6	154,8	152,7	152,7	12,8
	Φωτισμός	92,8	65,2	65,2	65,2	65,2
	Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0,0	0,0	0,0	214,9	0,0
	Σύνολο	331,8	521,4	456,8	242,0	210,0
	Κατάταξη	-	Δ	Γ	B+	B+

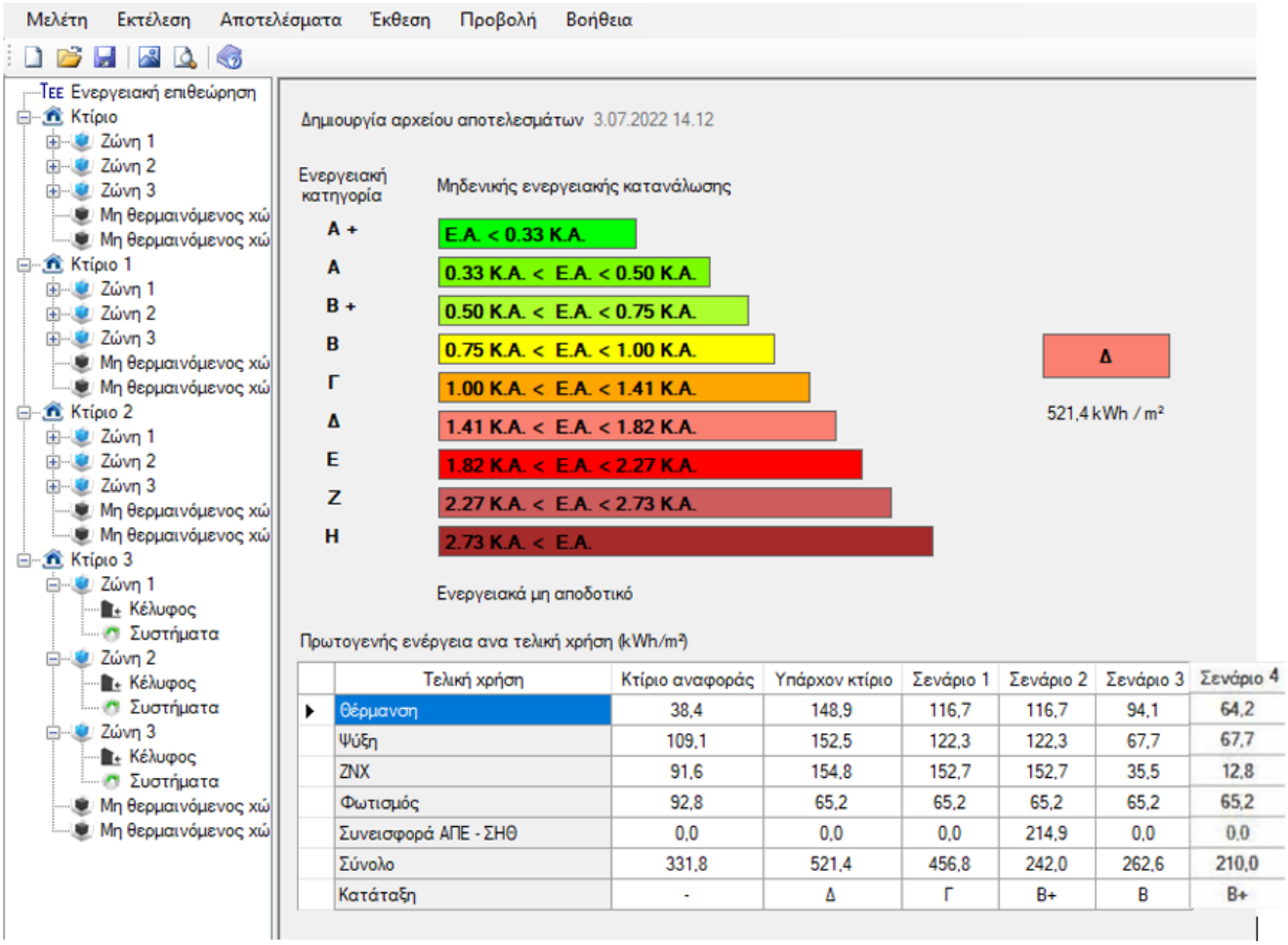
Εικ. 3.39 Αποτελέσματα για σενάριο No4

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.



Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Θέρμανση	38,4	148,9	116,7	116,7	94,1	64,2
Ψύξη	109,1	152,5	122,3	122,3	67,7	67,7
ΖΝΧ	91,6	154,8	152,7	152,7	35,5	12,8
Φωτισμός	92,8	65,2	65,2	65,2	65,2	65,2
Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0,0	0,0	0,0	214,9	0,0	0,0
Σύνολο	331,8	521,4	456,8	242,0	262,6	210,0
Κατάταξη	-	Δ	Γ	B+	B	B+

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 τρία σενάρια λήφθηκαν τιμές κατόπιν έρευνας της εγχώριας αγοράς

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

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ
ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟ1	16.000,00 Ε
ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟ2	39.210,00 Ε
ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟ3	37.863,00 Ε
ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟ4	97.912,00 Ε

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

Κόστη και περίοδος αποπληρωμής

	Εξοικονόμηση και κόστη	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
▶	Λειτουργικό κόστος (€)	6.527,6	9.512,1	8.334,9	4.415,2	4.791,0	3.563,2
	Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			16.000,0	39.210,0	37.863,0	97.912,0
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²)			64,5	279,4	258,8	307,9
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			12,4	53,6	49,6	59,1
	Τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας (€/kWh)			0,8	0,5	0,5	1,0
	Μείωση εκπομπών CO2 (Kg/m²)			22,0	95,4	88,3	117,0
	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)			13,6	7,7	8,0	16,5

Εικ. 4.2 Οικονομοτεχνικά αποτελέσματα λογισμικού ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ

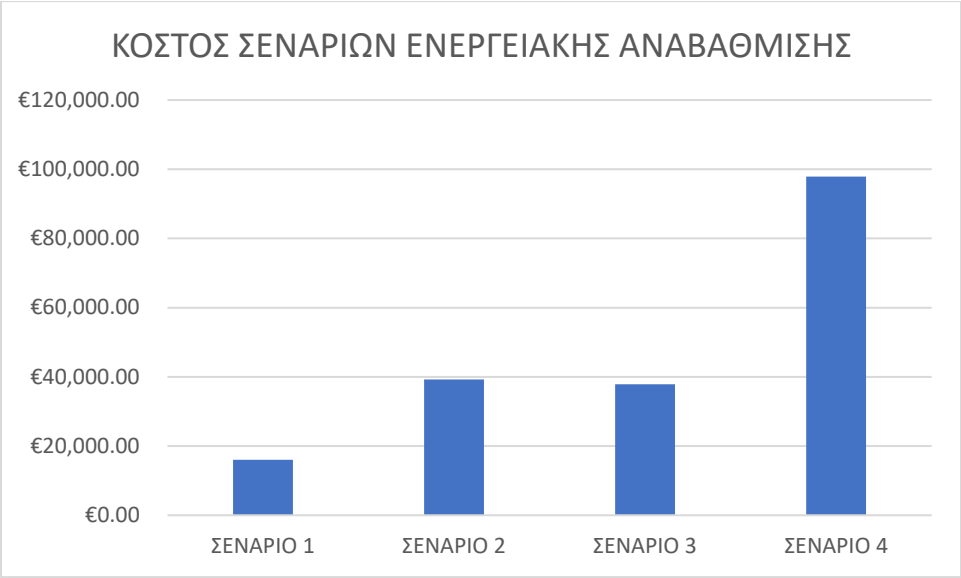
Όπως παρατηρούμε οι χρόνοι αποπληρωμής για τα τέσσερα σενάρια τα οποία δημιουργήθηκαν είναι:

- Σενάριο 1: **13,6 έτη (Κόστος επένδυσης : 16.000,00 Ε)**
- Σενάριο 2: **7,7 έτη (Κόστος επένδυσης : 39.210,00 Ε)**
- Σενάριο 3: **8 έτη (Κόστος επένδυσης : 37.863,00 Ε)**
- Σενάριο 4: **16,5 έτη (Κόστος επένδυσης : 97.912,00 Ε)**

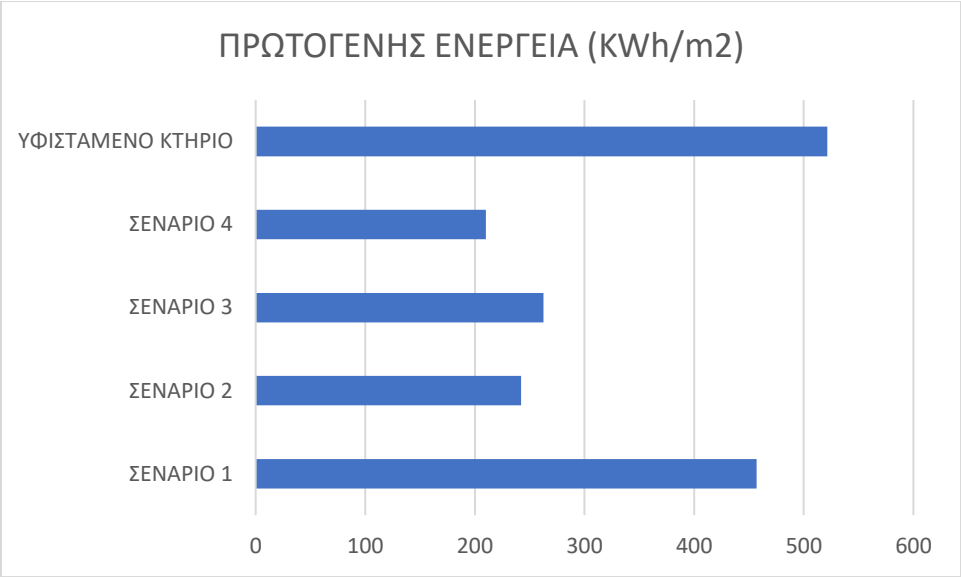
Άρα συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το σύνολο των σεναρίων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 4.2 Συγκριτικά αποτελέσματα συνόλου σεναρίων

Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΟΣΤΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΛΑΣΗ	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ	ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO2
				ΤΙΜΗ KWh/m2	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ		
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	Τοποθέτηση υβριδικού συστήματος αντλίας θερμότητας και λέβητα φυσικού αερίου	16.000,00 €	**Γ**	456,8	-12,38%	13,6	22
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	Τοποθέτηση υβριδικού συστήματος αντλίας θερμότητας - λέβητα φυσικού αερίου και φωτοβολταϊκού συστήματος με συμψηφισμό	39.210,00 €	**Β+**	242	-53,59%	7,7	95,4
ΣΕΝΑΡΙΟ 3	Τοποθέτηση τοπικών αντλιών θερμότητας τύπου split για θέρμανση ψύξη και κεντρικής αντλίας θερμότητας για παραγωγή ΖΝΧ	37.863,00 €	**Β**	262,6	-49,45%	8	88,3
ΣΕΝΑΡΙΟ 4	Τοποθέτηση συστήματος συμπαραγωγής (ΟΤΤΟ) και τοπικών αντλιών τύπου split για ψύξη	97.912,00 €	**Β+**	210	-59,73%	16,5	117
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΗΡΙΟ	-	-	**Δ**	521,4	-	-	-



Διάγραμμα 4.1 Κόστος σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίου



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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{ο}

5.1 Επίλογος - Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αρχικά έγινε μια ανασκόπηση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτηριακό τομέα παγκόσμια αλλά και τον μέτρων που μπορούν να ληφθούν για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων των κτηρίων. Από αυτή την ανασκόπηση μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

(1) Τα κτήρια καταναλώνουν περίπου το 40% της συνολικής χρήσης πρωτογενούς ενέργειας στις ΗΠΑ και την Ε.Ε. και 27,3% στην Κίνα. Η ενεργειακή ένταση του κτηριακού τομέα στην Κίνα είναι πολύ χαμηλότερη από ό,τι στις ΗΠΑ και την Ε.Ε. Η θέρμανση χώρων και η θέρμανση νερού κυριαρχούν στις συνολικές ενεργειακές τελικές χρήσεις των κτηρίων σε όλες αυτές τις περιοχές. Η ηλεκτρική ενέργεια και το φυσικό αέριο είναι οι κύριες πηγές καυσίμου για τη χρήση της ενέργειας των κτηρίων στις ΗΠΑ και την Ε.Ε. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας στον κτηριακό τομέα των ΗΠΑ, με μερίδιο 50,1% της τελικής χρήσης ενέργειας και πάνω από 70% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Στον Ευρωπαϊκό οικιστικό τομέα, το φυσικό αέριο είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο καύσιμο για θέρμανση σε όλες τις περιοχές. Η παραδοσιακή βιομάζα κυριαρχεί στις τελικές ενεργειακές χρήσεις των κτηρίων στην Κίνα με ποσοστό 47,1%, κυρίως λόγω της υψηλής χρήσης για θέρμανση και μαγείρεμα σε αγροτικές περιοχές. Η αλλαγή των τύπων καυσίμων από την παραδοσιακή βιομάζα σε σύγχρονες επιλογές καυσίμων στα κινεζικά αγροτικά κτήρια είναι επιτακτική. Εν ολίγοις, τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας χρήσης ενέργειας των κτηρίων.

(2) Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή έχει σημαντικό αντίκτυπο στις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης των χώρων. Σύμφωνα με ένα υποτιθέμενο σενάριο, η παγκόσμια ζήτηση θέρμανσης κατοικιών θα μειωθεί κατά 34% και η ζήτηση ψύξης θα αυξηθεί κατά 72% τον επόμενο αιώνα. Η συνολική ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση και ψύξη θα αυξηθεί κυρίως στις περιοχές έχουν θερμό κλίμα και στις λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές. Ο προηγμένος σχεδιασμός των κελυφών των κτηρίων μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των φορτίων θέρμανσης και ψύξης κατά 40%. Οι κατάλληλες προσεγγίσεις εξοικονόμησης ενέργειας μπορούν να μετριάσουν τις τάσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη και να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Σε ένα σενάριο υψηλής εξοικονόμησης ενέργειας που ονομάζεται 2DS, η κατανάλωση ενέργειας του κτηριακού τομέα θα αυξηθεί μόνο από 117 EJ σε 130 EJ και οι συνολικές εκπομπές CO2 θα μειωθούν εκπληκτικά από 8,3 Gt σε 2,7 Gt CO2 έως το 2050.

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

Από την ενεργειακή επιθεώρηση που εκπονήθηκε το κτήριο κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία Δ. Με στόχο την αναβάθμιση του κτηρίου ενεργειακά δημιουργήθηκαν τέσσερα (4) πιθανά σενάρια αναβάθμισης.

Το πρώτο σενάριο αφορούσε την αντικατάσταση του υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης και την τοποθέτηση υβριδικού συστήματος αντλίας θερμότητας και λέβητα φυσικού αερίου. Το κόστος για αυτό το σενάριο ήταν 16.000,00 € και με το συγκεκριμένο σενάριο αναβαθμίζεται το κτήριο στην κατηγορία Γ και μειώνεται το λειτουργικό κόστος του κτηρίου από 9.512,1,00 Ε (υφιστάμενο κτήριο) σε 8.334,90 Ε.

Το δεύτερο σενάριο περιελάβανε 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 39.210,00 Ε και

υπήρχε αναβάθμιση του κτηρίου στην κατηγορία B+ . Το κόστος λειτουργίας του κτηρίου μειώθηκε από 9.512,1,00 Ε (υφιστάμενο κτήριο) σε 4.415,20 Ε.

Στην συνέχεια το τρίτο σενάριο προέβλεπε την τοποθέτηση τοπικών αντλιών θερμότητας τύπου split για θέρμανση ψύξη και κεντρικής αντλίας θερμότητας για παραγωγή ΖΝΧ. Το κόστος για την υλοποίηση του σεναρίου ήταν 37.863,00 Ε και υπήρχε αναβάθμιση του κτηρίου στην κατηγορία B. Σε αυτήν την περίπτωση το λειτουργικό κόστος του κτηρίου έφτασε την τιμή των 4.791,00 Ε.

Τέλος το τελευταίο σενάριο αφορούσε την αντικατάσταση του υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης ψύξης και ΖΝΧ με σύστημα συμπαραγωγής (ΟΤΤΟ) και τοπικών αντλιών τύπου split για ψύξη. Το κόστος για την υλοποίηση του σεναρίου ήταν 97.912,00 Ε και υπήρχε αναβάθμιση του κτηρίου στην κατηγορία B+. Το λειτουργικό κόστος του κτηρίου έφτασε την τιμή των 3.562,20 Ε

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 Νο 1, 13,6 έτη, για το σενάριο Νο2 7,7 έτη, για το σενάριο Νο3 8 έτη για την απόσβεση και τέλος για το σενάριο Νο4 16,5 χρόνια.

Συμπερασματικά βλέπουμε πως με αύξηση του κόστους της τάξης των 39.210,00 Ε μπορούμε να επιτύχουμε 53,59% μείωσης της ενεργειακής απαίτησης του κτηρίου και χρόνο αποπληρωμής της επένδυσης 7,7 χρόνια. Άρα οπότε αναλόγως των συνθηκών χρηματοδότησης του έργου γενικά μπορεί να θεωρηθεί αρκετά συμφέρουσα επένδυση η υλοποίηση του σεναρίου Νο2 (υβριδικού συστήματος αντλίας θερμότητας - λέβητα φυσικού αερίου και την 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 andTertiary 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 to2050, 2013 (Available from: http://www.iea.org/etp/buildings/).

[7]. Building energy conservation research center, 2015 annual report onchina building energy efficiency, (2015).

[8]. Building energy conservation research center, 2012 annual report onchina building energy efficiency, in, 2012.

[9]. H. Amecke, J. Deason, A. Hobbs, A. Novikova, Y. Xiu, Z. Shengyuan, Buildingsenergy efficiency in China, Germany, and the United States, Clim. PolicyInitiative (2013).

[10]. M. Caldera, S.P. Corgnati, M. Filippi, Energy demand for space heatingthrough a statistical approach: application to residential buildings, EnergyBuild. 40 (10) (2008) 1972–1983.

[11]. N. Zhou, D. Fridley, N.Z. Khanna, J. Ke, M. McNeil, M. Levine, China’s Energyand Carbon Emissions Outlook to 2050, Ernest Orlando Lawrence BerkeleyNational Laboratory, 2011.

[12]. BPIE, Europe’s Buildings Under the Microscope A Country-by-CountryReview 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, Availablefrom: 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 CriticalLook at the Definition, National Renewable Energy Laboratory andDepartment of Energy, US, 2006.

[15]. E. Recast, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of theCouncil 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 calculationmethodologies, Energy Build. 43 (4) (2011) 971–979.

[18]. I. Sartori, A. Napolitano, A.J. Marszal, S. Pless, P. Torcellini, K. Voss, Criteriafor definition of net zero energy buildings, International Conference on SolarHeating, Cooling and Buildings (EuroSun 2010) (2010).

[19]. S. Deng, R. Wang, Y. Dai, How to evaluate performance of net zero energybuilding – a literature research, Energy 71 (2014) 1–16.

[20]. M. Khan, M. Iqbal, Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systemsfor 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: definitionof common principles under the EPBD, final report prepared for theEuropean Commission, Ecofys March (2013).

[22]. S.B. Sadineni, S. Madala, R.F. Boehm, Passive building energy savings: areview 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 Chineserural 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 insulationproperties 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 dynamicdaylighting 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 inbuildings, Renew. Sustain. Energy Rev. 42 (2015) 323–343.

[27]. E. Gago, T. Muneer, M. Knez, H. Köster, Natural light controls and guides inbuildings. 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, Acomprehensive feasibility study of applying solar energy to design a zeroenergy building for a typical home in Tehran, Energy Build. 72 (2014)329–339.

[29]. M. Santamouris, D. Kolokotsa, Passive cooling dissipation techniques forbuildings 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 incooling demand of buildings using passive cooling systems based onventilation, Appl. Energ. 134 (2014) 426–438.

[31]. T. Schulze, U. Eicker, Controlled natural ventilation for energy efficientbuildings, Energy Build. 56 (2013) 221–232.

[32]. M. Benhammou, B. Draoui, Parametric study on thermal performance ofearth-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 heatexchanger 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 solarthermal shading system: building energy consumption and daylightprovision, 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 numericalanalysis of the energy performance of a large scale intensive green roofsystem installed on an office building in Athens, Energy Build. (2015).

[37]. M. Kenisarin, K. Mahkamov, Passive thermal control in residential buildingsusing 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 ofhot-arid climate, combining phase change materials and night purgeventilation, Renew. Energ. 85 (2016) 725–731.

[39]. M. Zhao, H.M. Künzel, F. Antretter, Parameters influencing the energyperformance of residential buildings in different Chinese climate zones,Energy Build. 96 (2015) 64–75.

[40]. V. Vakiloroaya, B. Samali, A. Fakhar, K. Pishghadam, A review of differentstrategies 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 systemsfor 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 ofthermal energy storage for air conditioning systems, Renew. Sustain. EnergyRev. 16 (8) (2012) 5802–5819.

[43]. P.M. Cuce, S. Riffat, A comprehensive review of heat recovery systems forbuilding applications, Renew. Sustain. Energy Rev. 47 (2015) 665–682.

[44]. A. Mardiana-Idayu, S. Riffat, Review on heat recovery technologies forbuilding 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 inradiant heating and cooling systems for the built environment, Build.Environ. 91 (2015) 166–190.

[46]. A. Binghooth, Z. Zainal, Performance of desiccant dehumidification withhydronic 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 bychilled ceiling and mixed displacement ventilation for energy saving, EnergyBuild. 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 technologicaladvancements 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 indoorclimate 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 conditioningsystem with variable refrigerant flow and variable air volume for energysaving, Int. J. Refrig. 42 (2014) 14–25.

[54]. E. Fabrizio, F. Seguro, M. Filippi, Integrated HVAC and DHW productionsystems 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 theirmarket 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 watersystems 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 integratedcollector storage (ICS) solar water heaters: a review, Renew. Sustain. EnergyRev. 54 (2016) 270–298.

[59]. M.S. Buker, S.B. Riffat, Solar assisted heat pump systems for lowtemperature 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 forelectric lighting in future North European, low energy office buildings: aliterature 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 thecooling 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 simulationstudy on the performance of daylighting in an industrial building and itsenergy 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 electricityconsumption through home appliances in buildings, Renew. Sustain. EnergyRev. 36 (2014) 188–193.

[64]. A. Kavousian, R. Rajagopal, M. Fischer, Ranking appliance energy efficiencyin households: utilizing smart meter data and energy efficiency frontiers toestimate and identify the determinants of appliance energy efficiency inresidential 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. Rezgui, 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¸. Sag˘lam, 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]. 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.

[86]. 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.

[87]. S. Muench, Greenhouse gas mitigation potential of electricity from biomass, J. Clean. Prod. 103 (2015) 483–490.

[88]. 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.

[89]. 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.

[90]. 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.

[91]. 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.

[92]. 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.

[93]. Xiaodong Cao, Xilei Dai, Junjie Liu∗ Building energy-consumption status worldwide and thestate-of-the-art technologies for zero-energy buildings during thepast decade. (2016)