



«Μοντελοποίηση συστημάτων
θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής
ζεστού νερού χρήσης κατοικιών και
αξιολόγηση σε διαφορετικές
κλιματικές συνθήκες»

Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Σωτήριος Καρέλλας, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2021

GEORGIOS VERYKOKKOS

«Modeling of residential heating,
cooling and domestic hot water
systems and evaluation in different
climatic conditions»



SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING

Section: Thermal engineering

Supervisor: Sotirios Karellas, NTUA Professor

Athens 2021

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή και επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας κ. Σωτήριο Καρέλλα που μου εμπιστεύτηκε την ανάθεση και εκπόνηση του συγκεκριμένου θέματος, μέσω του οποίου αποκόμισα πολλαπλές γνώσεις.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Αντώνιο Χαραλαμπίδη για την άψογη συνεργασία μας και την πολύτιμη βοήθειά του παρά το συχνά βεβαρυμμένο πρόγραμμά του, που με τη συνεχή καθοδήγησή του συνέβαλε στο να καταστεί εφικτή η εκπόνηση της εν λόγω εργασίας χωρίς σημαντικές καθυστερήσεις.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα. Τέλος, το μεγαλύτερο «ευχαριστώ» το οφείλω στην οικογένειά μου και προπάντων στους γονείς μου, για τη συνεχή στήριξή τους και βοήθειά τους τόσο στα χρόνια των σπουδών μου όσο και εν γένει στη ζωή μου.

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον Οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας είναι προϊόν δικής μου δουλειάς 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.

Γεώργιος Βερούκοκκος

Περιεχόμενα

Περίληψη	11
Abstract.....	13
Συνοπεύσεις – αρκτικόλεξα	15
Κατάλογος συμβόλων.....	17
1. Εισαγωγή.....	19
1.1 Παγκόσμια ενεργειακή κατάσταση και περιβαλλοντικοί στόχοι	19
1.2 Κύριοι τομείς κατανάλωσης ενέργειας.....	19
1.2.1 Τομείς κατανάλωσης ενέργειας στην Ε.Ε. και στην Ελλάδα.....	19
1.2.2 Κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα.....	20
1.3 Ενεργειακά συστήματα κατοικιών στην Ελλάδα	21
1.3.1 Συστήματα θέρμανσης στην Ελλάδα	21
1.3.2 Συστήματα ψύξης στην Ελλάδα.....	23
1.3.3 Συστήματα Ζ.Ν.Χ. στην Ελλάδα.....	24
1.3.4 Βοηθητικά συστήματα εγκαταστάσεων θέρμανσης, ψύξης και Ζ.Ν.Χ.	25
1.4 Σκοπός και διάρθρωση της εργασίας	26
2. Περιγραφή κτιρίων και συνολικού συστήματος.....	27
2.1 Περιγραφή κτιρίων.....	27
2.2 Περιγραφή συνολικού συστήματος.....	29
2.2.1 Περιγραφή συστήματος θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ.....	29
2.2.2 Περιγραφή συστήματος ψύξης.....	32
2.3 Παραδοχές και κριτήρια λειτουργίας	34
3. Μοντελοποίηση συστήματος στο TRNSYS.....	37
3.1 Εισαγωγή στο TRNSYS	37
3.1.1 Κατασκευή ενός συστήματος στο TRNSYS.....	37
3.1.2 Σειρά προγραμμάτων του πακέτου TRNSYS	38
3.1.3 Μηχανή προσομοίωσης TRNSYS (TRNSYS Simulation Engine).....	38
3.1.4 Γραφικό περιβάλλον απεικόνισης πολυζωνικού κτιρίου (TRNBuild.exe)	38
3.1.5 TRNEdit και TRNSED εφαρμογές.....	38
3.1.6 Στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio)	39
3.2 Μοντέλα συνολικού συστήματος	46
3.2.1 Μοντέλα γενικών λειτουργιών	46
3.2.2 Κοινά μοντέλα συστημάτων θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και ψύξης.....	47
3.2.3 Επιπλέον μοντέλα συστήματος θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ.	50
3.2.4 Επιπλέον μοντέλα συστήματος θέρμανσης.....	52
3.3 Πορεία εργασίας και δημιουργίας του συνολικού συστήματος.....	53
3.3.1 Αρχικά συστήματα Ζ.Ν.Χ.	53
3.3.2 Αρχικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης	55
3.3.3 Τελικό συνολικό σύστημα	57

4.	Περιγραφή χαρακτηριστικών σεναρίων	65
4.1	Γενικά χαρακτηριστικά σεναρίων	65
4.2	Χαρακτηριστικά σεναρίων για σύστημα Ζ.Ν.Χ.	68
4.3	Χαρακτηριστικά σεναρίων για σύστημα θέρμανσης.....	68
4.4	Χαρακτηριστικά σεναρίων για σύστημα ψύξης.....	78
5.	Αποτελέσματα προσομοιώσεων.....	87
5.1	Αποτελέσματα παραμετρικής μελέτης	87
5.1.1	Παραμετρική μελέτη διαστασιολόγησης λέβητα	87
5.1.2	Παραμετρική μελέτη του όγκου του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού	88
5.2	Αποτελέσματα για Νάξο (κλιματική ζώνη Α)	94
5.2.1	Διαγράμματα ετήσιας συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Νάξο	94
5.2.2	Διαγράμματα συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Νάξο και χαρακτηριστικές ημέρες του έτους	104
5.2.3	Συνολικές ετήσιες καταναλώσεις για Νάξο	119
5.3	Αποτελέσματα για Αθήνα (κλιματική ζώνη Β)	121
5.3.1	Διαγράμματα ετήσιας συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Αθήνα	122
5.3.2	Διαγράμματα συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Αθήνα και χαρακτηριστικές ημέρες του έτους	128
5.3.3	Συνολικές ετήσιες καταναλώσεις για Αθήνα	135
5.4	Αποτελέσματα για Καστοριά (κλιματική ζώνη Δ)	137
5.4.1	Διαγράμματα ετήσιας συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Καστοριά	137
5.4.2	Διαγράμματα συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Καστοριά και χαρακτηριστικές ημέρες του έτους	144
5.4.3	Συνολικές ετήσιες καταναλώσεις για Καστοριά	151
5.5	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	153
5.5.1	Συγκεντρωτικές ετήσιες καταναλώσεις	153
5.5.2	Κατάταξη κατοικιών σε ενεργειακή κλάση.....	157
6.	Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική εργασία.....	161
6.1	Συμπεράσματα	161
6.2	Προτάσεις για μελλοντική εργασία	162
7.	Κατάλογος Σχημάτων	165
8.	Κατάλογος Πινάκων	175
9.	Κατάλογος Αναφορών.....	179
	Παράρτημα Ι: Διαγράμματα συμπεριφοράς συστήματος χαρακτηριστικών ημερών	183
	Παράρτημα ΙΙ: Διαγράμματα ετήσιας συμπεριφοράς συστήματος για τρεις ακόμα χαρακτηριστικές περιπτώσεις	191

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη μοντελοποίηση, με τη βοήθεια του λογισμικού TRNSYS, συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.) μονοκατοικιών για διαφορετικές περιπτώσεις θερμαινόμενης επιφάνειας και τοποθεσίας. Συγκεκριμένα εξετάζονται κτίρια θερμαινόμενης επιφάνειας 100 m², 200 m² και 300 m² αντίστοιχα στις περιοχές της Νάξου, της Αθήνας και της Καστοριάς και για τρία διαφορετικά σενάρια.

Τα βασικά μέρη του συνολικού συστήματος αποτελούν οι ηλιακοί συλλέκτες τεχνολογίας κενού, ένας λέβητας φυσικού αερίου, ένας αερόψυκτος ψύκτης μηχανικής συμπίεσης ατμού, καλοριφέρ – θερμαντικά σώματα, μονάδες fan – coil και ένα δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού. Οι διαφορές των σεναρίων είναι ότι το πρώτο και το τρίτο σενάριο, αντίθετα από το δεύτερο, διαθέτουν και δοχείο αποθήκευσης νερού για την ψύξη, ενώ στο τρίτο σενάριο χρησιμοποιείται διπλάσια συνολική επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών από τα άλλα και λέβητας με μικρότερη ονομαστική ισχύ.

Αφού γίνει αναλυτική περιγραφή των κτιρίων και των επιμέρους συστημάτων, ακολουθεί η παρουσίαση των βασικών στοιχείων και λειτουργιών του προγράμματος TRNSYS, των σταδίων που οδήγησαν στη μοντελοποίηση των τελικών συστημάτων, καθώς και της μεταβολής των χαρακτηριστικών τους ανά περίπτωση. Έπειτα, απεικονίζεται η συμπεριφορά του συνολικού συστήματος σε χρονικό ορίζοντα ενός έτους και χαρακτηριστικών ημερών και παρατίθενται οι ετήσιες τελικές καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας του συστήματος ανά περίπτωση.

Η μελέτη καταλήγει στη σημαντική επίδραση της τοποθεσίας, της θερμαινόμενης επιφάνειας της κατοικίας, αλλά και του σεναρίου στις τελικές καταναλώσεις. Αποδεικνύεται ότι η μη χρήση δοχείου αποθήκευσης κρύου νερού αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη από 192 έως 365 %, ενώ η αύξηση της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών οδηγεί σε περισσότερη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και παραγωγή Ζ.Ν.Χ., έως και 45 %. Τέλος, καταδεικνύεται ότι πιο ενεργοβόρα είναι τα κτίρια στην Καστοριά, λόγω των υψηλών αναγκών για θέρμανση, ενώ ως προς το εμβαδόν των κατοικιών οι κατοικίες των 300 m² καταναλώνουν έως και 29 % λιγότερη πρωτογενή ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας.

Abstract

This diploma thesis deals with the modeling, through TRNSYS software, of heating, cooling and domestic hot water (DHW) systems of single-family houses for different cases of conditioned area and location. In particular, buildings of 100 m², 200 m² and 300 m² of conditioned area in the locations of Naxos, Athens and Kastoria are examined for three different scenarios.

The main parts of the overall system are the evacuated tube solar collectors, a natural gas boiler, a vapor compression air – cooled chiller, radiators, fan – coil units and a hot water storage tank. The scenarios differ in the fact that the first and third scenarios also have a water storage tank for cooling, in contrast to the second one. Furthermore, in the third scenario the total surface area of solar collectors is twice as much as in the other scenarios and a boiler with a lower rated power is used.

A detailed description of the buildings and the individual systems is followed by the presentation of the basic elements and functions of the TRNSYS software, the stages that led to the modelling of the final systems, as well as the change in their characteristics on a case-by-case basis. Afterwards the behavior of the total system over a time horizon of one year and characteristic days are depicted and the annual final consumptions of primary energy of the system on a case-by-case basis are listed.

The project concludes with the significant impact of the location, the heated area of the house and the scenario on the final consumptions. It turns out that without the use of a chilled water tank 192 to 365 % more energy is consumed for cooling, while a higher solar collectors area leads to a higher energy consumption for heating and DHW production up to 45 %. Finally, it is shown that buildings in Kastoria are more energy-intensive, due to the high needs for heating, while in terms of the house areas, the houses of 300 m² consume less primary energy per unit of area down to 29 %.

Συντομεύσεις – αρκτικόλεξα

A.Π.Ε.: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
Δ.Ε.Η.: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
Ε.Ε.: Ευρωπαϊκή Ένωση
Ε.Μ.Π.: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ζ.Ν.Χ.: Ζεστό Νερό Χρήσης
Η/Μ: Ηλεκτρομηχανολογικός
Ι.Ε.Ν.Ε.: Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης
Ι.Ο.Β.Ε.: Ίδρυμα Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών
Κ.Α.Π.Ε.: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
Σ.Η.Θ.: Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας
Τ.Ε.Ε.: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.: Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας
COP: Coefficient of Performance
DHW: Domestic Hot Water
DLL: Dynamic Link Library
HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning
IEA: International Energy Agency
NREL: National Renewable Energy Laboratory
NTUA: National Technical University of Athens
ORC: Organic Rankine Cycle
PID: Proportional Integral Derivative
TESS: Thermal Energy System Specialists
TRNSYS: Transient Systems Simulation Program

Κατάλογος συμβόλων

Δp : πτώση πίεσης

Δt : χρονικό βήμα

η : βαθμός απόδοσης

ρ : πυκνότητα

ρ_{air} : πυκνότητα αέρα

$c_{p, air}$: θερμοχωρητικότητα του αέρα

c_p : θερμοχωρητικότητα

COP: Coefficient of Performance

\dot{m} : παροχή μάζας

M_{DHW} : παροχή μάζας Ζ.Ν.Χ.

M_{hot} : παροχή μάζας θερμού ρεύματος

M_{mains} : παροχή μάζας νερού δικτύου

PLR: Part Load Ratio

q : θερμότητα

Q : παροχή όγκου

\dot{Q}_{boiler} : ισχύς λέβητα

$\dot{Q}_{boiler, rated}$: ονομαστική ισχύς λέβητα

$\dot{Q}_{chiller}$: ισχύς ψύκτη

$\dot{Q}_{chiller, rated}$: ονομαστική ισχύς ψύκτη

T_{DHW} : Πραγματική θερμοκρασία Ζ.Ν.Χ.

T_{hot} : Θερμοκρασία θερμού ρεύματος

T_{in} : Θερμοκρασία εισόδου

T_{mains} : Θερμοκρασία νερού του δικτύου

T_{out} : Θερμοκρασία εξόδου

$T_{set, DHW}$: Επιθυμητή θερμοκρασία Ζ.Ν.Χ.

$T_{set, boiler}$: Επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου από λέβητα

$T_{set, chiller}$: Επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου από ψύκτη

U : συντελεστής θερμοπερατότητας

V : όγκος

1. Εισαγωγή

1.1 Παγκόσμια ενεργειακή κατάσταση και περιβαλλοντικοί στόχοι

Τα τελευταία χρόνια η συνεχής προσπάθεια για βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου έχει ως άμεση συνέπεια την τεράστια αύξηση κατανάλωσης ενέργειας. Η χρήση ορυκτών – κυρίως μη ανανεώσιμων – καυσίμων για την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών έχει ως άμεσο επακόλουθο την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής – εκδηλώσεις της οποίας γίνονται εμφανείς σε μεγάλη κλίμακα τους τελευταίους μήνες – και την ταχύτατη αύξηση των εκπομπών CO₂ [1]. Ενδεικτικά, το 2020 η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα ήταν κατά 48 % υψηλότερη από το προβιομηχανικό της επίπεδο (πριν από το 1750), ενώ η περίοδος 2011 – 2020 ήταν η θερμότερη δεκαετία που έχει καταγραφεί, με τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία το 2019 να ξεπερνά τα προβιομηχανικά επίπεδα κατά 1.1 °C και την ανθρωπογενή υπερθέρμανση του πλανήτη να αυξάνεται πλέον με ρυθμό 0.2 °C ανά δεκαετία [2]. Στο πλαίσιο αυτό κρίνεται απαραίτητη η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ενδεικτικοί αυτής της προσπάθειας είναι οι στόχοι που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) με ορίζοντες τα έτη 2020, 2030 και 2050 [3], [4], οι οποίοι φαίνονται περιληπτικά στον **Πίνακα 1**. Για την επίτευξη τους είναι απαραίτητη η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα κάθε χώρας, καθώς και η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας στους ενεργοβόρους τομείς κάθε χώρας.

Πίνακας 1: Στόχοι Ε.Ε. για τα έτη 2020, 2030 και 2050 [3], [4]

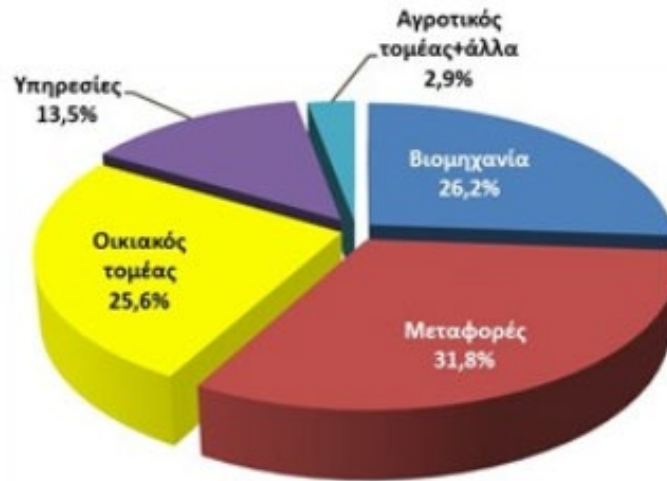
Στόχος	Έτος		
	2020	2030	2050
Μείωση εκπομπών αερίου θερμοκηπίου συγκριτικά με 1990 (%)	20	40	80 - 95
Μερίδιο των Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας (%)	20	32	-
Βελτίωση ενεργειακής αποδοτικότητας (%)	20	32.5	-

1.2 Κύριοι τομείς κατανάλωσης ενέργειας

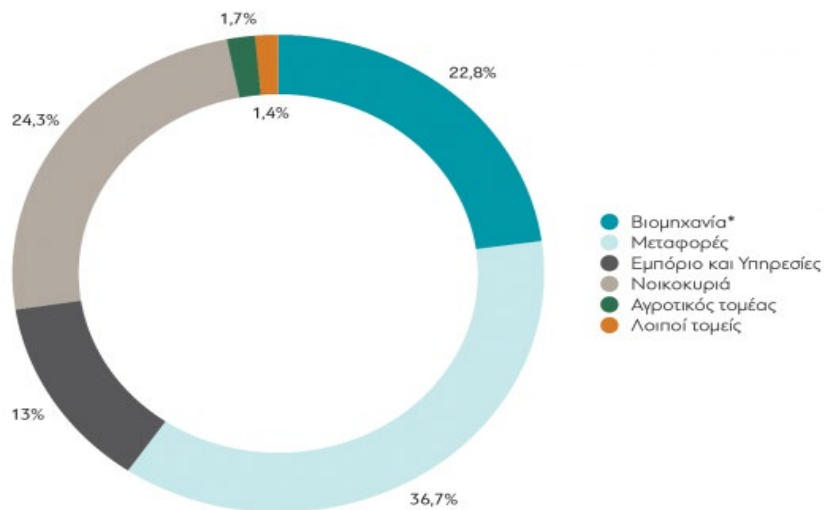
1.2.1 Τομείς κατανάλωσης ενέργειας στην Ε.Ε. και στην Ελλάδα

Οι κυριότεροι τομείς κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως είναι ο βιομηχανικός τομέας, οι μεταφορές, ο κτιριακός (οικιακός και τριτογενής τομέας) τομέας και ο αγροτικός τομέας. Ενδεικτικά, σύμφωνα με το International Energy Agency (IEA), το 2014 παρήχθησαν παγκοσμίως 13699 Mtoe ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού, ενώ η τελική κατανάλωση ήταν μόλις 9425 Mtoe (μείωση 40 % λόγω απωλειών κατά τη μεταφορά, διανομή και αποθήκευση) [5]. Σε μικρότερη κλίμακα, στο **Σχήμα 1** και στο

Σχήμα 2 φαίνεται η ποσοστιαία τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ε.Ε. το 2014 και στην Ελλάδα το 2018 αντίστοιχα, από όπου προκύπτει ότι ο οικιακός τομέας ευθύνεται για το 25.6 % και το 24.3 % της συνολικής τελικής κατανάλωσης στην Ε.Ε. και στην Ελλάδα αντίστοιχα.



Σχήμα 1: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ε.Ε. (πηγή : Eurostat, 2014) [6]



Σχήμα 2: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ελλάδα (πηγή : Eurostat, ανάλυση IOBE 2018) [7]

1.2.2 Κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα

Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2**, ο κτιριακός τομέας (οικιακός τομέας και εμπόριο – υπηρεσίες) καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό ενεργειακής κατανάλωσης στην Ελλάδα (37.3 %). Οπότε, καθώς υπάρχουν και πολλοί τρόποι παροχής ενέργειας σε ένα

κτίριο, άρα και περιθώρια βελτίωσης, κρίνεται αναγκαία η μελέτη για εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτόν τον τομέα και δη στον οικιακό τομέα που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του. Πιο συγκεκριμένα, στο **Σχήμα 3** παρουσιάζεται η ποσοστιαία τελική κατανάλωση ενέργειας στον Ελληνικό οικιακό τομέα, σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (2012).



Σχήμα 3: Τελική κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα (πηγή : Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, 2012) [8]

Από το **Σχήμα 3** φαίνεται ότι το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας των κατοικιών καταναλώνεται στη θέρμανση των χώρων (63.8 %) , ενώ τα αμέσως μεγαλύτερα είναι το μαγείρεμα (17.3 %), οι ηλεκτρικές συσκευές (10.2 %) και η παραγωγή ΖΝΧ (5.7 %). Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που παρατηρούνται κατά το καλοκαίρι και των χαμηλών θερμοκρασιών του χειμώνα, καθώς και ανάλογα με την περιοχή και την κλιματική ζώνη που βρίσκεται η κατοικία, τα παραπάνω ποσοστά είναι λογικό να μεταβάλλονται. Επομένως, με την αξιοποίηση και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι προσπάθειες εξοικονόμησης πρέπει να επικεντρωθούν στη θέρμανση των χώρων, την παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και στον ηλεκτρομηχανολογικό (Η/Μ) εξοπλισμό, που είναι απαραίτητο να καταναλώνει τη λιγότερη δυνατή ενέργεια. Άρα, κρίνεται αναγκαία η κατάλληλη επιλογή και διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ΖΝΧ στην εκάστοτε περίπτωση.

1.3 Ενεργειακά συστήματα κατοικιών στην Ελλάδα

1.3.1 Συστήματα θέρμανσης στην Ελλάδα

Τα περισσότερο διαδεδομένα συστήματα θέρμανσης χώρων που εφαρμόζονται στα ελληνικά κτίρια είναι λέβητες θερμού νερού, πετρελαίου, αερίου - όπου ως «αέριο

καύσιμο» νοείται κάθε καύσιμο που βρίσκεται σε αέρια κατάσταση σε θερμοκρασία 15 °C και πίεση 1 bar (π.χ. φυσικό αέριο, υγραέριο) - ή ηλεκτρικοί (σε μικρές εγκαταστάσεις) και λέβητες βιομάζας. Εκτός από το καύσιμο που καταναλώνουν, οι λέβητες διαχωρίζονται βάσει της τεχνολογίας που χρησιμοποιούν σε συμβατικούς (Σχήμα 4) και λέβητες συμπύκνωσης, μια τεχνολογία που έγκειται στη συμπύκνωση των υδρατμών του καυσαερίου μέσω της ψύξης του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αξιοποίηση της θερμότητας συμπύκνωσης μέσω του κυκλώματος θέρμανσης, την εξοικονόμηση ενέργειας και τους υψηλότερους βαθμούς απόδοσης [9]. Αξιοσημείωτο είναι πως οι πραγματικοί βαθμοί απόδοσης των λεβήτων διαφέρουν από τους ονομαστικούς, καθώς η μεταβολή των εξωτερικών συνθηκών περιβάλλοντος σε ωριαία και ημερήσια βάση οδηγεί στη λειτουργία τους σε συνθήκες μερικού φορτίου για το μεγαλύτερο διάστημα θέρμανσης.



Σχήμα 4: Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου [10]

Επίσης, αρκετά σημαντικό είναι και το ποσοστό των κτιρίων (κυρίως κατοικιών), που χρησιμοποιούν ηλεκτρικές μονάδες για τη θέρμανση των χώρων (ηλεκτρικά σώματα διαφόρων τύπων, άμεσης απόδοσης ή θερμοσυσσώρευσης κ.ά.) (Σχήμα 5) με βαθμούς απόδοσης 100 % (εκτός της περίπτωσης που υπάρχουν σημαντικές φθορές).

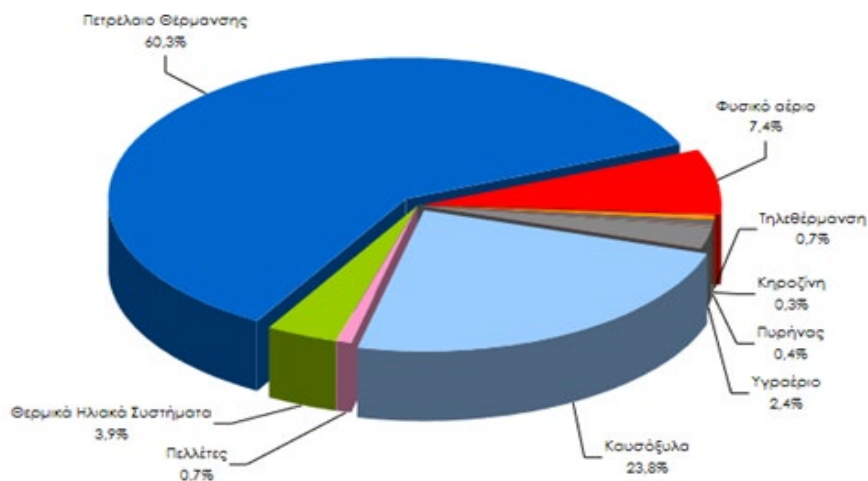


Σχήμα 5: Ηλεκτρικός θερμοπομπός (convector) [11]

Σε μικρότερο ποσοστό και κυρίως σε κτίρια του τριτογενούς τομέα (όπου απαιτείται και ψύξη), οι μονάδες παραγωγής θερμότητας είναι ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας νερού ή άμεσης εξάτμισης, οι αποδόσεις των οποίων εξαρτώνται και από την πηγή θερμότητας που αξιοποιείται για τη λειτουργία τους (αέρας, έδαφος, υπόγεια & επιφανειακά νερά, καυσάερια κινητήρων (π.χ. Σ.Η.Θ.), ηλιακή ενέργεια κ.ά.). Σε λίγες περιπτώσεις γίνεται χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. ηλιακών συλλεκτών, γεωθερμίας).

Τέλος, σε πολύ περιορισμένη κλίμακα στα ελληνικά κτίρια εφαρμόζονται συστήματα τηλεθέρμανσης (κοντά σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής της Δ.Ε.Η.) με αποδόσεις που εξαρτώνται κυρίως από τους εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούνται ή/και συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας / ψύξης (Σ.Η.Θ.) με μέτριους προς υψηλούς συνολικούς βαθμούς απόδοσης [12].

Στο **Σχήμα 6** παρουσιάζεται η μέση ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα τη χρονιά 2011 – 2012, από όπου φαίνεται ότι το πετρέλαιο θέρμανσης χρησιμοποιήθηκε για το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό (60.3 %) της ετήσιας παραγωγής και κατανάλωσης θερμικής ενέργειας.

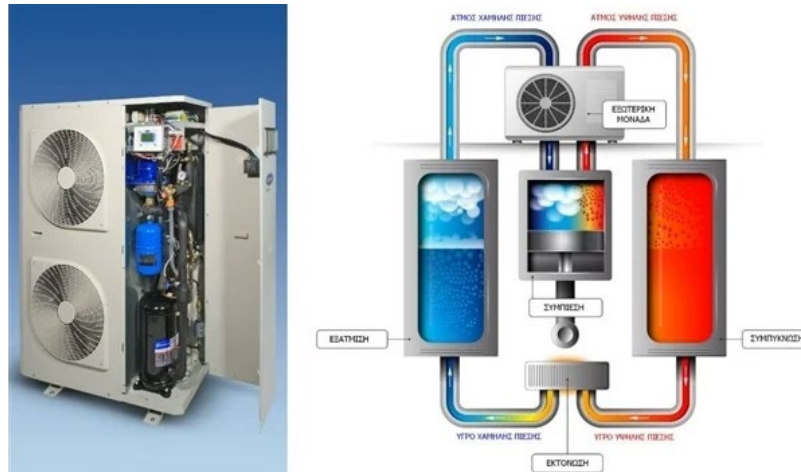


Σχήμα 6: Ποσοστιαία κατανομή κατανάλωσης θερμικής ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στην Ελλάδα (2011 – 2012) [13]

1.3.2 Συστήματα ψύξης στην Ελλάδα

Οι μονάδες παραγωγής ψύξης που εφαρμόζονται στα ελληνικά κτίρια είναι κατά κανόνα ψύκτες ή αντλίες θερμότητας με χρήση κυρίως ηλεκτρικής ενέργειας και σπανιότερα με απευθείας πρόσδοση μηχανικής ενέργειας με τη χρήση κινητήρων (π.χ. μηχανές εσωτερικής καύσης) που καταναλώνουν φυσικό αέριο ή άλλο συμβατικό καύσιμο. Στα κτίρια κατοικιών χρησιμοποιούνται συνήθως τοπικά συστήματα αντλιών θερμότητας άμεσης εξάτμισης μικρής ψυκτικής ικανότητας (κλιματιστικές μονάδες – air – conditioning units). Οι αντλίες θερμότητας (**Σχήμα 7**) αφαιρούν θερμότητα από ένα χώρο και τη

μεταφέρουν σε έναν άλλο εναλλάσσοντας τον κύκλο ψύξης του συστήματος και δίνοντας ζεστό ή κρύο αέρα ή άλλο μέσο (π.χ. νερό), ανάλογα με τις ανάγκες του χώρου [14].



Σχήμα 7: Απεικόνιση αντλίας θερμότητας [15]

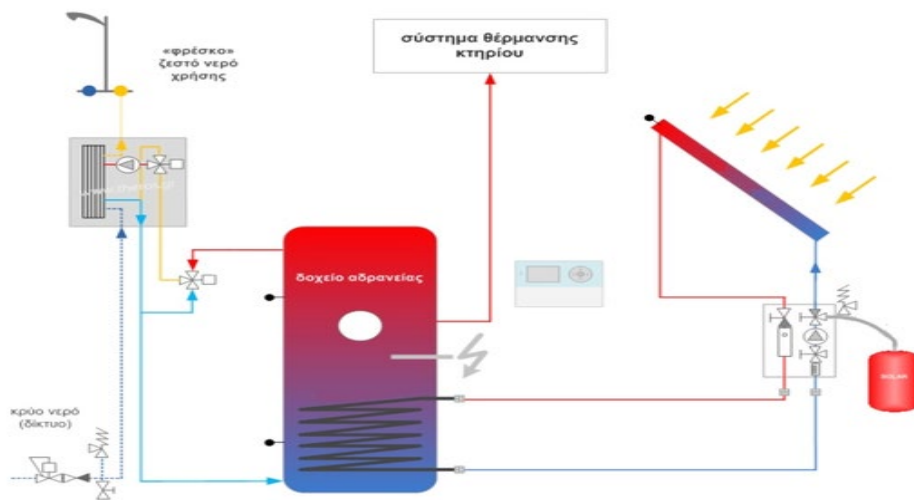
Αντίθετα, σε πολλά και κυρίως νεόδμητα κτίρια του τριτογενούς τομέα χρησιμοποιούνται κεντρικά ή ημικεντρικά συστήματα ψύξης / κλιματισμού. Σε κτιριακές εγκαταστάσεις που διαθέτουν συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, ενδείκνυται να γίνεται και χρήση ψυκτών προσρόφησης ή / και απορρόφησης, οι οποίοι μετατρέπουν τη θερμότητα σε ψύξη και βρίσκουν εφαρμογή, όταν υπάρχει διαθέσιμη θερμότητα και δεν υπάρχουν ανάγκες για θέρμανση, αλλά για ψύξη [16]. Ωστόσο, αυτές οι εφαρμογές στην ελληνική πρακτική είναι εξαιρετικά περιορισμένες και συναντώνται μόνο σε μεγάλες και κατά το πλείστον βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

1.3.3 Συστήματα Ζ.Ν.Χ. στην Ελλάδα

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις στην Ελλάδα, για την παραγωγή ΖΝΧ χρησιμοποιούν ηλεκτρικές αντιστάσεις ή ζεστό νερό από το κύκλωμα ενός λέβητα. Μάλιστα, σε μεγάλα κτίρια με κεντρικά τεχνικά συστήματα παραγωγής Ζ.Ν.Χ. και μεγάλα ονομαστικά φορτία Ζ.Ν.Χ., με τη χρήση πολυβάθμιων λεβήτων και εποχικής αποθήκευσης Ζ.Ν.Χ. επιτυγχάνεται βέλτιστη εξοικονόμηση ενέργειας. Επειδή, όμως στην παραγωγή ζεστού νερού από ηλεκτρικές αντιστάσεις και από λέβητα, η κατανάλωση ενέργειας (ηλεκτρικής ή καυσίμου αντίστοιχα) και η έκλυση ρύπων είναι μεγάλη, συνίσταται και είναι πολύ διαδεδομένη η παράλληλη λειτουργία τους με ηλιακούς συλλέκτες (επίπεδους ή συλλέκτες κενού, για πιο σταθερή ετήσια απόδοση και για παραγωγή νερού υψηλότερης θερμοκρασίας) [17]. Γι' αυτή τη διάταξη απαιτείται εγκατάσταση δοχείου αδρανείας διπλής (αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας ή ηλεκτρικού ρεύματος) ή τριπλής ενέργειας (αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας, ηλεκτρικού ρεύματος ή ζεστού νερού από λέβητα), το οποίο μπορεί να είναι κεντρικό (στο λεβητοστάσιο) ή κοντά στις τελικές χρήσεις, π.χ. δωμάτιο ξενοδοχείου, κατοικία, διαμέρισμα κ.τ.λ.

Στις μονοκατοικίες ο σχεδιασμός απλοποιείται αφού υπάρχει μόνον ένας τελικός χρήστης και μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί ένα συνδυασμένο σύστημα δοχείου διπλής ή τριπλής ενέργειας. Για κτίρια πολυκατοικιών ο πιο αποδοτικός σχεδιασμός είναι η εγκατάσταση ενός κεντρικού λέβητα, ο οποίος θα τροφοδοτεί με Ζ.Ν.Χ. τα επί μέρους διαμερίσματα με δυνατότητα επιλεκτικής λειτουργίας για κάθε διαμέρισμα. Σε περίπτωση μη διαθέσιμου Ζ.Ν.Χ. από το λέβητα ή από τον ηλιακό συλλέκτη, ο χρήστης μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του μέσω της ηλεκτρικής αντίστασης[12].

Οι ηλιακοί συλλέκτες, εκτός από την παραγωγή Ζ.Ν.Χ., μπορούν να συμβάλλουν και στην παραγωγή θερμότητας για την θέρμανση των χώρων, βοηθώντας το υπάρχον σύστημα θέρμανσης (ηλιοθερμικό σύστημα). Τα βασικά του μέρη είναι ο ηλιακός συλλέκτης με την απορροφητική πλάκα και τους αγωγούς από τους οποίους διέρχεται το προς θέρμανση ρευστό, το δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού, με θερμομονωτική επένδυση για διατήρηση της θερμοκρασίας του αποθηκευμένου νερού και ο ηλιακός ελεγκτής μέσω του οποίου ελέγχονται όλες οι λειτουργίες του συστήματος [18]. Στο **Σχήμα 8** απεικονίζονται τα βασικά μέρη ενός συστήματος ηλιοθερμίας.



Σχήμα 8: Σχηματική απεικόνιση συστήματος ηλιοθερμίας [18]

1.3.4 Βοηθητικά συστήματα εγκαταστάσεων θέρμανσης, ψύξης και Ζ.Ν.Χ.

Τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης χρησιμοποιούν βοηθητικά συστήματα για τον έλεγχο λειτουργίας, την κυκλοφορία και διανομή του θερμού ή ψυχρού μέσου και του ζεστού νερού χρήσης στα σημεία τελικής κατανάλωσης. Τα βοηθητικά αυτά συστήματα περιλαμβάνουν αντλίες, κυκλοφορητές, ηλεκτροβάνες, διατάξεις αυτομάτου ελέγχου, ανεμιστήρες αερισμού (π.χ. λεβητοστασίου), θερματικές μονάδες ανεμιστήρα - στοιχείου (fan – coil units), αυτοματισμούς κ.ά. και καταναλώνουν στη συντριπτική πλειοψηφία τους ηλεκτρική ενέργεια, ανάλογα με το χρόνο λειτουργίας του κτιρίου και τις διατάξεις αυτομάτου ελέγχου [12].

1.4 Σκοπός και διάρθρωση της εργασίας

Από τα παραπάνω στοιχεία εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Λόγω των εντεινόμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων γεννάται η ανάγκη για στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και για βέλτιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας.
- Ο κτιριακός τομέας καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό της ενεργειακής κατανάλωσης και λόγω και της πληθώρας των τρόπων παροχής ενέργειας σε ένα κτίριο που υπάρχουν, είναι καίριας σημασίας η εξοικονόμηση της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση, ψύξη και παραγωγή Ζ.Ν.Χ. στον κτιριακό και κυρίως στον οικιακό τομέα.
- Υπάρχει μεγάλη ποικιλία συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής Ζ.Ν.Χ. που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα κτίριο καθιστώντας ευέλικτη την επιλογή τους ανάλογα με το μέγεθος, τις ανάγκες και την περιοχή που βρίσκεται το κτίριο.

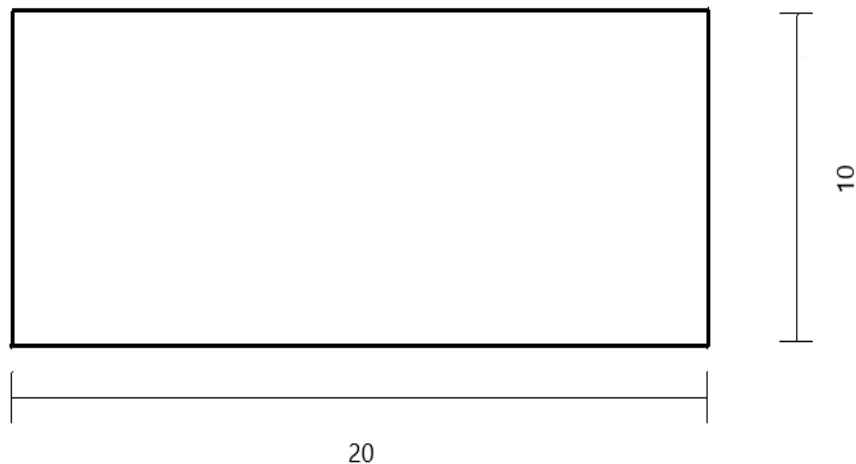
Βάσει των παραπάνω παρατηρήσεων παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον η επιλογή, η μοντελοποίηση και η διαστασιολόγηση του συνολικού συστήματος θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής Ζ.Ν.Χ. ανάλογα με τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες και τις συνθήκες λειτουργίας του εκάστοτε κτιρίου. Στην παρούσα εργασία γίνεται, με τη βοήθεια του λογισμικού TRNSYS, η μοντελοποίηση του συνολικού συστήματος για κατοικίες θερμαινόμενης επιφάνειας 100 m², 200 m² και 300 m² που βρίσκονται σε περιοχές τριών διαφορετικών κλιματικών ζωνών της Ελλάδας και συγκεκριμένα στην κλιματική ζώνη Α (Νάξος), στην κλιματική ζώνη Β (Αθήνα) και στην κλιματική ζώνη Δ (Καστοριά) και για τρία διαφορετικά σενάρια.

Η εργασία δομείται ως ακολούθως: Αρχικά, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των κτιρίων, γίνεται η αναφορά των δεδομένων και των παραδοχών – κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν και μια συνοπτική περιγραφή του συνολικού συστήματος, καθώς και των επιμέρους συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή του λογισμικού TRNSYS και της πορείας εργασίας που ακολουθήθηκε και απεικονίζεται το συνολικό σύστημα, όπως μοντελοποιήθηκε σε αυτό. Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται τα σενάρια που προσομοιώθηκαν, γίνεται μια παραμετρική ανάλυση – σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις, ενώ στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας, καθώς και προτάσεις για μελλοντική εργασία.

2. Περιγραφή κτιρίων και συνολικού συστήματος

2.1 Περιγραφή κτιρίων

Για τη μοντελοποίηση του συστήματος, τα κτίρια θεωρήθηκε ότι είναι μονοκατοικίες και έχουν επιφάνεια θερμαινόμενων χώρων 100, 200 και 300 m² αντίστοιχα, σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου (10 × 10 m, 20 × 10 m και 30 × 10 m αντίστοιχα) (προς διευκόλυνση των υπολογισμών), ύψος 3 m και ότι είναι ερμητικά κλειστά, δηλαδή δεν υπάρχει ροή αέρα, λόγω αερισμού και μειωμένης αεροστεγανότητας, από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό τους και αντίστροφα). Στο **Σχήμα 9** φαίνεται και ένα απλοποιημένο περίγραμμα της κάτοψης του κτιρίου μεσαίου μεγέθους. Για όλα τα μεγέθη κτιρίων έγινε μελέτη σε περιοχές τριών διαφορετικών κλιματικών ζωνών και συγκεκριμένα στη Νάξο (κλιματική ζώνη Α), στην Αθήνα (κλιματική ζώνη Β) και στην Καστοριά (κλιματική ζώνη Δ), με τις ζώνες να αναφέρονται από τη θερμότερη προς την ψυχρότερη [12].



Σχήμα 9: Απλοποιημένο περίγραμμα κάτοψης κτιρίου (20m × 10m)

Άλλα χαρακτηριστικά που ορίστηκαν για τα κτίρια είναι ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας U και η θερμοχωρητικότητα του εσωτερικού του κτιρίου.

Για το συντελεστή θερμοπερατότητας U θεωρήθηκαν αρχικά οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των επιμέρους δομικών στοιχείων του κτιρίου (οροφή, εξωτερικοί τοίχοι, ανοίγματα) σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. [12]. Έπειτα οι υπολογισμοί έγιναν για τις εξωτερικές επιφάνειες της κατοικίας των 200 m² σε κάθε περιοχή, θεωρώντας ότι το 20 % των εξωτερικών τοίχων καλύπτεται από ανοίγματα – παράθυρα και έπειτα βρέθηκε ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, ο οποίος είναι σταθερός για όλα τα μεγέθη κατοικίας, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την κλιματική ζώνη. Παρακάτω στον **Πίνακα 2** και στον **Πίνακα 3** παρατίθενται οι τιμές των μέγιστων επιτρεπόμενων

συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων και των συνολικών συντελεστών θερμοπερατότητας των εξεταζόμενων κατοικιών αντίστοιχα.

Πίνακας 2: Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων [12]

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² · K)]		
	Ζώνη A	Ζώνη B	Ζώνη Δ
Οροφή	0.45	0.40	0.30
Εξωτερικός τοίχος	0.55	0.45	0.35
Ανοίγματα - τζάμια	2.80	2.60	2.20

Πίνακας 3: Συνολικοί συντελεστές θερμοπερατότητας για εξεταζόμενες κατοικίες

Μονάδα μέτρησης U	Συντελεστής θερμοπερατότητας U		
	Νάξος (ζώνη A)	Αθήνα (ζώνη B)	Καστοριά (ζώνη Δ)
[W/(m ² · K)]	0.71	0.63	0.50
[kJ/(hr · m ² · K)]	2.56	2.26	1.78

Η θερμοχωρητικότητα του εσωτερικού του κτιρίου υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$c_p = \rho_{air} \cdot V \cdot c_{p,air} \cdot 1.3 \quad (1)$$

όπου η πυκνότητα του αέρα θεωρήθηκε $\rho_{air} = 1.23 \text{ kg/m}^3$, η θερμοχωρητικότητά του $c_{p,air} = 1.007 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$, $V[\text{m}^3]$ ο όγκος του αέρα (ο όγκος του εσωτερικού της κατοικίας) και ο συντελεστής 1.3 εισέρχεται λόγω μιας προσαύξησης 30 % λόγω των επίπλων που υπάρχουν στο εσωτερικό του κτιρίου. Οι τελικές τιμές στρογγυλοποιήθηκαν προς τα πάνω και φαίνονται στον **Πίνακα 4**.

Πίνακας 4: Θερμοχωρητικότητα του εσωτερικού του κτιρίου για κάθε μέγεθος κατοικίας

Θερμοχωρητικότητα εσωτερικού του κτιρίου c_p [kJ/ (kg · K)]		
Κατοικία 100 m ²	Κατοικία 200 m ²	Κατοικία 300 m ²
500	1000	1500

Επιπλέον, για όλα τα μεγέθη κατοικίας και όλες τις περιοχές, οι επιθυμητές θερμοκρασίες των χώρων τους είναι 20 °C για το χειμώνα και 26 °C για το καλοκαίρι [12]. Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας τους χρησιμοποιείται διαφορικός θερμοστάτης με setpoint θέρμανσης 20 °C και ψύξης 26 °C και εύρος (dead band) 1 °C. Σκοπός του dead band είναι να αποφεύγονται οι πολλές ενεργοποιήσεις και απενεργοποιήσεις των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

Τέλος, η επιθυμητή θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. είναι 60 °C, με ελάχιστη αποδεκτή τους 45 °C, το πλήθος των κατοίκων θεωρείται σταθερό και ίσο με 4 άτομα, ενώ η κατανάλωση

Z.N.X. θεωρείται ίση με 30 L/άτομο/ημέρα (60 °C) [19]. Οι παραπάνω σταθερές παράμετροι των κατοικιών παρατίθενται συγκεντρωμένες στον **Πίνακα 5**.

Πίνακας 5: Σταθερές παράμετροι κατοικιών

Μέγεθος	Τιμή
Επιθυμητή θερμοκρασία χώρων για χειμώνα (°C)	20
Επιθυμητή θερμοκρασία χώρων για καλοκαίρι (°C)	26
Επιθυμητή θερμοκρασία Z.N.X. (°C)	60
Πλήθος κατοίκων	4
Ημερήσια κατανάλωση Z.N.X. (L/ημέρα/άτομο)	30

2.2 Περιγραφή συνολικού συστήματος

Αρχικά, για κάθε μέγεθος κτιρίου και κάθε περιοχή έγινε μοντελοποίηση τριών διαφορετικών σεναρίων, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω και είναι τα ακόλουθα:

- Σύστημα με ένα δοχείο αποθήκευσης για θέρμανση – Z.N.X. και ένα για ψύξη.
- Σύστημα με ένα δοχείο αποθήκευσης μόνο για θέρμανση – Z.N.X.
- Σύστημα με ένα δοχείο αποθήκευσης για θέρμανση – Z.N.X. και ένα για ψύξη, αλλά με διπλάσια επιφάνεια συλλεκτών από το πρώτο σενάριο που αντισταθμίζεται με μειωμένη ονομαστική ισχύ του λέβητα.

2.2.1 Περιγραφή συστήματος θέρμανσης – Z.N.X.

Το σύστημα θέρμανσης και Z.N.X. είναι κοινό και για τα τρία σενάρια ως προς τα μέρη – υποσυστήματα που το αποτελούν, ωστόσο διαφέρει ως προς τα χαρακτηριστικά των υποσυστημάτων (π.χ. ισχύς λέβητα, επιφάνεια συλλεκτών κ.ά.). Ειδικότερα απαρτίζεται από τα εξής μέρη:

- Ηλιακοί συλλέκτες: Ως κύρια πηγή θερμότητας χρησιμοποιούνται ηλιακοί συλλέκτες τεχνολογίας κενού (evacuated tube solar collectors) με εργαζόμενο μέσο μίγμα νερού – γλυκόλης με αναλογία 66 % - 34 % [20], οι ιδιότητες του οποίου φαίνονται στον **Πίνακα 6**. Το αζιμούθιο των συλλεκτών είναι ίσο με το μηδέν (Νότιος προσανατολισμός), ενώ η κλίση τους είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της εκάστοτε περιοχής για βέλτιστη απόδοση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους [21].

Πίνακας 6: Ιδιότητες μίγματος νερού - γλυκόλης (66 % - 34 %) [20]

Θερμοχωρητικότητα [kJ/(kg · K)]	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμική αγωγιμότητα [W/(m · K)]	Δυναμική συνεκτικότητα [kg/(m · s)]
3.555	1025	0.47	2.32 · 10 ⁻³

- Δοχείο αποθήκευσης θερμότητας: Πρόκειται για ένα κυλινδρικό δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού - που χρησιμοποιείται για θέρμανση και Ζ.Ν.Χ. - με ενσωματωμένο εναλλάκτη θερμότητας σπειροειδούς σωλήνα, μέσα στον οποίο ρέει το μίγμα νερού – γλυκόλης των ηλιακών συλλεκτών. Το δοχείο έχει δύο εισόδους και αντίστοιχες εξόδους και ο εναλλάκτης μία ακόμα είσοδο και αντίστοιχη έξοδο. Άρα, συνολικά υπάρχουν τρεις εισοδοί και αντίστοιχες εξοδοί. Στον **Πίνακα 7** παρουσιάζονται τα σταθερά – για όλα τα σενάρια – στοιχεία του δοχείου.

Πίνακας 7: Σταθερά στοιχεία δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού

Συντελεστής απωλειών κορυφής [W/(m ² · K)]	Συντελεστής απωλειών τοιχωμάτων [W/(m ² · K)]	Συντελεστής απωλειών πυθμένα [W/(m ² · K)]
0.924	0.924	0.924

Επίσης, οι ιδιότητες του νερού που χρησιμοποιούνται και στους υπολογισμούς του δοχείου φαίνονται στον **Πίνακα 8**.

Πίνακας 8: Ιδιότητες νερού

Θερμοχωρητικότητα [kJ/(kg · K)]	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμική αγωγιμότητα [W/(m · K)]	Δυναμική συνεκτικότητα [kg/(m · s)]
4.187	997	0.62	6.53 · 10 ⁻⁴

- Λέβητας: Πρόκειται για ένα λέβητα φυσικού αερίου (natural gas boiler), όχι συμπύκνωσης, με ονομαστική ισχύ και παροχή που μεταβάλλονται ανάλογα με την περίπτωση και λειτουργεί βοηθητικά προσφέροντας επιπλέον θερμότητα στο δοχείο. Στον **Πίνακα 9** φαίνονται τα σταθερά στοιχεία του λέβητα.

Πίνακας 9: Σταθερές παράμετροι λειτουργίας λέβητα

Επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου (setpoint) (°C)	Βαθμός απόδοσης (%)
80	86

- Θερμαντικά σώματα: Για τη θέρμανση των χώρων χρησιμοποιούνται θερμαντικά σώματα – καλοριφέρ δύο σωλήνων που θεωρούνται ότι λειτουργούν παράλληλα με ίδια ισχύ και παροχή νερού, ενώ η ισχύς σχεδιασμού και η παροχή νερού τους μεταβάλλονται ανάλογα με την περίπτωση. Για να ενεργοποιηθούν, λαμβάνουν σήμα από το θερμοστάτη της κατοικίας, όταν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση. Τα σταθερά τους στοιχεία φαίνονται στον **Πίνακα 10**.

Πίνακας 10: Σταθερές παράμετροι λειτουργίας καλοριφέρ

Θερμοκρασία εισόδου νερού (°C)	Επιθυμητή διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου (°C)
68 – 70	15 – 20

- Ελεγκτές: Χρησιμοποιούνται δύο αναλογικοί – ολοκληρωτικοί – διαφορικοί ελεγκτές (Proportional Integral Derivative (PID) controllers) που μεταβάλλουν τη ροή εντός των ηλιακών συλλεκτών και των καλοριφέρ αντίστοιχα, των οποίων η σταθερά κέρδους ορίστηκε ίση 10 έπειτα από δοκιμές που έγιναν. Επίσης, χρησιμοποιείται και ένας θερμοστάτης στο δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού με setpoint 65 °C και νεκρή ζώνη (Dead band) 2 °C. Δηλαδή ελέγχει τη θερμοκρασία του και ενεργοποιεί το λέβητα, όταν πέσει κάτω από 63 °C.
- Αντλία (κυκλοφορητής) σταθερών στροφών: Για το λέβητα χρησιμοποιείται μια αντλία σταθερών στροφών με ονομαστική ισχύ και παροχή που μεταβάλλονται ανά περίπτωση. Τα σταθερά στοιχεία της αντλίας φαίνονται στον **Πίνακα 11**.

Πίνακας 11: Παράμετροι λειτουργίας αντλίας σταθερών στροφών λέβητα

Βαθμός απόδοσης κινητήρα αντλίας (%)	Συνολικός βαθμός απόδοσης αντλίας (%)
75	60

Επιπρόσθετα, η ονομαστική ισχύς της αντλίας ορίζεται από την σχέση:

$$P [W] = \frac{\dot{m} \cdot \Delta p}{\rho \cdot \eta} \quad (2)$$

όπου \dot{m} [kg/s] η παροχή μάζας του ρευστού που διέρχεται, Δp η πτώση πίεσης, η οποία θεωρήθηκε 0.5 bar, ρ [kg/m³] η πυκνότητα του ρευστού που διέρχεται και $\eta = 60\%$ ο βαθμός απόδοσης της αντλίας.

- Αντλίες μεταβλητών στροφών: Χρησιμοποιούνται δύο αντλίες μεταβλητών στροφών (των συλλεκτών και της ροής που κατευθύνεται προς τα καλοριφέρ) που μεταβάλλουν τις ροές ανάλογα με το προς κάλυψη κάθε φορά φορτίο. Η ονομαστική τους ισχύς δίνεται από τη σχέση (2) όμοια με την αντλία σταθερών στροφών και οι παράμετροι λειτουργίας τους παρουσιάζονται στον **Πίνακα 12**.

Πίνακας 12: Σταθερές παράμετροι λειτουργίας αντλιών μεταβλητών στροφών

Βαθμός απόδοσης κινητήρα αντλίας (%)	Συνολικός βαθμός απόδοσης αντλίας (%)
80	60

- **Βαλβίδα ανάμιξης:** Το ζεστό νερό από το δοχείο (με θερμοκρασία σχεδόν πάντα υψηλότερη από 60 °C) αναμιγνύεται με το νερό του δικτύου μέσω της βαλβίδας ανάμιξης σε τέτοιες αναλογίες ώστε τελικά να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ.. Εδώ ορίζεται ο λόγος y ως εξής:

$$y = \frac{T_{set,DHW} - T_{mains}}{T_{hot} - T_{mains}} \quad (3)$$

όπου $T_{set} = 60$ °C η επιθυμητή θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ., T_{mains} η θερμοκρασία του νερού του δικτύου και T_{hot} η θερμοκρασία του ρεύματος που έρχεται από το δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού.

Έτσι, οι παροχές μάζας του θερμού νερού από το δοχείο και του νερού από το δίκτυο ορίζονται από τις σχέσεις (4) και (5) αντίστοιχα :

$$M_{hot} = y \cdot M_{dhw} \quad (4)$$

$$M_{mains} = (1 - y) \cdot M_{DHW} \quad (5)$$

όπου M_{DHW} [kg/hr] η απαιτούμενη παροχή μάζας Ζ.Ν.Χ..

2.2.2 Περιγραφή συστήματος ψύξης

Το σύστημα ψύξης είναι κοινό ως προς τα μέρη – υποσυστήματα που το αποτελούν για το πρώτο και το τρίτο σενάριο, ενώ κάποια στοιχεία λείπουν από το σενάριο που δεν υπάρχει δοχείο αποθήκευσης για την ψύξη. Ωστόσο και τα τρία σενάρια περιλαμβάνουν τα εξής υποσυστήματα:

- **Αερόψυκτος ψύκτης:** Χρησιμοποιείται ένας αερόψυκτος ψύκτης μηχανικής συμπίεσης ατμού (vapor compression air – cooled chiller) μεταβλητής ισχύος, με ονομαστική ισχύ και ονομαστική παροχή νερού που διαφέρουν ανά περίπτωση. Για να ενεργοποιηθεί ο ψύκτης, λαμβάνει σήμα από το θερμοστάτη της κατοικίας, όταν υπάρχει ανάγκη για ψύξη. Τα σταθερά στοιχεία του ψύκτη φαίνονται στον **Πίνακα 13**.

Πίνακας 13: Σταθερές παράμετροι λειτουργίας ψύκτη

Επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου (setpoint) (°C)	COP
5	3

- **Μονάδες ανεμιστήρα – στοιχείου:** Για την ψύξη του κτιρίου χρησιμοποιούνται δισωλήνιες μονάδες ανεμιστήρα – στοιχείου (fan – coil units), αφού για τη θέρμανση των χώρων χρησιμοποιείται διαφορετικό σύστημα που θεωρούνται ότι δουλεύουν παράλληλα. Η ονομαστική ισχύς του ανεμιστήρα και η ονομαστική παροχή του αέρα που διέρχεται μεταβάλλονται ανά περίπτωση. Ωστόσο, ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα του ανεμιστήρα είναι σταθερός και ίσος με 90 %, ενώ για την ενεργοποίηση του ανεμιστήρα λαμβάνεται σήμα από το θερμοστάτη του σπιτιού. Ακόμα, η ισχύς του ανεμιστήρα του fan – coil προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$P[W] = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} \quad (6)$$

όπου Q [m^3/s] η παροχή όγκου του αέρα που διέρχεται και Δp η πτώση πίεσης του που θεωρείται ίση με 300 Pa ή με 0.003 bar .

- Ελεγκτής PID: Για τη μονάδα ανεμιστήρα – στοιχείου υπάρχει ένας ελεγκτής PID, ο οποίος μεταβάλλει τη ροή του νερού που διέρχεται από τη μονάδα ανάλογα με την περίπτωση και έχει σταθερά κέρδους ίση με 10, η οποία ορίστηκε έπειτα από δοκιμές.
- Αντλία (κυκλοφορητής) μεταβλητών στροφών για τα fan – coil: Για τα fan – coil χρησιμοποιείται μια αντλία μεταβλητών στροφών που μεταβάλλει τη ροή του νερού που εισέρχεται σε αυτά ανάλογα με το προς κάλυψη φορτίο. Η ονομαστική ισχύς της δίνεται από τη σχέση (2), ενώ τα σταθερά της χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 14**.

Πίνακας 14: Σταθερά χαρακτηριστικά αντλίας μεταβλητών στροφών fan – coil

Βαθμός απόδοσης κινητήρα αντλίας (%)	Συνολικός βαθμός απόδοσης αντλίας (%)
80	60

Το πρώτο και τρίτο σενάριο, τα οποία έχουν δοχείο και για την ψύξη, περιλαμβάνουν επίσης:

- Δοχείο αποθήκευσης νερού για ψύξη: Πρόκειται για ένα κυλινδρικό δοχείο αποθήκευσης, το οποίο έχει δύο εισόδους και αντίστοιχες εξόδους. Στον **Πίνακα 15** παρουσιάζονται τα σταθερά στοιχεία του δοχείου.

Πίνακας 15: Σταθερά στοιχεία δοχείου αποθήκευσης νερού για ψύξη

Συντελεστής απωλειών κορυφής [$W/(m^2 \cdot K)$]	Συντελεστής απωλειών τοιχωμάτων [$W/(m^2 \cdot K)$]	Συντελεστής απωλειών πυθμένα [$W/(m^2 \cdot K)$]
0.924	0.924	0.924

- Αντλία σταθερών στροφών: Για τον ψύκτη χρησιμοποιείται μια αντλία σταθερών στροφών με ονομαστική ισχύ και παροχή που μεταβάλλονται ανά σενάριο. Η ονομαστική ισχύς της δίνεται από τη σχέση (2), ενώ τα σταθερά της χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 16**.

Πίνακας 16: Σταθερές παράμετροι λειτουργίας αντλίας σταθερών στροφών ψύκτη

Βαθμός απόδοσης κινητήρα αντλίας (%)	Συνολικός βαθμός απόδοσης αντλίας (%)
75	60

Το δεύτερο σενάριο, το οποίο δεν περιλαμβάνει δοχείο για ψύξη, επιπλέον από τα κοινά μέρη των τριών σεναρίων περιλαμβάνει μια αντλία μεταβλητών στροφών για τον ψύκτη. Αυτή λαμβάνει ως είσοδο το νερό που εξέρχεται από τις μονάδες fan – coil, η ταχύτητα ροής του οποίου καθορίζεται από το απαιτούμενο φορτίο, το οδηγεί στον ψύκτη και ύστερα από αυτόν το ψυχρό πλέον νερό κατευθύνεται ξανά προς την αντλία των fan – coil. Η ονομαστική ισχύς της δίνεται από τη σχέση (2), ενώ τα σταθερά της χαρακτηριστικά αναφέρονται στον **Πίνακα 17**.

Πίνακας 17: Σταθερά χαρακτηριστικά αντλίας μεταβλητών στροφών ψύκτη

Βαθμός απόδοσης κινητήρα αντλίας (%)	Συνολικός βαθμός απόδοσης αντλίας (%)
80	60

2.3 Παραδοχές και κριτήρια λειτουργίας

Κατά τη μοντελοποίηση του συνολικού συστήματος θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής Z.N.X. χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες παραδοχές και κριτήρια λειτουργίας:

- Ο λόγος της παροχής του ρευστού (μίγμα νερού – γλυκόλης) που διέρχεται από τους συλλέκτες προς την επιφάνεια των συλλεκτών πρέπει να κυμαίνεται στο εύρος $0.01 - 0.02 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$.
- Ο ελεγκτής PID των ηλιακών συλλεκτών ελέγχει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξόδου και εισόδου των συλλεκτών, της οποίας η μέγιστη τιμή είναι $10 \text{ }^\circ\text{C}$ και λαμβάνοντας υπόψιν και το προηγούμενο κριτήριο, ορίζει τη ροή του διερχόμενου ρευστού.
- Το ανώτατο όριο της θερμοκρασίας εξόδου από τους συλλέκτες είναι $100 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Έγινε η δοκιμή να απενεργοποιείται η ροή ρευστού προς τους συλλέκτες, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξόδου των συλλεκτών και του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού γίνεται μικρότερη από $3 \text{ }^\circ\text{C}$, αλλά, επειδή κατά την προσομοίωση δεν μπορούσε να επιτευχθεί η σύγκλιση, τελικά δεν εφαρμόστηκε.
- Το ανώτατο όριο θερμοκρασίας του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού είναι $80 \text{ }^\circ\text{C}$ και όταν πάει να ξεπεραστεί (π.χ. παρατεταμένα μειωμένο θερμικό φορτίο και ζήτηση Z.N.X. με αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία), γίνεται σκίαση των συλλεκτών.
- Για το Z.N.X. θεωρήθηκε σταθερή κατανομή της κατανάλωσής του κατά τη διάρκεια της ημέρας – η οποία παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο –, ωστόσο έγινε η παραδοχή ότι το Z.N.X. πρέπει να διατηρείται στην επιθυμητή θερμοκρασία του καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, σε περίπτωση που υπάρξει κάποια απαίτηση χρήσης του εκτός των προβλεπόμενων ωρών.

- Για τα καλοριφέρ η επιθυμητή θερμοκρασία εισόδου του νερού είναι 68 – 70 °C, ενώ η επιθυμητή διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου του νερού είναι 15 – 20 °C και ελέγχεται από τον ελεγκτή PID, ο οποίος προσδιορίζει τη διερχόμενη ροή του ρευστού προς αυτήν την κατεύθυνση.
- Για τα δοχεία αποθήκευσης ζεστού νερού και ψύξης (στα σενάρια που υπάρχει) γίνεται η παραδοχή ότι βρίσκονται σε χώρους με θερμοκρασίες 20 και 25 °C αντίστοιχα.
- Επίσης, λόγω σύγκλισης του προγράμματος προκύπτουν γενικά μεγαλύτερα δοχεία αποθήκευσης ζεστού νερού από τα εμπορικά διαθέσιμα που φτάνουν τα 1000 L. Στην περίπτωση που ο συνολικός όγκος δοχείου αποθήκευσης θερμού νερού ξεπερνάει τα 1000 L, θεωρείται ότι πρόκειται για δύο δοχεία ίσου όγκου, τα οποία δουλεύουν παράλληλα και δεν επηρεάζουν τη μελέτη.
- Ο λέβητας, εκτός από το καλοκαίρι, για να ενεργοποιηθεί, παίρνει σήμα μόνο από το θερμοστάτη του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού. Το καλοκαίρι, πρέπει να λάβει θετικό σήμα και από το θερμοστάτη του ζεστού δοχείου, αλλά και από του σπιτιού, για να ενεργοποιηθεί, με αποτέλεσμα η συχνότητα λειτουργίας του να είναι γενικά μικρή και να σημειώνεται λίγες στιγμές λόγω και της προσομοίωσης.
- Τόσο ο λέβητας όσο και ο ψύκτης πρέπει να λειτουργούν τουλάχιστον στο 30 % του ονομαστικού τους φορτίου, δηλαδή με λόγο μερικού φορτίου (Part Load Ratio (PLR)) μεγαλύτερο από 0.3.
- Για τα fan – coil η επιθυμητή διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου του νερού θεωρείται 5 °C και ελέγχεται από τον ελεγκτή PID του, έτσι ώστε να την επιτυγχάνει μεταβάλλοντας τη ροή του διερχόμενου νερού.
- Στα σενάρια με τους περισσότερους συλλέκτες, οι συλλέκτες είναι διπλάσιοι – σε αριθμό και επιφάνεια m² – από τους συλλέκτες των αντίστοιχων σεναρίων (ίδιου μεγέθους κατοικίας και περιοχής).
- Τέλος, σε όλα τα σενάρια η προσομοίωση έγινε για δεκατρείς μήνες (δηλαδή το πρόγραμμα τρέχει για δύο φορές τον Ιανουάριο), έτσι ώστε να εξαλείφεται η επίδραση της αρχικοποίησης στον πρώτο μήνα. Στους υπολογισμούς βέβαια στη συνέχεια λαμβάνονται υπόψιν μόνο οι δώδεκα μήνες.

3. Μοντελοποίηση συστήματος στο TRNSYS

3.1 Εισαγωγή στο TRNSYS

Το TRNSYS (Transient Systems Simulation program) είναι ένα ολοκληρωμένο και επεκτάσιμο περιβάλλον προσομοίωσης που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση συστημάτων μεταβαλλόμενων στο χρόνο, μεταξύ αυτών και πολυζωνικών κτιρίων. Χρησιμοποιείται από μηχανικούς και ερευνητές παγκοσμίως για τη μοντελοποίηση νέων ενεργειακών συστημάτων, από απλά συστήματα ζεστού νερού χρήσης μέχρι τη σχεδίαση και προσομοίωση κτιρίων και του εξοπλισμού τους, συμπεριλαμβανομένων στρατηγικών ελέγχου, συμπεριφοράς των κατοίκων, εναλλακτικών ενεργειακών συστημάτων (αιολικά, ηλιακά, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου) κ.ά. [22].

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του TRNSYS είναι ότι είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα και έχει αρθρωτή δομή. Ο πηγαίος κώδικας του πυρήνα, καθώς και τα μοντέλα των συνιστωσών ή στοιχείων και οι κώδικές τους δίνονται στους τελικούς χρήστες, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να τα τροποποιήσουν, έτσι ώστε να ικανοποιούν καλύτερα τις ανάγκες τους [22].

Επίσης, λόγω της αρχιτεκτονικής του προγράμματος, η οποία είναι βασισμένη σε αρχεία βιβλιοθηκών δυναμικής σύνδεσης (Dynamic Link Library (DLL)), υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης νέων μοντέλων από τους χρήστες χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN κ.λπ.). Ακόμη, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα και με άλλα λογισμικά για την εκτέλεση διεργασιών, με επεξεργασία των διεργασιών του κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων (Microsoft Excel, Matlab κ.ά.) [5], [23].

Οι εφαρμογές του TRNSYS περιλαμβάνουν [22]:

- Ηλιακά συστήματα (ηλιοθερμικά και φωτοβολταϊκά)
- Κτίρια χαμηλής ενέργειας και συστήματα HVAC με προηγμένα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά (φυσικός εξαερισμός, θερμαινόμενες/ψυχόμενες πλάκες, διπλή πρόσοψη κ.α.)
- Ενεργειακά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Συμπαγωγή, κυψέλες καυσίμων.
- Συστήματα δυναμικής προσομοίωσης.

3.1.1 Κατασκευή ενός συστήματος στο TRNSYS

Για τη δημιουργία των προσομοιώσεων συνδέονται γραφικά οι διαφορετικές συνιστώσες (γνωστές και ως Types) σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα στο στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio), όπως θα συνδέονταν και σε μία πραγματική εφαρμογή. Κάθε στοιχείο [24] περιγράφεται από ένα μαθηματικό μοντέλο [25] στη μηχανή προσομοίωσης

(Simulation Engine) του προγράμματος. Οι διαφορετικές συνιστώσες λειτουργούν ως «μαύρα – κουτιά» που περιέχουν τα εισαγόμενα (inputs) και εξαγόμενα μεγέθη (outputs) και τις διάφορες μεταβλητές.

3.1.2 Σειρά προγραμμάτων του πακέτου TRNSYS

Το TRNSYS αποτελείται από μία σειρά προγραμμάτων τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- Το στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio).
- Η μηχανή προσομοίωσης (Simulation Engine) και το εκτελέσιμο αρχείο (TRNExe.exe).
- Το γραφικό περιβάλλον απεικόνισης πολυζωνικού κτιρίου, για την εισαγωγή των δεδομένων των κτιρίων (TRNBuild.exe).
- Ο επεξεργαστής που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία αυτόνομων αναδιανεμητέων προγραμμάτων γνωστών ως «TRNSED εφαρμογές» (TRNEdit.exe).

3.1.3 Μηχανή προσομοίωσης TRNSYS (TRNSYS Simulation Engine)

Η μηχανή προσομοίωσης εκτελεί την πραγματική μεταβατική προσομοίωση, είναι προγραμματισμένη σε FORTRAN και μεταγλωττίζεται σε μια δυναμική βιβλιοθήκη DLL, TRNDll. Ο πυρήνας του TRNSYS (kernel) διαβάζει το αρχείο εισόδου (input file), γνωστό ως αρχείο deck (*.dck). Επιπρόσθετα, ανοίγει αρχεία δεδομένων (π.χ. αρχεία καιρού) και δημιουργεί αρχεία εξόδου (output files).

Η μηχανή καλείται από ένα εκτελέσιμο πρόγραμμα (TRNExe.exe), το οποίο εφαρμόζει και ένα εργαλείο που ονομάζεται «online plotter» και επιτρέπει την αναπαράσταση μεταβλητών εξόδου κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης. Υπάρχει δυνατότητα παύσης της προσομοίωσης, μεγέθυνσης για καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων και αναπαράστασης πολλαπλών γραφικών απεικονίσεων παράλληλα [22].

3.1.4 Γραφικό περιβάλλον απεικόνισης πολυζωνικού κτιρίου (TRNBuild.exe)

Το TRNBuild μοντελοποιεί τη θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου χωρισμένου σε διαφορετικές θερμικές ζώνες και χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των δεδομένων τους. Επίσης, επιτρέπει στο χρήστη να προσδιορίσει όλες τις δομικές λεπτομέρειες του κτηρίου, όπως τις οπτικές ιδιότητες των παραθύρων, τα θερμικά και ψυκτικά χρονοδιαγράμματα κ.ά.. Έτσι, δημιουργεί ένα αρχείο περιγραφής του κτιρίου (*.bui) που περιέχει όλες τις πληροφορίες για την προσομοίωσή του [22].

3.1.5 TRNEdit και TRNSED εφαρμογές

Το TRNEdit είναι ένα εξειδικευμένο εργαλείο που χρησιμοποιείται στη δημιουργία ή μετατροπή αρχείων εισόδου TRNSYS (decks) [43]. Η χρήση του συστήνεται μόνο σε προχωρημένους χρήστες. Το TRNEdit μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία

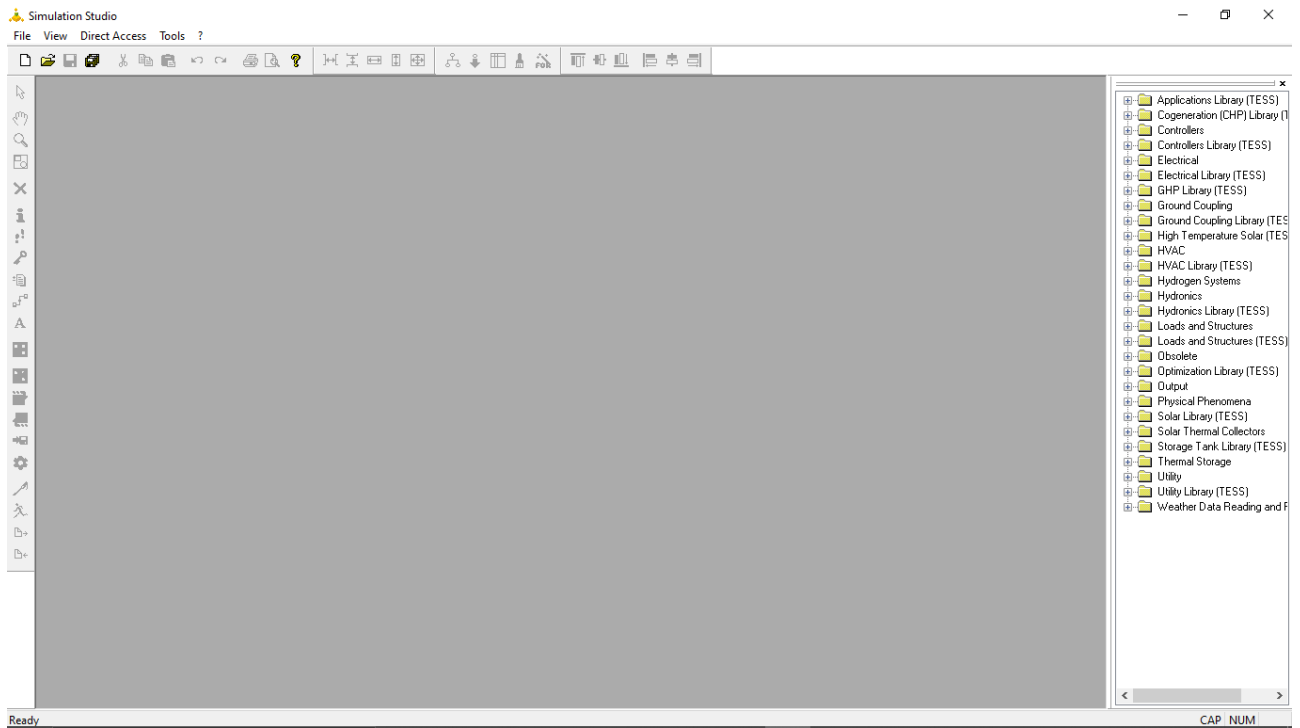
αναδιανεμητέων εφαρμογών (TRANSED Applications) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από χρήστες που δεν διαθέτουν άδεια χρήσης για ένα απλοποιημένο εργαλείο προσομοίωσης [22].

3.1.6 Στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio)

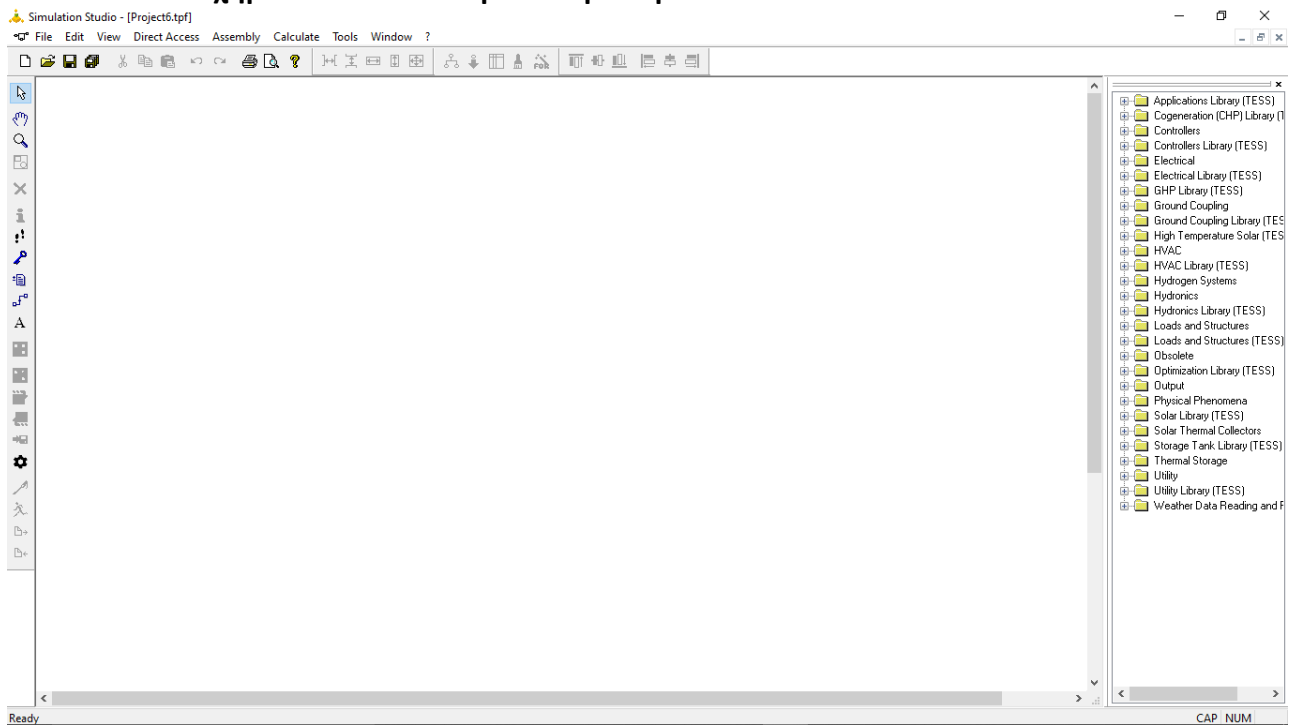
Το στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio) είναι το κύριο γραφικό περιβάλλον του TRNSYS. Σε αυτό ο χρήστης μπορεί να δημιουργεί συστήματα επιλέγοντας από τη λίστα τα κατάλληλα στοιχεία (Types), σέρνοντάς τα στο χώρο εργασίας του Studio, δημιουργώντας τις μεταξύ τους συνδέσεις και ορίζοντας τέλος τις απαραίτητες παραμέτρους. Η εργασία (project) αποθηκεύεται ως TRNSYS Project File (*.tpf), ενώ κατά την εκτέλεση – τρέξιμο της προσομοίωσης δημιουργείται ένα αρχείο εισόδου (input file), το οποίο περιέχει όλες τις πληροφορίες εισόδου. Επίσης, περιλαμβάνει ένα διαχειριστή εξόδων (output manager), από όπου ορίζονται ποιες μεταβλητές θα ολοκληρωθούν, θα τυπωθούν ή θα απεικονιστούν σε γράφημα, και ένα διαχειριστή σφαλμάτων (error/log manager), όπου ο χρήστης μπορεί να μελετήσει λεπτομερώς οτιδήποτε συνέβη κατά την προσομοίωση.

3.1.6.1 Κεντρικό παράθυρο (Main Window)

Το κεντρικό παράθυρο (Main Window) είναι αυτό που βλέπει ο χρήστης όταν ανοίξει το στούντιο προσομοίωσης. Όπως συμβαίνει και σε άλλα προγράμματα των Microsoft Windows, το κεντρικό παράθυρο αποτελείται από το κεντρικό μενού (με τις επιλογές File, Edit, View κ.τ.λ.), διάφορες μπάρες εργαλείων (toolbars) και ένα ή περισσότερα ενεργά παράθυρα (active windows). Στην αρχή το κεντρικό παράθυρο είναι άδειο. Ο χρήστης μπορεί να ανοίξει ένα υπάρχον project ή να δημιουργήσει ένα καινούριο με τις επιλογές της βασικής γραμμής εργαλείων File > Open και File > New αντίστοιχα. Η εργασία που δημιουργεί ή ανοίγει ο χρήστης εμφανίζεται στο κεντρικό παράθυρο στο φύλλο συναρμολόγησης (assembly panel) στο οποίο ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει, να τροποποιήσει και να τρέξει τα συστήματα των μοντέλων. Επίσης, από το κεντρικό παράθυρο ο χρήστης μπορεί να εκκινήσει οποιαδήποτε άλλη λειτουργία ή πρόγραμμα του TRNSYS [26]. Στο **Σχήμα 10** και στο **Σχήμα 11** απεικονίζονται αντίστοιχα ένα άδειο κεντρικό παράθυρο και ένα άδειο φύλλο συναρμολόγησης (Assembly Panel), το οποίο εμφανίζεται, όταν ο χρήστης επιλέγει τη δημιουργία καινούριου project.



Σχήμα 10: Άδειο κεντρικό παράθυρο του Simulation Studio



Σχήμα 11: Άδειο φύλλο συναρμολόγησης (Assembly Panel) του Simulation Studio

3.1.6.2 Βασικό μενού

Το βασικό μενού του κεντρικού παραθύρου περιλαμβάνει τις ακόλουθες επιλογές:

- Αρχείο (File): Εδώ υπάρχουν κλασικές επιλογές, όπως η δημιουργία νέου project (New), το άνοιγμα υπάρχοντος αρχείου (Open), η αποθήκευση αρχείου (Save/ Save as) και η εκτύπωση (Print).
- Επεξεργασία (Edit): Η επιλογή αυτή περιέχει την αναίρεση (Undo), την επανάληψη ενέργειας (Redo), την αποκοπή (Cut), την αντιγραφή (Copy), την επικόλληση (Paste), τη διαγραφή (Delete), την αντικατάσταση (Replace) και τις ιδιότητες στοιχείου ή σύνδεσης.
- Θέαση (View): Αυτή η επιλογή περιλαμβάνει δυνατότητες όπως η μεγέθυνση (Zoom) και η προσθήκη πλέγματος (Grid) στο φύλλο εργασίας, καθώς και η επεξεργασία των ιδιοτήτων του (Grid Properties)
- Άμεση πρόσβαση (Direct Access): Εδώ εμπεριέχονται όλα τα μοντέλα που είναι διαθέσιμα για την εκτέλεση μελετών και τη δημιουργία εργασιών, τα οποία εμφανίζονται και στο δεξί μέρος του κεντρικού παραθύρου σε δενδροειδή μορφή. Μάλιστα, με την εγκατάσταση της βιβλιοθήκης των Thermal Energy System Specialists (TESS Library) [27] ο χρήστης έχει μεγαλύτερη ποικιλία μοντέλων στη διάθεσή του. Έτσι, ο κατάλογος άμεσης πρόσβασης περιλαμβάνει τις επιλογές της ανανέωσης του δέντρου μοντέλων (Refresh tree), της εισαγωγής μοντέλου (Insert model) – η οποία φυσικά μπορεί να γίνει και με επιλογή από τον κατάλογο στα δεξιά του κεντρικού παραθύρου και σύρσιμο του επιθυμητού μοντέλου στο Assembly Panel – και της εισαγωγής νέας εξίσωσης (Insert new equation).
- Η εξίσωση αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο του TRNSYS, καθώς παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας εξισώσεων στο αρχείο εισόδου που δεν περιλαμβάνονται σε κάποιο μοντέλο. Οι εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως είσοδο εξόδους από κάποιο μοντέλο, αριθμητικές τιμές ή δεδομένα από κάποιο εξωτερικό αρχείο, είναι συναρτήσεις των εισόδων τους, αριθμητικές τιμές ή προκαθορισμένες εξισώσεις και μπορεί να λειτουργήσουν ως είσοδοι σε ένα άλλο μοντέλο. Στο **Σχήμα 12** φαίνεται το εικονίδιο με το οποίο συμβολίζεται η εξίσωση.



Equation

Σχήμα 12: Εικονίδιο εξίσωσης στο TRNSYS

- Συναρμολόγημα (Assembly): Εδώ περιλαμβάνονται επιλογές σχετικές με τα μοντέλα και το συνολικό συναρμολόγημα όπως οι ακόλουθες:

- i. Εισαγωγή νέας εξίσωσης (Insert new equation): Αυτή η επιλογή είναι ίδια με την επιλογή που αναλύθηκε παραπάνω.
- ii. Λειτουργία σύνδεσης (Link mode): Με αυτήν την επιλογή πραγματοποιούνται οι συνδέσεις ανάμεσα στα διάφορα μοντέλα. Για το σκοπό αυτό αρκεί ο χρήστης έχοντας κάνει κλικ στην επιλογή, να επιλέξει το πρώτο στοιχείο (του οποίου οι έξοδοι θα λειτουργήσουν ως εισοδοί στο δεύτερο στοιχείο) και να φέρει το σύνδεσμο στο δεύτερο μοντέλο. Έπειτα, κάνοντας διπλό κλικ στο σύνδεσμο ανοίγει το παράθυρο συνδέσεων το οποίο περιλαμβάνει δύο στήλες, μία με τις εξόδους του πρώτου μοντέλου και μία με τις εισόδους του δεύτερου με τις πρώτες να λειτουργούν ως εισοδοί στα μεγέθη του δεύτερου μοντέλου. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι το TRNSYS επιτρέπει συνδέσεις όμοιων μεγεθών (π.χ. παροχή μάζας με παροχή μάζας) και ότι κάθε μέγεθος του δεύτερου μοντέλου μπορεί να έχει μία είσοδο, ενώ κάθε μέγεθος του πρώτου μοντέλου μπορεί να λειτουργήσει ως είσοδος σε παραπάνω από ένα μεγέθη. Εάν ένα μέγεθος έχει χρησιμοποιηθεί ως είσοδος ή έξοδος, έχει μαύρο χρώμα, ενώ αν δεν έχει συνδεθεί με κάποιο άλλο μέγεθος, έχει γαλάζιο χρώμα και αν είναι είσοδος ενός στοιχείου, λαμβάνει μια προκαθορισμένη τιμή. Μάλιστα δεξιά από τη στήλη των εισόδων – μεγεθών του δεύτερου στοιχείου αναγράφονται οι αρχικές τιμές τους. Στο **Σχήμα 13** παρουσιάζεται ένα παράδειγμα συνδέσεων ανάμεσα σε ένα μοντέλο αντλίας μεταβλητών στροφών και ένα μοντέλο ηλιακού συλλέκτη σωλήνων κενού.

The screenshot shows the 'Link mode' dialog box in TRNSYS. It features a 'Select variable filter' dropdown set to 'All' and radio buttons for '1-2-3' (selected) and 'A-Z'. The main area contains a table with two columns of variables. The first column lists variables from the pump model, and the second column lists variables from the solar collector model. Each variable is connected to a corresponding variable in the second column by a horizontal line. The variables in the second column are color-coded: black for those with a value and blue for those without.

Variable 1	Variable 2	Value
Outlet fluid temperature	Inlet temperature	20.0
Outlet flow rate	Inlet flowrate	288
Power consumption	Ambient temperature	10.0
Fluid heat transfer	Incident radiation	0.
Environment heat transfer	Incident diffuse radiation	0.0
	Solar incidence angle	0.0
	Solar zenith angle	0.0
	Solar azimuth angle	0.0
	Collector slope	38
	Collector azimuth	0.0

Σχήμα 13: Παράθυρο σύνδεσης ανάμεσα σε μια αντλία μεταβλητών στροφών και ένα ηλιακό συλλέκτη σωλήνων κενού

- iii. Κλείδωμα/Ξεκλείδωμα στοιχείου (Lock/Unlock): Η επιλογή αυτή δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να κλειδώσει (ή να ξεκλειδώσει) μοντέλα στο φύλλο συναρμολόγησης. Τα κλειδωμένα στοιχεία παραμένουν σταθερά χωρίς να μπορούν να διαγραφούν ή να τροποποιηθούν.
- iv. Proforma: Με την επιλογή αυτή και αφού έχει επιλεγθεί ένα συγκεκριμένο μοντέλο ανοίγει ένα παράθυρο (proforma) με τέσσερις καρτέλες. Στην πρώτη αναγράφονται τα γενικά στοιχεία του μοντέλου (δημιουργός, τύπος, όνομα, αριθμός, τελευταία τροποποίηση κ.ά.), στη δεύτερη υπάρχει μία σύντομη περιγραφή του μοντέλου, η τρίτη περιλαμβάνει τις μεταβλητές και τα στοιχεία τους και η τέταρτη και τελευταία περιέχει τα εξωτερικά αρχεία και εργαλεία που σχετίζονται με το μοντέλο. Στο **Σχήμα 14** απεικονίζεται η πρώτη καρτέλα του παραθύρου proforma του μοντέλου 71, που αποτελεί έναν ηλιακό συλλέκτη τεχνολογίας κενού.

Σχήμα 14: Πρώτη καρτέλα παραθύρου proforma ηλιακού συλλέκτη σωλήνων κενού (μοντέλο 71)

- v. Variables: Από αυτήν την επιλογή ανοίγει ένα παράθυρο με τις μεταβλητές του επιλεγμένου μοντέλου, το οποίο εναλλακτικά μπορεί να γίνει και με διπλό κλικ επάνω στο μοντέλο. Στις μεταβλητές περιέχονται καρτέλες με τις παραμέτρους, τις εισόδους, τις εξόδους και τα εξωτερικά αρχεία που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο. Από τις καρτέλες ρυθμίζονται οι τιμές όλων των στοιχείων του μοντέλου. Ακόμα, στις εισόδους ορίζονται οι αρχικές τιμές των διαφόρων μεγεθών – μεταβλητών οι οποίες έπειτα παραβλέπονται αν το μέγεθος έχει συνδεθεί με κάποια άλλη είσοδο, αλλιώς διατηρούνται σταθερές. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι στην καρτέλα των εξόδων δεν μπορεί να γίνει κάποια αλλαγή, έχει δηλαδή απλώς

πληροφοριακό χαρακτήρα. Επιπρόσθετα, η σειρά κάθε μεταβλητής περιλαμβάνει τον αύξοντα αριθμό της, το όνομά της, την τιμή της, τη μονάδα μέτρησής της και ένα σύμβολο που δηλώνει αν η μεταβλητή είναι κλειδωμένη (δεν επιδέχεται αλλαγή) ή όχι. Στο **Σχήμα 15** παρουσιάζεται η καρτέλα με τις παραμέτρους στο παράθυρο μεταβλητών του μοντέλου 71, που αναπαριστά ηλιακούς συλλέκτες τεχνολογίας κενού.

Parameter						
Input						
Output						
External Files						
Comment						
	Name	Value	Unit	More	Macro	
1	Number in series	1	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Collector area	4	m ²	More...	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Efficiency mode	1	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Flow rate at test conditions	36	kg/hr.m ²	More...	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Intercept efficiency	0.7	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Negative of first order efficiency coefficient	10	kJ/hr.m ² .K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Negative of second order	0.03	kJ/hr.m ² .K ²	More...	<input checked="" type="checkbox"/>	

Σχήμα 15: Καρτέλα παραμέτρων μοντέλου ηλιακών συλλεκτών τεχνολογίας κενού (μοντέλο 71)

- vi. Άλλες επιλογές είναι η προσθήκη/αφαίρεση ίχνους, ο διαχειριστής εξόδων του συστήματος (output manager), η προσθήκη κειμένου κ.ά.
- Υπολογισμός (Calculate): Σε αυτήν την επιλογή δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη για τις εξής ενέργειες:
 - i. Παραγωγή αρχείου εισόδου (Create input file): Με την εντολή αυτή ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει το αρχείο εισόδου του project του, χωρίς να χρειαστεί να εκτελέσει προσομοίωση. Έτσι, με τις πληροφορίες που παρέχονται στο αρχείο εισόδου ο χρήστης μπορεί να ελέγξει αν τα μοντέλα είναι σωστά συνδεδεμένα μεταξύ τους.
 - ii. Τρέξιμο/εκτέλεση προσομοίωσης (Run simulation): Με την εντολή αυτή – που μπορεί να εκτελεστεί και συντομότερα με το πλήκτρο F8 – ξεκινάει η προσομοίωση της συγκεκριμένης εργασίας. Πιο συγκεκριμένα γίνεται έλεγχος για λάθη ή παραλείψεις που τυχόν υπάρχουν στο project, δημιουργείται το αρχείο εισόδου και τέλος εκτελείται η προσομοίωση με αυτό το αρχείο εισόδου. Μετά το πέρας της προσομοίωσης ο χρήστης επιστρέφει στο Simulation Studio.
 - iii. Παραμετρική μελέτη (Parametric study): Με αυτήν την εντολή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει παράλληλα παραπάνω από μία

προσομοιώσεις του ίδιου project, αλλάζοντας κάποια χαρακτηριστικά των μοντέλων που επιθυμεί. Επομένως, μπορεί να δει συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ των αλλαγών που πραγματοποιεί και να εξοικονομήσει χρόνο.

- iv. Άνοιγμα αρχείων (Open): Τέλος, με αυτήν την εντολή ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στο αρχείο εισόδου, στο αρχείο καταλόγου μέσω του διαχειριστή σφαλμάτων, στο αρχείο αποτελεσμάτων (εφόσον έχει εκτελέσει την προσομοίωση) και στα αρχεία εξόδου (σε περίπτωση που στην εργασία έχει προστεθεί μοντέλο εκτυπωτή, τα αποτελέσματα «τυπώνονται» σε ένα αρχείο εξόδου).
- Εργαλεία (Tools): Αυτή η επιλογή περιλαμβάνει κάποιες πιο εξειδικευμένες ενέργειες για επεξεργασία στο TRNSYS και τη λειτουργία του.
- Παράθυρο (Window): Η επιλογή αυτή είναι χρήσιμη για τη διαρρύθμιση των ενεργών παραθύρων.
- Βοήθεια (?): Τέλος, η επιλογή της βοήθειας περιλαμβάνει το εγχειρίδιο (manual) του TRNSYS και πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα έκδοση του προγράμματος.

3.1.6.3 Κατακόρυφη γραμμή εργαλείων

Πρόκειται για τη γραμμή εργαλείων που βρίσκεται στο αριστερό μέρος του κεντρικού παραθύρου του TRNSYS. Περιλαμβάνει λειτουργικές εντολές και συντομεύσεις εντολών όπως οι εξής:

- Επιλογή (Select): Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ό,τι βρίσκεται στο φύλλο συναρμολόγησης. Δηλαδή μπορεί να μετακινήσει μοντέλα ή συνδέσεις για την καλύτερη κατανόηση του συστήματος. Ακόμα, με δεξί κλικ μπορεί να δει τις ιδιότητες των μοντέλων ή να εκτελέσει εντολές που γίνονται και από το μενού ή άλλες συντομεύσεις.
- Ολίσθηση (Pan): Ο χρήστης μπορεί να μετακινηθεί στο Assembly Panel, για να δει το project του (αν το project είναι μεγαλύτερο από το τμήμα που φαίνεται στο Assembly Panel)
- Μεγέθυνση (Zoom)
- Ζουμ για συνολική επόπτευση (Zoom to fit)
- Σβήσιμο (Erase)
- Επεξεργασία του παραθύρου Proforma του στοιχείου (Proforma editor)
- Ίχνος (Trace)
- Κλείδωμα/Ξεκλείδωμα (Lock/Unlock)
- Δημιουργία σύνδεσης (Link)
- Εισαγωγή κειμένου (Text object)

- Ρυθμίσεις (Settings): Στο σημείο αυτό ορίζονται ρυθμίσεις, όπως το χρονικό βήμα εκτέλεσης της προσομοίωσης, οι χρονικές στιγμές – ημερομηνίες έναρξης και τέλους της προσομοίωσης, το κριτήριο σύγκλισης κ.ά..
- Δημιουργία αρχείου εισόδου (Write input file)
- Εκτέλεση προσομοίωσης (Run)
- Πρόσβαση στο αρχείο εισόδου (Input file)
- Διαχειριστής σφαλμάτων (Results, warnings and errors)

3.2 Μοντέλα συνολικού συστήματος

Στο συνολικό σύστημα χρησιμοποιήθηκε πληθώρα μοντέλων τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

3.2.1 Μοντέλα γενικών λειτουργιών

Αρχικά, χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα μοντέλα γενικών λειτουργιών:

- Εξισώσεις: Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες εξισώσεις, στις οποίες δίνονταν ως εισοδοί έξοδοι από άλλα μοντέλα ή εξωτερικά αριθμητικά δεδομένα και ύστερα από συναρτήσεις των εισόδων που εισάγονταν σε αυτές, υπολογίζονταν οι έξοδοι. Παραδείγματα χρήσης στο συνολικό σύστημα είναι ο έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων που έχουν εφαρμοστεί και η ανάλογη εκτέλεση ενεργειών και η εκτέλεση υπολογισμών που είτε δεν υπάρχουν στα μοντέλα είτε είναι πιο άμεση και εύκολη η πραγματοποίησή τους μέσω των εξισώσεων. Το εικονίδιο των εξισώσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 12 που έχει προηγηθεί.
- Αναγνώστης δεδομένων (Data reader – Type 9c): Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για την ανάγνωση εξωτερικών δεδομένων, όπως για παράδειγμα η ωριαία απαιτούμενη παροχή Ζ.Ν.Χ. ανά άτομο στο διάστημα της ημέρας και του έτους αντίστοιχα. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι το αρχείο προς ανάγνωση πρέπει να είναι σε μορφή κειμένου (*.txt), ενώ στις παραμέτρους μπορούν να οριστούν ο αριθμός των τιμών – στηλών που είναι προς ανάγνωση στο αρχείο, το χρονικό μεσοδιάστημα μεταξύ διαδοχικών τιμών (π.χ. ωριαίο, ημερήσιο κ.ά.), η επιλογή να παραλειφθούν γραμμές κεφαλίδων κατά την ανάγνωση, η παρεμβολή μεταξύ των τιμών αν το χρονικό βήμα της προσομοίωσης διαφέρει από το χρονικό μεσοδιάστημα των τιμών κ.ά.. Το εικονίδιο αυτού του μοντέλου παρουσιάζεται στο **Σχήμα 16**.



Type9c

Σχήμα 16: Εικονίδιο αναγνώστη δεδομένων

- Ηλεκτρονικός δημιουργός γραφημάτων (online plotter – Type 65c): Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε για τη γραφική αναπαράσταση των επιθυμητών κάθε φορά μεγεθών, τα οποία αποτελούν τις εισόδους. Έπειτα μπορούν να ρυθμιστούν και άλλες τιμές, όπως ο αριθμός των μεταβλητών κάθε άξονα, οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές και η ονομασία κάθε άξονα κ.ά.. Το εικονίδιο αυτού του μοντέλου φαίνεται στο **Σχήμα 17**.



Type65c

Σχήμα 17: Εικονίδιο online plotter

- Εκτυπωτής (Printer – Type 25a): Ο εκτυπωτής χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση – αποθήκευση των επιθυμητών αποτελεσμάτων σε ένα εξωτερικό αρχείο του Microsoft Excel (*.xls), ενώ δίνει και τη δυνατότητα εκτύπωσης σε αρχείο κειμένου (*.txt). Ως εισόδους έχει τα προς εκτύπωση μεγέθη, ενώ από την καρτέλα των παραμέτρων ρυθμίζονται και άλλες τιμές, όπως η χρονική στιγμή έναρξης και λήξης της εκτύπωσης, το χρονικό μεσοδιάστημα μεταξύ διαδοχικά εκτυπωμένων τιμών κ.ά.. Στο **Σχήμα 18** παρουσιάζεται το εικονίδιο του εκτυπωτή.



Type25a

Σχήμα 18: Εικονίδιο εκτυπωτή

- Εκτυπωτής – Ολοκληρωτής (Printegrator – Type 46a): Το μοντέλο αυτό είναι παρόμοιο με τον εκτυπωτή, αλλά εκτός από την εκτύπωση των μεγεθών σε ορισμένο χρονικό μεσοδιάστημα, έχει και το επιπλέον χαρακτηριστικό της ολοκλήρωσης των στιγμιαίων τιμών στο σύνολο του χρόνου προσομοίωσης. Έτσι, για παράδειγμα μπορεί να εκτυπώνει τόσο την ωριαία (για ωριαίο χρονικό βήμα) όσο και την ετήσια κατανάλωση ενός λέβητα (για προσομοίωση με διάρκεια ενός χρόνου). Το εικονίδιο του παρουσιάζεται στο **Σχήμα 19**.



Type46a

Σχήμα 19: Εικονίδιο printegrator

3.2.2 Κοινά μοντέλα συστημάτων θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και ψύξης

Στη συνέχεια παρατίθενται τα μοντέλα που είτε είναι κοινά για το συνολικό σύστημα είτε υπάρχουν και στα δύο υποσυστήματα (θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και ψύξης):

- Μετεωρολογικά – καιρικά δεδομένα (Weather Data – Type 15-6 / Type 15-3): Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν για την εισαγωγή των απαραίτητων καιρικών δεδομένων για κάθε περιοχή (εξωτερική θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία, γωνίες ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασία νερού του δικτύου κ.ά.). Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι για την Αθήνα και την Καστοριά υπήρχαν ήδη τα καιρικά δεδομένα στο πακέτο του TRNSYS και η εισαγωγή τους έγινε με το μοντέλο 15-6 σε μορφή του προγράμματος Meteororm (*.tm2) [28]. Ωστόσο, στο πακέτο του TRNSYS δεν υπήρχαν καιρικά δεδομένα για καμία περιοχή της κλιματικής ζώνης Α. Έτσι, η εισαγωγή των καιρικών δεδομένων για τη Νάξο έγινε με το μοντέλο 15-3 σε μορφή του προγράμματος Energy Plus (*.erw) [29], αφού βρέθηκαν πρώτα μετά από σχετική αναζήτηση στο διαδίκτυο [30]. Το εικονίδιο των καιρικών δεδομένων φαίνεται στο **Σχήμα 20** που ακολουθεί.



Weather Data

Σχήμα 20: Εικονίδιο καιρικών δεδομένων (Type 15-6/15-3)

- Μονοζωνικό κτίριο (Single Zone Building – Type 88): Ως κτίριο χρησιμοποιήθηκε το απλοποιημένο μοντέλο μονοζωνικού κτιρίου αντίστασης – θερμοχωρητικότητας, το οποίο ως παραμέτρους έχει μεγέθη όπως ο συντελεστής θερμοπερατότητας, η θερμοχωρητικότητα, ο όγκος και το εμβαδόν της εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου. Επίσης, ως εισόδους λαμβάνει τιμές όπως την εξωτερική θερμοκρασία, την προστιθέμενη (θέρμανση) ή αφαιρούμενη (ψύξη) ενέργεια από αυτό και έπειτα από υπολογισμούς, στις εξόδους έχει τη θερμοκρασία του χώρου, την απόλυτη υγρασία του χώρου κ.ά.. Το εικονίδιο αυτού του μοντέλου φαίνεται στο **Σχήμα 21**.



Type88

Σχήμα 21: Εικονίδιο μοντέλου μονοζωνικού κτιρίου

- Θερμοστάτης χώρου (Thermostat – Type 166): Ο θερμοστάτης έχει ως είσοδο τη θερμοκρασία του κτιρίου που ελέγχει και την επιθυμητή θερμοκρασία (setpoint) σε λειτουργία θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα και ως έξοδο το σήμα (0 ή 1) για την ενεργοποίηση του αντίστοιχου υποσυστήματος που απαιτείται. Επίσης, στις παραμέτρους ορίζεται και το εύρος του (Dead band), για να μη ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται συνεχώς τα υποσυστήματα. Στο **Σχήμα 22** παρουσιάζεται το εικονίδιο του θερμοστάτη.



Type166

Σχήμα 22: Εικονίδιο θερμοστάτη χώρου

- Θερμοστάτης για θέρμανση υγρών (Aquastat – Type 106): Αυτός ο θερμοστάτης έχει παρόμοια λειτουργία με το θερμοστάτη χώρου (Type 166) με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της θερμοκρασίας υγρών και συστημάτων που θερμαίνουν υγρά. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται στο δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού και όταν υπάρχει η ανάγκη ενεργοποιεί το λέβητα. Το εικονίδιό του φαίνεται στο **Σχήμα 23**.



Type106

Σχήμα 23: Εικονίδιο aquastat

- Αντλία σταθερών στροφών (Single speed pump – Type 114): Αυτό το μοντέλο λαμβάνει ως εισόδους τη θερμοκρασία και την παροχή (ονομαστική) του εισερχόμενου ρεύματος, το βαθμό απόδοσης της αντλίας και υπολογίζει την καταναλισκόμενη ισχύ από την αντλία και τη θερμότητα που μεταφέρεται στο ρευστό, αλλά και στο περιβάλλον. Στο **Σχήμα 24** παρουσιάζεται το εικονίδιο αυτού του μοντέλου.



Type114

Σχήμα 24: Εικονίδιο αντλίας σταθερών στροφών

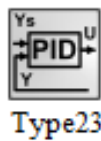
- Αντλία μεταβλητών στροφών (Variable speed pump – Type 110): Αυτό το μοντέλο λαμβάνει ως εισόδους τη θερμοκρασία και την παροχή του εισερχόμενου ρεύματος, το βαθμό απόδοσης της αντλίας και το ποσοστό της ονομαστικής παροχής που αποτελεί η εισερχόμενη ροή και υπολογίζει την καταναλισκόμενη ισχύ από την αντλία και τη θερμότητα που μεταφέρεται στο ρευστό και στο περιβάλλον. Το εικονίδιο αυτού του μοντέλου απεικονίζεται στο **Σχήμα 25**.



Type110

Σχήμα 25: Εικονίδιο αντλίας μεταβλητών στροφών

- Ελεγκτής PID (PID controller – Type 23): Ελεγκτές PID χρησιμοποιούνται για να ορίσουν την παροχή του εισερχόμενου ρευστού στους ηλιακούς συλλέκτες, στο καλοριφέρ και στη μονάδα fan – coil αντίστοιχα. Στις εισόδους περιλαμβάνουν μεγέθη όπως η σταθερά κέρδους, η πραγματική τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής (διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου στους συλλέκτες και στο fan – coil και εισόδου – εξόδου στο καλοριφέρ), η επιθυμητή τιμή αυτής της μεταβλητής και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές σήματος. Έπειτα υπολογίζει και εμφανίζει στις εξόδους το σφάλμα ανάμεσα στην πραγματική και την επιθυμητή τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής, το σήμα ελέγχου για μηδενισμό ή ελαχιστοποίηση αυτού του σφάλματος κ.ά.. Το εικονίδιο του παρουσιάζεται στο **Σχήμα 26**.

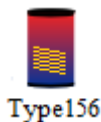


Σχήμα 26: Εικονίδιο ελεγκτή PID

3.2.3 Επιπλέον μοντέλα συστήματος θέρμανσης – Z.N.X.

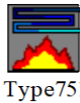
Πέρα των κοινών μοντέλων που προηγήθηκαν στο σύστημα θέρμανσης – Z.N.X. χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα μοντέλα:

- Κυλινδρικό δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού με ενσωματωμένο εναλλάκτη θερμότητας σπειροειδούς σωλήνα (Cylindrical storage tank with immersed coiled – tube heat exchanger – Type 156): Το δοχείο αυτό στις παραμέτρους περιέχει τον όγκο και το ύψος του δοχείου – το οποίο διατηρείται σταθερό και ίσο με 1.8 m –, σχετικές θέσεις των διάφορων εισόδων και εξόδων, καθώς και του θερμοστάτη, συντελεστές μεταφοράς θερμότητας για τις εξωτερικές επιφάνειές του, τις ιδιότητες των ρευστών που ρέουν στο δοχείο και στον εναλλάκτη αντίστοιχα, τον αριθμό των ισόθερμων και ίσων όγκων στους οποίους διαχωρίζεται το δοχείο κατά τους υπολογισμούς κ.ά.. Ως εισόδους έχει τις παροχές μάζας και τις θερμοκρασίες στις διάφορες εισόδους, καθώς και τις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος για τον υπολογισμό των απωλειών. Έπειτα από υπολογισμούς στις εξόδους περιλαμβάνει μεγέθη όπως τις παροχές μάζας και τις θερμοκρασίες στις διάφορες εξόδους, την ενέργεια που συνολικά μεταφέρεται στο δοχείο (διαφορά προστιθέμενης ενέργειας μέσω της εισόδου και αφαιρούμενης μέσω της αντίστοιχης εξόδου) κ.ά.. Το εικονίδιο αυτού του μοντέλου φαίνεται στο **Σχήμα 27**.



Σχήμα 27: Εικονίδιο κυλινδρικού δοχείου αποθήκευσης με ενσωματωμένο εναλλάκτη θερμότητας

- Λέβητας φυσικού αερίου (natural gas boiler – Type 751): Ο λέβητας αυτός που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού του δοχείου θέρμανσης, έχει ως παράμετρο την ονομαστική του ισχύ και ως εισόδους την παροχή και τη θερμοκρασία του εισερχόμενου ρευστού, καθώς και την επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου του. Ως έξοδοι προκύπτουν η θερμοκρασία και η παροχή μάζας του ρευστού, η κατανάλωση ενέργειας καυσίμου από το λέβητα, η θερμότητα των καυσαερίων, ο λόγος μερικού φορτίου (Part Load Ratio – PLR) του λέβητα, η απόδοση καύσης και ο βαθμός απόδοσης του λέβητα (οι αποδόσεις περνούν από εξωτερικά αρχεία στο μοντέλο). Το **Σχήμα 28** απεικονίζει αυτό το μοντέλο.



Σχήμα 28: Εικονίδιο λέβητα φυσικού αερίου

- Ηλιακοί συλλέκτες σωλήνων κενού (Solar evacuated tube collectors – Type 71): Αυτό το μοντέλο που περιγράφει τους ηλιακούς συλλέκτες τεχνολογίας κενού, έχει ως παραμέτρους τον αριθμό των συλλεκτών σε σειρά, τη συνολική επιφάνειά τους κ.ά., ενώ ως εισόδους λαμβάνει την παροχή μάζας και τη θερμοκρασία του εισερχόμενου ρευστού, τη συνολική και διάχυτη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, την κλίση του συλλέκτη, το αζιμούθιο του κ.ά.. Στις εξόδους περιλαμβάνει τη θερμοκρασία και την παροχή του εξερχόμενου ρευστού, την ωφέλιμη ενέργεια του συλλέκτη κ.ά.. Το εικονίδιο αυτού του μοντέλου παρουσιάζεται στο **Σχήμα 29**.



Σχήμα 29: Εικονίδιο του ηλιακού συλλέκτη σωλήνων κενού

- Καλοριφέρ (Radiator – Type 1231): Αυτό το μοντέλο περιγράφει ένα καλοριφέρ και στις παραμέτρους του υπάρχουν μεγέθη όπως η ισχύς σχεδιασμού, η θερμοκρασία επιφανείας σχεδιασμού, οι εσωτερικές διάμετροι των σωλήνων κ.ά.. Ως εισόδους περιλαμβάνει τη θερμοκρασία και την παροχή του εισερχόμενου νερού, τη θερμοκρασία του δωματίου και την πίεση του αέρα του δωματίου, ενώ ως έξοδοι προκύπτουν η θερμοκρασία και η παροχή του εξερχόμενου ρεύματος νερού, η θερμοκρασία επιφανείας των πλακών και η θερμότητα που μεταφέρεται στο χώρο. Το **Σχήμα 30** αποτελεί το εικονίδιο αυτού του μοντέλου.



Σχήμα 30: Εικονίδιο μοντέλου καλοριφέρ

- Διαχωριστής ροής (Flow Diverter – Type 11f): Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό της ροής στο ρεύμα που πηγαίνει στο καλοριφέρ και στο ρεύμα που πηγαίνει για χρήση στο σπίτι. Ως εισόδους έχει τη θερμοκρασία και την παροχή του εισερχόμενου συνολικού ρεύματος και το λόγο της παροχής της δεύτερης εξόδου (Z.N.X.) προς τη συνολική, ο οποίος καθορίζει το μέρος του συνολικού ρεύματος που θα πάει προς κάθε έξοδο και υπολογίζεται εκτός του μοντέλου από μία εξίσωση (Equation). Σαν εξόδους διαθέτει τη θερμοκρασία και την παροχή καθενός από τα δύο εξερχόμενα ρεύματα. Το εικονίδιο αυτού του μοντέλου ακολουθεί στο **Σχήμα 31**.



Type11f

Σχήμα 31: Εικονίδιο διαχωριστή ροής

3.2.4 Επιπλέον μοντέλα συστήματος θέρμανσης

Εκτός από τα κοινά μοντέλα μεταξύ των υποσυστημάτων που έχουν προαναφερθεί, στο σύστημα ψύξης χρησιμοποιούνται επιπρόσθετα τα εξής μοντέλα:

- Κυλινδρικό δοχείο αποθήκευσης νερού (Cylindrical storage tank – Type 158): Το δοχείο αυτό, που δεν χρησιμοποιείται στο σενάριο στο οποίο υπάρχει δοχείο μόνο για τη θέρμανση – Z.N.X., είναι παρόμοιο με το δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού που αναλύθηκε παραπάνω με τη μόνη διαφορά ότι δεν διαθέτει ενσωματωμένο εναλλάκτη θερμότητας. Το εικονίδιό του φαίνεται στο **Σχήμα 32**.



Type158

Σχήμα 32: Εικονίδιο κυλινδρικού δοχείου αποθήκευσης

- Ψύκτης (Chiller – Type 655): Το μοντέλο αυτό περιγράφει έναν αερόψυκτο ψύκτη συμπίεσης ατμού μεταβλητής ισχύος. Ως παραμέτρους έχει μεγέθη όπως την ονομαστική του ισχύ και τον ονομαστικό συντελεστή συμπεριφοράς (Coefficient of Performance (COP)) και ως εισόδους περιλαμβάνει τη θερμοκρασία και την παροχή του εισερχόμενου ρευστού, την εξωτερική θερμοκρασία και την επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου του ρευστού. Ύστερα από υπολογισμούς ως έξοδοι προκύπτουν η θερμοκρασία και η παροχή του εξερχόμενου ρεύματος, η καταναλισκόμενη ισχύς που απαιτείται για τη λειτουργία του ψύκτη, η απορριπτόμενη θερμότητα, ο λόγος μερικού φορτίου (PLR) του ψύκτη κ.ά.. Το μοντέλο αυτό απεικονίζεται στο **Σχήμα 33**.



Type655

Σχήμα 33: Εικονίδιο αερόψυκτου ψύκτη συμπίεσης ατμού

- Μονάδα ανεμιστήρα – στοιχείου (Fan – coil unit – Type 600): Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται για την ψύξη της κατοικίας. Στις παραμέτρους του υπάρχουν μεγέθη όπως η ονομαστική παροχή αέρα, η ονομαστική ισχύς του ανεμιστήρα, ο βαθμός απόδοσής του κ.ά., ενώ στις εισόδους περιλαμβάνονται η θερμοκρασία και η παροχή του εισερχόμενου ρεύματος νερού, η θερμοκρασία του αέρα του χώρου, η πίεση του αέρα του χώρου κ.ά.. Τέλος, ως έξοδοι προκύπτουν η παροχή μάζας και η θερμοκρασία του εξερχόμενου ρεύματος νερού, η θερμοκρασία του εξερχόμενου αέρα, η ισχύς που καταναλώνεται από τον ανεμιστήρα, η θερμότητα που μεταφέρεται από τον αέρα κ.ά.. Το μοντέλο αυτό απεικονίζεται στο **Σχήμα 34**.



Type600

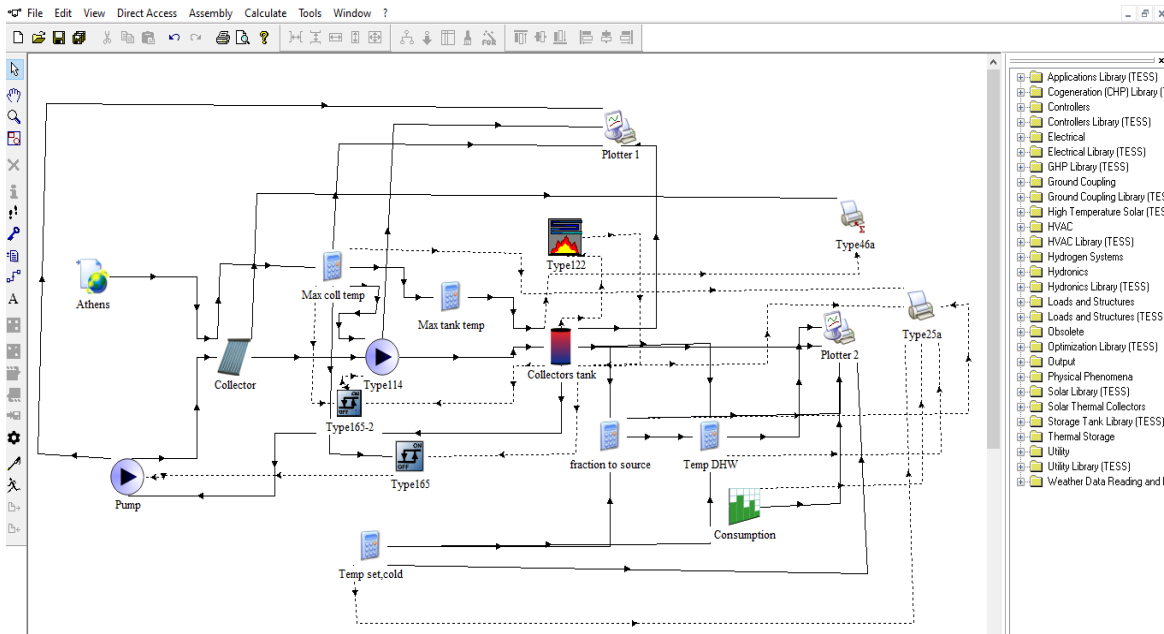
Σχήμα 34: Εικονίδιο μοντέλου fan – coil

3.3 Πορεία εργασίας και δημιουργίας του συνολικού συστήματος

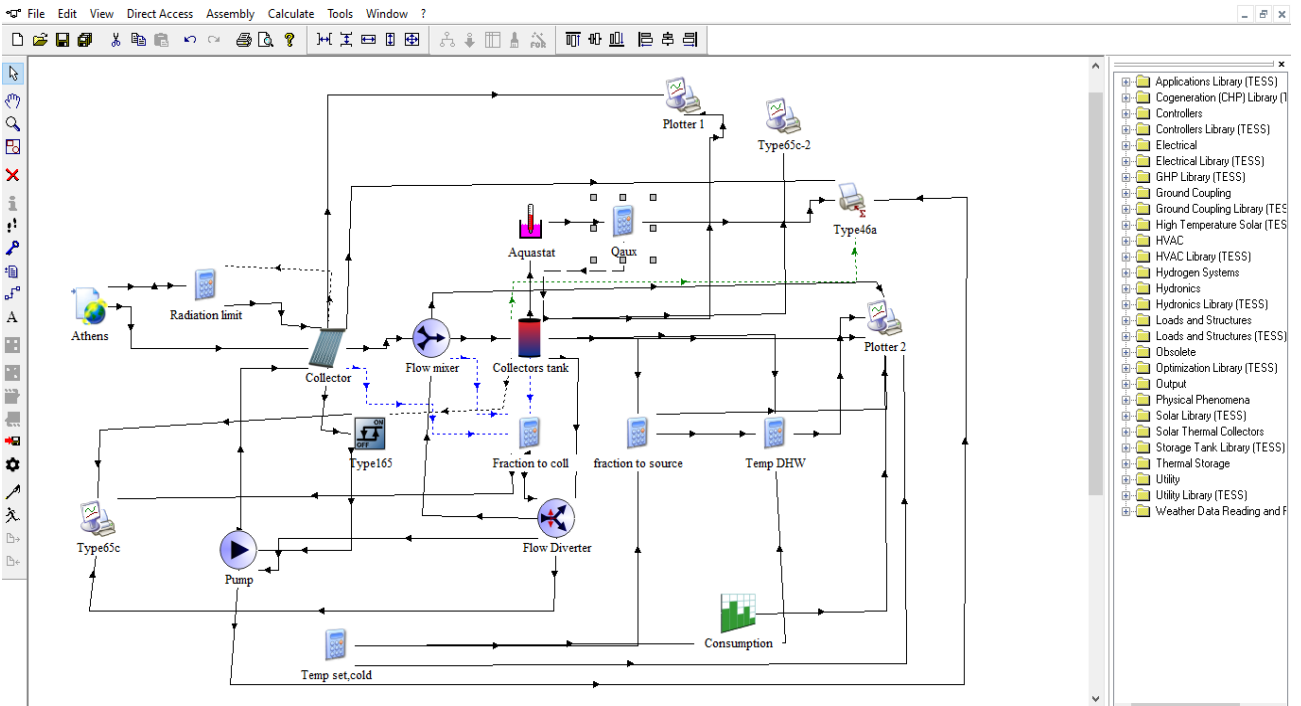
3.3.1 Αρχικά συστήματα Z.N.X.

Κατ' αρχάς, για να επιτευχθεί μια αρχική εξοικείωση με το πρόγραμμα, κατασκευάστηκαν μερικά απλά συστήματα, κάποια από τα οποία φαίνονται παρακάτω. Στο **Σχήμα 35** φαίνεται ένα αρχικό απλό σύστημα Z.N.X. με λέβητα και ηλιακούς συλλέκτες τεχνολογίας κενού για τη θέρμανση του νερού, την κατανάλωση του Z.N.X. να δίνεται από μια εξαναγκασμένη συνάρτηση, ενώ περιέχει και ένα διαφορικό ελεγκτή (Type 165) αντί του ελεγκτή PID που χρησιμοποιείται στο τελικό σύστημα.

Ακόμα, το **Σχήμα 36** απεικονίζει ένα αρχικό σύστημα Z.N.X. με εσωτερική αντίσταση αντί του λέβητα (η λειτουργία της μοντελοποιείται μέσω της εξίσωσης (Equation)) και ανώτατα όρια θερμοκρασίας για τον ηλιακό συλλέκτη και το δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού. Για το συλλέκτη αν η θερμοκρασία εξόδου αγγίξει το ανώτατο όριο που είναι 100 °C, σκιάζεται, λειτουργία που μοντελοποιείται με την εξίσωση «Radiation Limit» (μηδενίζεται η προσπίπτουσα ακτινοβολία). Για το δοχείο, ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατεί, μέσω του διαχωριστή ροής (Flow Diverter) και της γειτονικής του εξίσωσης ρυθμίζεται ένα μέρος της ροής που δεν θερμαίνεται μέσω του συλλέκτη, αλλά τον προσπερνάει και έπειτα από ανάμιξη με τη ροή που περνάει από το συλλέκτη, επιστρέφει στο δοχείο.



Σχήμα 35: Αρχικό απλό σύστημα Z.N.X. με λέβητα

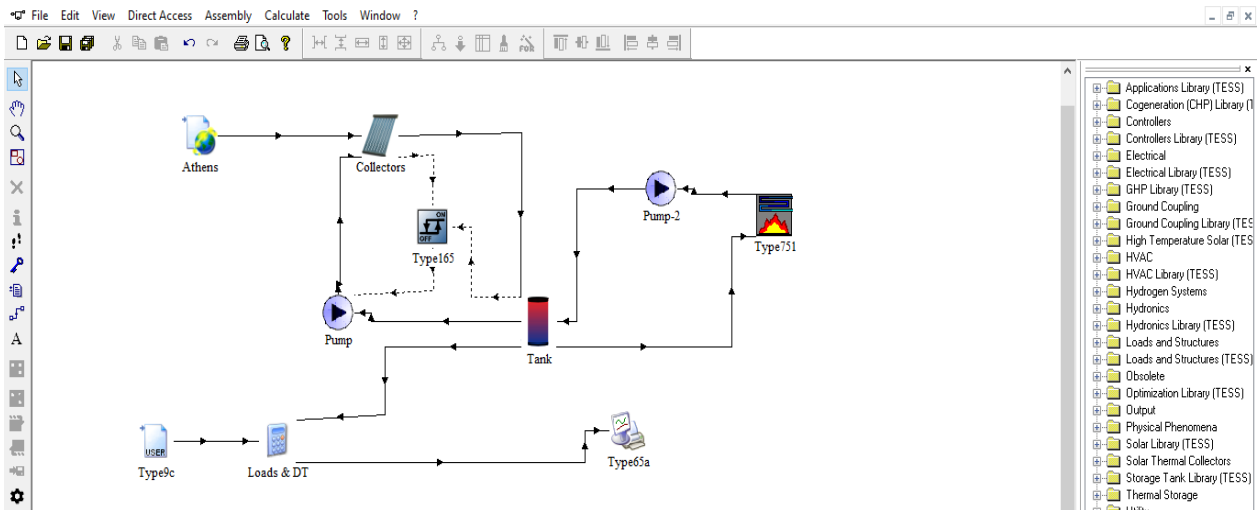


Σχήμα 36: Αρχικό απλό σύστημα Z.N.X. με εσωτερική αντίσταση στο δοχείο

3.3.2 Αρχικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης

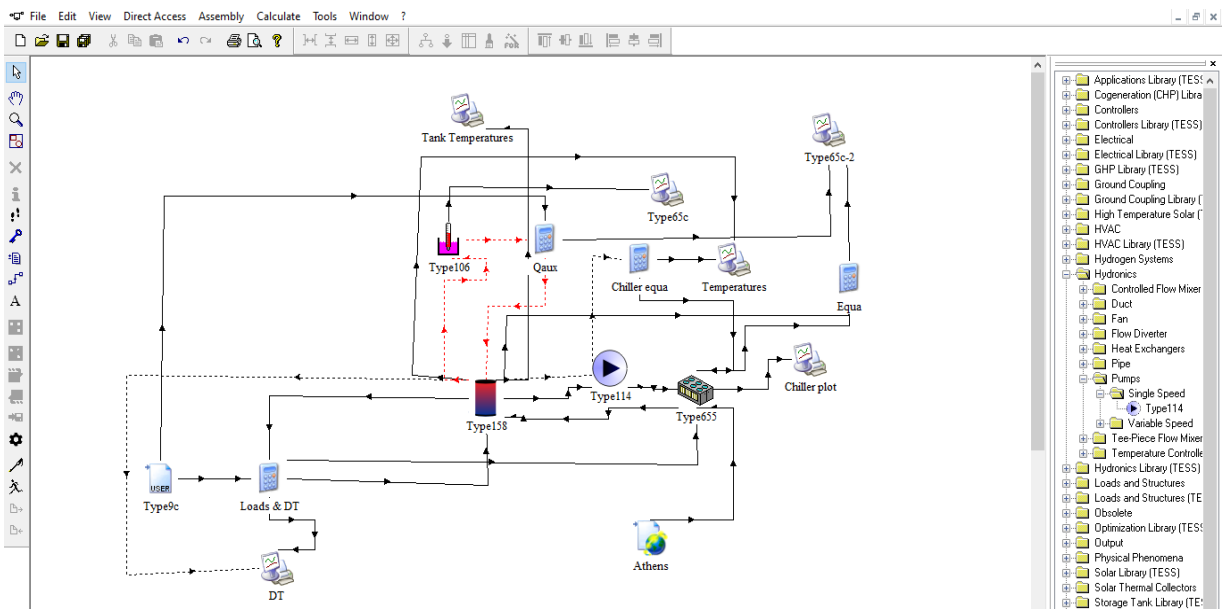
Στη συνέχεια, προστέθηκαν φορτία θέρμανσης, ψύξης και Ζ.Ν.Χ. μέσω εξωτερικών αρχείων κειμένου (*.txt) και μοντέλου αναγνώστη δεδομένων και κατασκευάστηκαν και απλά συστήματα θέρμανσης και ψύξης.

Στο **Σχήμα 37** φαίνεται ένα αρχικό απλό σύστημα θέρμανσης με λέβητα, δοχείο αποθήκευσης, ηλιακούς συλλέκτες και αντλίες σταθερών στροφών, όπου τα φορτία θέρμανσης λαμβάνονται μέσω ενός μοντέλου Αναγνώστη δεδομένων (Type 9c) στο οποίο εισάγεται ανάλογο αρχείο κειμένου.



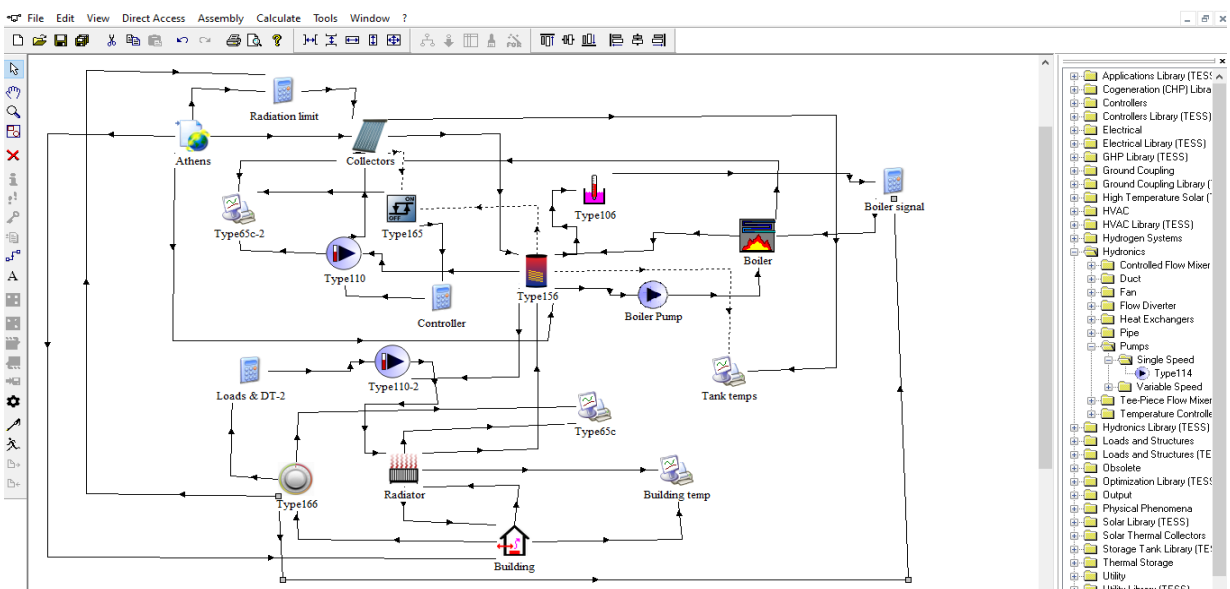
Σχήμα 37: Αρχικό απλό σύστημα θέρμανσης

Ομοίως, το **Σχήμα 38** παρουσιάζει ένα αρχικό απλό σύστημα ψύξης, με ψύκτη συμπίεσης ατμού, δοχείο αποθήκευσης με θερμοστάτη (Aquamstat) και εσωτερική αντίσταση, αντλία σταθερών στροφών και διάφορες εξισώσεις για υπολογισμούς και προσδιορισμό θερμοκρασιών, παροχών κ.ά., όπου τα φορτία ψύξης λαμβάνονται μέσω του μοντέλου Αναγνώστη δεδομένων (Type 9c).

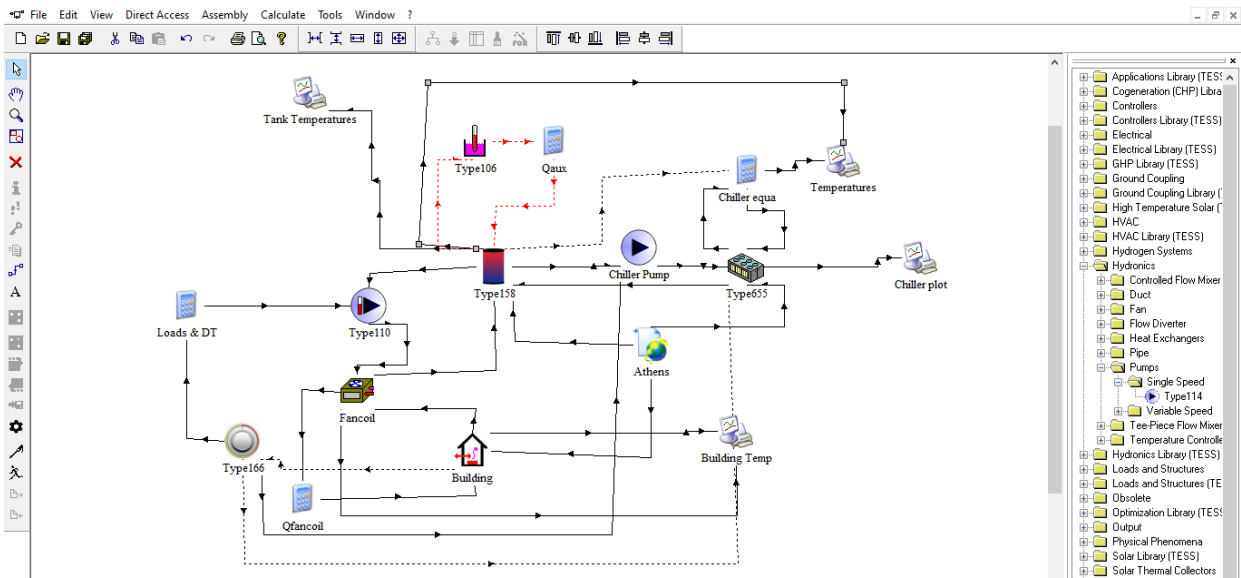


Σχήμα 38: Αρχικό απλό σύστημα ψύξης

Υστερα, προστέθηκαν αντλίες μεταβλητών στροφών, το μοντέλο του μονοζωνικού κτιρίου (Type 88) και θερμοστάτης χώρου, που αντικατέστησαν τα φορτία που εισάγονταν από εξωτερικά αρχεία κειμένου (αφού τώρα η λειτουργία των συστημάτων καθορίζεται βάσει της θερμοκρασίας του κτιρίου). Επίσης, για το σύστημα θέρμανσης προστέθηκε το μοντέλο του καλοριφέρ, ενώ για το σύστημα ψύξης η μονάδα fan – coil και προέκυψαν τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης που απεικονίζονται στο Σχήμα 39 και στο Σχήμα 40 αντίστοιχα.



Σχήμα 39: Σύστημα θέρμανσης με μοντέλο κτιρίου, θερμοστάτη και καλοριφέρ

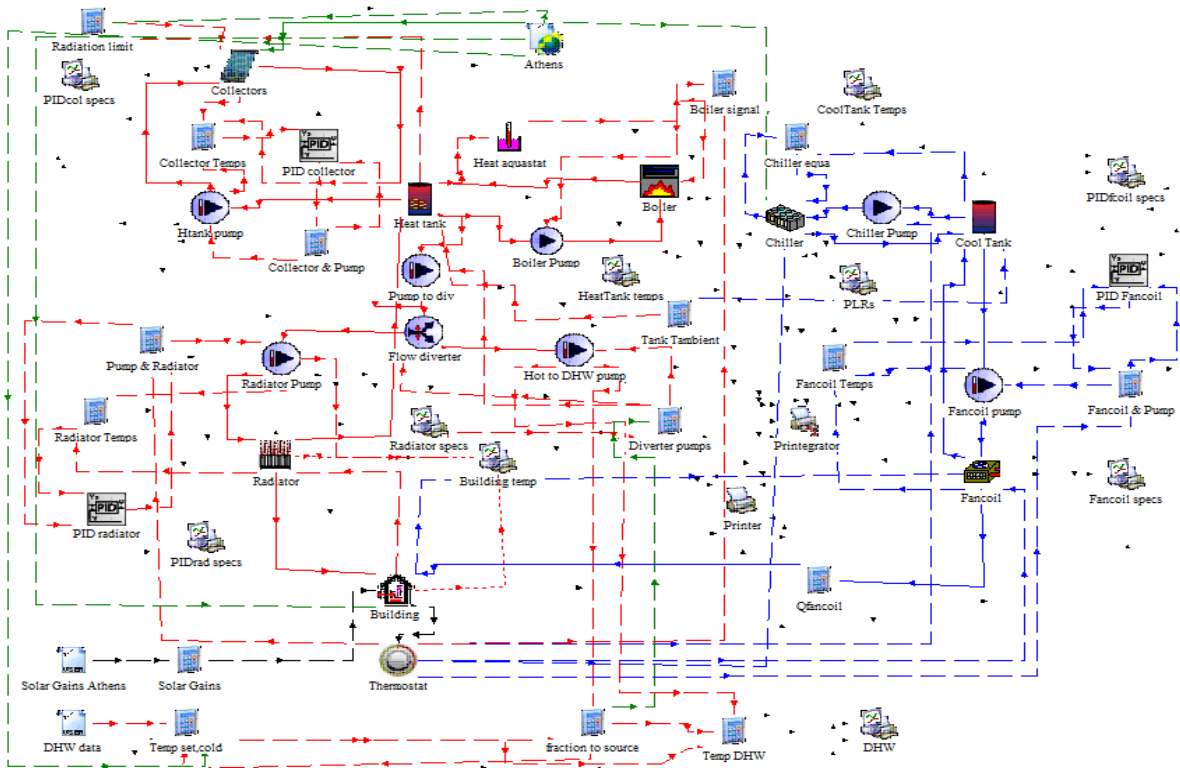


Σχήμα 40: Σύστημα ψύξης με μοντέλο κτιρίου, θερμοστάτη και μονάδα fan – coil

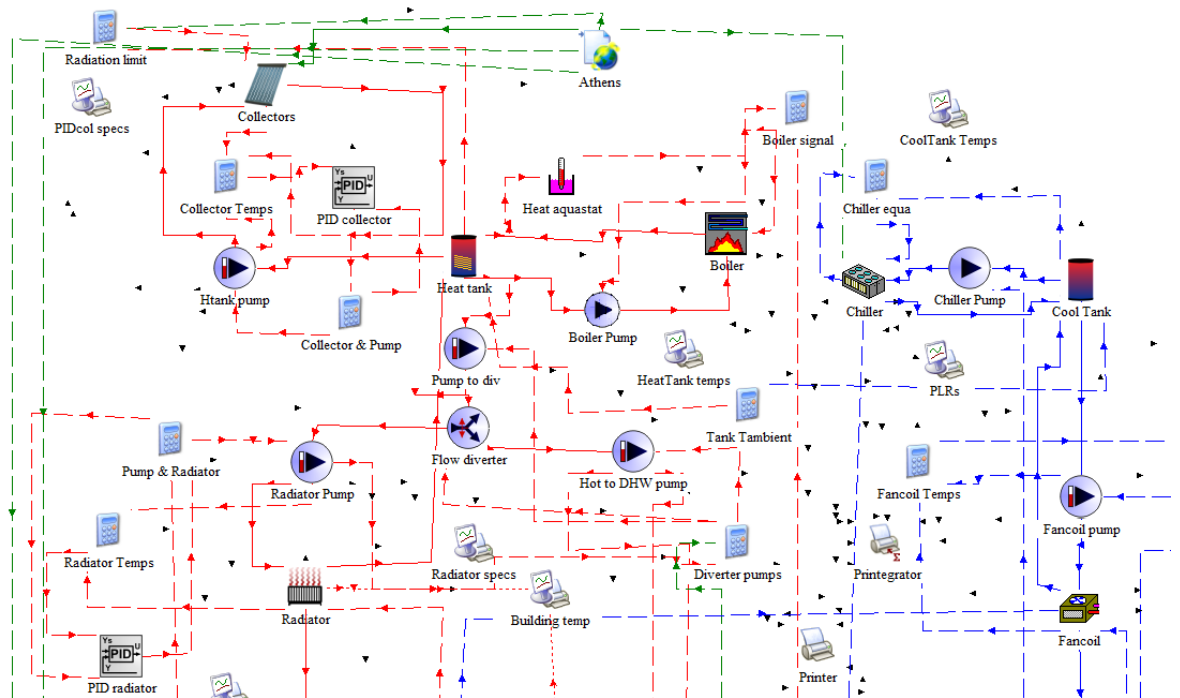
3.3.3 Τελικό συνολικό σύστημα

Τέλος, έγινε εισαγωγή PID ελεγκτών αντί των διαφορικών ελεγκτών των προηγούμενων σχημάτων και εισαγωγή ηλιακών κερδών για το κτίριο μέσω εξωτερικού αρχείου κειμένου και μοντέλου Data Reader και τα υποσυστήματα Z.N.X., θέρμανσης και ψύξης ενώθηκαν σε ένα ενιαίο. Παρακάτω παρουσιάζεται το συνολικό σύστημα για το σενάριο με δοχεία αποθήκευσης και για θέρμανση – Z.N.X. και για ψύξη (Σχήμα 41) (το οποίο είναι κοινό ως προς τα μοντέλα που το αποτελούν με το σενάριο με τους περισσότερους συλλέκτες) και για το σενάριο με δοχείο αποθήκευσης μόνο ζεστού νερού (για θέρμανση – Z.N.X.) (Σχήμα 45). Συγκεκριμένα, απεικονίζονται τα συστήματα για την κατοικία θερμαινόμενων χώρων 200 m² στην περιοχή της Αθήνας. Ωστόσο, το συνολικό σύστημα και τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι κοινά για κάθε περιοχή και κάθε κατοικία, αλλά αλλάζουν μόνο τα επιμέρους στοιχεία των μοντέλων (χαρακτηριστικά – μεταβλητές μοντέλων, περιοχή στο μοντέλο των καιρικών δεδομένων και εξωτερικό αρχείο ηλιακών κερδών περιοχής).

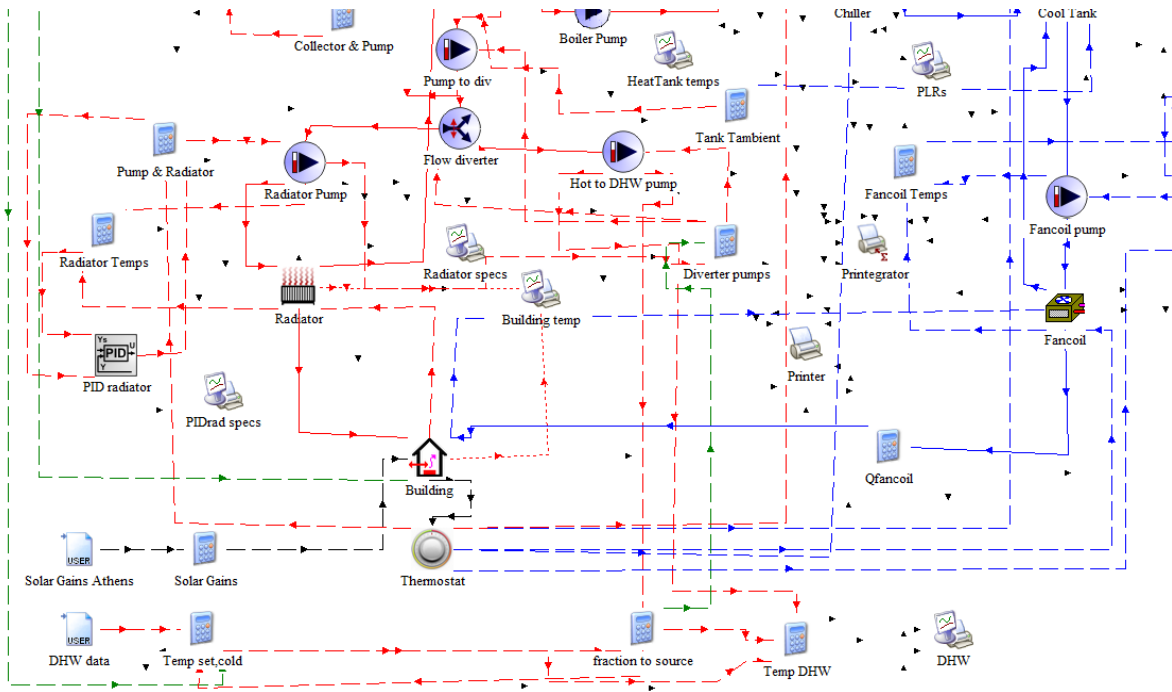
Για τα σχήματα που ακολουθούν, οι πράσινες γραμμές είναι για καιρικά δεδομένα, οι κόκκινες αναφέρονται στο σύστημα θέρμανσης – Z.N.X., οι μπλε στο σύστημα ψύξης και οι μαύρες σε γενικά – κοινά μοντέλα. Επίσης, οι συνεχείς γραμμές είναι για ροές μάζας ή ενέργειας, ενώ οι διακεκομμένες είναι για μεταφορά δεδομένων ή τιμών (σε ή από εξισώσεις ή μεταξύ μοντέλων). Τέλος, οι γραμμές που καταλήγουν σε δημιουργούς γραφημάτων (online plotters), στον εκτυπωτή (printer) και στον ολοκληρωτή – εκτυπωτή (printegrator) είναι διαφανείς και φαίνονται μόνο τα βέλη σύνδεσής τους, για να είναι πιο ευδιάκριτο το σχήμα. Για τον ίδιο λόγο και οι γραμμές δεν σχηματίζουν ορθές γωνίες, καθώς τότε θα συνέπιπταν σε μεγαλύτερο βαθμό η μία με την άλλη και το σχήμα θα ήταν πιο δυσδιάκριτο.



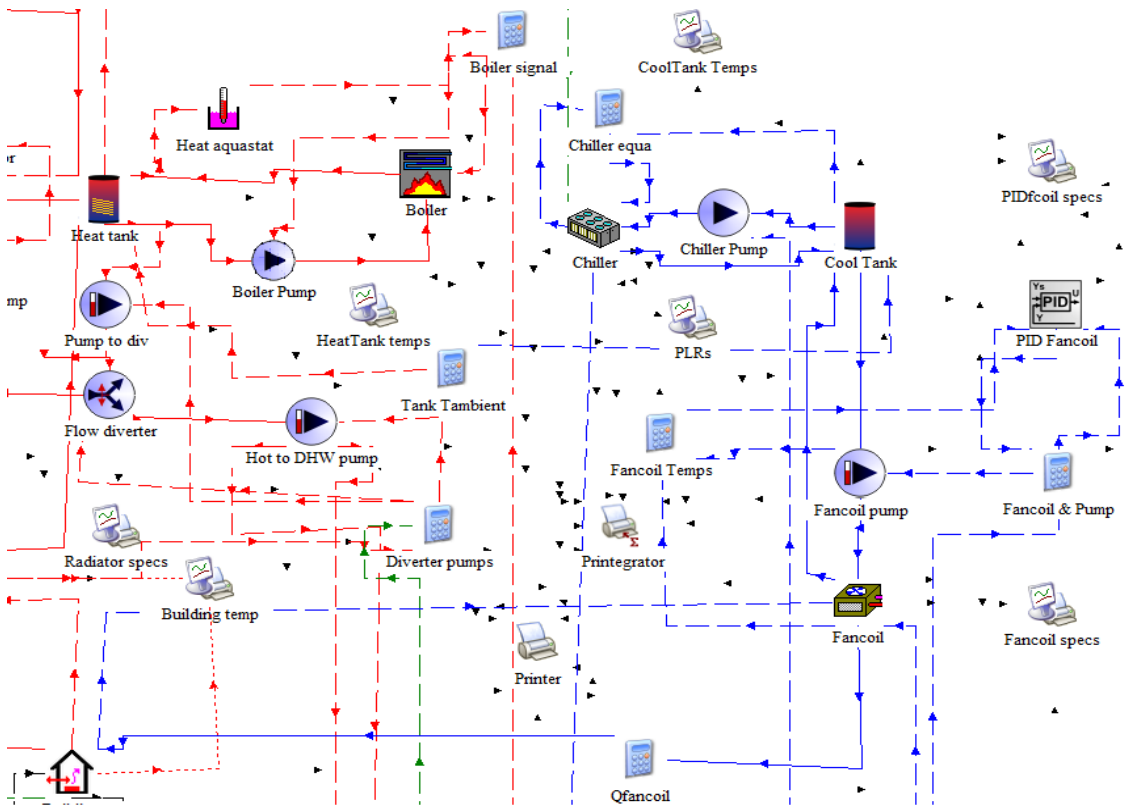
Σχήμα 41: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δύο δοχεία αποθήκευσης



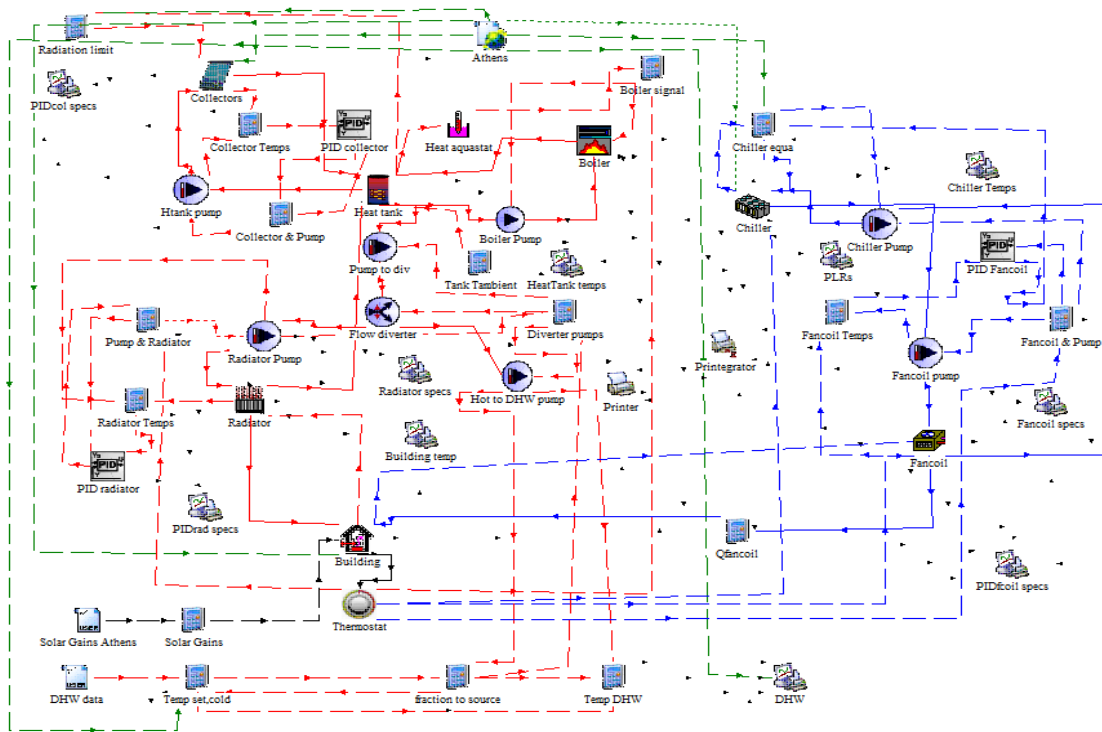
Σχήμα 42: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δύο δοχεία - μεγέθυνση 1



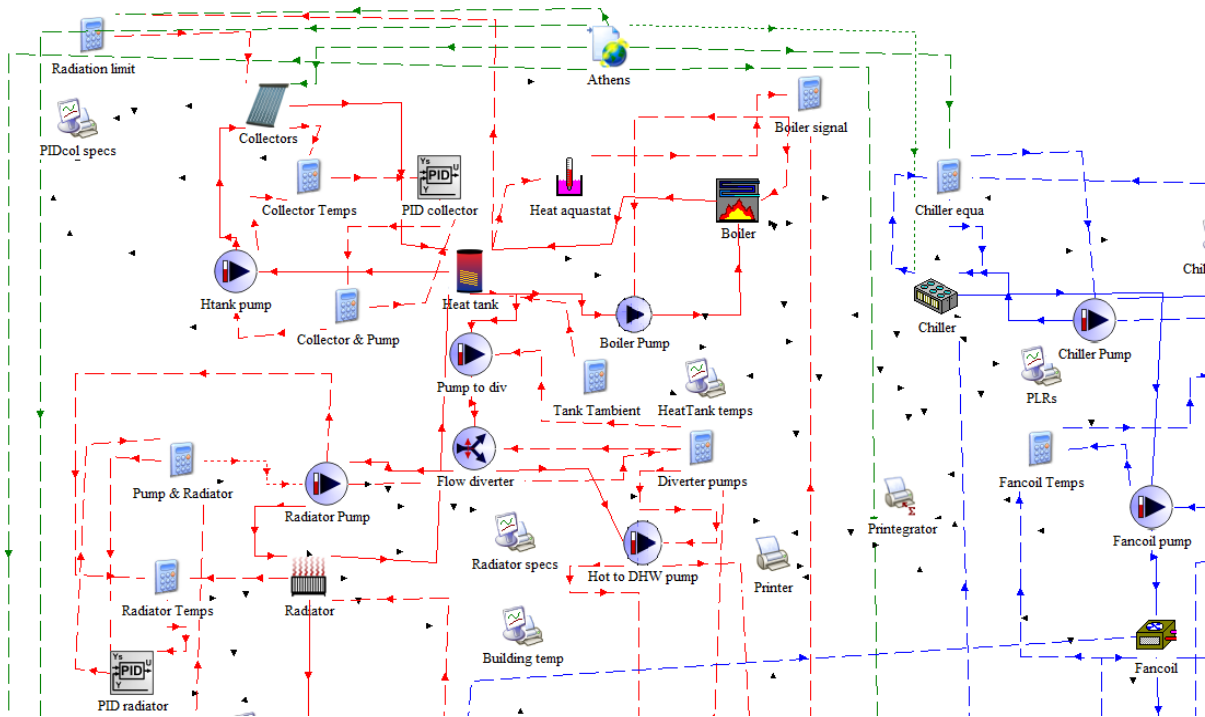
Σχήμα 43: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δύο δοχεία - μεγέθυνση 2



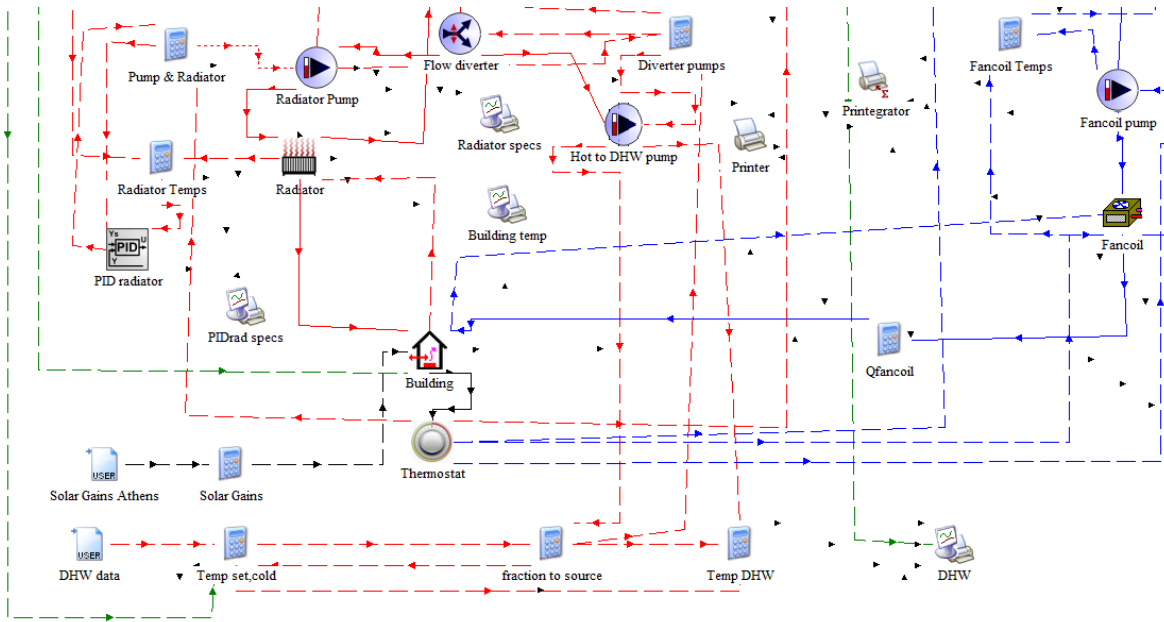
Σχήμα 44: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δύο δοχεία - μεγέθυνση 3



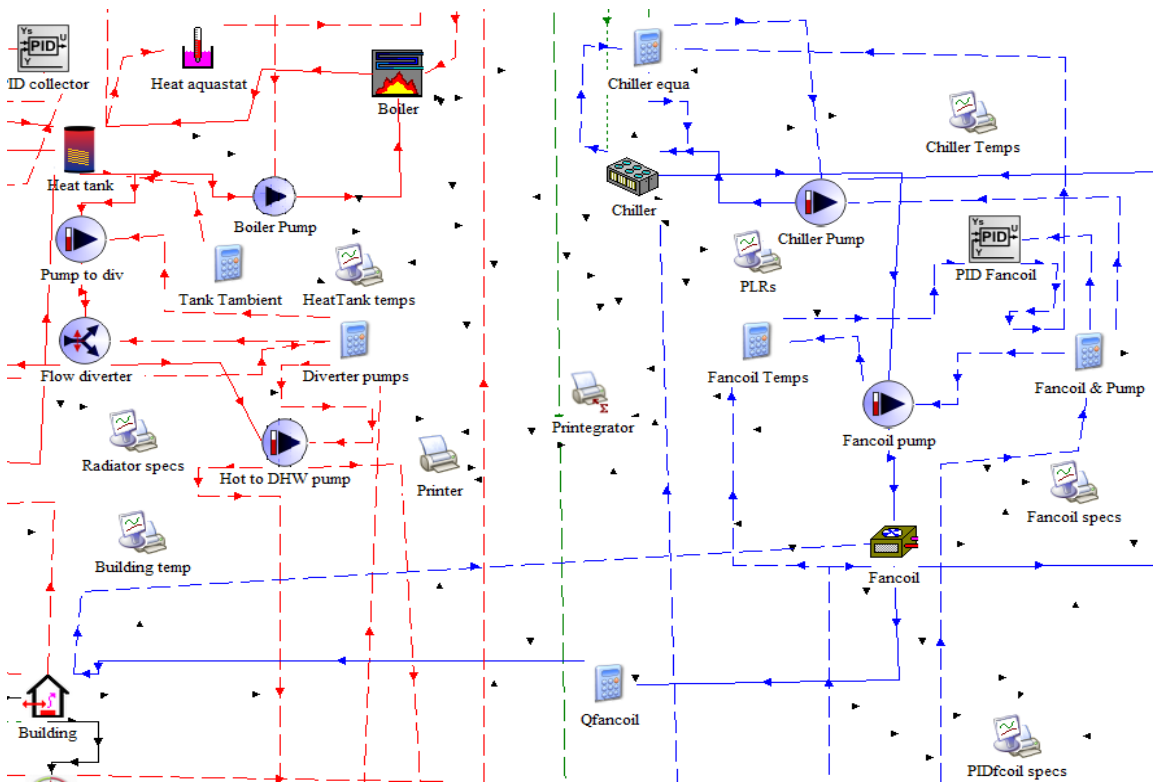
Σχήμα 45: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δοχείο μόνο για θέρμανση – Z.N.X.



Σχήμα 46: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δοχείο μόνο για θέρμανση – Z.N.X. – μεγέθυνση 1



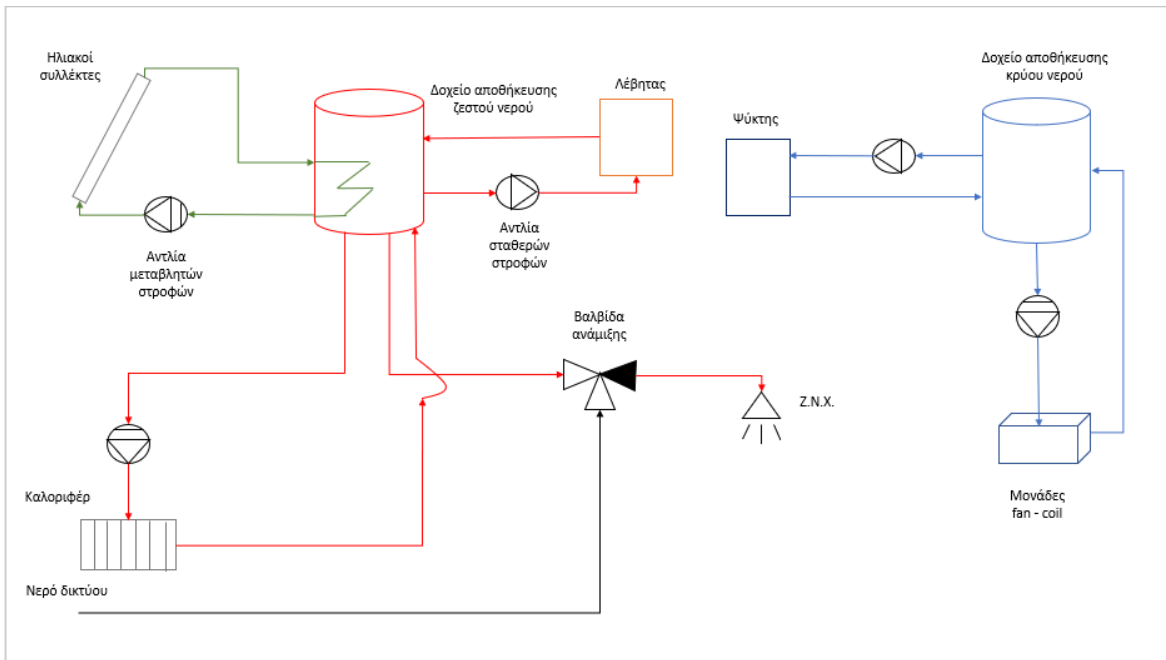
Σχήμα 47: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δοχείο μόνο για θέρμανση – Ζ.Ν.Χ. – μεγέθυνση 2



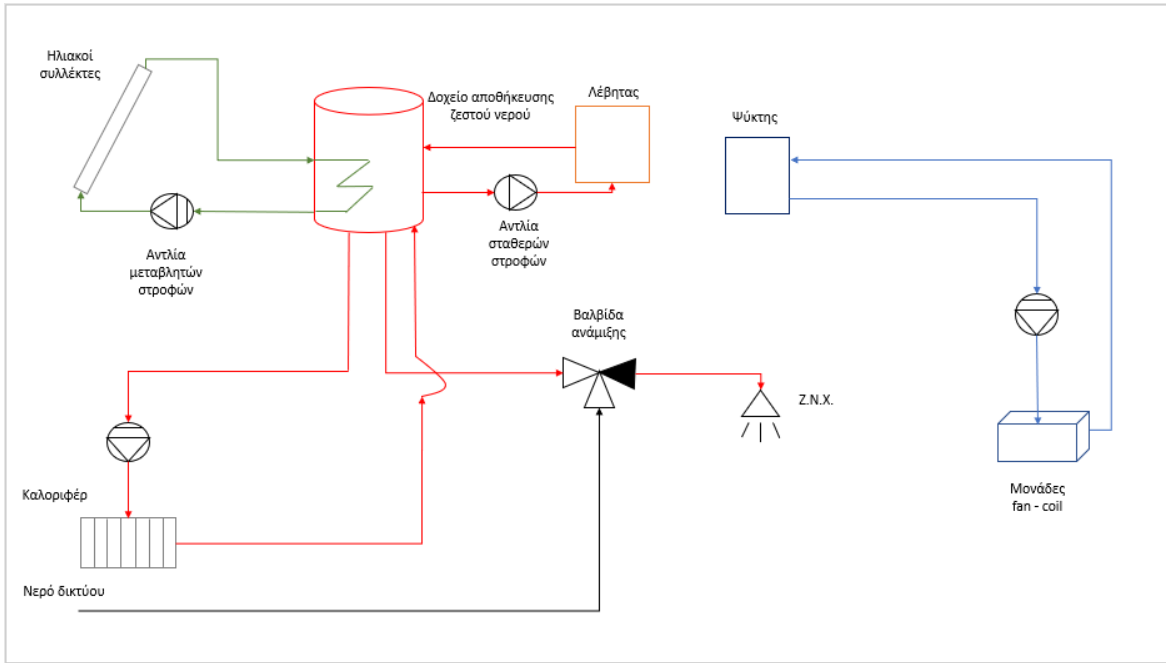
Σχήμα 48: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δοχείο μόνο για θέρμανση – Ζ.Ν.Χ. – μεγέθυνση 3

Στα παραπάνω σχήματα παρουσιάζεται το συνολικό σύστημα και τα μοντέλα που το απαρτίζουν, όπως έχουν περιγραφεί αναλυτικά στα υποκεφάλαια 2.2 και 3.2, καθώς και οι μεταξύ τους συνδέσεις. Επίσης, φαίνεται ότι μεταξύ των σεναρίων με τα δύο δοχεία (για θέρμανση – Z.N.X. και για ψύξη) και των σεναρίων με δοχείο αποθήκευσης μόνο για θέρμανση – Z.N.X., η μοναδική διαφορά έγκειται στο υποσύστημα ψύξης, όπου για τη δεύτερη περίπτωση λείπει το δοχείο αποθήκευσης και αντί για αντλία σταθερών στροφών χρησιμοποιείται αντλία μεταβλητών στροφών στον ψύκτη, ο οποίος λειτουργεί σε κλειστό κύκλωμα με τις μονάδες fan – coil.

Τέλος, στα ακόλουθα σχήματα (Σχήμα 49 και Σχήμα 50) απεικονίζονται τα απλοποιημένα μονογραμμικά διαγράμματα με τα βασικά στοιχεία των συνολικών συστημάτων που αναλύθηκαν παραπάνω, για το σενάριο, δηλαδή, με δοχείο και για θέρμανση – Z.N.X. και για ψύξη και για το σενάριο με δοχείο αποθήκευσης θερμότητας μόνο για θέρμανση – Z.N.X.. Οι κόκκινες συνεχείς γραμμές συμβολίζουν ροή νερού στο σύστημα θέρμανσης – Z.N.X., η μαύρη γραμμή τη ροή του νερού του δικτύου, οι μπλε συνεχείς γραμμές τη ροή του νερού στο σύστημα ψύξης και οι πράσινες γραμμές τη ροή του μίγματος νερού – γλυκόλης που διέρχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες και το σπειρωτό σωλήνα του εναλλάκτη θερμότητας. Οι διακεκομμένες γραμμές συμβολίζουν τη ροή ενέργειας στο κτίριο (η κόκκινη τη θερμική – θέρμανση και η μπλε την ψυκτική – ψύξη).



Σχήμα 49: Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα συνολικού συστήματος για σενάριο με δοχεία και για θέρμανση – Z.N.X. και για ψύξη



Σχήμα 50: Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα συνολικού συστήματος για σενάριο με δοχείο αποθήκευσης θερμότητας μόνο για θέρμανση – Z.N.X.

4. Περιγραφή χαρακτηριστικών σεναρίων

4.1 Γενικά χαρακτηριστικά σεναρίων

Αρχικά, σχετικά με τις γενικές ρυθμίσεις – χαρακτηριστικά των προσομοιώσεων, για όλα τα σενάρια το χρονικό βήμα εκτέλεσής τους θεωρήθηκε ίσο με $\Delta t = 0.1 \text{ h}$ (6 min), ενώ στιγμές έναρξης και τέλους της προσομοίωσης θεωρήθηκαν οι 0 h και 9504 h αντίστοιχα, δηλαδή η προσομοίωση διαρκεί από τον Ιανουάριο ενός έτους μέχρι και τον Ιανουάριο του επόμενου (ώστε να εξαλείφεται η επίδραση της αρχικοποίησης των τιμών). Τέλος, το κριτήριο σύγκλισης για τους διάφορους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται στη διάρκεια της προσομοίωσης, έπειτα από δοκιμές, θεωρήθηκε ίσο με 0.2. Αυτά τα γενικά χαρακτηριστικά των προσομοιώσεων παρατίθενται συγκεντρωμένα στον **Πίνακα 18**.

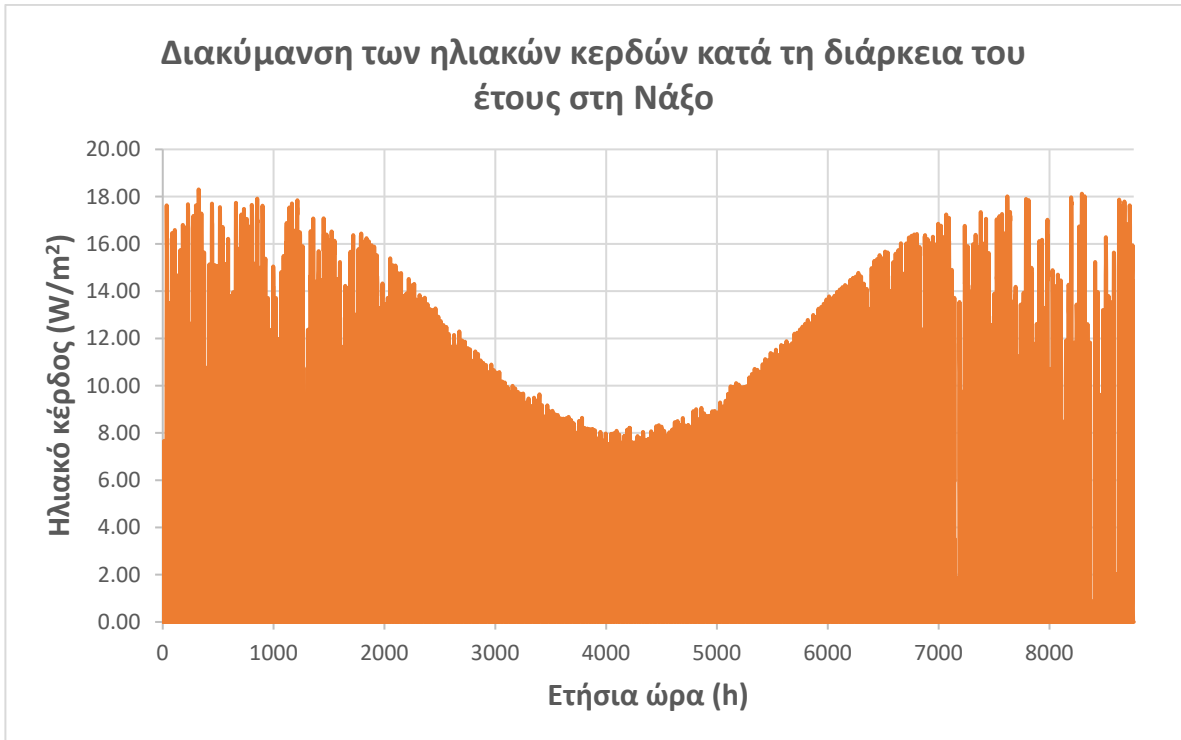
Πίνακας 18: Γενικά χαρακτηριστικά των προσομοιώσεων

Χρονικό βήμα (h)	Έναρξη προσομοίωσης (h)	Τέλος προσομοίωσης (h)	Κριτήριο σύγκλισης (-)
0.1	0	9504	0.2

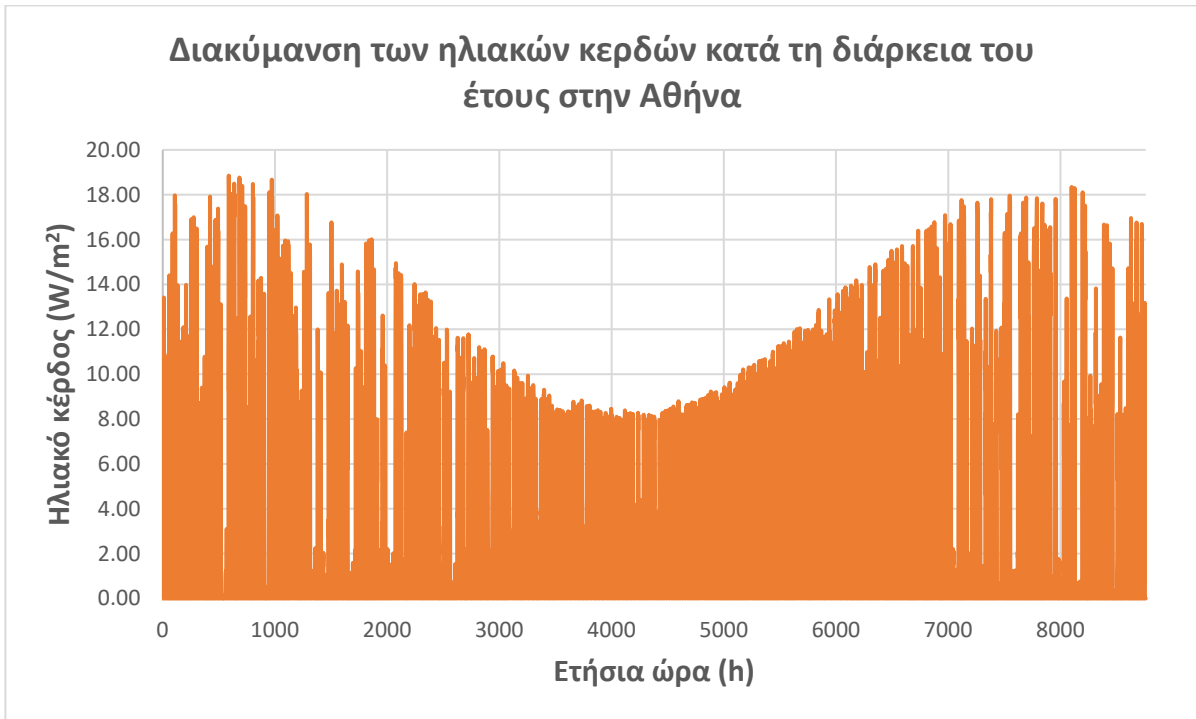
Επιπλέον, για τα ηλιακά κέρδη των κτιρίων (ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται μέσω των υαλοπινάκων – παραθύρων), που εισήχθησαν από εξωτερικό αρχείο για κάθε περιοχή, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα προηγούμενων προσομοιώσεων που έχουν διενεργηθεί στο Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π. και η διακύμανσή τους στη διάρκεια του έτους φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία μέσω των παραθύρων για τη Νάξο (**Σχήμα 51**), την Αθήνα (**Σχήμα 52**) και την Καστοριά (**Σχήμα 53**) εκφρασμένη σε W/m^2 επιφανείας δαπέδου και θεωρώντας ότι το 20 % της εξωτερικής επιφανείας καλύπτεται από παράθυρα.

Εδώ είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι, όπως παρατηρείται στα ακόλουθα σχήματα, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (ετήσιες ώρες 3624 – 5808) και κοντά σε αυτούς (πριν ή μετά) η συχνότητα των ηλιακών κερδών αυξάνεται (ελάχιστα «κενά» στο διάγραμμα), αλλά η έντασή τους μειώνεται (ποσό σε W/m^2). Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και κοντά σε αυτούς υπάρχει μεγαλύτερη ηλιοφάνεια (αυξημένη συχνότητα ηλιακών κερδών), αλλά αυτήν την περίοδο του χρόνου ο ήλιος βρίσκεται σε υψηλότερη θέση με αποτέλεσμα να μειώνεται το ποσό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στα παράθυρα, με τα οποία σχηματίζει και μεγαλύτερες γωνίες πρόσπτωσης. Επιπρόσθετα, επειδή τα παράθυρα είναι τοποθετημένα κυρίως στη νότια πλευρά των κτιρίων, το καλοκαίρι που ο Ήλιος ακτινοβολεί κυρίως στη βόρεια πλευρά τους (αφού ανατέλλει βορειοανατολικά και δύει βορειοδυτικά), ένα μέρος των άμεσων ηλιακών κερδών χάνεται, αφού η επιφάνεια των παραθύρων είναι μικρότερη σε εκείνη την πλευρά.

Επίσης, είναι αξιοσημείωτο ότι, όπως φαίνεται και στα ακόλουθα διαγράμματα, στην Καστοριά τα ηλιακά κέρδη κάποιες στιγμές παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές έντασης συγκριτικά με τις άλλες περιοχές, γεγονός που οφείλεται στο διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος (άρα και στη διαφορετική θέση του ήλιου), που μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη απευθείας ηλιακή ακτινοβολία και επομένως μεγαλύτερα ηλιακά κέρδη. Ωστόσο, όπως είναι λογικό, παρουσιάζουν αισθητά λιγότερη ηλιοφάνεια (μικρότερη συχνότητα ηλιακών κερδών).



Σχήμα 51: Διακύμανση των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια του έτους στη Νάξο



Σχήμα 52: Διακύμανση των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια του έτους στην Αθήνα



Σχήμα 53: Διακύμανση των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια του έτους στην Καστοριά

4.2 Χαρακτηριστικά σεναρίων για σύστημα Z.N.X.

Αρχικά, η ημερήσια κατανάλωση Z.N.X. για όλα τα σεναρία κατανέμεται στη διάρκεια της ημέρας, σύμφωνα με το **Σχήμα 54** [19]. Από το σχήμα αυτό βλέπει κανείς ότι η μέγιστη τιμή κατανάλωσης Z.N.X. σε διάστημα μίας ώρας εντός της ημέρας είναι 7.5 L/h/άτομο και για να μην γίνει υποδιαστασιολόγηση του συστήματος θεωρείται ότι όλοι οι κάτοικοι καταναλώνουν ταυτόχρονα αυτήν την ποσότητα. Επομένως, εφόσον ο αριθμός των κατοίκων είναι σταθερός και ίσος με 4 για κάθε περίπτωση, η συνολική μέγιστη κατανάλωση Z.N.X. σε διάστημα μίας ώρας εντός της ημέρας είναι 30 L/h (60 °C).



Σχήμα 54: Κατανάλωση Z.N.X. ανά άτομο εντός της ημέρας [19]

Επίσης, η πραγματική θερμοκρασία του Z.N.X. δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$T_{DHW} = y \cdot T_{hot} + (1 - y) \cdot T_{mains} \quad (7)$$

όπου ο λόγος y έχει οριστεί στην εξίσωση (3), T_{hot} η θερμοκρασία του θερμού ρεύματος και T_{mains} η θερμοκρασία του νερού του δικτύου.

4.3 Χαρακτηριστικά σεναρίων για σύστημα θέρμανσης

Στη συνέχεια περιγράφεται η μεταβολή των χαρακτηριστικών των επιμέρους μοντέλων του συστήματος θέρμανσης ανά περίπτωση.

Αρχικά, για τους ηλιακούς συλλέκτες, εκτός από τη σταθερά κέρδους του PID ελεγκτή τους που παραμένει σταθερή και ίση με 10 και της επιθυμητής διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ εξόδου και εισόδου τους που είναι επίσης ίση με 10 για κάθε περίπτωση, τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά τους μεταβάλλονται. Πιο συγκεκριμένα, η κλίση των συλλεκτών, αφού λαμβάνεται ίση με το γεωγραφικό πλάτος της εκάστοτε περιοχής [21], μεταβάλλεται μόνο

ανά περιοχή (αλλά διατηρείται σταθερή για όλα τα σενάρια και τα μεγέθη κατοικίας της ίδιας περιοχής). Η μεταβολή αυτή φαίνεται στον **Πίνακα 19**.

Πίνακας 19: Μεταβολή της κλίσης των ηλιακών συλλεκτών ανά περιοχή

Κλίση ηλιακών συλλεκτών (°)		
Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
37	38	40

Για συντομία στη συνέχεια της εργασίας το σενάριο με δύο δοχεία αποθήκευσης (ένα για θέρμανση – Ζ.Ν.Χ. και ένα για ψύξη) θα αναφέρεται ως σενάριο 1, το σενάριο με ένα δοχείο αποθήκευσης (μόνο για θέρμανση – Ζ.Ν.Χ.) ως σενάριο 2 και το σενάριο με δύο δοχεία αποθήκευσης και μεγαλύτερη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών (και μικρότερη ισχύ λέβητα) ως σενάριο 3.

Έπειτα, η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών εξαρτάται από το μέγεθος του κτιρίου και το σενάριο της προσομοίωσης, αλλά παραμένει σταθερή ανεξάρτητα από την περιοχή (αν τα άλλα δύο χαρακτηριστικά είναι όμοια). Έτσι, η μεταβολή της επιφάνειας των συλλεκτών ανά περίπτωση φαίνεται στον **Πίνακα 20**.

Πίνακας 20: Μεταβολή της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών ανά σενάριο και κατοικία

Επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών (m ²)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
100	4	4	8
200	6	6	12
300	8	8	16

Επιπρόσθετα, για τους ηλιακούς συλλέκτες, σύμφωνα με την παραδοχή, ο λόγος της παροχής του ρευστού (μίγμα νερού – γλυκόλης) που διέρχεται από αυτούς προς την επιφάνεια τους πρέπει να ανήκει στο εύρος 0.01 – 0.02 kg/(s · m²). Άρα, ανάλογα με την επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών μεταβάλλεται και το εύρος της παροχής του ρευστού που διέρχεται από αυτούς, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα (**Πίνακας 21**).

Πίνακας 21: Μεταβολή του εύρους παροχής του ρευστού που διέρχεται από τους συλλέκτες ανά σενάριο

Εύρος παροχής διερχόμενου ρευστού από συλλέκτες (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
100	140 – 280	140 – 280	280 – 560
200	210 – 420	210 – 420	420 – 840
300	280 – 560	280 – 560	560 – 1120

Τέλος, όμοια με τα παραπάνω, μεταβάλλεται ανά σενάριο και μέγεθος κατοικίας η ονομαστική παροχή και η ονομαστική ισχύς (υπολογισμένη από τη σχέση (2)) της αντλίας των ηλιακών συλλεκτών, όπως φαίνεται στον **Πίνακα 22** και στον **Πίνακα 23** αντίστοιχα.

Πίνακας 22: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας των ηλιακών συλλεκτών ανά περίπτωση

Ονομαστική παροχή αντλίας ηλιακών συλλεκτών (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 2
100	280	280	560
200	420	420	840
300	560	560	1120

Πίνακας 23: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας των ηλιακών συλλεκτών ανά περίπτωση

Ονομαστική ισχύς αντλίας ηλιακών συλλεκτών (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 2
100	8	8	16
200	12	12	24
300	16	16	32

Στους παραπάνω πίνακες παρατηρείται ότι τα χαρακτηριστικά των ηλιακών συλλεκτών και των αντλιών τους παραμένουν ίδια για τα δύο πρώτα σενάρια, γεγονός που είναι αναμενόμενο, καθώς παρουσιάζουν διαφορές μόνο ως προς το σύστημα ψύξης και συγκεκριμένα ως προς την ύπαρξη ή όχι δοχείου αποθήκευσης.

Ενδιαφέρον, επίσης, παρουσιάζει η μεταβολή του όγκου του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού ανά περίπτωση. Εδώ αξίζει να γίνει υπενθύμιση της παραδοχής πως για χωρητικότητα δοχείου έως 1000 L θεωρείται ότι γίνεται χρήση ενός δοχείου, ενώ για μεγαλύτερη συνολική χωρητικότητα, θεωρείται ότι χρησιμοποιούνται δύο όμοια δοχεία, τα οποία λειτουργούν παράλληλα. Η σχετική βελτιστοποίηση που πραγματοποιήθηκε περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 5, ωστόσο η μεταβολή του όγκου του δοχείου ανά σενάριο και περίπτωση φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν (**Πίνακας 24**, **Πίνακας 25**, **Πίνακας 26**).

Πίνακας 24: Μεταβολή της χωρητικότητας του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1

Χωρητικότητα δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού για σενάριο 1 (L)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	800	800	500
200	1000	1000	1000
300	1000	1000	1000

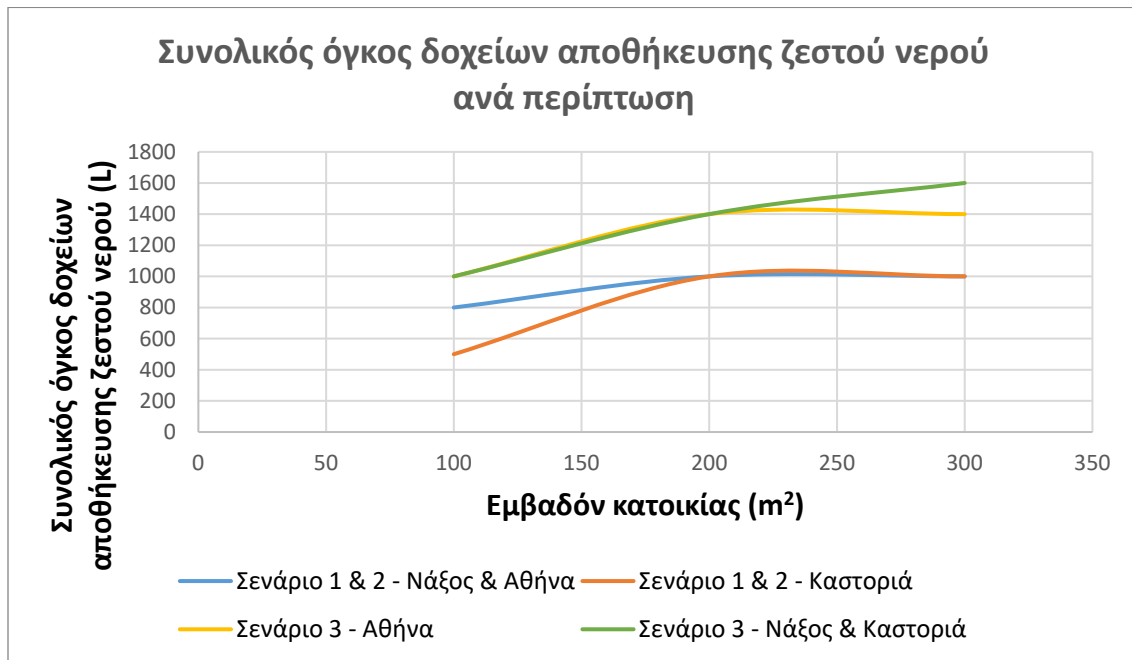
Πίνακας 25: Μεταβολή της χωρητικότητας του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2

Χωρητικότητα δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού για σενάριο 2 (L)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	800	800	500
200	1000	1000	1000
300	1000	1000	1000

Πίνακας 26: Μεταβολή του συνολικού όγκου των δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3

Συνολικός όγκος δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού για σενάριο 3 (L)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	1000	1000	1000
200	1400	1400	1400
300	1600	1400	1600

Όπως φαίνεται στους παραπάνω πίνακες, τα δοχεία αποθήκευσης ζεστού νερού προκύπτουν σημαντικά μεγαλύτερα από τα αναμενόμενα, λόγω θεμάτων σύγκλισης του προγράμματος, αλλά και της επιθυμητής θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. (60 °C). Ακόμα, για το σενάριο 3 οι όγκοι είναι μεγαλύτεροι συγκριτικά με τα άλλα δύο σενάρια, καθώς στο σενάριο αυτό η αύξηση της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών οδηγεί και σε αύξηση της παροχής του ρευστού που διέρχεται από αυτούς (λόγω απαίτησης του σχετικού κριτηρίου), ενώ χρειάζονται μεγαλύτερα δοχεία, για να καθίσταται εκμεταλλεύσιμη η μεγαλύτερη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία από το αποθηκευμένο σε αυτά νερό. Επιπλέον, το γεγονός πως στην κατοικία των 100 m² της Καστοριάς για τα δύο πρώτα σενάρια παρατηρείται μικρότερος όγκος δοχείου, ενώ στις άλλες κατοικίες και στα άλλα σενάρια παρατηρείται ίδιος όγκος με κάποια από τις άλλες περιοχές, οφείλεται στη συχνότερη λειτουργία του λέβητα στην Καστοριά, λόγω ζήτησης θέρμανσης. Οι παραπάνω αιτίες θα αναλυθούν περαιτέρω στο επόμενο κεφάλαιο. Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζεται η μεταβολή του όγκου των δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού για όλες τις περιπτώσεις (**Σχήμα 55**).



Σχήμα 55: Μεταβολή του συνολικού όγκου των δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού ανά περίπτωση

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στο λέβητα φυσικού αερίου και στο πώς μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά του ανάλογα με την περίπτωση προσομοίωσης. Αρχικά, το πιο βασικό στοιχείο του λέβητα είναι η ονομαστική του ισχύς. Η απαιτούμενη ισχύς του λέβητα δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\dot{Q}_{\text{boiler}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{\text{set,boiler}} - T_{\text{in}}) \quad (8)$$

όπου \dot{m} η παροχή μάζας του υγρού(νερό) που εισέρχεται στο λέβητα, c_p η θερμοχωρητικότητα του, T_{in} η θερμοκρασία εισόδου και $T_{\text{set,boiler}}$ η επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου του υγρού (Set Point Temperature).

Έτσι, το PLR (Part Load Ratio) του λέβητα προκύπτει από τη σχέση:

$$\text{PLR}_{\text{boiler}} = \frac{\dot{Q}_{\text{boiler}}}{\dot{Q}_{\text{boiler,rated}}} \quad (9)$$

όπου $\dot{Q}_{\text{boiler,rated}}$ η ονομαστική ισχύς του λέβητα.

Στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 27, Πίνακας 28, Πίνακας 29) περιγράφεται πώς μεταβάλλεται η ονομαστική ισχύς του λέβητα ανά περίπτωση.

Πίνακας 27: Μεταβολή της ισχύος του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική ισχύς λέβητα για σενάριο 1 (kW)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	9.7	11.1	12.5
200	12.5	13.9	19.4
300	15.3	18.1	22.2

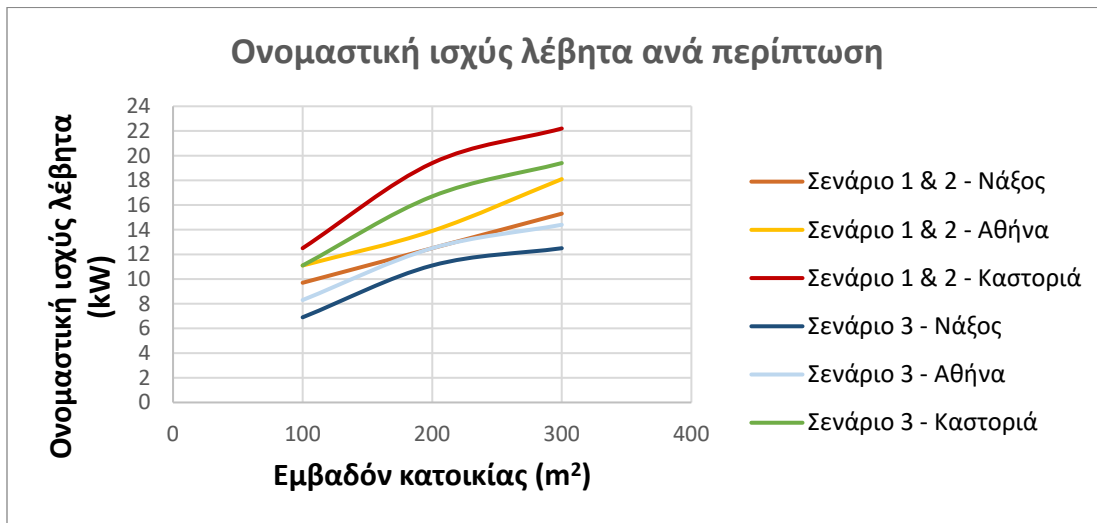
Πίνακας 28: Μεταβολή της ισχύος του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική ισχύς λέβητα για σενάριο 2 (kW)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	9.7	11.1	12.5
200	12.5	13.9	19.4
300	15.3	18.1	22.2

Πίνακας 29: Μεταβολή της ισχύος του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική ισχύς λέβητα για σενάριο 3 (kW)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	6.9	8.3	11.1
200	11.1	12.5	16.7
300	12.5	14.4	19.4

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω πίνακες, στην Καστοριά χρησιμοποιούνται λέβητες μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος που είναι εύλογο, αφού βρίσκεται στην ψυχρότερη κλιματική ζώνη, ενώ για το σενάριο 3 χρησιμοποιούνται μικρότεροι λέβητες από τα άλλα δύο σενάρια για το ίδιο εμβαδόν κατοικίας και την ίδια περιοχή. Οι ονομαστικές ισχύες των λεβήτων για κάθε περίπτωση απεικονίζονται συγκεντρωτικά στο **Σχήμα 56**.



Σχήμα 56: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του λέβητα ανά περίπτωση

Ακόμα, ο λέβητας εξυπηρετείται από μία αντλία σταθερών στροφών, της οποίας η ονομαστική παροχή (Πίνακας 30, Πίνακας 31, Πίνακας 32) και η ονομαστική ισχύς (υπολογισμένη από τη σχέση (2)) (Πίνακας 33, Πίνακας 34, Πίνακας 35) μεταβάλλονται ανά περίπτωση, όπως φαίνεται στους ακόλουθους πίνακες.

Πίνακας 30: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική παροχή αντλίας λέβητα για σενάριο 1 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	230	250	290
200	300	300	450
300	360	400	500

Πίνακας 31: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική παροχή αντλίας λέβητα για σενάριο 2 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	230	250	290
200	300	300	450
300	360	400	500

Πίνακας 32: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική παροχή αντλίας λέβητα για σενάριο 3 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	170	200	250
200	250	300	400
300	300	400	500

Πίνακας 33: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική ισχύς αντλίας λέβητα για σενάριο 1 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	6.4	6.9	8.1
200	8.3	8.3	12.5
300	10	11.1	13.9

Πίνακας 34: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική ισχύς αντλίας λέβητα για σενάριο 2 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	6.4	6.9	8.1
200	8.3	8.3	12.5
300	10	11.1	13.9

Πίνακας 35: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική ισχύς αντλίας λέβητα για σενάριο 3 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	4.7	5.6	6.9
200	6.9	8.3	11.1
300	8.3	11.1	13.9

Τέλος, βασική παράμετρο για το σύστημα θέρμανσης της κατοικίας αποτελούν τα καλοριφέρ, των οποίων τα επιμέρους χαρακτηριστικά λειτουργίας μεταβάλλονται ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση προσομοίωσης. Η θερμότητα που μεταφέρεται στο νερό από το καλοριφέρ δίνεται από την εξής σχέση:

$$q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (10)$$

όπου \dot{m} η παροχή μάζας του νερού, c_p η θερμοχωρητικότητα του και T_{in} και T_{out} η θερμοκρασία εισόδου του και εξόδου του αντίστοιχα. Όπως έχει προαναφερθεί, η θερμοκρασία εισόδου είναι περίπου 68 – 70 °C, ενώ η επιθυμητή διαφορά θερμοκρασίας

ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο είναι 15 – 20 °C, βάσει της οποίας και με τη συμβολή του PID ελεγκτή του καλοριφέρ – του οποίου η σταθερά κέρδους είναι σταθερή και ίση με 10 – ρυθμίζεται και η παροχή μάζας του νερού.

Στους πίνακες που ακολουθούν (**Πίνακας 36**, **Πίνακας 37**, **Πίνακας 38**) αναφέρεται η συνολική ισχύς σχεδιασμού – ονομαστική ισχύς των όμοιων καλοριφέρ (ίδια ισχύς και παροχή νερού) που υπάρχουν σε κάθε κατοικία ανά περιοχή και σενάριο, τα οποία, μάλιστα, θεωρείται ότι λειτουργούν παράλληλα.

Πίνακας 36: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική ισχύς καλοριφέρ για σενάριο 1 (kW)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	2.2	2.2	2.5
200	2.8	2.8	3.6
300	3.3	3.6	4.2

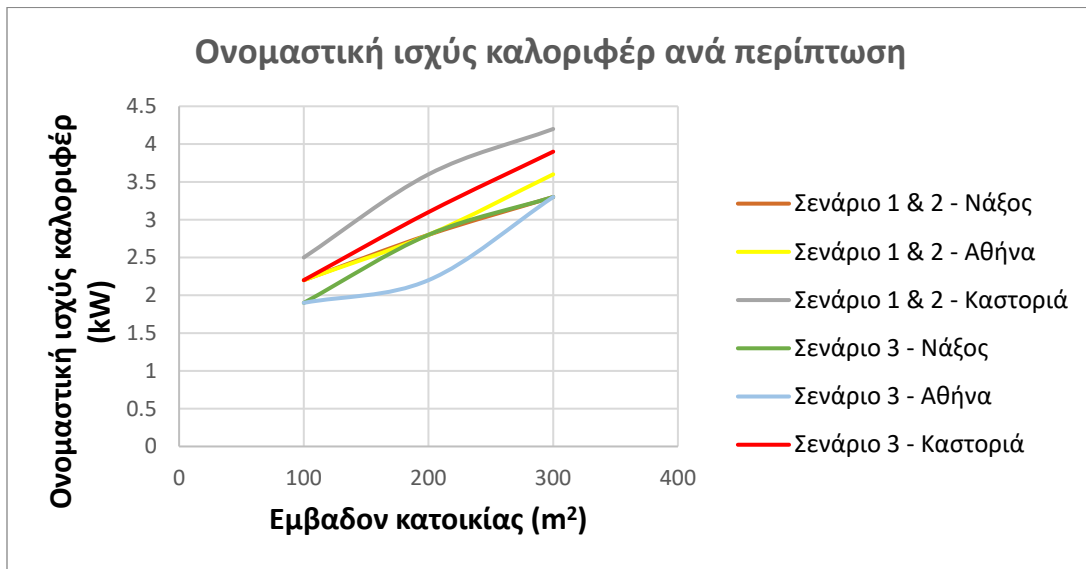
Πίνακας 37: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική ισχύς καλοριφέρ για σενάριο 2 (kW)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	2.2	2.2	2.5
200	2.8	2.8	3.6
300	3.3	3.6	4.2

Πίνακας 38: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική ισχύς καλοριφέρ για σενάριο 3 (kW)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	1.9	1.9	2.2
200	2.8	2.2	3.1
300	3.3	3.3	3.9

Από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι η ονομαστική ισχύς των καλοριφέρ παραμένει σταθερή για τα δύο πρώτα σενάρια, γεγονός λογικό, αφού οι αλλαγές ανάμεσα στα δύο σενάρια συναντώνται μόνο στο σύστημα ψύξης, ενώ για την Καστοριά η απαιτούμενη ονομαστική ισχύς των καλοριφέρ είναι υψηλότερη, αφού είναι και η ψυχρότερη περιοχή. Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται και γραφικά η μεταβολή ονομαστικής ισχύος των καλοριφέρ για κάθε περίπτωση (**Σχήμα 57**).



Σχήμα 57: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του καλοριφέρ ανά περίπτωση

Τα καλοριφέρ εξυπηρετούνται από μία αντλία μεταβλητών στροφών, της οποίας η ονομαστική παροχή (Πίνακας 39, Πίνακας 40, Πίνακας 41) και η ονομαστική ισχύς (εξίσωση (2)) (Πίνακας 42, Πίνακας 43, Πίνακας 44) μεταβάλλονται σύμφωνα με τους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 39: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική παροχή αντλίας καλοριφέρ για σενάριο 1 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	200	200	230
200	250	250	350
300	310	350	400

Πίνακας 40: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική παροχή αντλίας καλοριφέρ για σενάριο 2 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	200	200	230
200	250	250	350
300	310	350	400

Πίνακας 41: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική παροχή αντλίας καλοριφέρ για σενάριο 3 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	170	170	200
200	250	200	300
300	310	300	400

Πίνακας 42: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική ισχύς αντλίας καλοριφέρ για σενάριο 1 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	5.6	5.6	6.4
200	6.9	6.9	9.7
300	8.6	9.7	11.1

Πίνακας 43: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική ισχύς αντλίας καλοριφέρ για σενάριο 2 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	5.6	5.6	6.4
200	6.9	6.9	9.7
300	8.6	9.7	11.1

Πίνακας 44: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική ισχύς αντλίας καλοριφέρ για σενάριο 3 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	4.7	4.7	5.6
200	6.9	5.6	8.3
300	8.6	8.3	11.1

4.4 Χαρακτηριστικά σεναρίων για σύστημα ψύξης

Αρχικά, ως προς το σύστημα ψύξης και τα στοιχεία που το απαρτίζουν το σενάριο 2 διαφέρει από τα άλλα, καθώς δεν διαθέτει δοχείο αποθήκευσης νερού και η αντλία σταθερών στροφών του ψύκτη των άλλων σεναρίων εδώ αντικαθίσταται από μία αντλία μεταβλητών στροφών η οποία ως είσοδο λαμβάνει το νερό που εξέρχεται από τις μονάδες fan – coil (ψύκτης και fan – coil λειτουργούν σε κλειστό κύκλωμα). Για τον όγκο του δοχείου αποθήκευσης νερού, δεν έγινε κάποια βελτιστοποίηση, αλλά ελήφθη η μικρότερη τιμή

που ικανοποιούσε τα κριτήρια σύγκλισης της προσομοίωσης. Στους πίνακες που ακολουθούν περιγράφεται η μεταβολή του όγκου του δοχείου ψύξης ανά κατοικία και περιοχή για τα σενάρια 1 (Πίνακας 45) και 3 (Πίνακας 46).

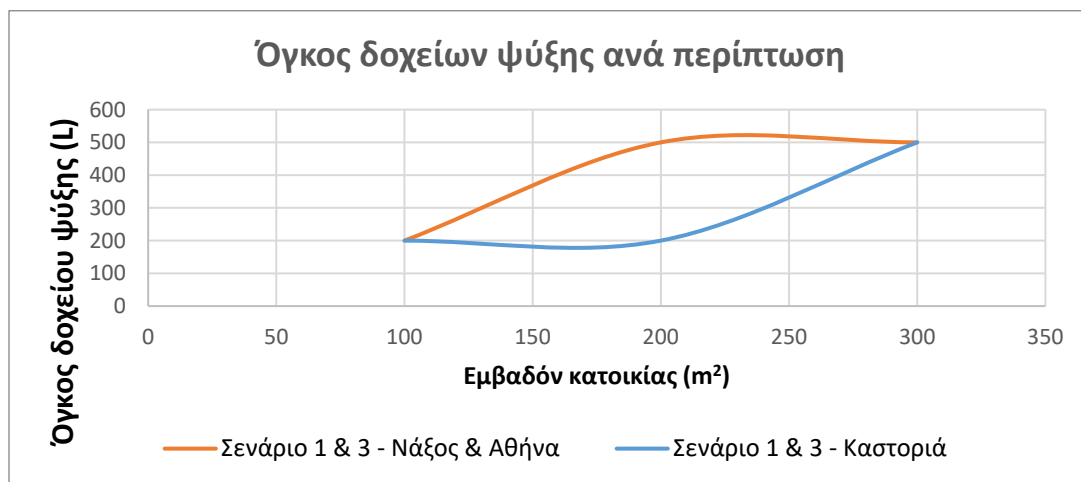
Πίνακας 45: Μεταβολή της χωρητικότητας του δοχείου ψύξης ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1

Χωρητικότητα δοχείου ψύξης για σενάριο 1 (L)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	200	200	200
200	500	500	200
300	500	500	500

Πίνακας 46: Μεταβολή της χωρητικότητας του δοχείου ψύξης ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1

Χωρητικότητα δοχείου ψύξης για σενάριο 3 (L)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	200	200	200
200	500	500	200
300	500	500	500

Από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι ο όγκος του δοχείου ψύξης είναι σημαντικά μικρότερος από τον όγκο των δοχείων θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και είναι σταθερός για τα σενάρια 1 και 3 (για ίδια κατοικία και περιοχή), αφού το σύστημα ψύξης γενικά (άρα και το δοχείο ψύξης) δεν επηρεάζεται από την επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται και γραφικά η μεταβολή του όγκου του δοχείου ψύξης (Σχήμα 58).



Σχήμα 58: Μεταβολή του όγκου των δοχείων ψύξης ανά περίπτωση

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή των χαρακτηριστικών του ψύκτη ανά περίπτωση. Αρχικά, η καταναλισκόμενη ισχύς από τον ψύκτη δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\dot{Q}_{\text{chiller}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{\text{in}} - T_{\text{set,chiller}}) \quad (11)$$

όπου \dot{m} η παροχή μάζας του νερού, c_p η θερμοχωρητικότητα του, T_{in} η θερμοκρασία εισόδου και $T_{\text{set,chiller}}$ η επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου από τον ψύκτη (Set Point Temperature).

Έτσι, το PLR του ψύκτη δίνεται από την εξής σχέση:

$$\text{PLR}_{\text{chiller}} = \frac{\dot{Q}_{\text{chiller}}}{\dot{Q}_{\text{chiller,rated}}} \quad (12)$$

όπου $\dot{Q}_{\text{chiller,rated}}$ η ονομαστική ισχύς του ψύκτη, η μεταβολή της οποίας ανά περίπτωση φαίνεται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 47, Πίνακας 48, Πίνακας 49).

Πίνακας 47: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του ψύκτη ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική ισχύς ψύκτη για σενάριο 1 (kW)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	2.8	2.8	2.8
200	5	5	4.2
300	6.7	6.7	5.6

Πίνακας 48: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του ψύκτη ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2

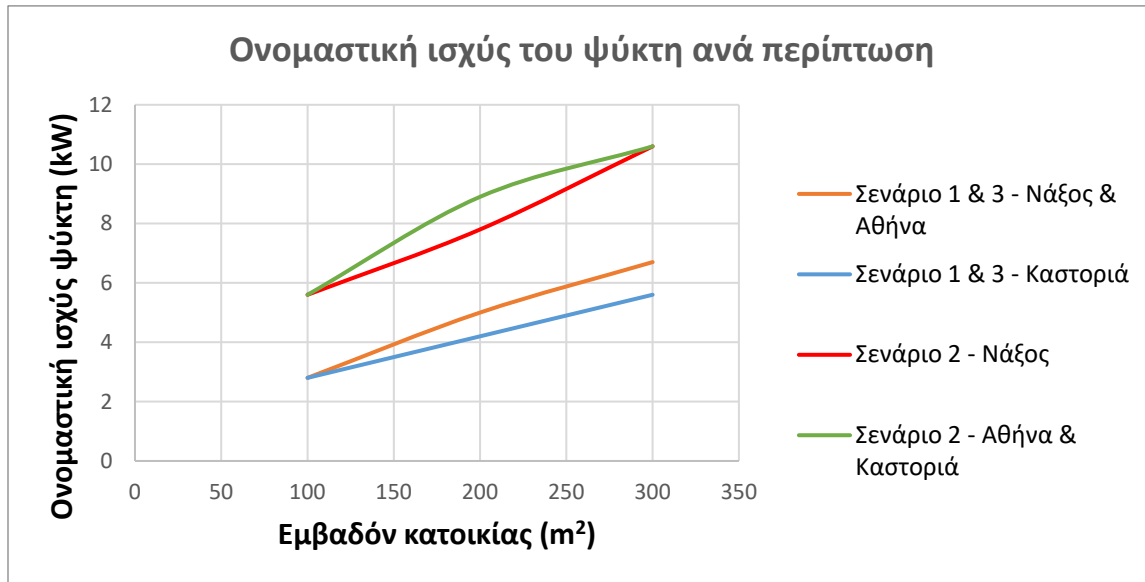
Ονομαστική ισχύς ψύκτη για σενάριο 2 (kW)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	5.6	5.6	5.6
200	7.8	8.9	8.9
300	10.6	10.6	10.6

Πίνακας 49: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του ψύκτη ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική ισχύς ψύκτη για σενάριο 3 (kW)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	2.8	2.8	2.8
200	5	5	4.2
300	6.7	6.7	5.6

Από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι για τα σενάρια 1 και 3 η ονομαστική ισχύς του ψύκτη είναι σταθερή για ίδια κατοικία και περιοχή (αφού το σύστημα ψύξης δεν εξαρτάται από την επιφάνεια των συλλεκτών) και για το σενάριο 2 η ονομαστική ισχύς του ψύκτη είναι σημαντικά μεγαλύτερη από των άλλων δύο. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο

γεγονός ότι στο σενάριο 2 ο ψύκτης ψύχει σε πραγματικό χρόνο όσο νερό χρειάζεται για τη διατήρηση της κατοικίας στα επιθυμητά θερμοκρασιακά όρια κάθε στιγμή το καλοκαίρι, ενώ στα σενάρια 1 και 3, ο ψύκτης όταν λειτουργεί, αποθηκεύει ψυχρό νερό εντός του δοχείου ψύξης, με αποτέλεσμα τους καλοκαιρινούς μήνες να μην καταναλώνει τόσο μεγάλη ισχύ όσο στο σενάριο 2. Επίσης, παρατηρείται ότι για όλες τις περιοχές για κάθε σενάριο και κατοικία οι ονομαστικές ισχύες των ψυκτών είναι πολύ κοντά (αν όχι ίδιες). Η μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του ψύκτη για κάθε περίπτωση φαίνεται και γραφικά στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 59).



Σχήμα 59: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του ψύκτη ανά περίπτωση

Έπειτα, όπως προαναφέρθηκε, ο ψύκτης εξυπηρετείται από μία αντλία σταθερών στροφών στα σενάρια 1 και 3. Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνεται πώς μεταβάλλονται η ονομαστική παροχή (Πίνακας 50, Πίνακας 51, Πίνακας 52) και η ονομαστική ισχύς (εξίσωση (2)) (Πίνακας 53, Πίνακας 54, Πίνακας 55) της αντλίας του ψύκτη για κάθε περίπτωση.

Πίνακας 50: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική παροχή αντλίας ψύκτη για σενάριο 1 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	200	200	200
200	270	300	270
300	400	400	350

Πίνακας 51: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική παροχή αντλίας ψύκτη για σενάριο 2 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	230	230	230
200	350	350	350
300	450	450	450

Πίνακας 52: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική παροχή αντλίας ψύκτη για σενάριο 3 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	200	200	200
200	300	300	270
300	400	400	350

Πίνακας 53: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική ισχύς αντλίας ψύκτη για σενάριο 1 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	5.6	5.6	5.6
200	7.5	8.3	7.5
300	11.1	11.1	9.7

Πίνακας 54: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική ισχύς αντλίας ψύκτη για σενάριο 2 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	6.4	6.4	6.4
200	9.7	9.7	9.7
300	12.5	12.5	12.5

Πίνακας 55: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική ισχύς αντλίας ψύκτη για σενάριο 3 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	5.6	5.6	5.6
200	8.3	8.3	7.5
300	11.1	11.1	9.7

Τέλος, βασικό μέρος του συστήματος ψύξης είναι οι μονάδες ανεμιστήρα – στοιχείου (fan – coil units), οι οποίες έχουν ως σταθερά για κάθε περίπτωση τα χαρακτηριστικά του PID ελεγκτή τους και συγκεκριμένα τη σταθερά κέρδους που είναι ίση με 10 και την επιθυμητή θερμοκρασιακή διαφορά του νερού μεταξύ εξόδου και εισόδου ίση με 5 °C, για την επίτευξη της οποίας ρυθμίζεται ανάλογα και η παροχή του νερού που διέρχεται από αυτές. Επίσης, δεν λαμβάνεται αέρας από το περιβάλλον, αλλά γίνεται ανακυκλοφορία του αέρα του κτιρίου, ο οποίος περνάει από τον ανεμιστήρα και συναλλάσσει θερμότητα με το ψυχρό νερό, μέσω της σχέσης που ακολουθεί.

$$\dot{m}_{air} \cdot c_{p,air} \cdot \Delta T_{air} = \dot{m}_{water} \cdot c_{p,water} \cdot \Delta T_{water} \quad (13)$$

όπου \dot{m}_{air} και \dot{m}_{water} η παροχή μάζας του αέρα και του νερού αντίστοιχα, $c_{p,air}$ και $c_{p,water}$ η θερμοχωρητικότητα του αέρα και του νερού αντίστοιχα και ΔT_{air} και ΔT_{water} οι μεταβολές θερμοκρασίας των δύο ρευμάτων.

Μάλιστα, όμοια με τα καλοριφέρ, το μοντέλο του TRNSYS για το fan – coil περιέχει τα συνολικά μεγέθη των όμοιων μονάδων που χρησιμοποιούνται σε κάθε κατοικία, ενώ οι μονάδες fan – coil εξυπηρετούνται από μία αντλία μεταβλητών στροφών. Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνεται η μεταβολή της ονομαστικής παροχής νερού (**Πίνακας 56, Πίνακας 57, Πίνακας 58**) και της ονομαστικής ισχύος (εξίσωση (2)) (**Πίνακας 59, Πίνακας 60, Πίνακας 61**) της αντλίας των fan – coil ανά περίπτωση και αντίστοιχα η μεταβολή της ονομαστικής παροχής αέρα (**Πίνακας 62, Πίνακας 63, Πίνακας 64**) και της ονομαστικής ισχύος (υπολογισμένη από τη σχέση (6)) (**Πίνακας 65, Πίνακας 66, Πίνακας 67**) των ανεμιστήρων των fan – coil ανά περίπτωση.

Πίνακας 56: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική παροχή αντλίας fan – coil για σενάριο 1 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	200	200	200
200	270	300	270
300	400	400	350

Πίνακας 57: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική παροχή αντλίας fan – coil για σενάριο 2 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	230	230	230
200	350	350	350
300	450	450	450

Πίνακας 58: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική παροχή αντλίας fan – coil για σενάριο 3 (L/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	200	200	200
200	300	300	270
300	400	400	350

Πίνακας 59: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική ισχύς αντλίας fan – coil για σενάριο 1 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	5.6	5.6	5.6
200	7.5	8.3	7.5
300	11.1	11.1	9.7

Πίνακας 60: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική ισχύς αντλίας fan – coil για σενάριο 2 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	6.4	6.4	6.4
200	9.7	9.7	9.7
300	12.5	12.5	12.5

Πίνακας 61: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική ισχύς αντλίας fan – coil για σενάριο 3 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	5.6	5.6	5.6
200	8.3	8.3	7.5
300	11.1	11.1	9.7

Πίνακας 62: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική παροχή ανεμιστήρων fan – coil για σενάριο 1 (m³/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	185.6	185.6	185.6
200	247.5	263	232
300	355.8	355.8	309.4

Πίνακας 63: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική παροχή ανεμιστήρων fan – coil για σενάριο 2 (m³/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	216.6	216.6	216.6
200	309.4	309.4	309.4
300	371.3	371.3	348

Πίνακας 64: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική παροχή ανεμιστήρων fan – coil για σενάριο 3 (m³/h)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	185.6	185.6	185.6
200	263	263	232
300	355.6	355.6	309.4

Πίνακας 65: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1

Ονομαστική ισχύς ανεμιστήρων fan – coil για σενάριο 1 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	16.7	16.7	16.7
200	22.2	23.6	20.8
300	31.9	31.9	27.8

Πίνακας 66: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2

Ονομαστική ισχύς ανεμιστήρων fan – coil για σενάριο 2 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	19.4	19.4	19.4
200	27.8	27.8	27.8
300	33.3	33.3	31.2

Πίνακας 67: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3

Ονομαστική ισχύς ανεμιστήρων fan – coil για σενάριο 3 (W)			
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Νάξος	Αθήνα	Καστοριά
100	16.7	16.7	16.7
200	23.6	23.6	20.8
300	31.9	31.9	27.8

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρείται ότι η αύξηση της ονομαστικής παροχής νερού της αντλίας των fan – coil (άρα και της ονομαστικής ισχύος της) συνεπάγεται και αύξηση της ονομαστικής παροχής αέρα των ανεμιστήρων των fan – coil (άρα και της ονομαστικής ισχύος τους), έτσι ώστε να ισχύει η εξίσωση (13). Ακόμα, τα παραπάνω μεγέθη είναι μεγαλύτερα για το σενάριο 2 σε σύγκριση με τα σενάρια 2 και 3.

5. Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Αρχικά, για να γίνονται περισσότερο κατανοητά τα διαγράμματα του TNRSYS που ακολουθούν ως προς τη χρονική στιγμή και το μήνα που αντιστοιχεί η καθεμία, δίνεται ο παρακάτω πίνακας με τους μήνες και τις αντίστοιχες ώρες της προσομοίωσης (**Πίνακας 68**). Υπενθυμίζεται ότι οι προσομοιώσεις έγιναν για δεκατρείς μήνες (δύο φορές για τον Ιανουάριο), δηλαδή 9504 ώρες, ώστε να εξαλείφεται η επίδραση της αρχικοποίησης.

Πίνακας 68: Αντιστοίχιση μηνών σε ώρες προσομοίωσης

Μήνας	Ώρες
Ιανουάριος	0 - 744
Φεβρουάριος	744 - 1416
Μάρτιος	1416 - 2160
Απρίλιος	2160 - 2880
Μάιος	2880 - 3624
Ιούνιος	3624 - 4344
Ιούλιος	4344 - 5088
Αύγουστος	5088 - 5832
Σεπτέμβριος	5832 - 6552
Οκτώβριος	6552 - 7296
Νοέμβριος	7296 - 8016
Δεκέμβριος	8016 - 8760
Ιανουάριος	8760 - 9504

5.1 Αποτελέσματα παραμετρικής μελέτης

Για τα μοντέλα του συστήματος, των οποίων τα χαρακτηριστικά δεν καθορίζονταν εξ' ολοκλήρου από κάποιο κριτήριο, έγινε παραμετρική μελέτη. Πιο συγκεκριμένα, έγινε παραμετρική μελέτη για τη διαστασιολόγηση του λέβητα φυσικού αερίου, καθώς και για τον υπολογισμό του βέλτιστου όγκου του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού. Σχετικά με το σύστημα ψύξης, δεν έγινε κάποια παραμετρική μελέτη, αλλά η ονομαστική ισχύς του ψύκτη συμπίεσης ατμού προσδιορίστηκε έτσι ώστε να ικανοποιείται το κριτήριο του ελάχιστου PLR ίσου με 0.3 και η ανάγκη κάθε στιγμή του κτιρίου για ψύξη (όποτε PLR μικρότερο του 1). Επίσης, ο όγκος του δοχείου ψύξης (στα σενάρια που χρησιμοποιείται), όπως έχει προαναφερθεί, θεωρήθηκε ίσος με τη μικρότερη τιμή του που ικανοποιούσε το κριτήριο σύγκλισης.

5.1.1 Παραμετρική μελέτη διαστασιολόγησης λέβητα

Αρχικά, η ονομαστική ισχύς του λέβητα πρέπει να είναι τόσο ώστε να μην λειτουργεί ποτέ σε φορτίο μικρότερο από το 30 % του συνολικού (δηλαδή δεν πρέπει να λειτουργεί με PLR μικρότερο από 0.3). Έπειτα όμως, χρειάζεται να καθοριστεί το ανώτατο όριο του PLR κατά

τη λειτουργία του, καθώς σε χαμηλές τιμές PLR λειτουργεί με καλύτερο βαθμό απόδοσης, αλλά πρέπει να αποφευχθεί και η σε μεγάλο βαθμό υπερδιαστασιολόγησή του. Για να γίνει αυτό, για την κατοικία με εμβαδόν δαπέδου 200 m² στην περιοχή της Αθήνας εκτελέστηκε η προσομοίωση για διαφορετικές τιμές ονομαστικής ισχύος του λέβητα (με δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού 700 L και τα υπόλοιπα στοιχεία σταθερά) και έπειτα ακολούθησε η σύγκριση της ετήσιας κατανάλωσής θερμικής ενέργειας του λέβητα. Ακόμα, για κάθε περίπτωση προσδιορίστηκε και η τιμή του PLR που λειτουργεί ο λέβητας κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της προσομοίωσης (κυρίως εκτός των καλοκαιρινών μηνών). Τα αποτελέσματα αυτής της παραμετρικής ανάλυσης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 69**).

Πίνακας 69: Ετήσια κατανάλωση και PLR του λέβητα συναρτήσει της ονομαστικής του ισχύος για δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού όγκου 700 L

Ονομαστική ισχύς λέβητα (kW)	Ετήσια κατανάλωση λέβητα (kWh _{th} /m ²)	PLR (-)
11.1	46.470	0.90
13.9	46.458	0.60
16.7	46.458	0.55
19.4	46.458	0.40

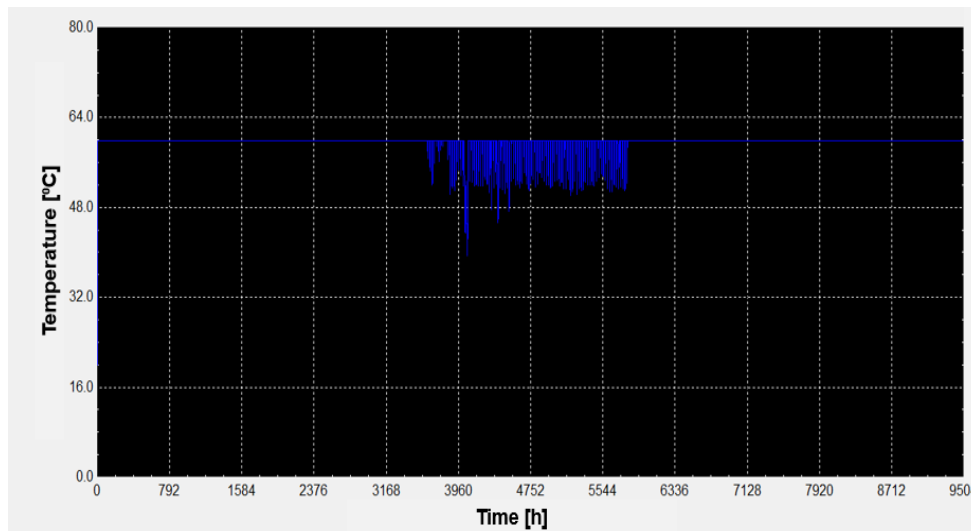
Από τον **Πίνακα 69** φαίνεται ότι όσο η ονομαστική ισχύς του λέβητα αυξάνεται, η ετήσια κατανάλωσή του μειώνεται μέχρι ένα σημείο και ύστερα διατηρείται σταθερή, ενώ φυσικά η τιμή του PLR, που λειτουργεί ο λέβητας κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους, μειώνεται. Επομένως, εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο λέβητας λειτουργεί βέλτιστα για PLR ίσο με 0.6 περίπου κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους και αυτό ισχύει παρομοίως και για τις υπόλοιπες περιπτώσεις.

5.1.2 Παραμετρική μελέτη του όγκου του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού

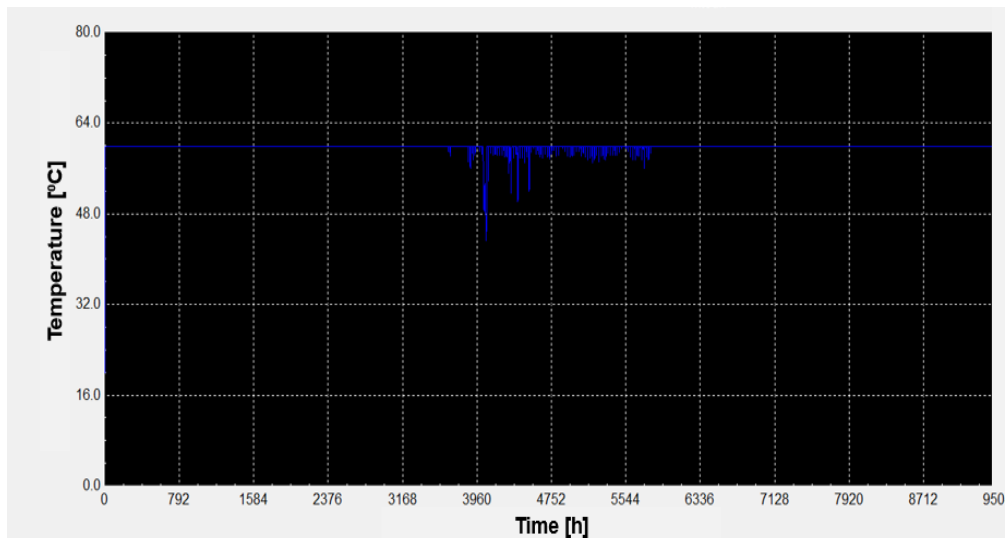
Στη συνέχεια ακολουθεί η παραμετρική μελέτη για τον όγκο του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού. Για να προσδιοριστεί ο βέλτιστος όγκος του δοχείου, εκτελέστηκε η προσομοίωση κάθε σεναρίου για διαφορετικές τιμές του όγκου (με σταθερά τα υπόλοιπα στοιχεία) και έγινε σύγκριση τόσο της ετήσιας κατανάλωσης του λέβητα όσο και της κατανομής της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ., ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που η λειτουργία του λέβητα δεν είναι τόσο συχνή όσο κατά την υπόλοιπη διάρκεια του έτους (το καλοκαίρι ο λέβητας λαμβάνει σήμα τόσο από το θερμοστάτη του δοχείου όσο και από το θερμοστάτη της κατοικίας), οπότε η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. σημειώνει κάποιες πτώσεις κάτω των 60 °C. Ακολουθούν ο πίνακας με την ετήσια κατανάλωση του λέβητα ονομαστικής ισχύος 11.1 kW για τους διαφορετικούς όγκους δοχείου για την κατοικία της Αθήνας των 200 m² και το σενάριο με δοχεία αποθήκευσης τόσο για το σύστημα θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. όσο και για το σύστημα ψύξης (**Πίνακας 70**), καθώς και οι μεταβολές της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. στη διάρκεια του έτους (**Σχήμα 60**, **Σχήμα 61**, **Σχήμα 62**, **Σχήμα 63**).

Πίνακας 70: Ετήσια κατανάλωση λέβητα συναρτήσει του όγκου του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού για το σενάριο 1

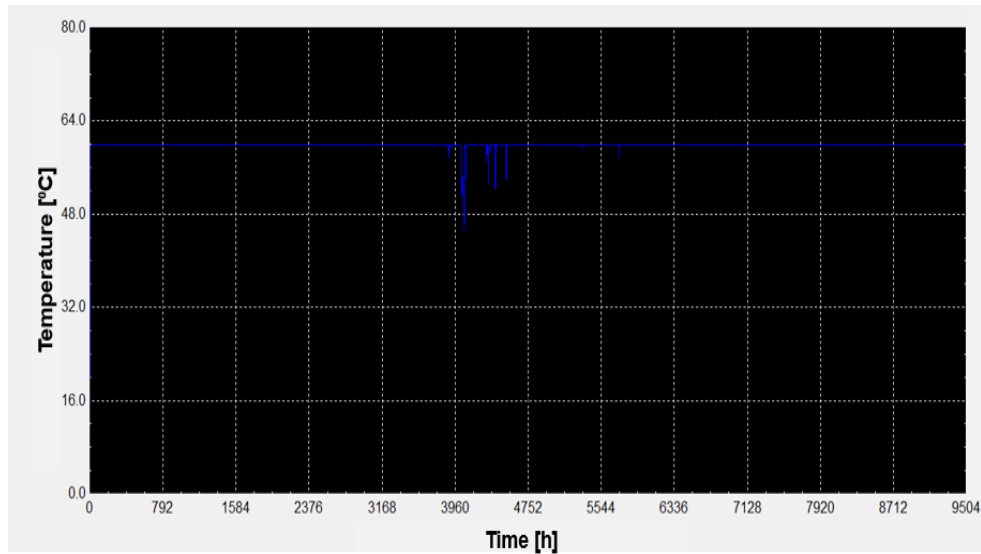
Όγκος δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού (L)	Ετήσια κατανάλωση λέβητα (kWh _{th} /m ²)
500	46.140
800	45.875
1000	45.878
1200	46.196



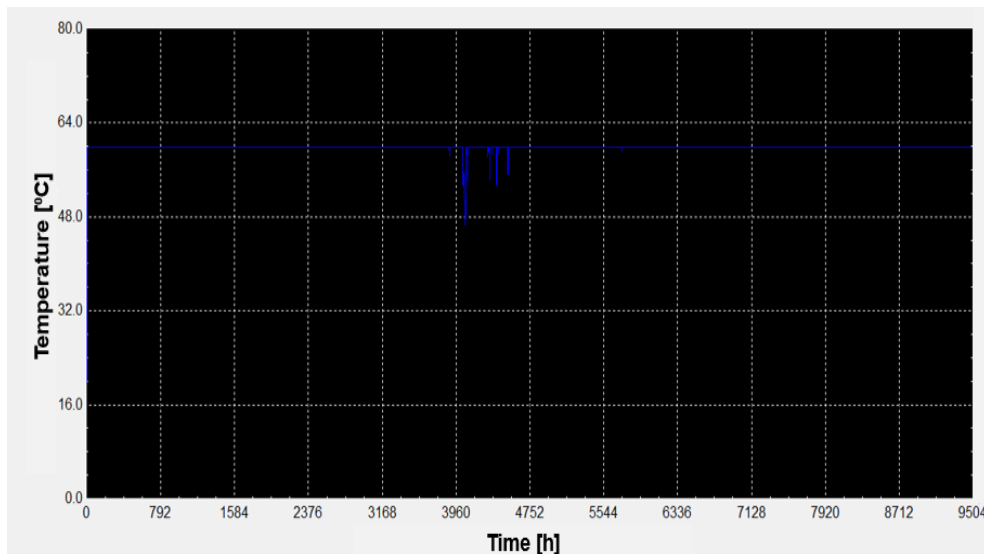
Σχήμα 60: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για όγκο δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού 500 L, κατοικία Αθήνας 200 m² και το σενάριο 1



Σχήμα 61: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για όγκο δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού 800 L, κατοικία Αθήνας 200 m² και το σενάριο 1



Σχήμα 62: Διακύμανση θερμοκρασίας Z.N.X. για όγκο δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού 1000 L, κατοικία Αθήνας 200 m² και το σενάριο 1



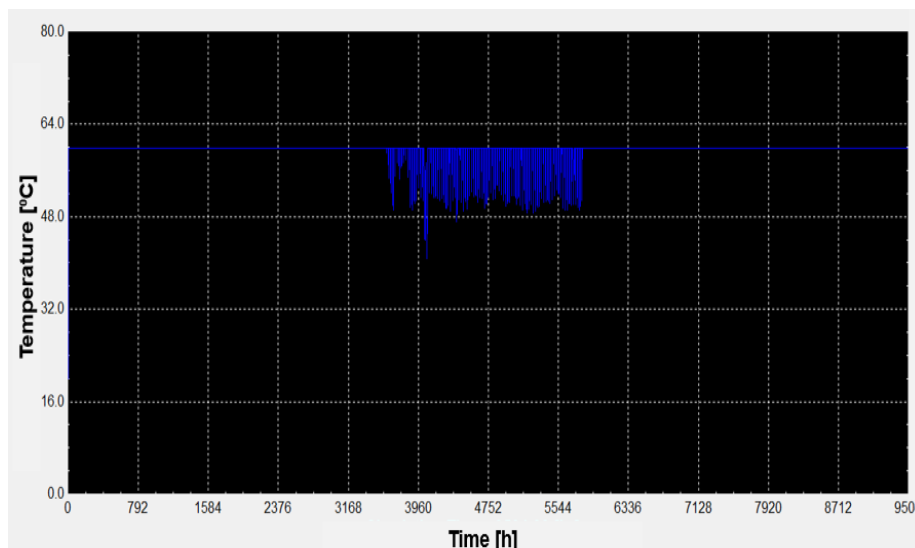
Σχήμα 63: Διακύμανση θερμοκρασίας Z.N.X. για συνολικό όγκο δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού 1200 L, κατοικία Αθήνας 200 m² και το σενάριο 1

Αρχικά, το καλοκαίρι είναι κατά τις ώρες 3624 - 5808 (1 Ιουνίου – 31 Αυγούστου), όταν ξεκινάνε και οι πτώσεις της θερμοκρασίας του Z.N.X. κάτω των 60 °C, αφού ο λέβητας λειτουργεί σε μικρότερη συχνότητα και η ηλιοφάνεια δεν επαρκεί για την επιθυμητή θέρμανση του νερού. Από τα παραπάνω σχήματα φαίνεται ότι, όταν αυξάνεται ο όγκος του δοχείου αποθήκευσης, μειώνονται οι τιμές των πτώσεων της θερμοκρασίας του Z.N.X.. κάτω των 60 °C. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι λόγω μεγαλύτερης αδράνειας, το δοχείο μεγαλύτερου όγκου «αποφορτίζεται» πιο δύσκολα, όταν έχει θερμανθεί, οπότε

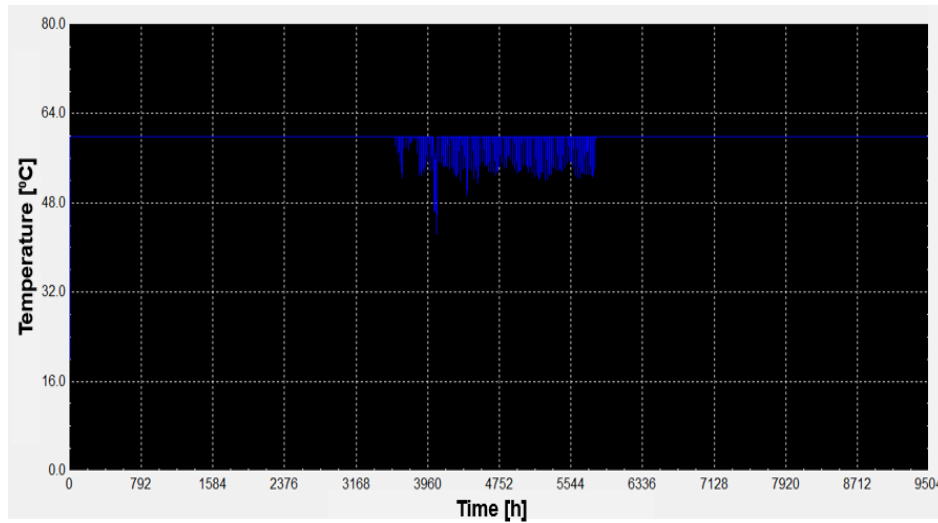
διατηρούνται υψηλότερες θερμοκρασίες εντός του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού, άρα είναι υψηλότερη και η τελική θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. της κατοικίας.

Από τον Πίνακα 70 φαίνεται ότι οι χαμηλότερες ετήσιες καταναλώσεις του λέβητα επιτυγχάνονται για όγκους δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού 800 L και 1000 L, ενώ από τα σχήματα φαίνεται ότι οι πιο ομαλές κατανομές θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. είναι για τους όγκους των δοχείων αποθήκευσης 1000 L (Σχήμα 62) και 1200 L (Σχήμα 63). Ωστόσο, για το δοχείο αποθήκευσης 1200 L, η κατανάλωση του λέβητα είναι λίγο μεγαλύτερη και η διαφορά της κατανομής από την περίπτωση του δοχείου των 1000 L είναι τόσο αμελητέα που δεν αξίζει να χρησιμοποιηθούν δύο δοχεία (αφού ο όγκος είναι μεγαλύτερος των 1000 L). Άρα, ως βέλτιστος όγκος του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού για την κατοικία της Αθήνας των 200 m² επιλέγονται τα 1000 L. Ίδια τιμή της χωρητικότητας του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού επιλέγεται και για το σενάριο 2 (όπου διαφορές από το σενάριο 1 υπάρχουν μόνο στο σύστημα ψύξης). Ακόμα, όμοια διαδικασία ακολουθήθηκε για την εύρεση του βέλτιστου όγκου του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού και για τις άλλες κατοικίες και περιοχές.

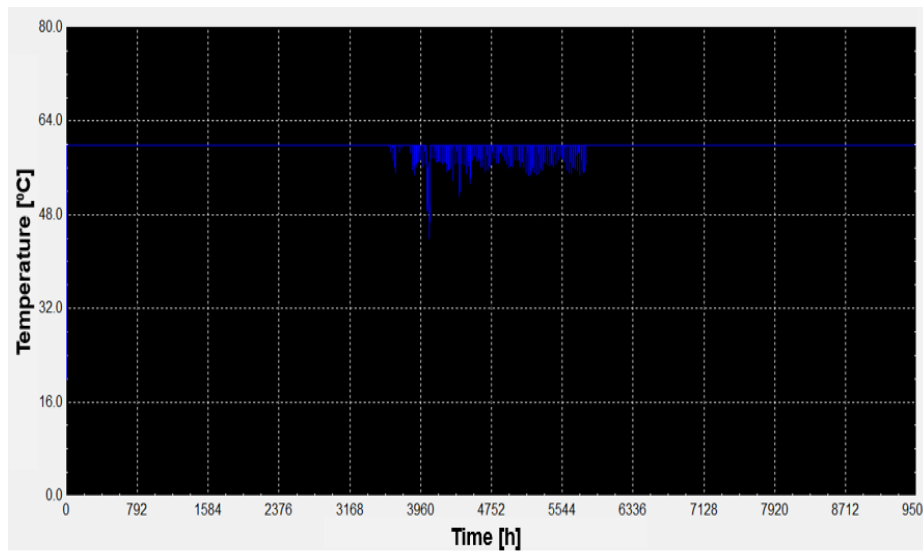
Επιπλέον, παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε και για το σενάριο 3, με τη διαφορά ότι εδώ δεν ελέγχονται οι ετήσιες καταναλώσεις του λέβητα, αλλά μόνο οι κατανομές της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ., όπου παρατηρούνται οι μεγάλες και αισθητές διαφορές. Στα ακόλουθα σχήματα φαίνονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. για την κατοικία της Αθήνας των 200 m² με λέβητα ονομαστικής ισχύος 12.5 kW και διαφορετικές τιμές του όγκου του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού (Σχήμα 64, Σχήμα 65, Σχήμα 66, Σχήμα 67, Σχήμα 68).



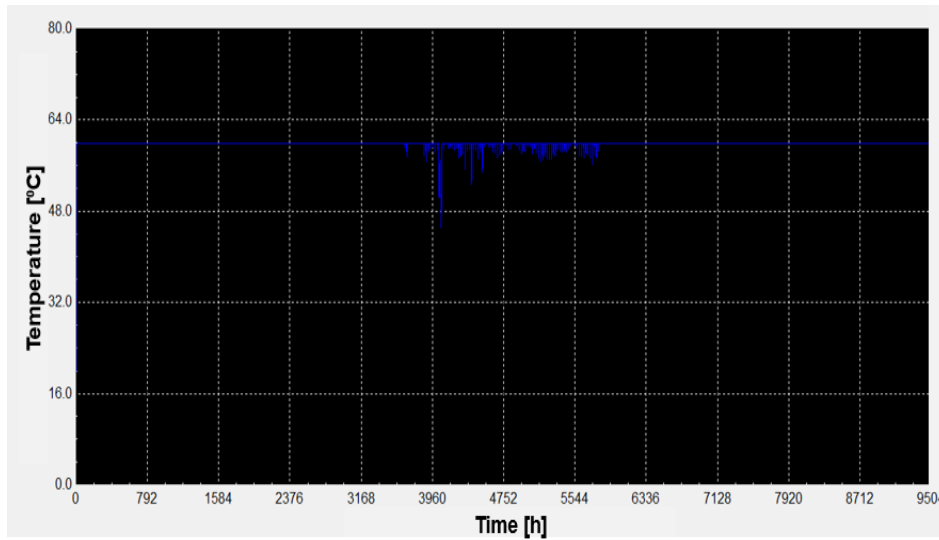
Σχήμα 64: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για όγκο δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού 800 L, κατοικία Αθήνας 200 m² και το σενάριο 3



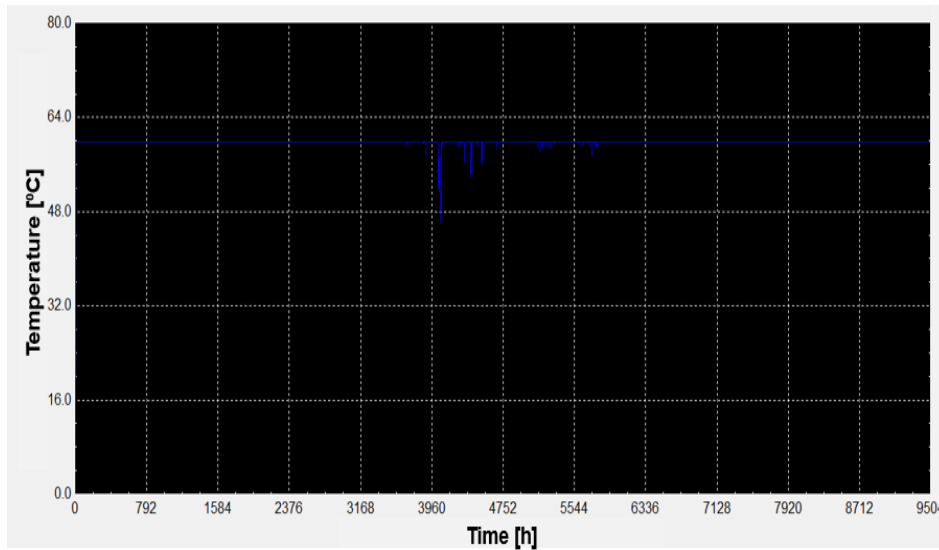
Σχήμα 65: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για όγκο δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού 1000 L, κατοικία Αθήνας 200 m² και το σενάριο 3



Σχήμα 66: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για συνολικό όγκο δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού 1200 L, κατοικία Αθήνας 200 m² και το σενάριο 3



Σχήμα 67: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για συνολικό όγκο δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού 1400 L, κατοικία Αθήνας 200 m² και το σενάριο 3



Σχήμα 68: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για συνολικό όγκο δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού 1600 L, κατοικία Αθήνας 200 m² και το σενάριο 3

Από τα παραπάνω σχήματα διαπιστώνεται αρχικά ότι για ίδιους όγκους δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού με την αντίστοιχη παραμετρική μελέτη του σεναρίου 1, σημειώνονται μεγαλύτερες πτώσεις της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ή αλλιώς ότι για την επίτευξη ικανοποιητικής θερμοκρασιακής κατανομής Ζ.Ν.Χ. απαιτούνται μεγαλύτεροι όγκοι δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού συγκριτικά με του σεναρίου 1. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στο σενάριο 3 μειώνεται η ονομαστική ισχύς του λέβητα, οπότε, όταν λειτουργεί το καλοκαίρι θερμαίνει λιγότερο

το δοχείο. Επίσης, η χωρητικότητα των δοχείων αυξάνεται, για να γίνεται εκμεταλλεύσιμη κατά το μέγιστο δυνατό η μεγαλύτερη (διπλάσια) επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών και άρα η περισσότερη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και ο διπλασιασμός της διερχόμενης από τους συλλέκτες παροχής ρευστού (αναλογική αύξηση παροχής ρευστού και επιφανείας λόγω του αντίστοιχου κριτηρίου) επιβάλλει την αύξηση του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού. Ακόμα, η αύξηση της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. το καλοκαίρι με την αύξηση του συνολικού όγκου των δοχείων αποθήκευσης, υπαγορεύεται από την ίδια αιτία με προηγουμένως, ότι δηλαδή τα μεγαλύτερα δοχεία «αποφορτίζονται» πιο δύσκολα λόγω μεγαλύτερης αδράνειας.

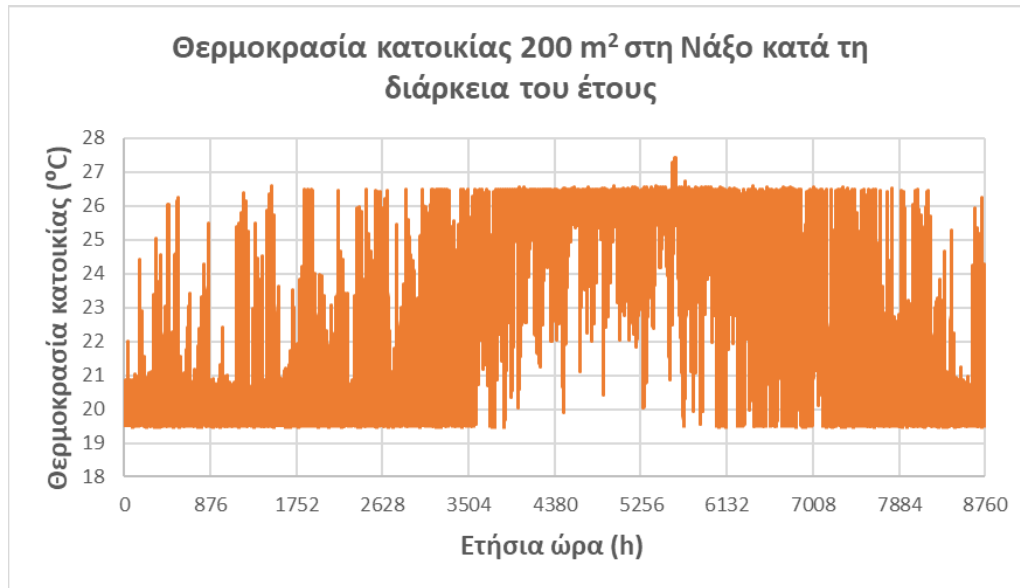
Τέλος, από τα παραπάνω σχήματα κρίνεται ότι ο βέλτιστος συνολικός όγκος των δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού είναι τα 1400 L, καθώς η θερμοκρασιακή κατανομή είναι πιο ομαλή από των 1200 L, ενώ η διαφορά με την περίπτωση των 1600 L δεν είναι τόσο αισθητή ώστε να δικαιολογεί ακόμα μεγαλύτερη αύξηση του συνολικού όγκου των δοχείων. Άρα, χρησιμοποιούνται δύο όμοια δοχεία των 700 L που λειτουργούν παράλληλα. Όμοια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τον προσδιορισμό του βέλτιστου όγκου του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού για τις άλλες κατοικίες και περιοχές του σεναρίου 3.

5.2 Αποτελέσματα για Νάξο (κλιματική ζώνη Α)

Με βάση τα δεδομένα και τα χαρακτηριστικά των σεναρίων που έχουν περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκαν οι προσομοιώσεις για όλες τις περιοχές, τις κατοικίες και τα σενάρια. Εδώ ενδεικτικά παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα (διαγράμματα συμπεριφοράς και καταναλώσεις συστήματος) για την κατοικία των 200 m² της Νάξου και το σενάριο 1, δηλαδή για το σενάριο με δοχεία αποθήκευσης για θέρμανση – Ζ.Ν.Χ. και ψύξη. Τα αναλυτικά διαγράμματα για τις υπόλοιπες περιπτώσεις της Νάξου παρατίθενται σε παράρτημα στο τέλος της εργασίας.

5.2.1 Διαγράμματα ετήσιας συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Νάξο

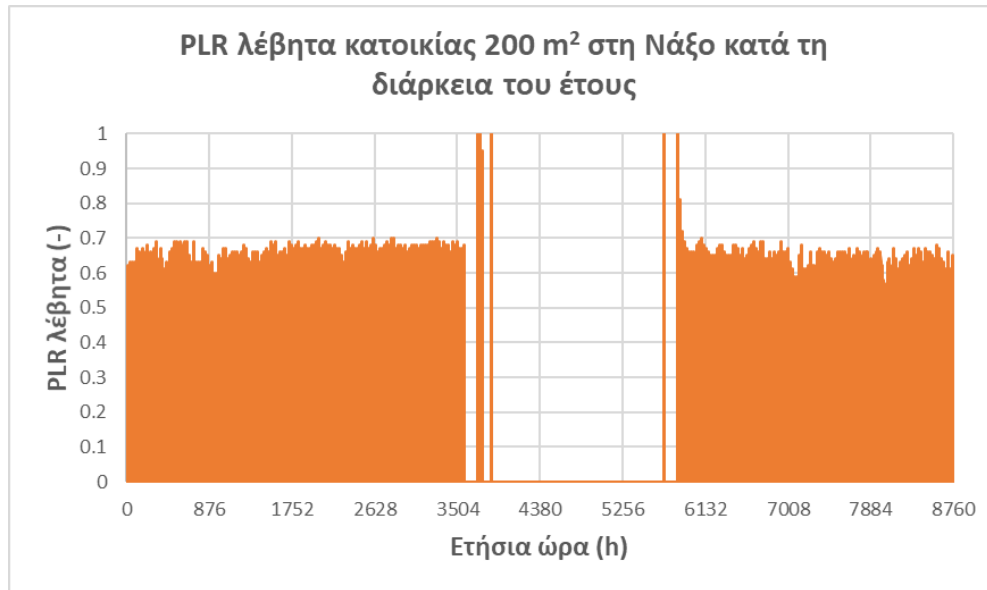
Αρχικά, στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η θερμοκρασία της κατοικίας των 200 m² της Νάξου στη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1 (**Σχήμα 69**).



Σχήμα 69: Θερμοκρασία της κατοικίας των 200 m² στη Νάξο κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1

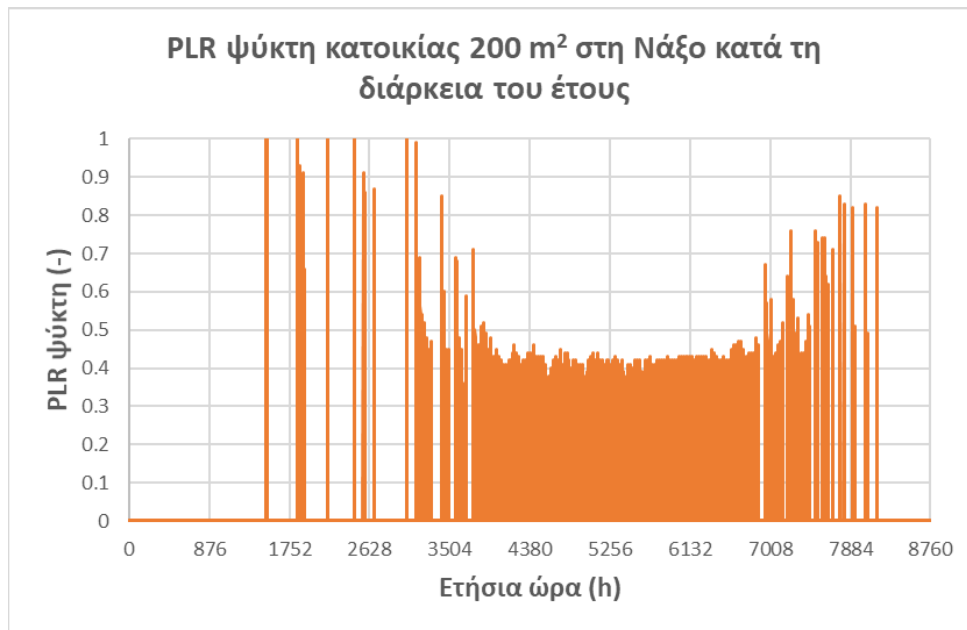
Από το **Σχήμα 69** φαίνεται ότι σχεδόν για όλη τη διάρκεια του έτους η θερμοκρασία της κατοικίας των 200 m² και του σεναρίου 1 στην Καστοριά κυμαίνεται μεταξύ των 19.5 °C και 26.5 °C, εκτός από μία περίπτωση που φτάνει μέχρι τους 27.5 °C. Άρα, το συνολικό σύστημα εξυπηρετεί σε ικανοποιητικό βαθμό την κατοικία, καθώς οι επιθυμητές θερμοκρασίες της για θέρμανση και για ψύξη είναι 20 °C και 26 °C αντίστοιχα και το εύρος (Dead Band) του θερμοστάτη της είναι 1 °C. Κάποιες θερμοκρασιακές αιχμές στη διάρκεια του χειμώνα οφείλονται στα ηλιακά κέρδη κατά τη διάρκεια της ημέρας και στην αυξημένη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αντίθετα, κάποιες πτώσεις της θερμοκρασίας μέχρι περίπου τους 20 °C το καλοκαίρι σημειώνονται στη διάρκεια κάποιας κρύας νύχτας ή πρωινού και πιθανότατα οφείλονται και σε σφάλματα της προσομοίωσης, όσον αφορά τη μοντελοποίηση του κτηρίου, καθώς έγινε απλή μοντελοποίησή του, αγνοώντας τη θερμική μάζα λόγω των δομικών του στοιχείων.

Έπειτα, ακολουθούν τα διαγράμματα με το PLR του λέβητα (**Σχήμα 70**) και του ψύκτη (**Σχήμα 71**) αντίστοιχα στη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1.



Σχήμα 70: PLR του λέβητα κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

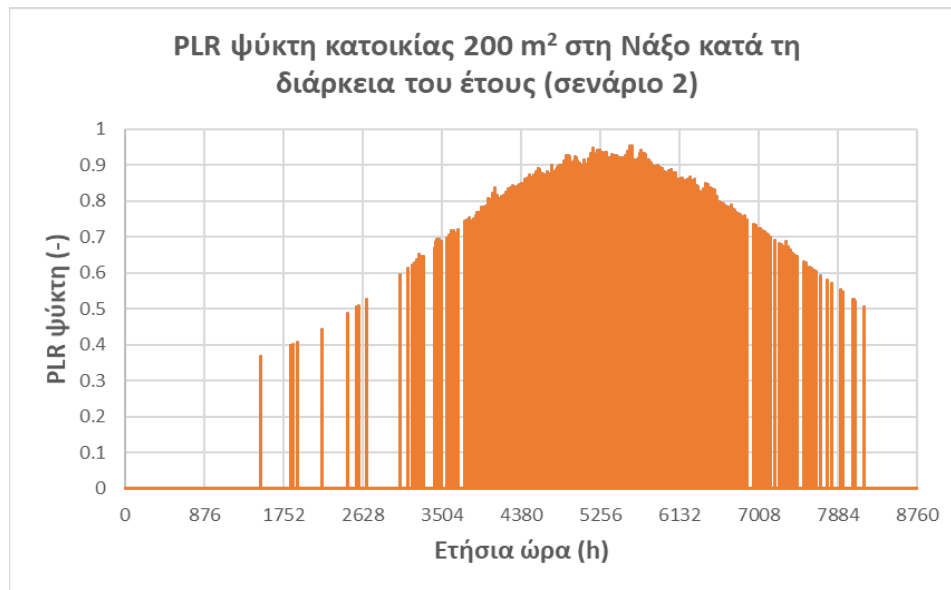
Από το **Σχήμα 70** παρατηρείται, αρχικά, ότι στη μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας του λέβητα το PLR του είναι περίπου ίσο με 0.6 – 0.65, που συμφωνεί με το συμπέρασμα της παραμετρικής ανάλυσης της διαστασιολόγησής του που έχει προηγηθεί για βελτιστοποίηση της κατανάλωσής του, ενώ πάντα λειτουργεί με PLR μεγαλύτερο από 0.3 που είναι το κατώτατο όριο. Επίσης, κατά τη διάρκεια όλου σχεδόν του καλοκαιριού ο λέβητας δεν λειτουργεί, εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις που οφείλονται σε πιο κρύες μέρες και σε σφάλματα του προγράμματος ή των δεδομένων. Μάλιστα, σε αυτές τις περιπτώσεις λειτουργεί με PLR ίσο με 1 (ή κοντά σε αυτό), καθώς η θερμοκρασία του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. στο ύψος του θερμοστάτη έχει πέσει κάτω από τους 65 °C λόγω της μη λειτουργίας του λέβητα, οπότε, όταν ο λέβητας λαμβάνει θετικό σήμα να λειτουργήσει τόσο από το θερμοστάτη του δοχείου αυτού όσο και από το θερμοστάτη της κατοικίας, προσπαθεί να καλύψει αυτήν τη διαφορά.



Σχήμα 71: PLR του ψύκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 71** φαίνεται ότι ο ψύκτης ξεκινάει να λειτουργεί λίγες στιγμές από το Μάρτιο και λειτουργεί ως το Νοέμβριο (που οφείλεται τόσο σε πιθανά σφάλματα του προγράμματος ή των δεδομένων όσο και στα ηλιακά κέρδη), με συνεχόμενη λειτουργία το καλοκαίρι. Ακόμα, λειτουργεί πάντα πάνω από το κατώτατο όριο PLR που είναι ίσο με 0.3, αλλά είναι αξιοσημείωτο ότι στην αρχή και στο τέλος της περιόδου λειτουργίας του λειτουργεί με υψηλότερο PLR από ότι στο ενδιάμεσο (καλοκαίρι και αρχές φθινοπώρου). Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στην αρχή και στο τέλος δεν λειτουργεί συχνά, οπότε πρέπει να ψύχει το νερό του δοχείου, το οποίο είναι σε αρκετά υψηλότερη θερμοκρασία από την επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου από τον ψύκτη (άρα χρειάζεται υψηλή ισχύς από τον ψύκτη). Το καλοκαίρι, όμως, που ο ψύκτης λειτουργεί συνεχώς, αποθηκεύεται κρύο νερό στο δοχείο ψύξης με αποτέλεσμα να απαιτείται λιγότερη ισχύς από τον ψύκτη, για να ψύξει το νερό στην επιθυμητή θερμοκρασία (χαμηλότερο PLR).

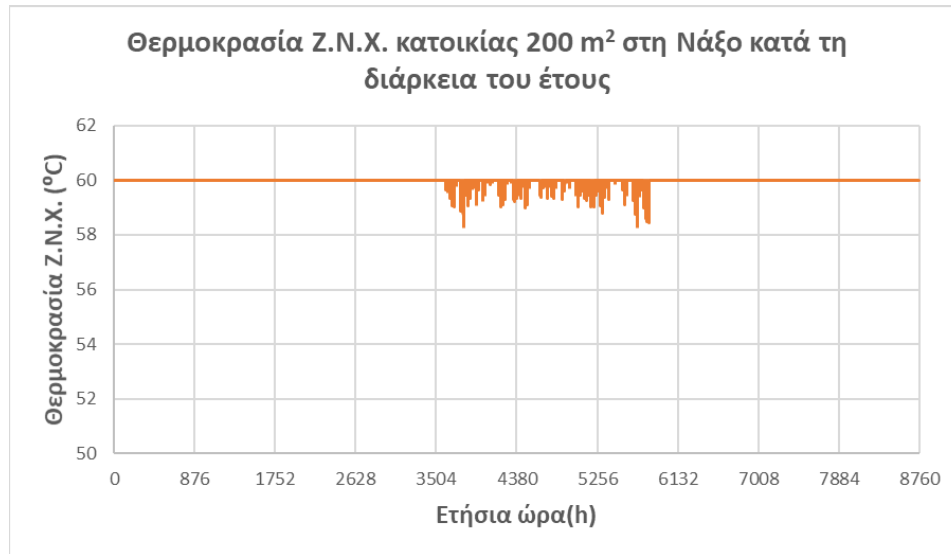
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση του παραπάνω διαγράμματος με το PLR του ψύκτη της ίδιας περιοχής και ίδιου μεγέθους κατοικίας, αλλά για το σενάριο 2 (χωρίς δοχείο ψύξης), το οποίο απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα (**Σχήμα 72**).



Σχήμα 72: PLR του ψύκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 2

Σύμφωνα με το **Σχήμα 72**, αντίθετα από το αντίστοιχο διάγραμμα του σεναρίου 1 (**Σχήμα 71**), για το σενάριο 2 ο ψύκτης στην αρχή και στο τέλος της περιόδου λειτουργίας του λειτουργεί με χαμηλότερο PLR, ενώ στο ενδιάμεσο (άρα και το καλοκαίρι) λειτουργεί με υψηλότερο. Μάλιστα, το μέγιστο PLR εμφανίζεται κατά την περίοδο του Αυγούστου. Ο λόγος για αυτό είναι ότι, επειδή εδώ δεν υπάρχει δοχείο ψύξης, ο ψύκτης σε πραγματικό χρόνο ψύχει όσο νερό απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου. Άρα το καλοκαίρι που οι ανάγκες ψύξης του κτιρίου είναι μεγαλύτερες, αυξάνεται η παροχή του νερού στο κλειστό κύκλωμα ψύκτη – fan – coil και επομένως η καταναλισκούμενη ισχύς και το PLR του ψύκτη. Επίσης, καθ’ όλη τη λειτουργία του ψύκτη το PLR του είναι μεγαλύτερο από 0.3 που είναι και το κατώτατο όριο λειτουργίας.

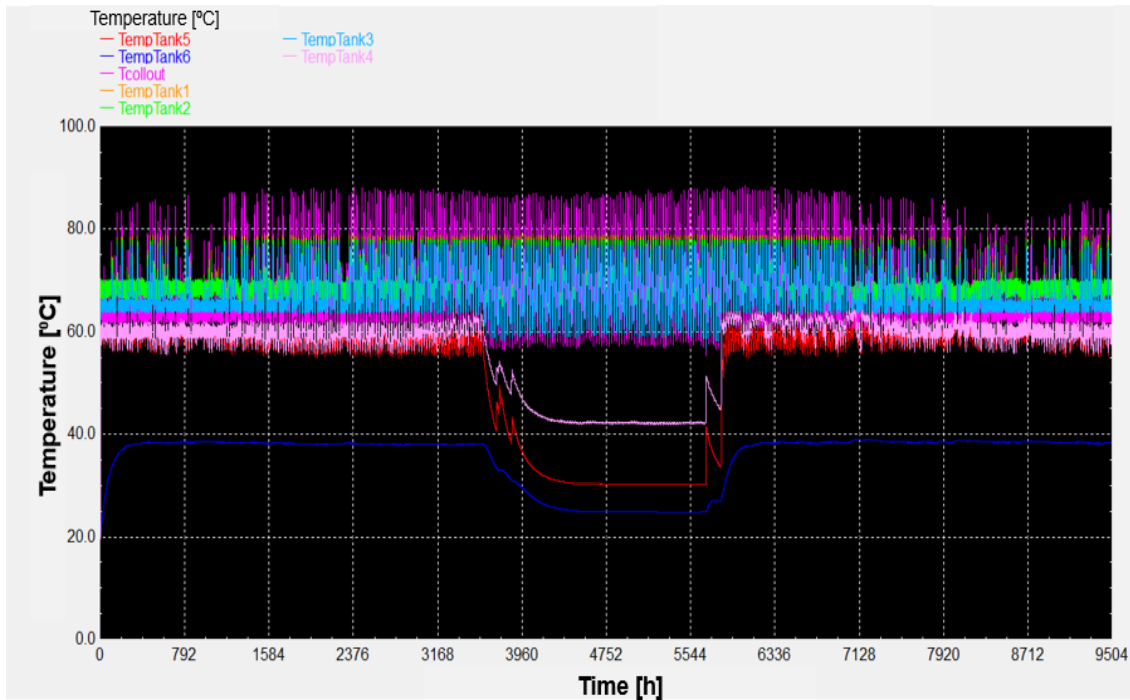
Ύστερα, στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η θερμοκρασιακή διακύμανση του Z.N.X. στη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1 (**Σχήμα 73**).



Σχήμα 73: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Z.N.X. κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

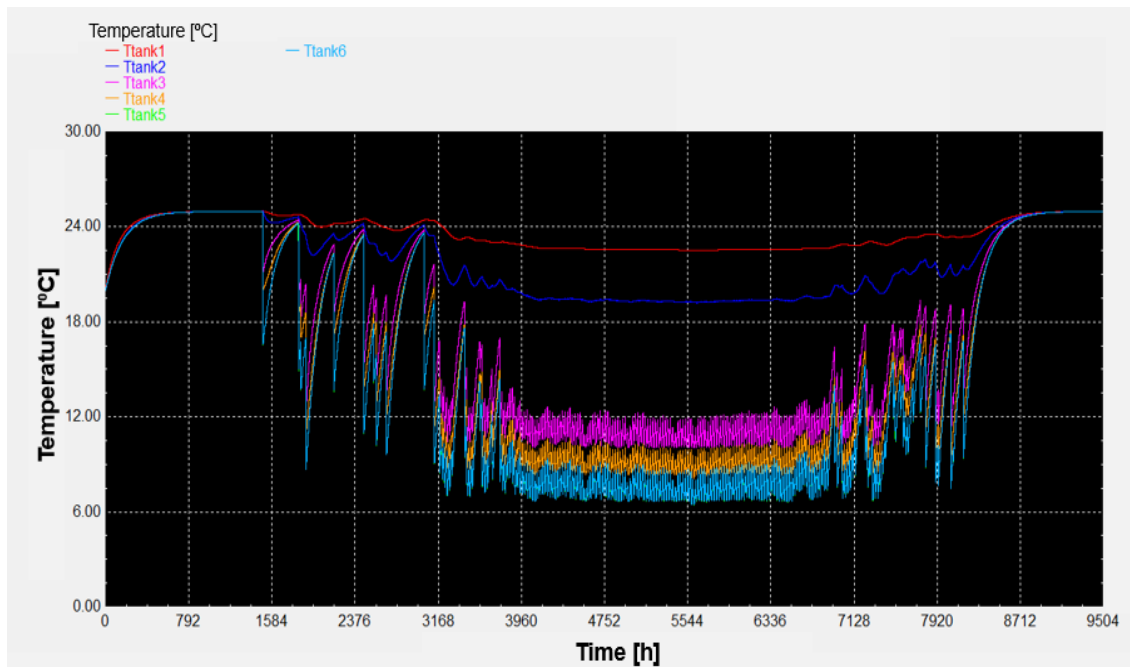
Από το **Σχήμα 73** φαίνεται ότι στη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους η θερμοκρασία του Z.N.X. είναι ίση με την επιθυμητή θερμοκρασία των 60 °C, ενώ ακόμα και το καλοκαίρι που ο λέβητας δεν λειτουργεί σχεδόν καθόλου, η θερμοκρασία του Z.N.X. δεν μειώνεται κάτω από τους 58.5 °C. Επομένως, φαίνεται ότι το δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού χωρητικότητας 1000 L που έχει επιλεγεί για αυτήν την περίπτωση λειτουργεί πολύ ικανοποιητικά.

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα διαγράμματα με τις θερμοκρασίες του δοχείου θέρμανσης – Z.N.X. και της θερμοκρασίας εξόδου από τον ηλιακό συλλέκτη (**Σχήμα 74**), καθώς και με τις θερμοκρασίες του δοχείου ψύξης (**Σχήμα 75**) αντίστοιχα, στη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1. Εδώ αξίζει να τονιστεί ότι κατά τους υπολογισμούς των προσομοιώσεων, τα δοχεία χωρίζονται σε έξι ισόθερμους και ίσους όγκους (και αντίστοιχους κόμβους) το καθένα, με τον όγκο 1 να βρίσκεται στην κορυφή του δοχείου και τον όγκο 6 να βρίσκεται στον πυθμένα.



Σχήμα 74: Θερμοκρασίες δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού και εξόδου του συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

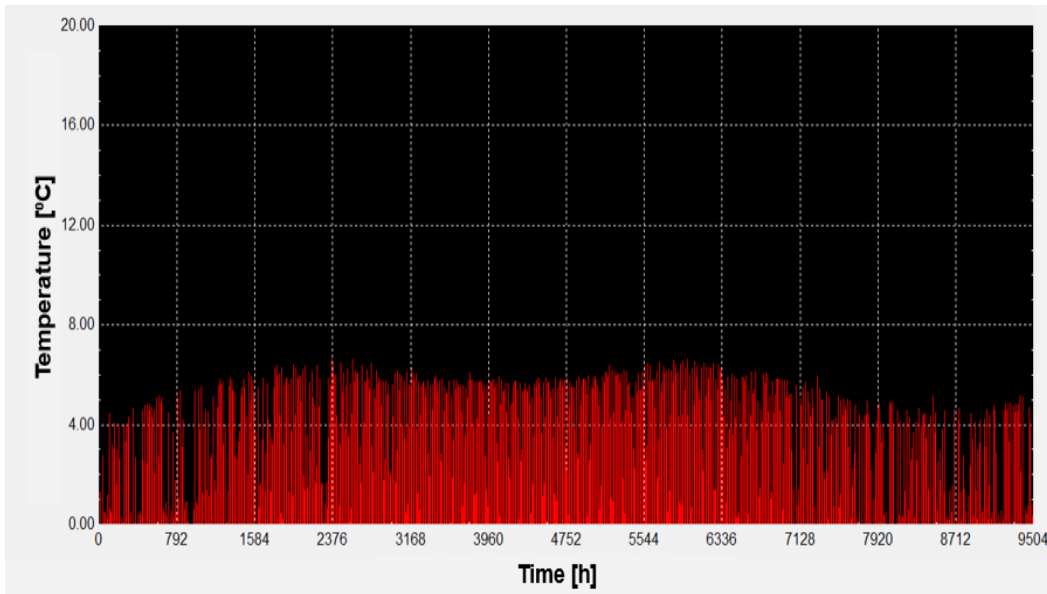
Από το **Σχήμα 74** φαίνεται ότι καθ' όλη τη διάρκεια του έτους η θερμοκρασία εξόδου του ηλιακού συλλέκτη (μωβ γραμμή στο σχήμα) είναι κάτω από 100 °C που αποτελεί το ανώτατο όριο, καθώς και ότι οι θερμοκρασίες του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού είναι κάτω από 80 °C, που αποτελεί ομοίως το ανώτατο θερμοκρασιακό όριο για το δοχείο θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ.. Επίσης, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της μη λειτουργίας του λέβητα, οι θερμοκρασίες του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. για τους κόμβους 4 – 6 είναι σταθερά κάτω από τους 60 °C.



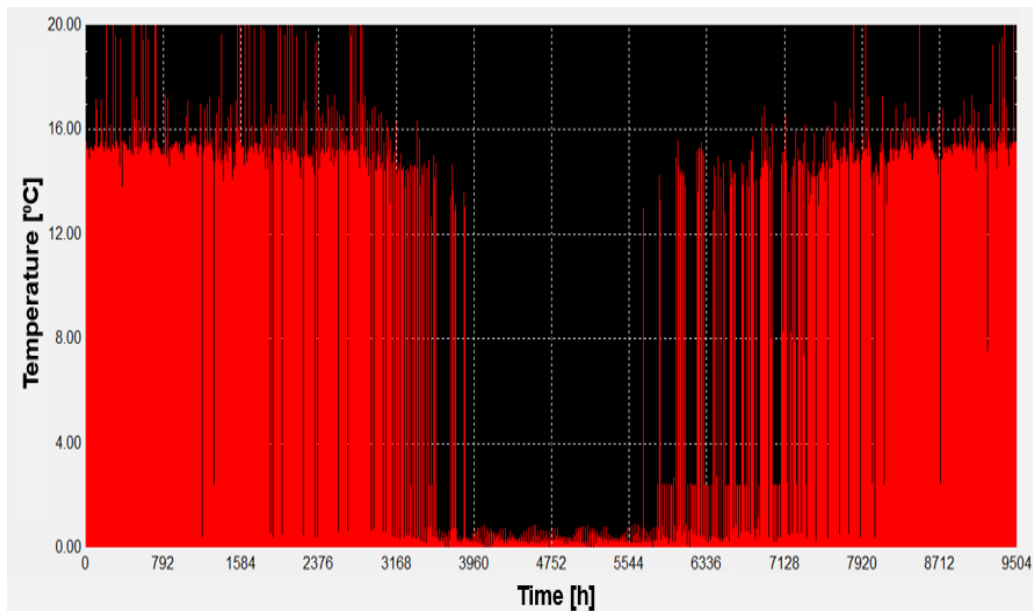
Σχήμα 75: Θερμοκρασίες του δοχείου αποθήκευσης για την ψύξη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 75** φαίνεται ότι, όταν δεν λειτουργεί ο ψύκτης, οι θερμοκρασίες των κόμβων του δοχείου ψύξης είναι 25 °C, ίσες δηλαδή με τη θερμοκρασία του χώρου στον οποίο βρίσκεται το δοχείο. Όταν ο ψύκτης τίθεται σε λειτουργία, οι θερμοκρασίες του κάτω μέρους του δοχείου (κόμβοι 3 – 6) αρχίζουν να μειώνονται, ενώ το καλοκαίρι που ο ψύκτης βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία, οι θερμοκρασίες στους κόμβους 5 και 6 διατηρούνται στο εύρος 7 – 9 °C (εξ' ου και το χαμηλό PLR του ψύκτη την ίδια περίοδο, αφού η επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου από τον ψύκτη είναι 5 °C).

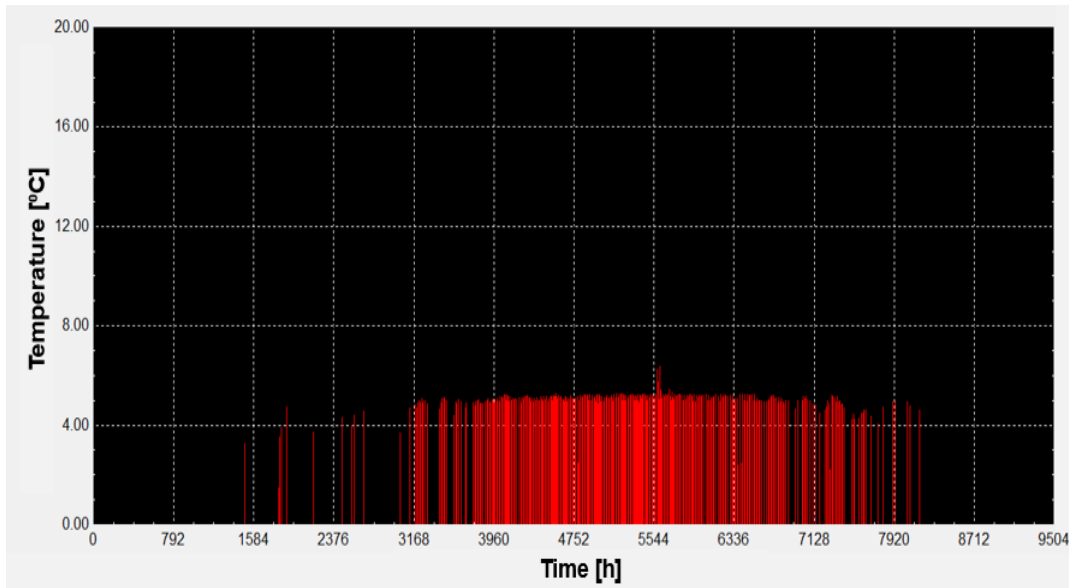
Έπειτα, παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τις διαφορές θερμοκρασίας που «βλέπουν» οι PID ελεγκτές των ηλιακών συλλεκτών (**Σχήμα 76**), των καλοριφέρ (**Σχήμα 77**) και των μονάδων fan – coil (**Σχήμα 78**) στη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1.



Σχήμα 76: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1



Σχήμα 77: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου των καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1



Σχήμα 78: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Σύμφωνα με το **Σχήμα 76**, για τη συγκεκριμένη περίπτωση η διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών στη διάρκεια του έτους φτάνει μέχρι τους 6.5 °C, ενώ η επιθυμητή θερμοκρασιακή διαφορά είναι 10 °C. Για αυτήν την απόκλιση ευθύνεται ότι πρέπει να ικανοποιείται το κριτήριο, σύμφωνα με το οποίο ο λόγος της παροχής του ρευστού που διέρχεται από τους συλλέκτες προς την επιφάνεια τους πρέπει να βρίσκεται μεταξύ του 0.01 και του 0.02 kg/(s · m²). Επομένως, η παροχή μάζας των συλλεκτών δεν μπορεί να μειωθεί τόσο ώστε η διαφορά θερμοκρασίας στα άκρα τους να φτάσει τους 10 °C.

Από το **Σχήμα 77** φαίνεται ότι κατά το μεγαλύτερο μέρος της διάρκειας του έτους, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου των καλοριφέρ κυμαίνεται στο επιθυμητό εύρος 15 – 20 °C. Το καλοκαίρι και κοντά σε αυτό η διαφορά θερμοκρασιών μειώνεται και ελαχιστοποιείται σε κάποιες αμελητέες τιμές. Αυτό οφείλεται σε σφάλματα του προγράμματος ή των δεδομένων ή σε κάποιες κρύες νύχτες και πρωινά (που ενεργοποιείται το καλοριφέρ λαμβάνοντας σήμα από το θερμοστάτη).

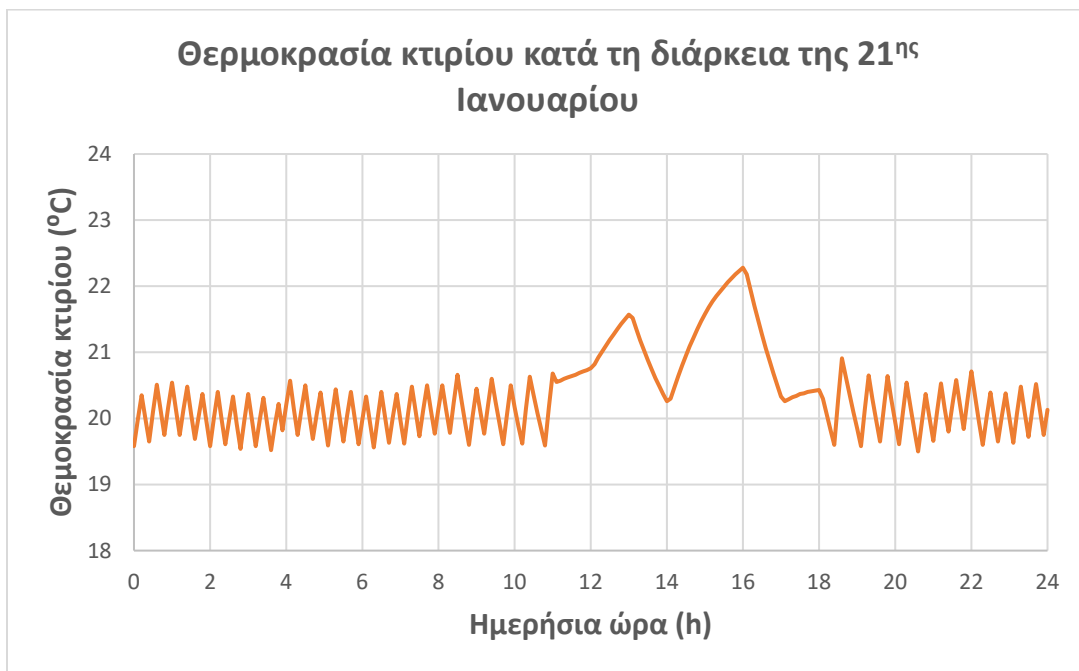
Τέλος, από το **Σχήμα 78** παρατηρείται ότι κατά την περίοδο λειτουργίας των μονάδων fan – coil η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξόδου και της εισόδου του κυμαίνεται από 3 έως 6 °C, ενώ κατά το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της λειτουργίας της, η θερμοκρασιακή διαφορά είναι ίση με 5 °C, που είναι και η επιθυμητή διαφορά θερμοκρασιών.

5.2.2 Διαγράμματα συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Νάξο και χαρακτηριστικές ημέρες του έτους

Επιπρόσθετα, ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα διαγράμματα συμπεριφοράς του συνολικού συστήματος για χαρακτηριστικές ημέρες του έτους. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά τέτοια διαγράμματα για μία χαρακτηριστική ημέρα από κάθε εποχή για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1.

5.2.2.1 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Νάξου στις 21 Ιανουαρίου

Αρχικά, παρατίθενται τα διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της συγκεκριμένης περίπτωσης στις 21 Ιανουαρίου.



Σχήμα 79: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Σύμφωνα με το **Σχήμα 79**, στις 21 Ιανουαρίου η θερμοκρασία της κατοικίας δεν πέφτει κάτω από τους 19.5 °C, ενώ παρουσιάζει και δύο αιχμές στις 13:00 και στις 16:00 στους 21.5 °C και στους 22.3 °C, που οφείλονται σε ηλιακά κέρδη εκείνης της ώρας και σε αυξημένη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

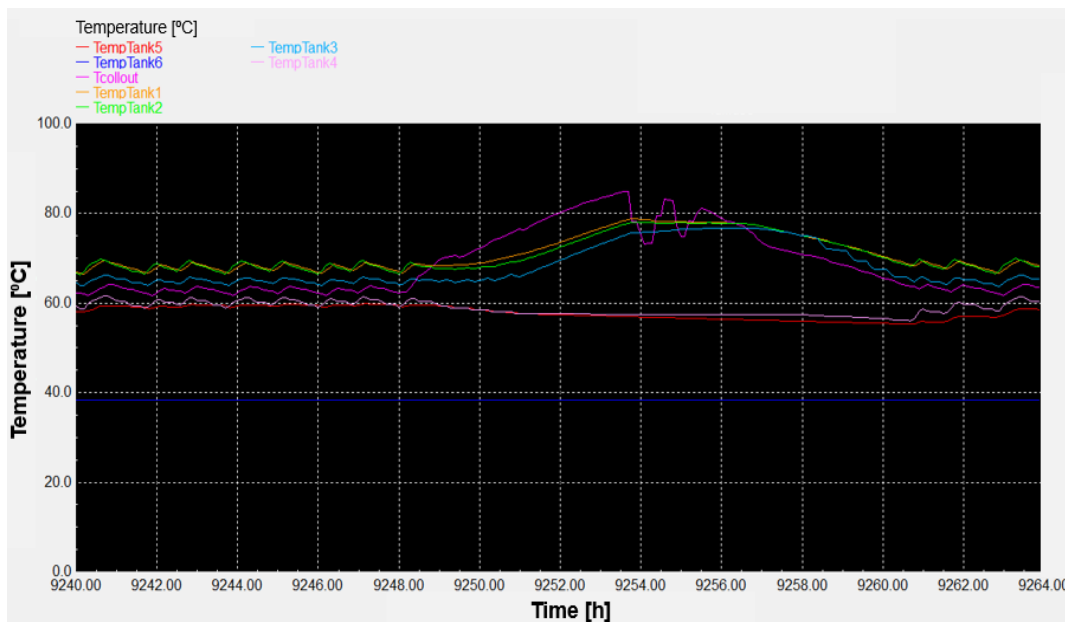
Η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. καθ' όλη τη διάρκεια της 21^{ης} Ιανουαρίου είναι ίση με 60 °C, που είναι και η επιθυμητή τιμή της.

Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 80**) φαίνεται ότι στις 21 Ιανουαρίου υπάρχουν αρκετές ενεργοποιήσεις και απενεργοποιήσεις του λέβητα, έτσι ώστε η θερμοκρασία του κτιρίου

να διατηρείται πάνω από τους 19.5 °C και το Ζ.Ν.Χ. στους 60 °C. Μάλιστα, όταν ο λέβητας ενεργοποιείται, δουλεύει σχεδόν πάντα με το βέλτιστο PLR που είναι ίσο με 0.6.

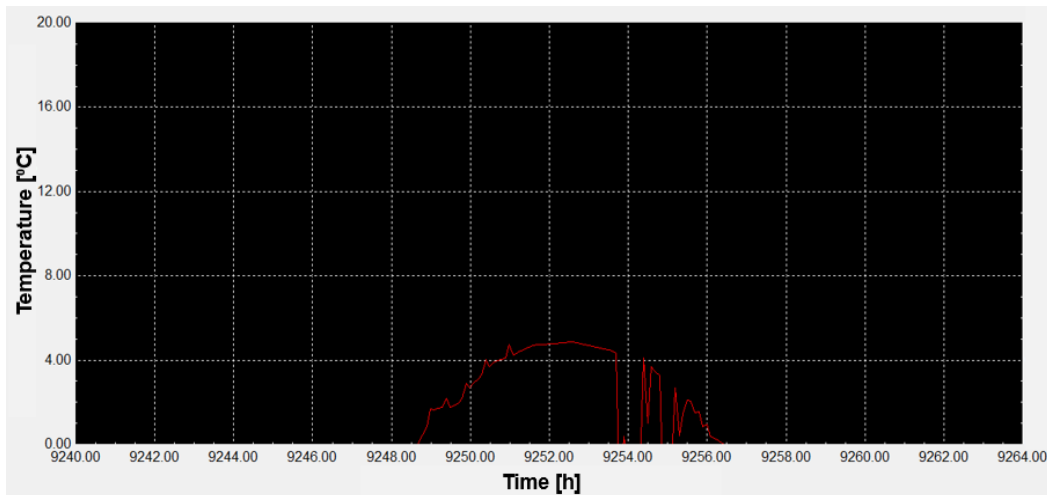


Σχήμα 80: PLR λέβητα στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

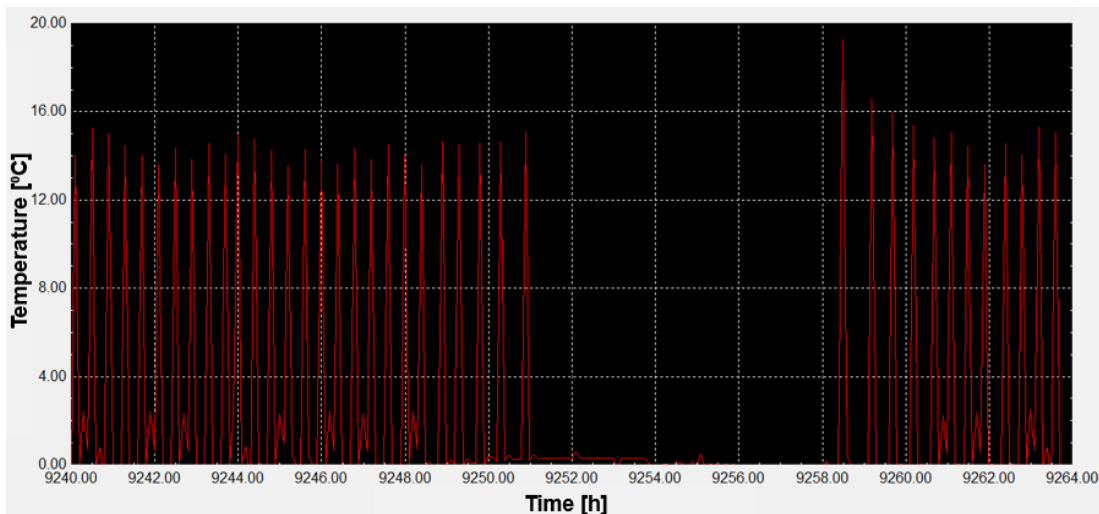


Σχήμα 81: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 81** φαίνεται ότι στις 21 Ιανουαρίου οι θερμοκρασίες του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού, εκτός από του κόμβου του πυθμένα, κυμαίνονται στο εύρος μεταξύ 59 °C και 80 °C, με τις θερμοκρασίες των κόμβων 1 – 3 και εξόδου του συλλέκτη να αυξάνονται στο διάστημα 8:00 – 16:00, όσο δηλαδή διαρκεί η ηλιοφάνεια τη συγκεκριμένη ημέρα και στη συνέχεια μειώνεται. Αυτό απεικονίζεται και στο σχήμα που ακολουθεί με τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξόδου και της εισόδου του ηλιακού συλλέκτη (**Σχήμα 82**), η οποία είναι μεγαλύτερη από το μηδέν στο διάστημα 8:00 – 16:00, εκτός από μερικές στιγμές γύρω στις 14:00, όπου υπήρξε παροδική συννεφιά. Μάλιστα, η 21^η Ιανουαρίου αντιστοιχεί στις ώρες 9240 – 9264, καθώς πρόκειται για το δεύτερο Ιανουάριο που προσομοιώνεται το σύστημα.



Σχήμα 82: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1



Σχήμα 83: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου καλοριφέρ στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 83** παρατηρείται ότι τα καλοριφέρ λειτουργούν αρκετές ώρες μέσα στο εικοσιτετράωρο με θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του κατά τις περισσότερες από αυτές 15 °C – 19 °C. Επίσης, τα καλοριφέρ δεν λειτουργούν σχεδόν καθόλου στο χρονικό διάστημα 11:00 – 18:30 (οι μικρές τιμές της διαφοράς αυτήν την ώρα οφείλονται σε σφάλματα της προσομοίωσης).

5.2.2.2 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Νάξου στις 21 Απριλίου

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της κατοικίας των 200 m² στη Νάξο και σεναρίου 1 στις 21 Απριλίου.



Σχήμα 84: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

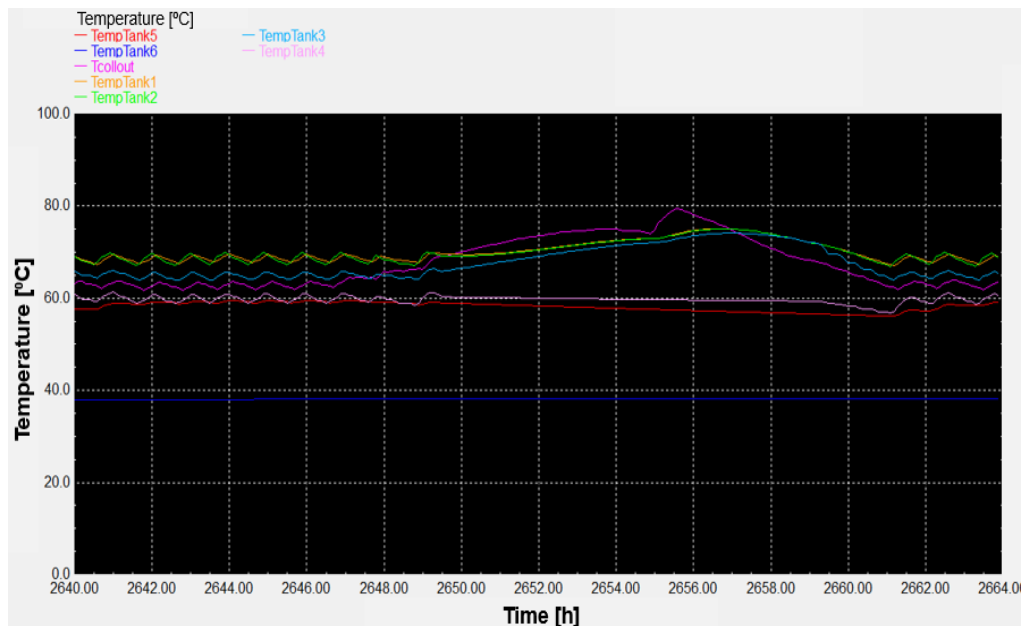
Σύμφωνα με το τελευταίο σχήμα (**Σχήμα 84**), στις 21 Απριλίου η θερμοκρασία του κτιρίου βρίσκεται σταθερά πάνω από τους 19.5 °C (με τη συνεισφορά και του λέβητα), ενώ από τις 10:00 αρχίζει να αυξάνεται με τη μεγιστοποίησή της να συμβαίνει περίπου στις 16:00 και στους 26.3 °C. Αυτή η αύξηση οφείλεται προφανώς στα ηλιακά κέρδη και στο ότι πρόκειται για θερμή ημέρα, αλλά υποχωρεί χωρίς να χρειαστεί η ενεργοποίηση του συστήματος ψύξης (η θερμοκρασία δεν φτάνει τους 26.5 °C, όπου θα δινόταν σήμα από το θερμοστάτη για ενεργοποίηση του ψύκτη και της μονάδας fan – coil).

Σχετικά με τη θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ., όπως και στις 21 Ιανουαρίου, αυτή διατηρείται σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου.



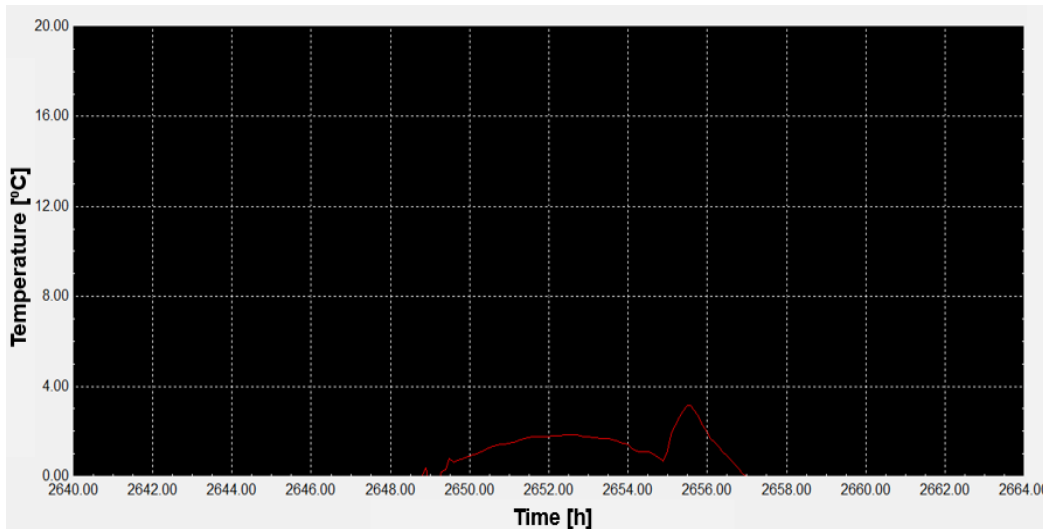
Σχήμα 85: PLR λέβητα στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 85** παρατηρείται ότι στις 21 Απριλίου ο λέβητας ενεργοποιείται και απενεργοποιείται αρκετές φορές, για να διατηρείται το Z.N.X. στην επιθυμητή του θερμοκρασία και μάλιστα όλες τις φορές που ενεργοποιείται, λειτουργεί με PLR περίπου ίσο με 0.6.

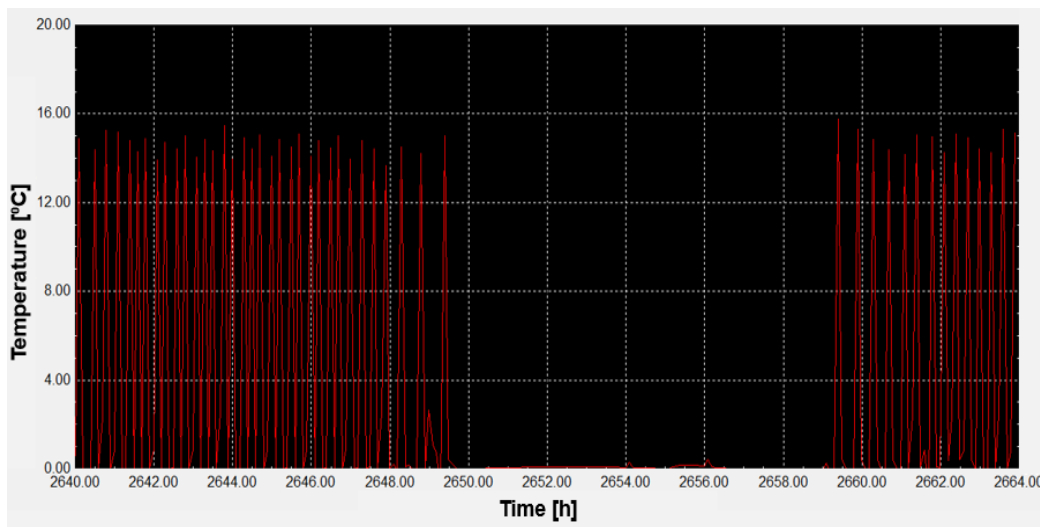


Σχήμα 86: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Z.N.X. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 86** φαίνεται ότι στις 21 Απριλίου ομοίως με τις 21 Ιανουαρίου οι θερμοκρασίες του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού, εκτός από του κόμβου του πυθμένα, κυμαίνονται στο εύρος μεταξύ 59 °C και 76 °C, με τις θερμοκρασίες των κόμβων 1 – 3 και εξόδου του συλλέκτη να παρουσιάζουν αύξηση στο διάστημα 9:00 – 16:00, όσο δηλαδή διαρκεί η ηλιοφάνεια τη συγκεκριμένη ημέρα και στη συνέχεια μειώνεται. Αυτό απεικονίζεται και στο σχήμα που ακολουθεί με τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξόδου και της εισόδου των ηλιακών συλλεκτών (**Σχήμα 87**), η οποία είναι μεγαλύτερη από το μηδέν στο διάστημα 9:00 – 17:00.



Σχήμα 87: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

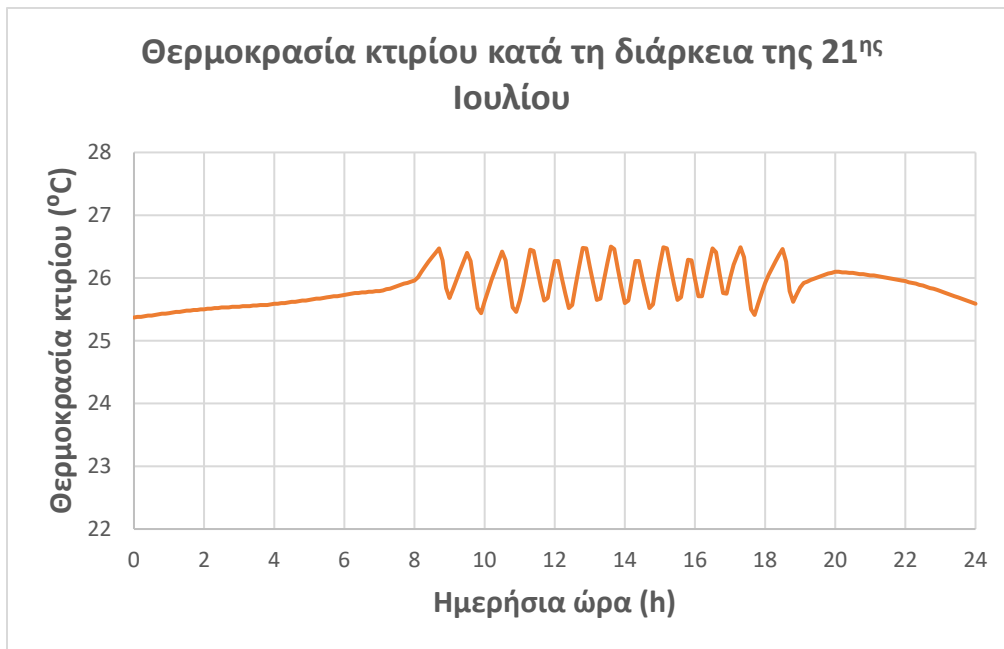


Σχήμα 88: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου καλοριφέρ στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 88** παρατηρείται ότι το καλοριφέρ λειτουργεί αρκετές ώρες μέσα στο εικοσιτετράωρο με θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του κατά τις περισσότερες από αυτές ίση με 15 °C. Επίσης, το καλοριφέρ δεν λειτουργεί καθόλου στο χρονικό διάστημα 10:00 – 19:00.

5.2.2.3 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Νάξου στις 21 Ιουλίου

Έπειτα, παρουσιάζονται τα διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της κατοικίας των 200 m² στη Νάξο και σεναρίου 1 στις 21 Ιουλίου, μία αρκετά θερμή ημέρα του καλοκαιριού.



Σχήμα 89: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Σύμφωνα με το **Σχήμα 89**, στις 21 Ιουλίου η θερμοκρασία του κτιρίου κυμαίνεται μεταξύ 25 °C και 26.5 °C. Στο χρονικό διάστημα 9:00 – 18:30, αρκετές φορές η θερμοκρασία αγγίζει τους 26.5 °C, ωστόσο εκεί ενεργοποιείται ο ψύκτης και οι μονάδες fan – coil και τη μειώνουν.

Όμοια με τις προηγούμενες ημέρες, στις 21 Ιουλίου η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. διατηρείται σταθερή και ίση με 60 °C καθ' όλο το εικοσιτετράωρο.

Ακόμα, όπως περιγράφει το **Σχήμα 90** που ακολουθεί, στις 21 Ιουλίου ο ψύκτης λειτουργεί στο χρονικό διάστημα 9:00 – 18:30 (με ενεργοποιήσεις και απενεργοποιήσεις), ώστε να διατηρεί τη θερμοκρασία της κατοικίας σε επιθυμητές τιμές. Ωστόσο, επειδή η αναφορά γίνεται στο σενάριο 1, όπου υπάρχει δοχείο ψύξης, για το λόγο που έχει αναφερθεί στο υποκεφάλαιο 5.2.1., ο ψύκτης λειτουργεί με χαμηλό PLR, πάντα όμως πάνω από το

κατώτατο όριο του 0.3. Εν αντιθέσει με το **Σχήμα 90** που αναφέρεται στο σενάριο 1, στο **Σχήμα 91** απεικονίζεται το αντίστοιχο διάγραμμα (για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο στις Ιουλίου) για το σενάριο 2.



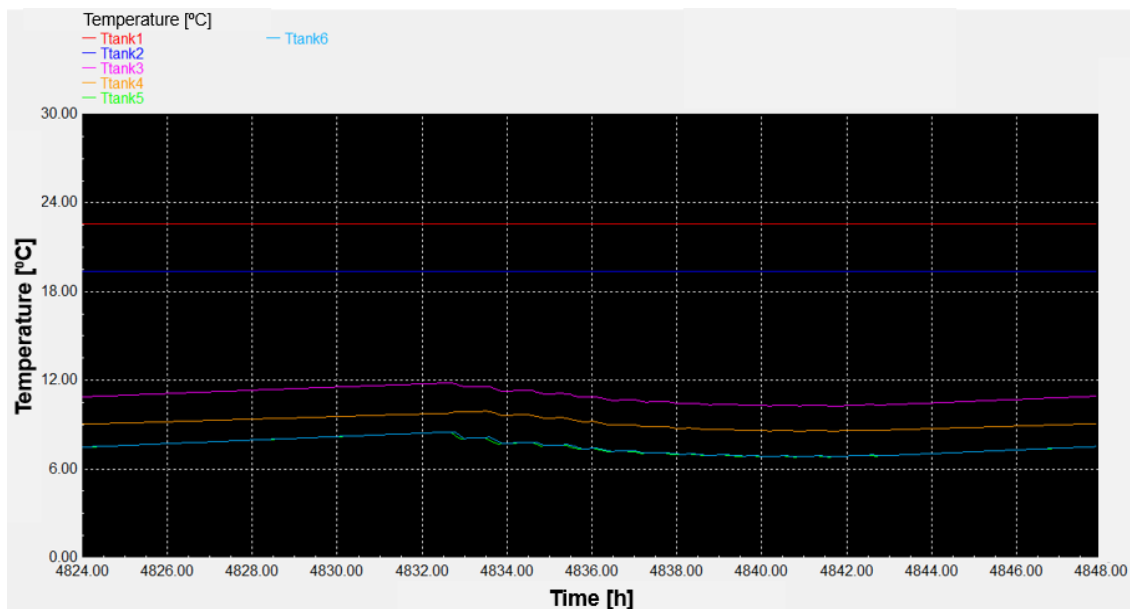
Σχήμα 90: PLR ψύκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1



Σχήμα 91: PLR ψύκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 2

Όπως υποδεικνύει το παραπάνω σχήμα, για το σενάριο 2 στις 21 Ιουλίου ο ψύκτης λειτουργεί στο ίδιο χρονικό διάστημα με το σενάριο 1 για την ίδια μέρα (9:00 – 18:30 περίπου), αλλά σε υψηλότερο PLR από την προηγούμενη περίπτωση, που αγγίζει μάλιστα, το 0.9. Αυτό συμβαίνει, επειδή δεν υπάρχει δοχείο ψύξης, όπως έχει εξηγηθεί αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 5.2.1.

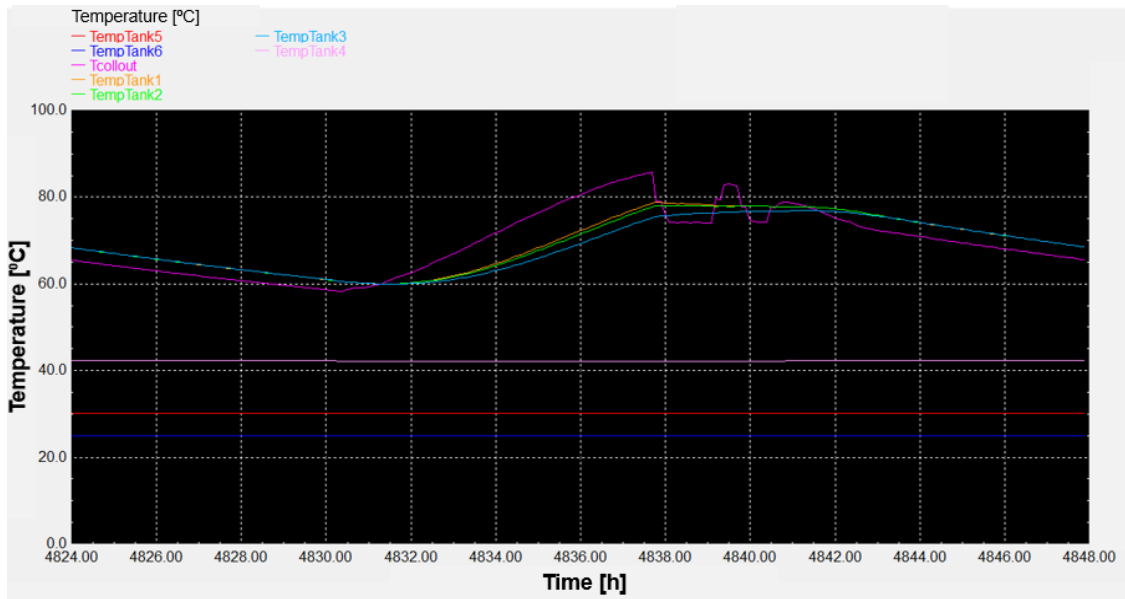
Στη συνέχεια, ακολουθούν τα διαγράμματα με τις θερμοκρασίες του δοχείου ψύξης (Σχήμα 92) και με τις θερμοκρασίες του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. (Σχήμα 93) αντίστοιχα στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1.



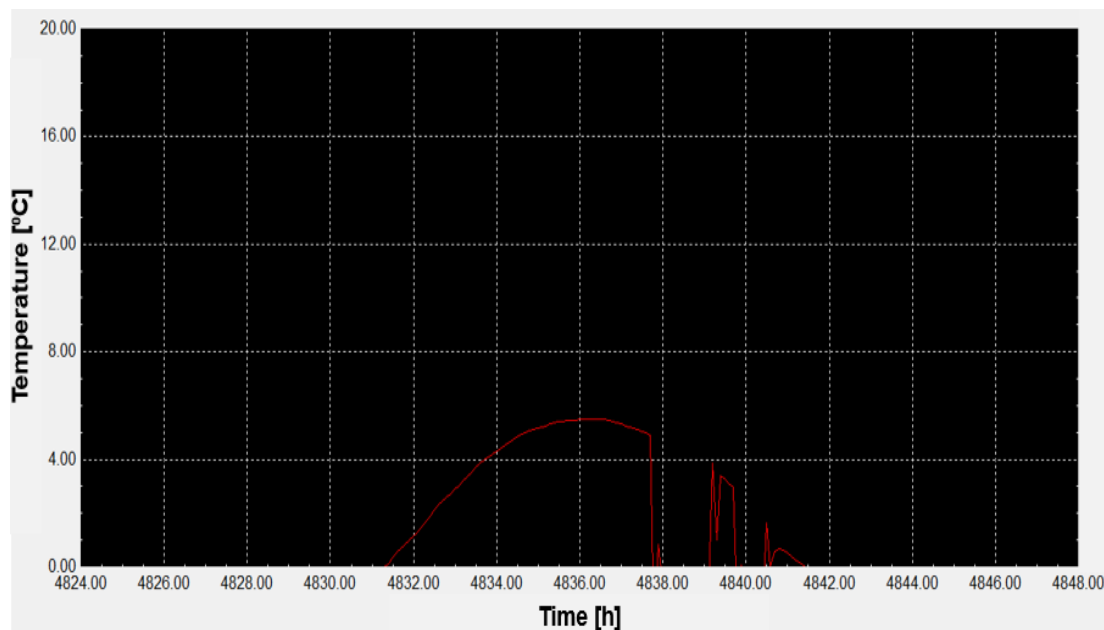
Σχήμα 92: Θερμοκρασίες δοχείου ψύξης στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Όπως φαίνεται στο τελευταίο σχήμα (Σχήμα 92), στις 21 Ιουλίου οι θερμοκρασίες των κόμβων 5 – 6 και του κόμβου 4 του δοχείου ψύξης διατηρούνται σταθερές περίπου στους 7.5 °C και στους 9 °C αντίστοιχα, συμβάλλοντας στο να λειτουργεί ο ψύκτης με χαμηλό PLR.

Έπειτα, από το Σχήμα 93 φαίνεται ότι στις 21 Ιουλίου οι θερμοκρασίες των κόμβων 4 – 6 του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού βρίσκονται σταθερά κάτω από τους 60 °C, ενώ για τους κόμβους 1 – 3 οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ των 60 °C και 80 °C. Επίσης, η θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη, όπως και αυτές των κόμβων 1 – 3 αυξάνεται στο διάστημα 7:00 – 17:00, που υπάρχει ηλιοφάνεια. Αυτό απεικονίζεται και στο Σχήμα 94 με τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξόδου και της εισόδου του ηλιακού συλλέκτη, η οποία είναι μεγαλύτερη από το μηδέν στο διάστημα 7:00 – 17:00, εκτός του διαστήματος 14:00 – 15:00, οπότε πιθανόν επικρατεί κάποια παροδική συννεφιά.



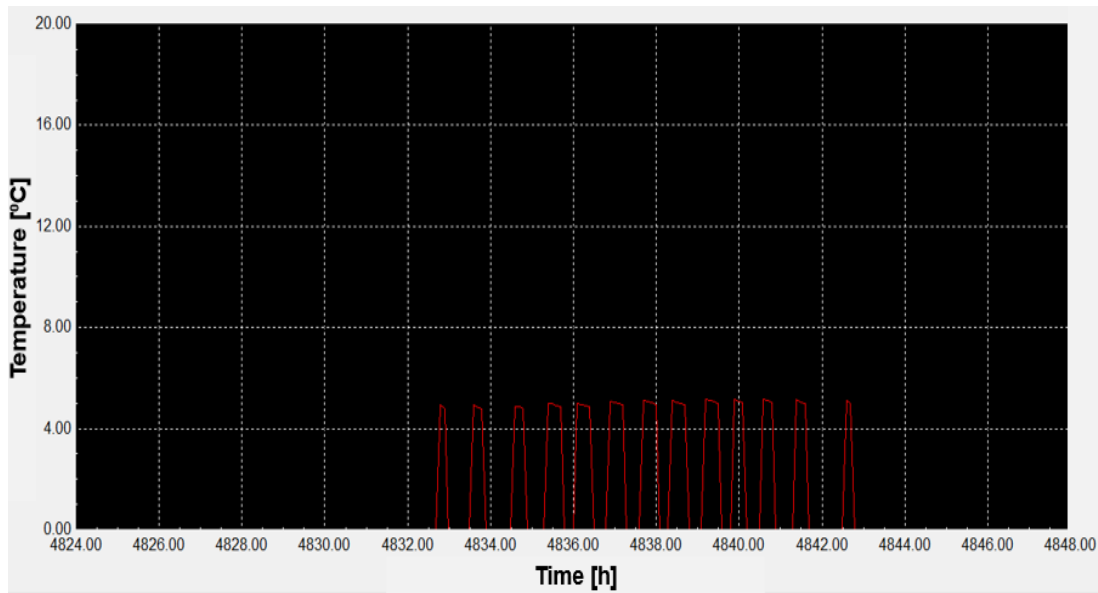
Σχήμα 93: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1



Σχήμα 94: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Τέλος, στο ακόλουθο σχήμα (**Σχήμα 95**) περιγράφεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξόδου και εισόδου των μονάδων fan – coil στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1. Σύμφωνα με αυτό, στο διάστημα 9:00 – 18:30 που

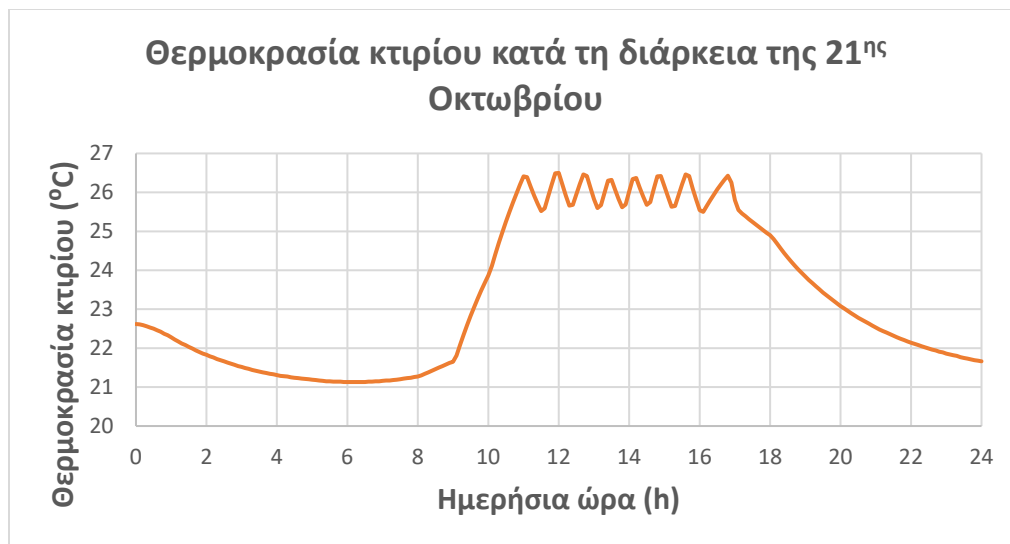
ενεργοποιούνται τα fan – coil, η θερμοκρασιακή διαφορά στα άκρα τους είναι ίση με την επιθυμητή (5 °C).



Σχήμα 95: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου μονάδων fan – coil στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

5.2.2.4 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Νάξου στις 21 Οκτωβρίου

Τέλος, παρουσιάζονται τα διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της κατοικίας των 200 m² στη Νάξο και σεναρίου 1 στις 21 Οκτωβρίου.



Σχήμα 96: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 96** φαίνεται ότι στις 21 Οκτωβρίου η θερμοκρασία της κατοικίας διατηρείται σταθερά πάνω από 21 °C, ενώ στο χρονικό διάστημα 11:00 – 17:00 αγγίζει και τους 26.5 °C, με αποτέλεσμα να ενεργοποιείται ο ψύκτης και τα fan – coil, για να τη μειώσουν. Φυσικά, στην αύξηση αυτή της θερμοκρασίας συνεισφέρουν και τα ηλιακά κέρδη που σημειώνονται αυτήν τη χρονική περίοδο.

Ακόμα, όπως και τις προηγούμενες ημέρες που αναλύθηκαν, στις 21 Οκτωβρίου η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. είναι σταθερή και ίση με 60 °C όλο το εικοσιτετράωρο.



Σχήμα 97: PLR ψύκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 97** παρατηρείται ότι ο ψύκτης στις 21 Οκτωβρίου ενεργοποιείται στο χρονικό διάστημα 11:00 – 17:00 – όταν δηλαδή η θερμοκρασία του κτιρίου φτάνει τους 26.5 °C – και λειτουργεί με PLR σχετικά χαμηλό, αλλά πάντα μεγαλύτερο του 0.3.

Όμοια με τις προηγούμενες ημέρες, για το σενάριο 2 – όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα – ο ψύκτης λειτουργεί την ίδια χρονική περίοδο με την αντίστοιχη περίπτωση του σεναρίου 1, αλλά με υψηλότερο PLR γύρω στο 0.7 (**Σχήμα 98**).



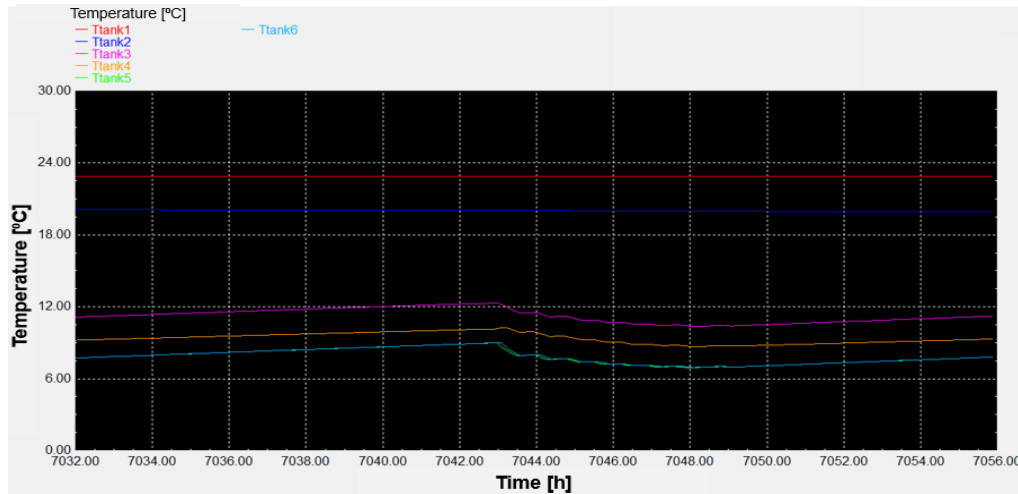
Σχήμα 98: PLR ψύκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 2

Στο επόμενο σχήμα (**Σχήμα 99**) παρατηρείται ότι στις 21 Οκτωβρίου ενεργοποιείται τρεις φορές και ο λέβητας λειτουργώντας με PLR μεταξύ του 0.5 και 0.6. Το αξιοσημείωτο, ωστόσο, είναι ότι ο λέβητας ενεργοποιείται για την παραγωγή Ζ.Ν.Χ., αφού λειτουργεί σε ώρες που δεν υπάρχει ήλιος ή είναι ελάχιστος (νύχτα και πολύ πρωί) και όπως φάνηκε παραπάνω δεν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση της κατοικίας στις 21 Οκτωβρίου.



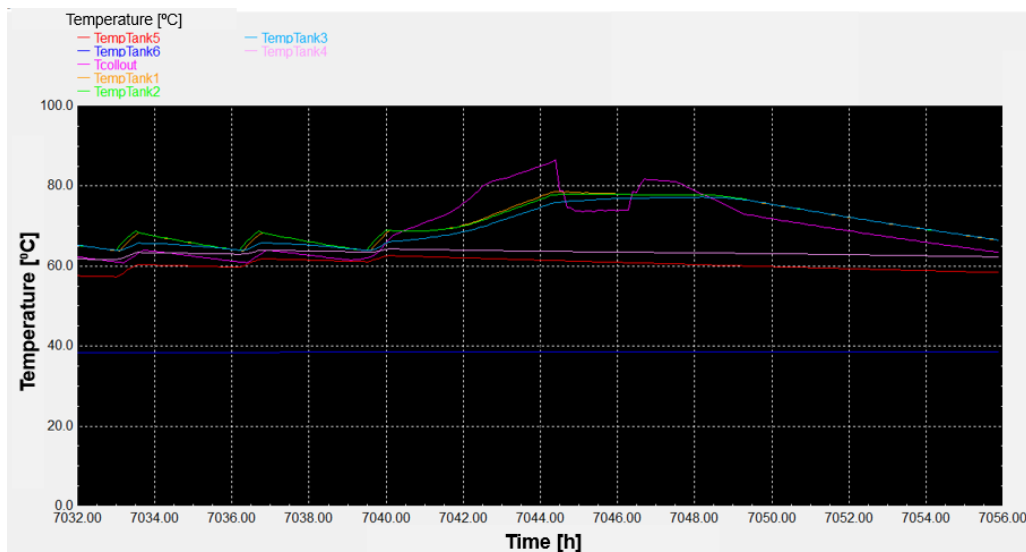
Σχήμα 99: PLR λέβητα στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Έπειτα, ακολουθούν τα διαγράμματα με τις θερμοκρασίες του δοχείου ψύξης (Σχήμα 100) και με τις θερμοκρασίες του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. (Σχήμα 101) αντίστοιχα στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1.



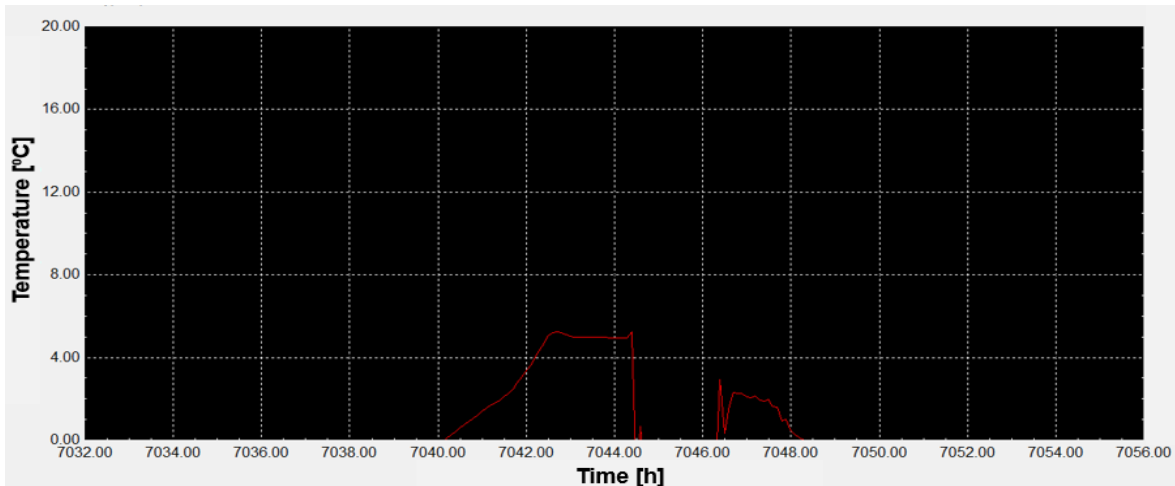
Σχήμα 100: Θερμοκρασίες δοχείου ψύξης στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Όπως φαίνεται στο τελευταίο σχήμα (Σχήμα 100), στις 21 Οκτωβρίου οι θερμοκρασίες των κόμβων 5 – 6 και του κόμβου 4 του δοχείου ψύξης, ομοίως με τις 21 Ιουλίου, διατηρούνται σταθερές περίπου στους 7.5 °C και στους 9 °C αντίστοιχα, συνεισφέροντας στο να λειτουργεί ο ψύκτης με χαμηλό PLR.

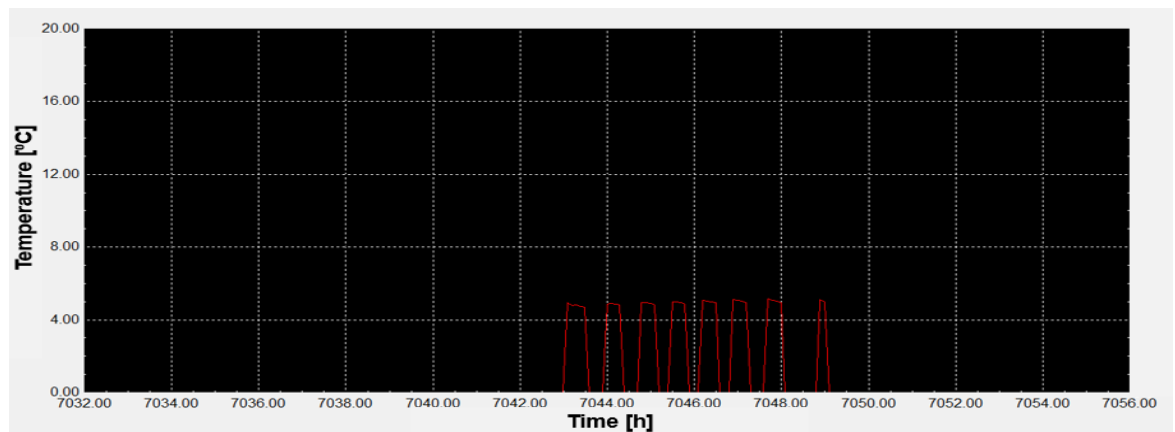


Σχήμα 101: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 101** φαίνεται ότι στις 21 Οκτωβρίου οι θερμοκρασίες του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού, εκτός από του κόμβου του πυθμένα, κυμαίνονται σταθερά μεταξύ των 60 °C και 80 °C. Επίσης, οι θερμοκρασίες των κόμβων 1 – 3 και εξόδου του συλλέκτη αυξάνονται στο διάστημα 8:00 – 16:00, που επικρατεί ηλιοφάνεια. Αυτό απεικονίζεται και στο σχήμα που ακολουθεί με τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξόδου και της εισόδου του ηλιακού συλλέκτη (**Σχήμα 102**), η οποία είναι μεγαλύτερη από το μηδέν στο διάστημα 8:00 – 16:00, εκτός του διαστήματος 12:30 – 14:30, όταν και πιθανόν υπάρχει παροδική συννεφιά.



Σχήμα 102: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1



Σχήμα 103: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου μονάδων fan – coil στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Τέλος, στο **Σχήμα 103** περιγράφεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξόδου και εισόδου των μονάδων fan – coil στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1. Σύμφωνα με αυτό, στο διάστημα 11:00 – 17:00 που ενεργοποιούνται τα fan –

coil (και ο ψύκτης), η θερμοκρασιακή διαφορά στα άκρα του είναι περίπου ίση με την επιθυμητή (5 °C).

5.2.3 Συνολικές ετήσιες καταναλώσεις για Νάξο

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης οι καταναλώσεις του λέβητα, του ψύκτη και των αντλιών – κυκλοφορητών αποθηκεύονται σε ένα αρχείο του προγράμματος Microsoft Excel μέσω του printegrator. Στη συνέχεια, για άμεση σύγκριση μεταξύ τους απαιτείται η μετατροπή τους σε πρωτογενή ενέργεια, σύμφωνα με τους συντελεστές του ακόλουθου πίνακα (Πίνακας 71) [12].

Πίνακας 71: Συντελεστής μετατροπής της τελικής κατανάλωσης κτιρίου σε πρωτογενή ενέργεια [12]

Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια
Φυσικό αέριο	1.05
Πετρέλαιο θέρμανσης	1.10
Ηλεκτρική ενέργεια	2.9
Υγραέριο	1.05
Βιομάζα	1.00
Τηλεθέρμανση από θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	0.7
Τηλεθέρμανση από Α.Π.Ε.	0.5

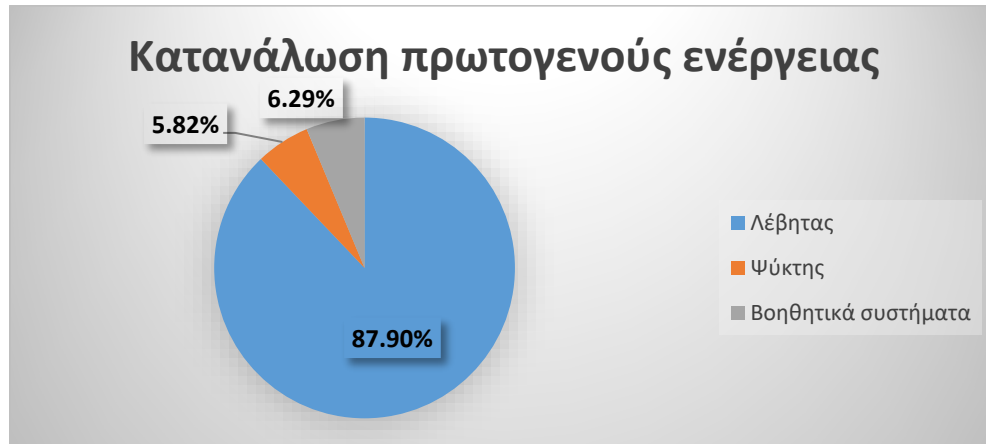
Συγκεκριμένα για την περίπτωση του εν λόγω συστήματος χρησιμοποιείται λέβητας φυσικού αερίου, ενώ ο ψύκτης και οι κυκλοφορητές καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια. Επομένως, για τη μετατροπή σε πρωτογενή ενέργεια η θερμική κατανάλωση του λέβητα πολλαπλασιάζεται με 1.05, ενώ η ηλεκτρική κατανάλωση του ψύκτη και των κυκλοφορητών με 2.9 αντίστοιχα. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι ετήσιες καταναλώσεις του λέβητα, του ψύκτη και των βοηθητικών συστημάτων – στα οποία συμπεριλαμβάνονται οι κυκλοφορητές και οι ανεμιστήρες των fan – coil – για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1 σε kWh/m² πρωτογενούς ενέργειας (Πίνακας 72).

Πίνακας 72: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m² στη Νάξο και σενάριο 1

Μέρος συστήματος	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)
Λέβητας φυσικού αερίου	41.865
Ψύκτης συμπίεσης ατμού	2.771
Βοηθητικά συστήματα	2.995

Από τον Πίνακα 72 φαίνεται ότι ο λέβητας έχει τη συντριπτικά μεγαλύτερη κατανάλωση του κτιρίου ή αλλιώς η μεγαλύτερη κατανάλωση οφείλεται στη θέρμανση και στην παραγωγή Ζ.Ν.Χ.. Ακόμα, φαίνεται ότι στη διάρκεια του έτους τα βοηθητικά συστήματα

συνολικά καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από τον ψύκτη, που οφείλεται στις μεγάλες παροχές που διακινούν, αλλά και στην ύπαρξη δοχείου ψύξης (χαμηλή κατανάλωση ψύκτη). Τα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας ανά υποσύστημα φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί (**Σχήμα 104**).



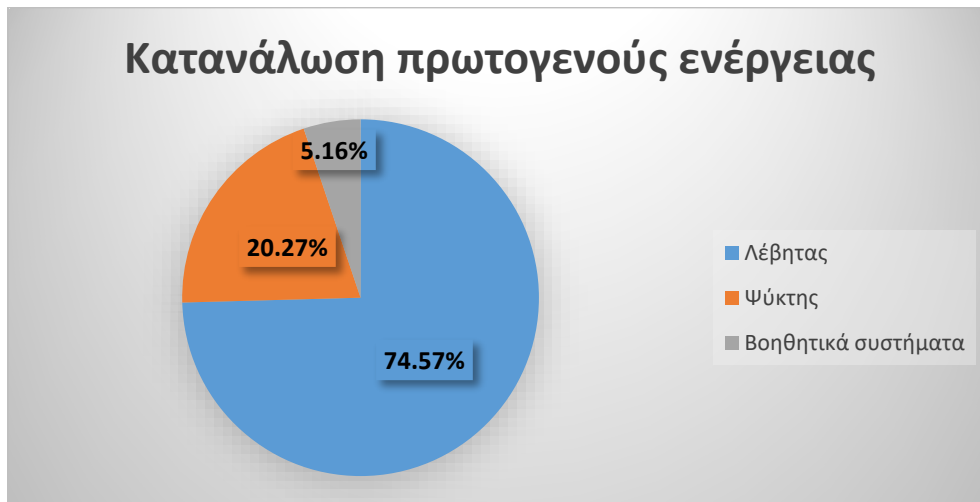
Σχήμα 104: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 1

Αξίζει να γίνει η σύγκριση για την ίδια κατοικία και περιοχή, αλλά για το σενάριο 2 (**Πίνακας 73**).

Πίνακας 73: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m² στη Νάξο και σενάριο 2

Μέρος συστήματος	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)
Λέβητας φυσικού αερίου	41.881
Ψύκτης συμπίεσης ατμού	11.384
Βοηθητικά συστήματα	2.900

Παρατηρείται ότι λόγω της έλλειψης δοχείου ψύξης στο σενάριο 2, η κατανάλωση του ψύκτη σχεδόν τετραπλασιάζεται συγκριτικά με το σενάριο 1, αν και οι υπόλοιπες καταναλώσεις παραμένουν σχεδόν σταθερές. Αυτό συμβαίνει, επειδή όπως έχει προαναφερθεί, ο ψύκτης στο σενάριο 2 λειτουργεί με μεγαλύτερα PLR, αλλά διαθέτει και μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ. Η διαφορά του σεναρίου 2 από το σενάριο 1 ως προς τις καταναλώσεις απεικονίζεται και στο ακόλουθο σχήμα (**Σχήμα 105**).



Σχήμα 105: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m² στη Νάξο και το σενάριο 2

Επίσης, υπάρχουν κάποια πρακτικά όρια που αντιστοιχούν και στα φορτία, σύμφωνα με τα οποία η μέγιστη ωριαία κατανάλωση ενός λέβητα σε ένα σπίτι είναι 100 W/m², ενώ το αντίστοιχο όριο για τον ψύκτη είναι λίγο χαμηλότερο στα 80 W/m². Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι για την περίπτωση του σεναρίου 1 που εξετάστηκε η μέγιστη κατανάλωση του λέβητα και του ψύκτη είναι 72.674 W/m² και 6.817 W/m² αντίστοιχα, που είναι εντός των παραπάνω ορίων. Μάλιστα, για τον ψύκτη είναι πολύ χαμηλότερο από το ανώτατο όριο. Επίσης, για την αντίστοιχη περίπτωση του σεναρίου 2 οι μέγιστες καταναλώσεις προέκυψαν για το λέβητα 72.674 W/m² (ίδια με το σενάριο 1) και για τον ψύκτη 11.525 W/m².

5.3 Αποτελέσματα για Αθήνα (κλιματική ζώνη Β)

Όμοια με τα αποτελέσματα της Νάξου που προηγήθηκαν, παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για την Αθήνα, ενδεικτικά για την κατοικία των 200 m² και το σενάριο 1, ξεκινώντας από τα διαγράμματα της ετήσιας συμπεριφοράς του συνολικού συστήματος, συνεχίζοντας με τη συμπεριφορά του σε χαρακτηριστικές ημέρες του έτους και καταλήγοντας στις ετήσιες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας.

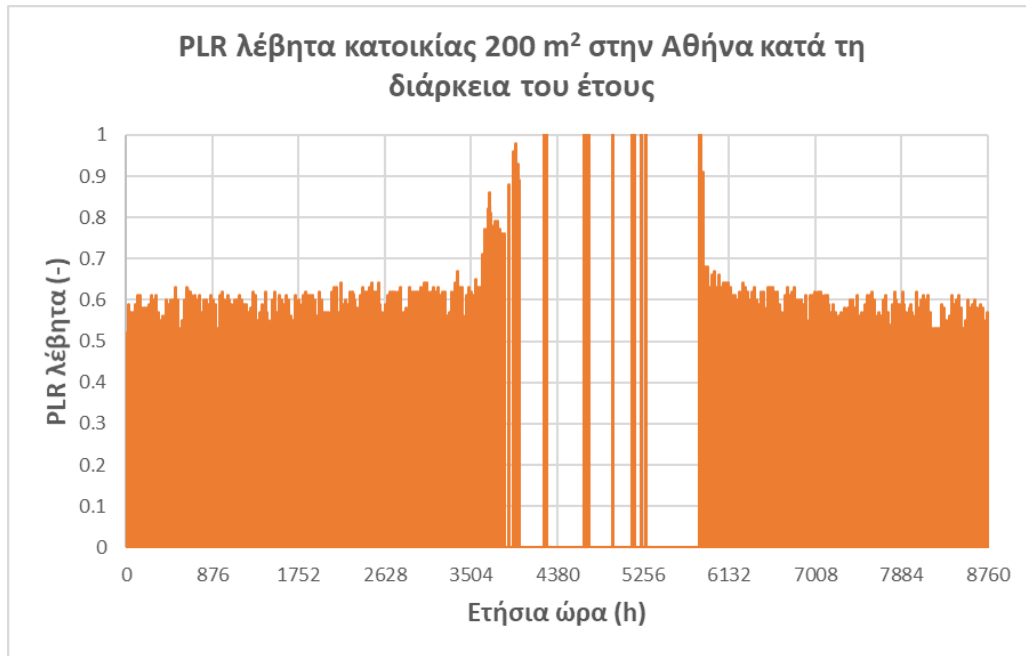
5.3.1 Διαγράμματα ετήσιας συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Αθήνα



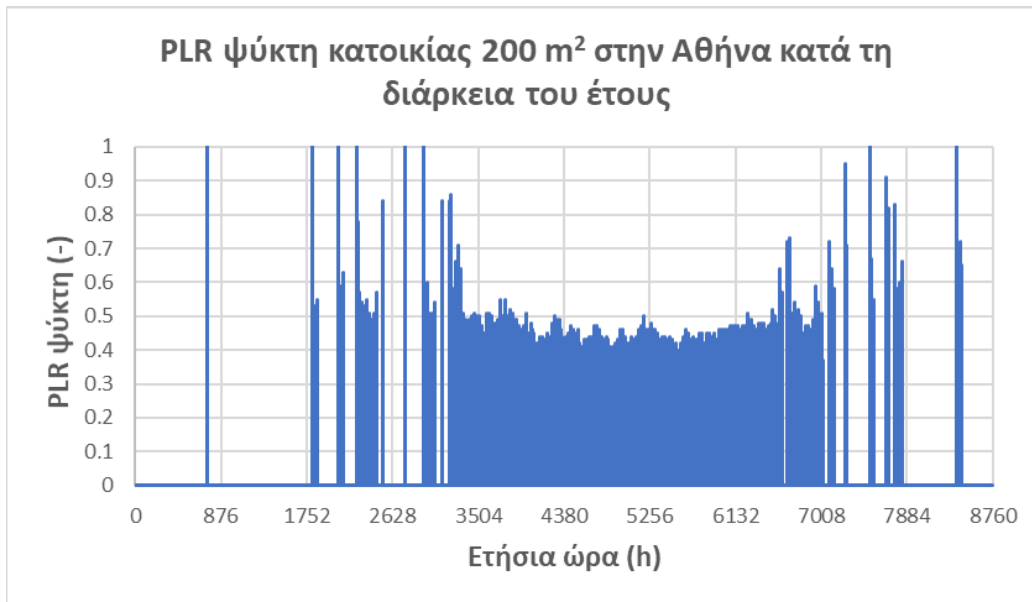
Σχήμα 106: Θερμοκρασία της κατοικίας των 200 m² στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1

Σύμφωνα με το **Σχήμα 106**, σχεδόν για όλη τη διάρκεια του έτους η θερμοκρασία της κατοικίας των 200 m² και του σεναρίου 1 στην Καστοριά είναι μεγαλύτερη από 19.5 °C και μικρότερη από 26.5 °C. Εξαιρέση αποτελούν λίγες περιπτώσεις που η θερμοκρασία πέφτει μέχρι τους 19.4 °C, καθώς και λίγες περιπτώσεις που ξεπερνά τους 26.5 °C και φτάνει ως τους 28.3 °C. Για αυτές τις αποκλίσεις ευθύνονται σφάλματα των δεδομένων ή των προσομοιώσεων. Επίσης, για τις θερμοκρασίες που είναι υψηλότερες από 26.5 °C, θα έπρεπε να αυξηθεί κατά μεγάλο βαθμό η παροχή νερού των μονάδων fan – coil και τα χαρακτηριστικά των ανεμιστήρων τους (ο ψύκτης λειτουργεί σε χαμηλά PLR, οπότε δεν έχει νόημα η αύξηση της ονομαστικής ισχύος του), αλλά είναι τόσο λίγες οι περιπτώσεις αυτές που δεν θα δικαιολογούσαν αυτήν την αύξηση.

Από το **Σχήμα 107** φαίνεται ότι ο λέβητας στο μεγαλύτερο μέρος της λειτουργίας του, λειτουργεί με PLR περίπου 0.6 (ίσο με το βέλτιστο) (και πάντα πάνω από το κατώτατο όριο του 0.3), ενώ φαίνεται ότι το καλοκαίρι λειτουργεί λίγες φορές, που οφείλεται σε κάποια κρύα πρωινά ή νύχτες και σφάλματα της προσομοίωσης και των δεδομένων. Αυτές μάλιστα τις φορές που λειτουργεί το καλοκαίρι, η λειτουργία του συνοδεύεται από υψηλό PLR, καθώς προσπαθεί να καλύψει και τη θερμοκρασιακή πτώση στο δοχείο θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. που έχει προκύψει λόγω της μη λειτουργίας του.



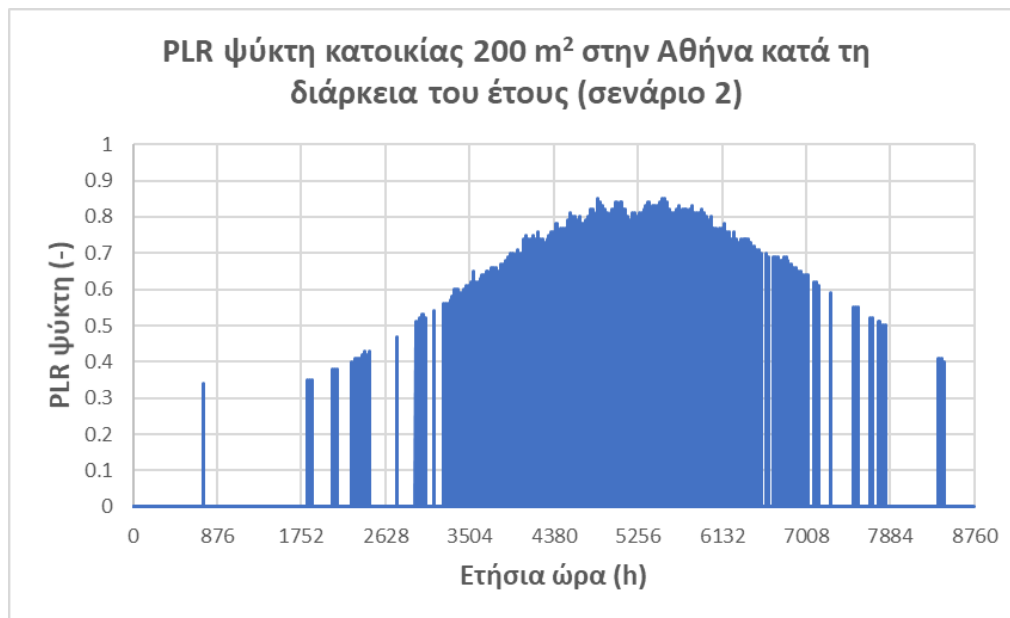
Σχήμα 107: PLR του λέβητα της κατοικίας των 200 m² στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1



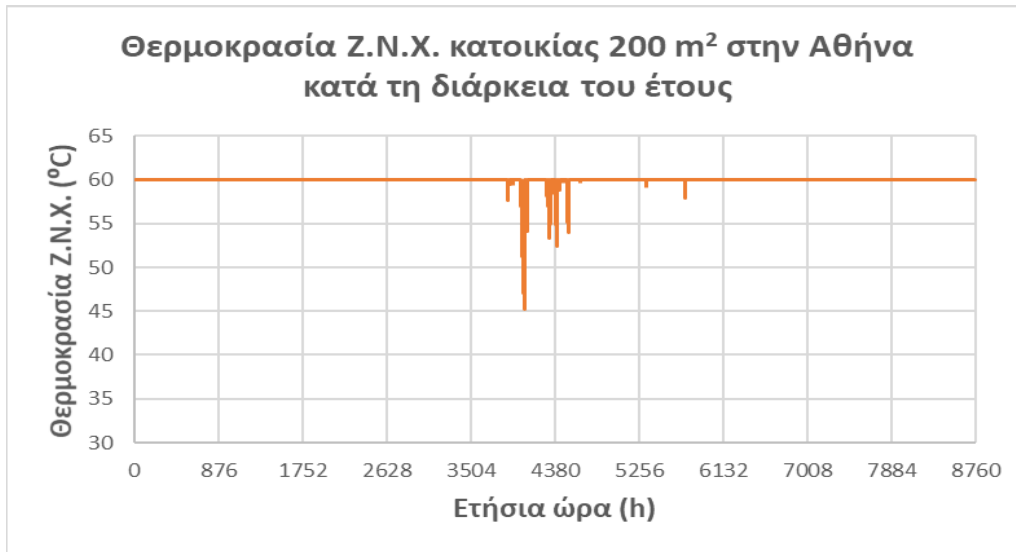
Σχήμα 108: PLR του ψύκτη της κατοικίας των 200 m² στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 108** φαίνεται ότι ο ψύκτης ενεργοποιείται μία φορά το Φεβρουάριο και μία το Δεκέμβριο, που δεν είναι τόσο ρεαλιστικά, λόγω της προσομοίωσης και των ηλιακών κερδών. Επίσης, λειτουργεί από τα μέσα Μαρτίου μέχρι και τα μέσα Νοεμβρίου με PLR

πάντα μεγαλύτερο του 0.3, με τη συχνότητα λειτουργίας του να πυκνώνει κατά το καλοκαίρι. Ακόμα, στην αρχή και στο τέλος της λειτουργίας του δουλεύει κυρίως με υψηλά PLR, αλλά στο ενδιάμεσο που λειτουργεί συνεχώς, το PLR του μειώνεται λόγω της παρουσίας του δοχείου ψύξης, όπως έχει αναλυθεί και στην περίπτωση της Νάξου στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Ομοίως με την περίπτωση της Νάξου, η λειτουργία του ψύκτη για το σενάριο 2 είναι αντίστροφη ως προς την εμφάνιση των χαμηλών και υψηλών PLR (Σχήμα 109) συγκριτικά με τη λειτουργία του ψύκτη για το σενάριο 1. Όπως παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 109), ομοίως με το σενάριο 1, ο ψύκτης του σεναρίου 2 ενεργοποιείται κάποιες ελάχιστες φορές το Φεβρουάριο και το Δεκέμβριο και λειτουργεί πάντα με PLR μεγαλύτερο από 0.3. Ωστόσο, αντίθετα από το σενάριο 1, οι μέγιστες τιμές του PLR εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όπως έχει εξηγηθεί και στην περίπτωση της Νάξου, επειδή δεν υπάρχει δοχείο ψύξης.

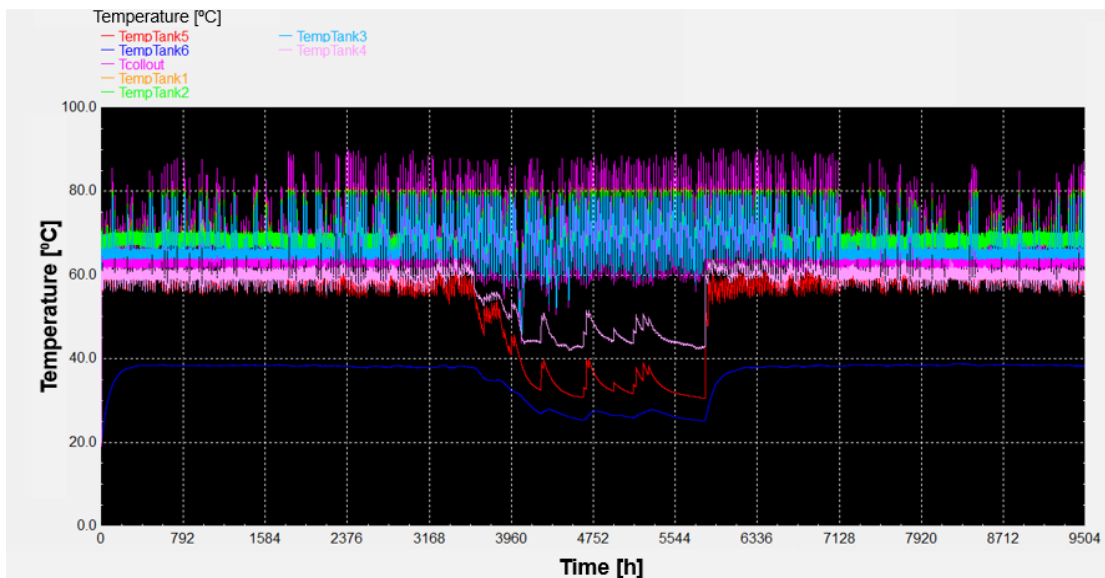


Σχήμα 109: PLR του ψύκτη της κατοικίας των 200 m² στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 2



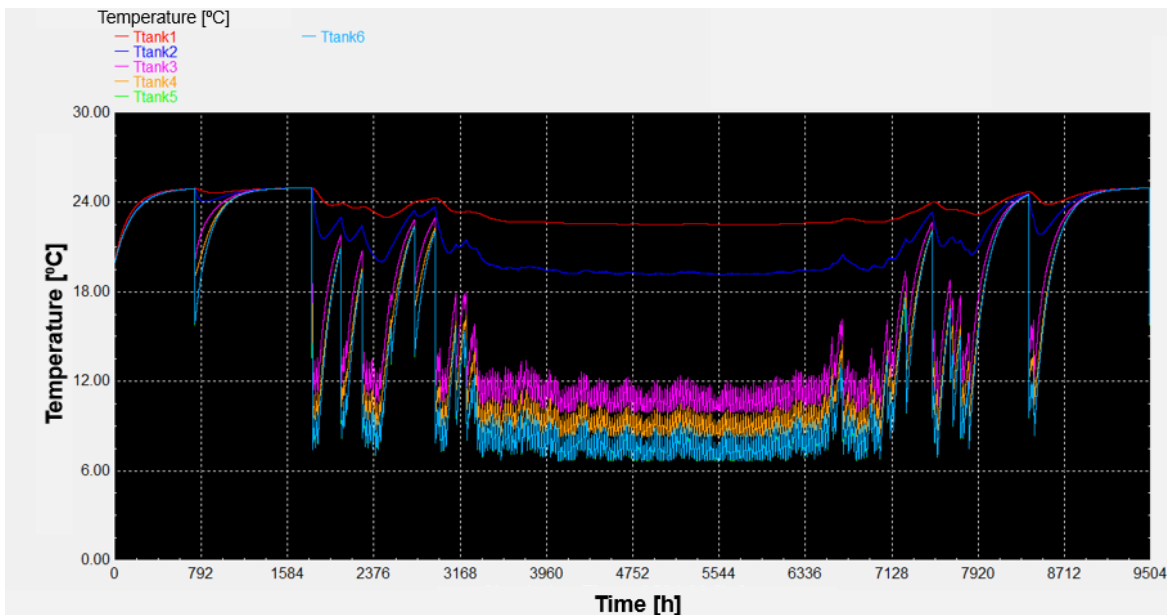
Σχήμα 110: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Όπως δείχνει το **Σχήμα 110**, εκτός από το καλοκαίρι – που ο λέβητας λειτουργεί ελάχιστα – η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. διατηρείται στους 60 °C. Ωστόσο, το καλοκαίρι παρουσιάζει κάποιες πτώσεις οι οποίες οφείλονται σε σφάλματα των καιρικών δεδομένων που έχουν εισαχθεί από το TRNSYS. Πάντα, όμως, η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. παραμένει πάνω από 45 °C που είναι και η ελάχιστη αποδεκτή.



Σχήμα 111: Θερμοκρασίες δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού και εξόδου συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 111** φαίνεται ότι, όπως και στην περίπτωση της Νάξου, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους η θερμοκρασία εξόδου του ηλιακού συλλέκτη διατηρείται κάτω από 100 °C που αποτελεί το ανώτατο όριο και ότι οι θερμοκρασίες του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού είναι κάτω από 80 °C αντίστοιχα. Επίσης, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της ελάχιστης λειτουργίας του λέβητα, οι θερμοκρασίες του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. για τους κόμβους 4 – 6 είναι σταθερά κάτω από τους 60 °C. Μάλιστα, φαίνεται ότι όταν η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. πέφτει στους 45 °C, υπάρχει μία πτώση των θερμοκρασιών όλων των κόμβων του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. κάτω από τους 60 °C (εξαιτίας σφαλμάτων των καιρικών δεδομένων).

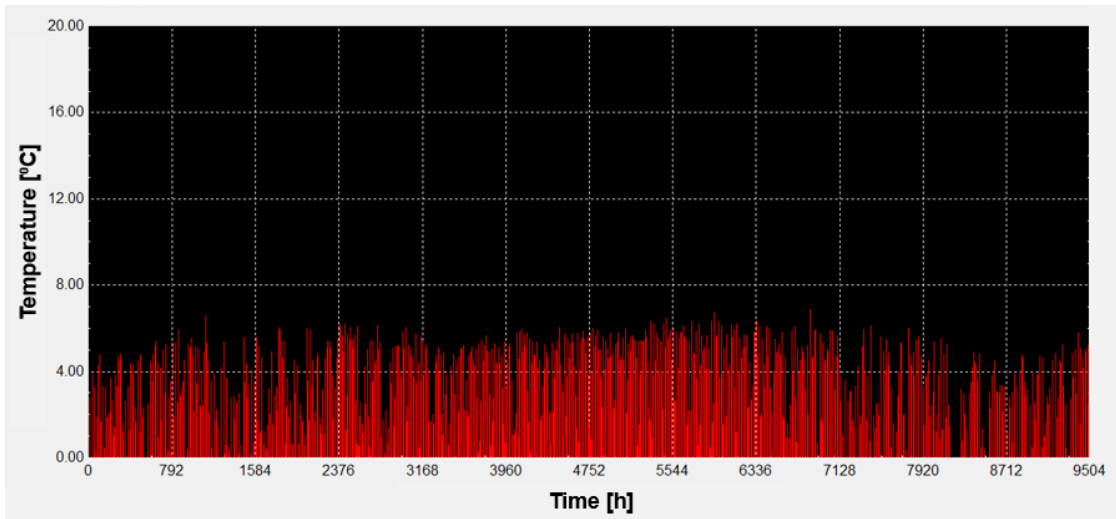


Σχήμα 112: Θερμοκρασίες του δοχείου ψύξης κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Σύμφωνα με το **Σχήμα 112**, η κατανομή των θερμοκρασιών του δοχείου ψύξης είναι παρόμοια με την περίπτωση της Νάξου, με αυτές να μειώνονται, όταν ο ψύκτης τίθεται σε λειτουργία. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, μάλιστα, που ο ψύκτης λειτουργεί συνεχώς, οι θερμοκρασίες των κόμβων 4 – 6 είναι σταθερά στους 7.5 °C – 9.5 °C, μειώνοντας την απαιτούμενη ισχύ του ψύκτη.

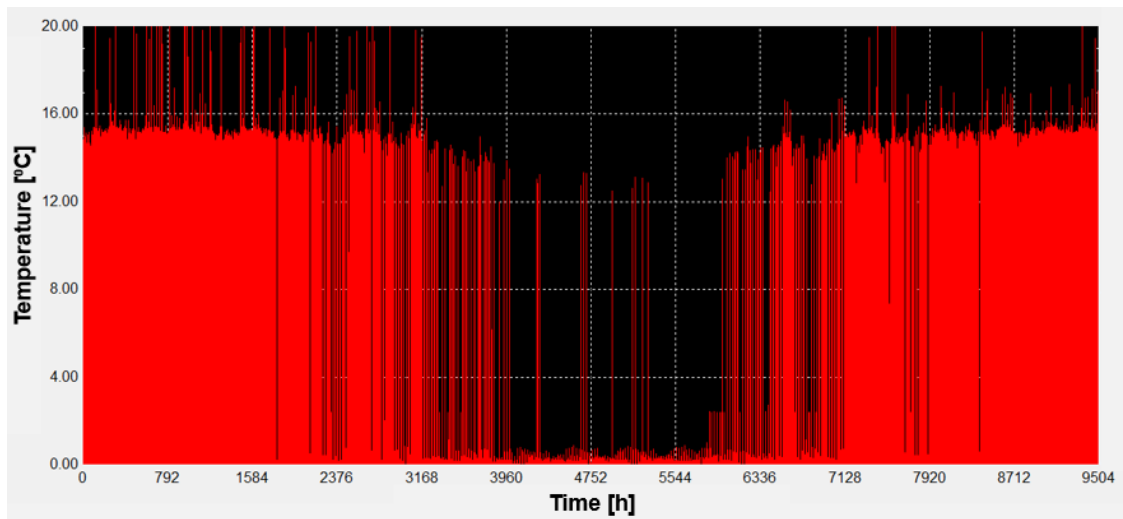
Έπειτα, ακολουθούν οι διαφορές θερμοκρασίας που βλέπουν οι PID ελεγκτές των ηλιακών συλλεκτών (**Σχήμα 113**), των καλοριφέρ (**Σχήμα 114**) και των μονάδων fan – coil (**Σχήμα 115**) αντίστοιχα.

Σύμφωνα με το **Σχήμα 113**, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των άκρων των ηλιακών συλλεκτών φτάνει μέχρι τους 7 °C, αλλά δεν μπορεί να φτάσει τους 10 °C, που είναι η επιθυμητή θερμοκρασιακή διαφορά, καθώς πρέπει να ικανοποιείται και το άλλο κριτήριο για την παροχή και την επιφάνεια των συλλεκτών.



Σχήμα 113: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

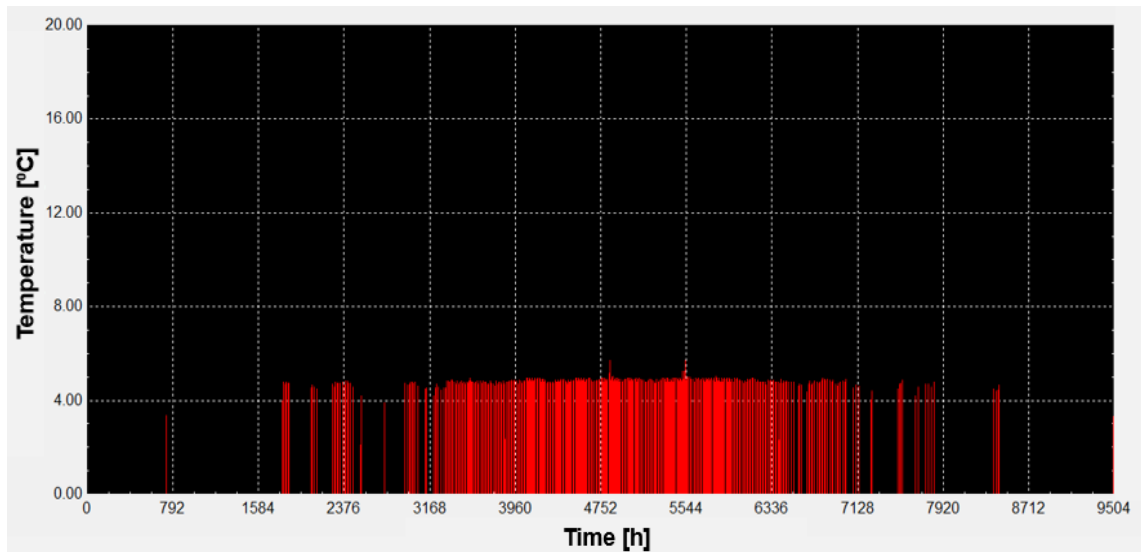
Το **Σχήμα 114** δείχνει ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου των καλοριφέρ κατά το μεγαλύτερο διάστημα της λειτουργίας τους είναι μεταξύ 15 °C και 20 °C, ενώ λόγω της προσομοίωσης υπάρχουν και κάποιες ενεργοποιήσεις το καλοκαίρι (λόγω κάποιου κρύου πρωινού ή νύχτας).



Σχήμα 114: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου των καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Τέλος, στο **Σχήμα 115** παρατηρείται ότι η διαφορά θερμοκρασίας του νερού μεταξύ εξόδου και εισόδου των fan – coil στο μεγαλύτερο μέρος της λειτουργίας τους είναι

περίπου 5 °C, ενώ υπάρχουν και ελάχιστες περιπτώσεις που αγγίζει τους 3 °C και τους 6 °C.



Σχήμα 115: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

5.3.2 Διαγράμματα συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Αθήνα και χαρακτηριστικές ημέρες του έτους

5.3.2.1 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Αθήνας στις 21 Ιανουαρίου



Σχήμα 116: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 116** φαίνεται ότι στις 21 Ιανουαρίου η θερμοκρασία της κατοικίας διατηρείται πάνω περίπου από τους 20 °C (19.8 °C) και κάτω από τους 26 °C. Στο χρονικό διάστημα 12:00 – 17:00 παρατηρείται μία αύξηση της θερμοκρασίας του κτιρίου, λόγω των ηλιακών κερδών, η οποία υποχωρεί στη συνέχεια.

Επίσης, καθ' όλη τη διάρκεια της 21^{ης} Ιανουαρίου η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. διατηρείται ίση με 60 °C, που είναι και η επιθυμητή θερμοκρασία.



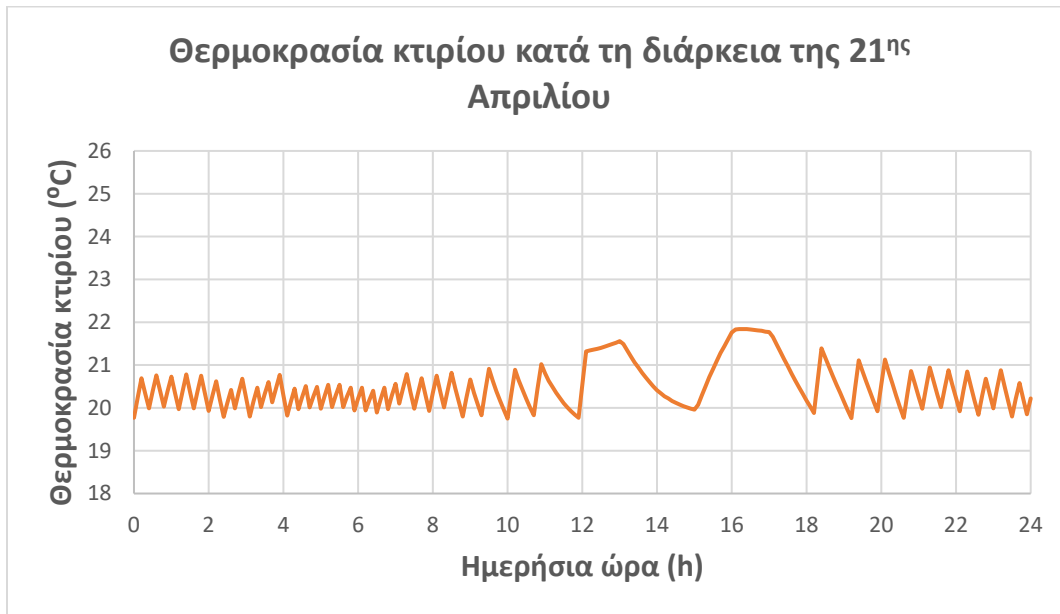
Σχήμα 117: PLR λέβητα στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Από το τελευταίο σχήμα (**Σχήμα 117**) φαίνεται ότι στις 21 Ιανουαρίου ο λέβητας ενεργοποιείται αρκετές φορές, κυρίως τη νύχτα και μέχρι τις 9:00. Καθ' όλη τη λειτουργία του το PLR του κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 0.6.

Στις 21 Ιανουαρίου οι θερμοκρασίες των κόμβων του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με αυτά της αντίστοιχης ημέρας της Νάξου, ενώ παρουσιάζουν και μία αύξηση, όπως και η θερμοκρασία εξόδου του ηλιακού συλλέκτη κατά τις ώρες που υπάρχει ηλιοφάνεια. Ακόμα, όπως και στη Νάξο, τις ίδιες ώρες η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξόδου και της εισόδου του ηλιακού συλλέκτη είναι μεγαλύτερη από το μηδέν. Τα αναλυτικά σχήματα παρατίθενται σε παράρτημα στο τέλος της εργασίας.

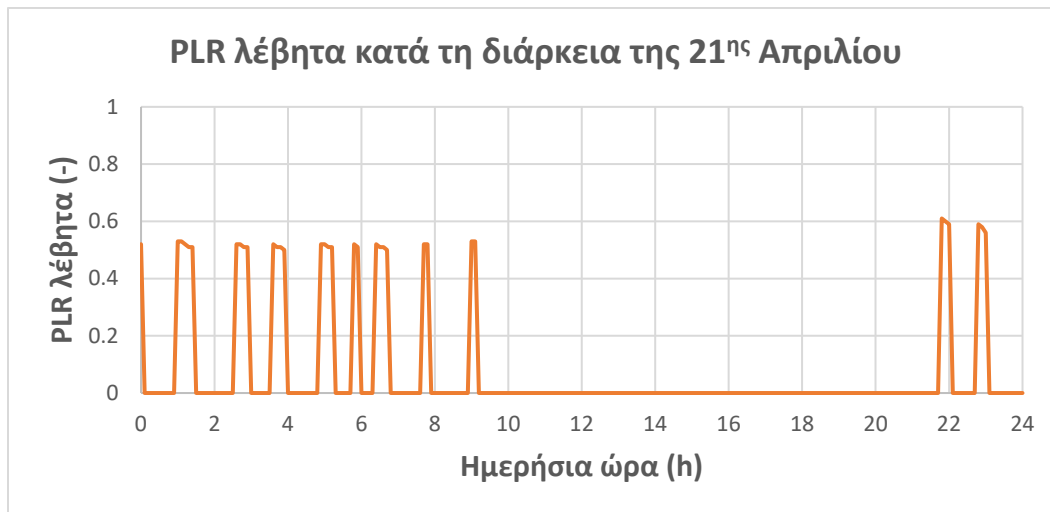
Επιπλέον, όμοια με τη Νάξο, στις 21 Ιανουαρίου για τη λειτουργία των καλοριφέρ ικανοποιείται το κριτήριο της επιθυμητής διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο, ενώ δεν λειτουργεί κατά τις μεσημεριανές και απογευματινές ώρες, αφού τότε το σπίτι έχει ζεσταθεί από τα ηλιακά κέρδη της ημέρας.

5.3.2.2 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Αθήνας στις 21 Απριλίου



Σχήμα 118: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 118** φαίνεται ότι στις 21 Απριλίου η θερμοκρασία του κτιρίου κυμαίνεται μεταξύ περίπου των 20 °C και 22 °C, με μια μικρή αύξηση της θερμοκρασίας – λόγω των ηλιακών κερδών – στο διάστημα 12:00 – 17:00. Επίσης, η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. λόγω και της λειτουργίας του λέβητα παραμένει σταθερή και ίση με 60 °C καθ’ όλη τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου.



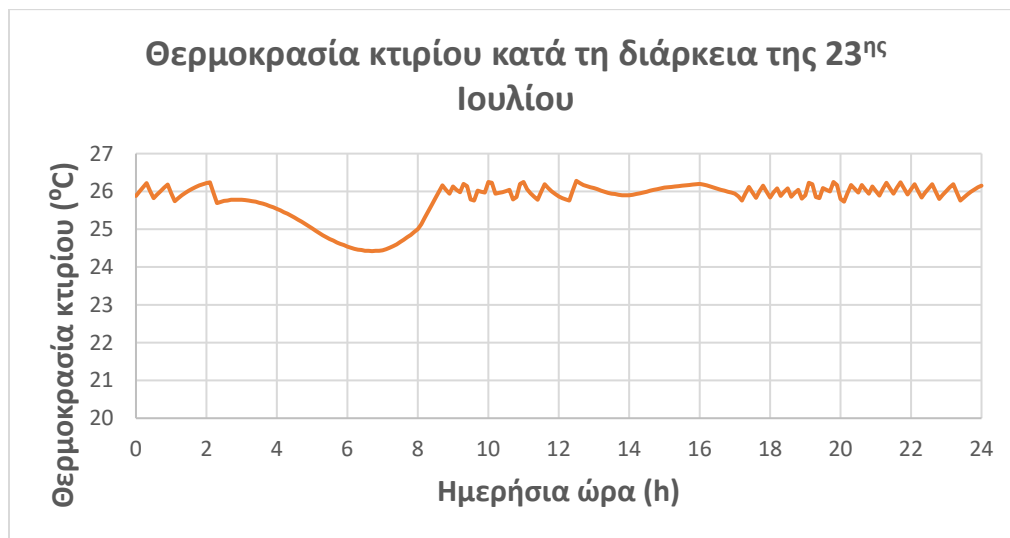
Σχήμα 119: PLR λέβητα στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Ακόμα, από το τελευταίο σχήμα (**Σχήμα 119**) φαίνεται ότι ομοίως με τις 21 Ιανουαρίου, στις 21 Απριλίου ο λέβητας λειτουργεί τη νύχτα και νωρίς το πρωί (μέχρι τις 9:00) με PLR 0.5 – 0.6.

Επιπρόσθετα, στις 21 Απριλίου, οι θερμοκρασίες του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού διακυμαίνονται όπως και στην περίπτωση της Νάξου, , ενώ αυτές των κόμβων 1 – 3 και εξόδου από το συλλέκτη παρουσιάζουν μία αύξηση κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες λόγω της υπάρχουσας ηλιοφάνειας, ενώ την ίδια ώρα η θερμοκρασιακή διαφορά στα άκρα του συλλέκτη είναι θετική.

Τέλος, τα καλοριφέρ, όμοια με τις προηγούμενες περιπτώσεις, λειτουργούν με διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου 15 °C – 20 °C κατά το μεγαλύτερο μέρος της λειτουργίας του, ενώ είναι απενεργοποιημένα από το μεσημέρι μέχρι νωρίς το απόγευμα.

5.3.2.3 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Αθήνας στις 23 Ιουλίου



Σχήμα 120: Θερμοκρασία κτιρίου στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 120** φαίνεται ότι στις 23 Ιουλίου η θερμοκρασία του κτιρίου κυμαίνεται μεταξύ των 24.5 °C και 26.5 °C, εντός δηλαδή των αποδεκτών ορίων. Μάλιστα, φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας, η θερμοκρασία μειώνεται μέχρι τους 24.5 °C και ύστερα από τις 7:00 αρχίζει και αυξάνεται λόγω και των ηλιακών κερδών.

Επίσης, όπως και στις ημέρες που προηγήθηκαν, στις 23 Ιουλίου η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. διατηρείται σταθερή και ίση με 60 °C. Μάλιστα, όπως φάνηκε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων στις 23 Ιουλίου, ο λέβητας δεν λειτουργεί καθόλου.



Σχήμα 121: PLR ψύκτη στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Στο **Σχήμα 121** παρατηρείται ότι στις 23 Ιουλίου ο ψύκτης λειτουργεί αρκετές ώρες και μάλιστα στο χρονικό διάστημα 12:00 – 17:00 συνεχόμενα, με χαμηλά PLR, μεγαλύτερα ωστόσο από 0.3 που είναι το κατώτατο όριο λειτουργίας. Πρόκειται, δηλαδή για μια αρκετά θερμή μέρα. Ενδιαφέρον και εδώ, όπως και στη Νάξο, παρουσιάζει η σύγκριση με το αντίστοιχο διάγραμμα για το σενάριο 2. Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 122**, ο ψύκτης σε αυτήν την περίπτωση λειτουργεί συνεχώς στο χρονικό διάστημα 9:00 – 23:00 με κάποιες μικρές απενεργοποιήσεις, αλλά με μεγαλύτερο PLR που είναι διαρκώς περίπου 0.8.

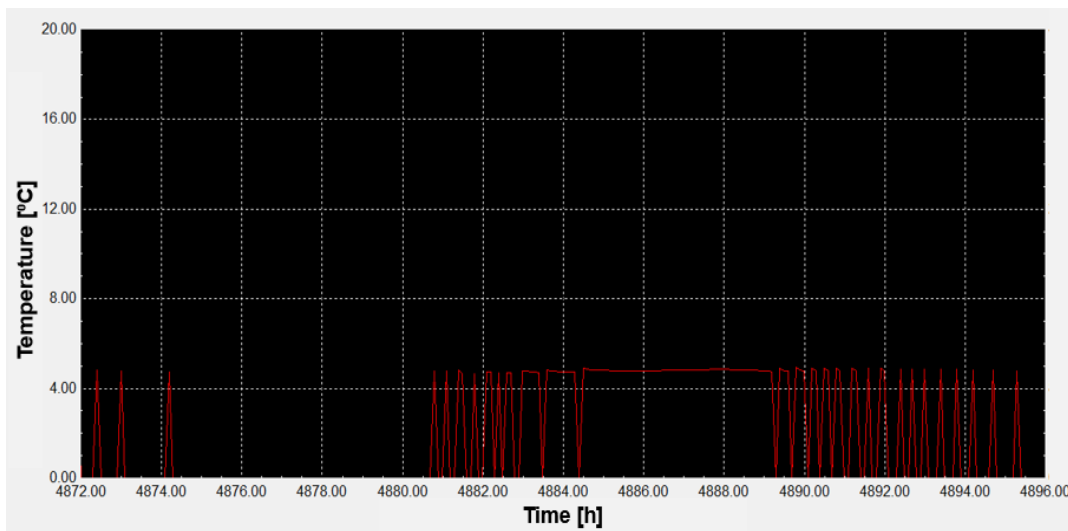


Σχήμα 122: PLR ψύκτη στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 2

Για το δοχείο ψύξης, όμοια με τη Νάξο για την αντίστοιχη περίοδο, οι θερμοκρασίες των κόμβων 4 – 6 κυμαίνονται μεταξύ 7.5 °C και 9 °C, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται μεγάλη ισχύς από τον ψύκτη.

Έπειτα, σχετικά με τις θερμοκρασίες του δοχείου θέρμανσης – Z.N.X., όπως και στη Νάξο, οι θερμοκρασίες των κόμβων 1 – 3 διατηρούνται μεταξύ των 60 °C και 80 °C. Γι' αυτό και η θερμοκρασία του Z.N.X. είναι σταθερή και ίση με 60 °C χωρίς τη λειτουργία του λέβητα. Επίσης, από το πρωί μέχρι νωρίς το απόγευμα παρατηρείται αύξηση των προαναφερόμενων θερμοκρασιών και αυτής της εξόδου από τους συλλέκτες, κάτι που υποδηλώνει την ύπαρξη ηλιοφάνειας που εκδηλώνεται και με θετική θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εξόδου και εισόδου των ηλιακών συλλεκτών αυτήν την περίοδο, όπως και στην περίπτωση της Νάξου.

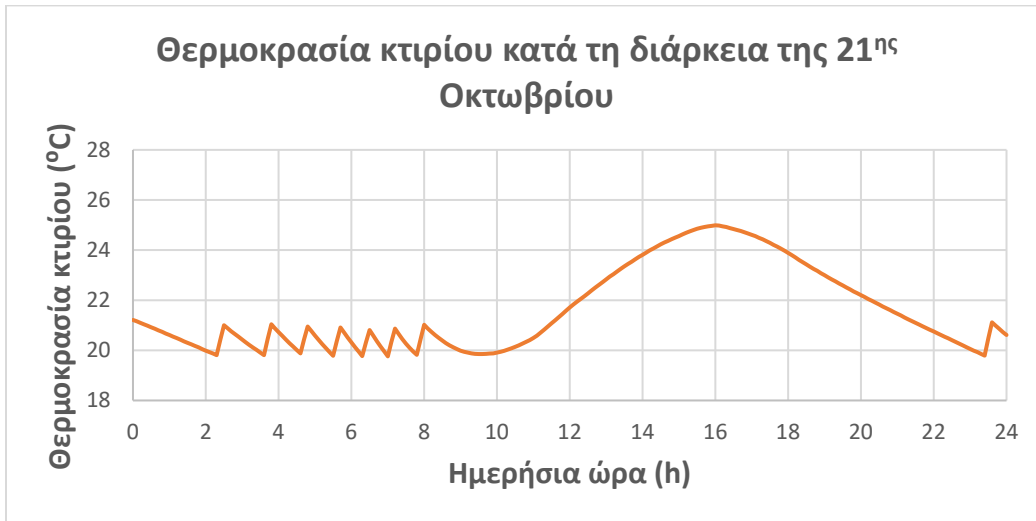
Τέλος, από το **Σχήμα 123** αποδεικνύεται ότι στις 23 Ιουλίου καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας των fan – coil η θερμοκρασιακή διαφορά του νερού μεταξύ της εξόδου και της εισόδου τους είναι σταθερή και ίση με την επιθυμητή στους 5 °C, καθώς φαίνεται και συνεχής λειτουργία στο χρονικό διάστημα 12:30 – 17:00.



Σχήμα 123: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

5.3.2.4 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Αθήνας στις 21 Οκτωβρίου

Σύμφωνα με το **Σχήμα 124**, στις 21 Οκτωβρίου η θερμοκρασία του κτιρίου είναι πάντα πάνω από τους 20 °C περίπου (19.8 °C για την ακρίβεια) και φτάνει μέχρι τους 25 °C στις 16:00 με τη συμβολή προφανώς των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επίσης, η θερμοκρασία του Z.N.X. διατηρείται στους 60 °C καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 124: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

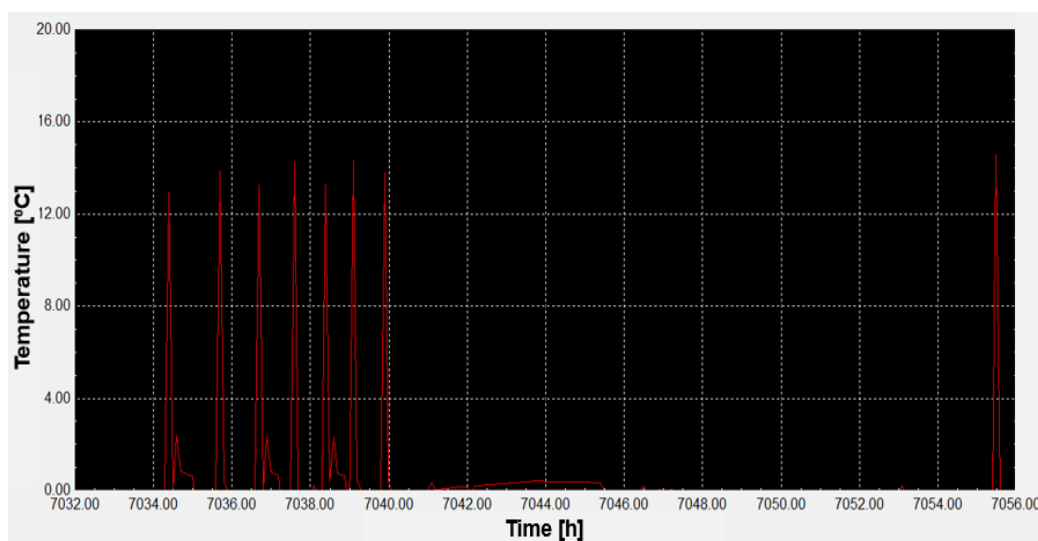


Σχήμα 125: PLR λέβητα στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Το **Σχήμα 125** δείχνει ότι στις 21 Οκτωβρίου ο λέβητας ενεργοποιείται μόλις τρεις φορές και λειτουργεί με PLR ανάμεσα σε 0.5 και 0.6.

Οι θερμοκρασίες του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού στις 21 Οκτωβρίου κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με την αντίστοιχη περίοδο της Νάξου, ενώ και εδώ η θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη, όπως και αυτές των κόμβων 1 – 3, παρουσιάζουν μια αύξηση λόγω

της ηλιοφάνειας από το πρωί μέχρι το μεσημέρι, η οποία εκφράζεται και από θετική θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην έξοδο και την είσοδο του συλλέκτη.



Σχήμα 126: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου του καλοριφέρ στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Τέλος, στο **Σχήμα 126** παρατηρείται ότι στις 21 Οκτωβρίου το καλοριφέρ ενεργοποιείται λίγες φορές και σε αυτές λειτουργεί με διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην είσοδό του και την έξοδο 13 °C – 14.5 °C, δηλαδή, λίγο κάτω από την επιθυμητή τιμή του.

5.3.3 Συνολικές ετήσιες καταναλώσεις για Αθήνα

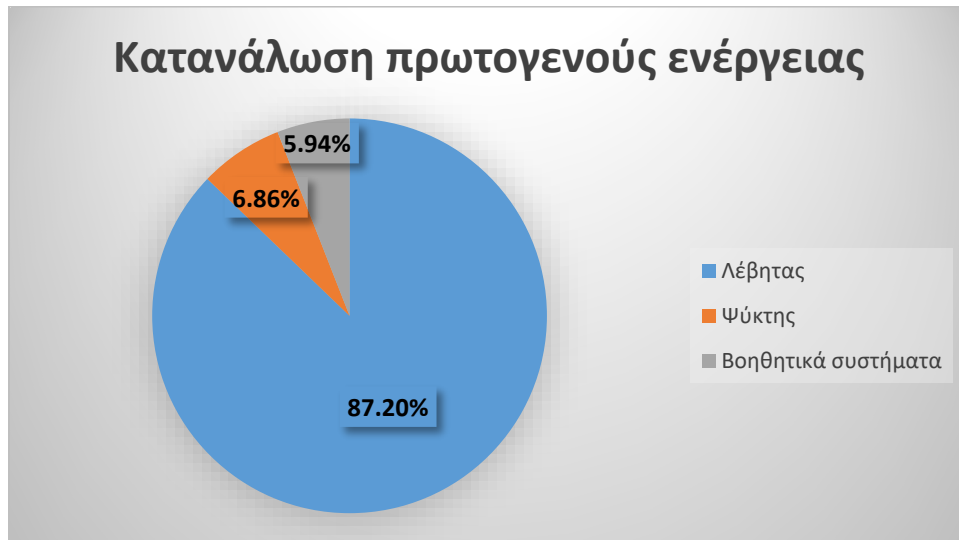
Στη συνέχεια παρατίθενται οι ετήσιες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας των μερών του συνολικού συστήματος για την Αθήνα και συγκεκριμένα για την κατοικία των 200 m² και το σενάριο 1 (**Πίνακας 74**).

Πίνακας 74: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m² στην Αθήνα και σενάριο 1

Μέρος συστήματος	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)
Λέβητας φυσικού αερίου	48.428
Ψύκτης συμπίεσης ατμού	3.812
Βοηθητικά συστήματα	3.299

Από τον **Πίνακα 74** φαίνεται ότι ο λέβητας καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια και συγκεκριμένα για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και θέρμανση του κτιρίου. Ακόμα, συγκριτικά με τη Νάξο, για την ίδια κατοικία στην Αθήνα ο λέβητας έχει μεγαλύτερη κατανάλωση (περίπου κατά 7 kWh/m²) και επίσης ο ψύκτης και τα βοηθητικά συστήματα έχουν λίγο μεγαλύτερη

κατανάλωση από την κατοικία στη Νάξο. Τα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας ανά υποσύστημα φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί (**Σχήμα 127**).



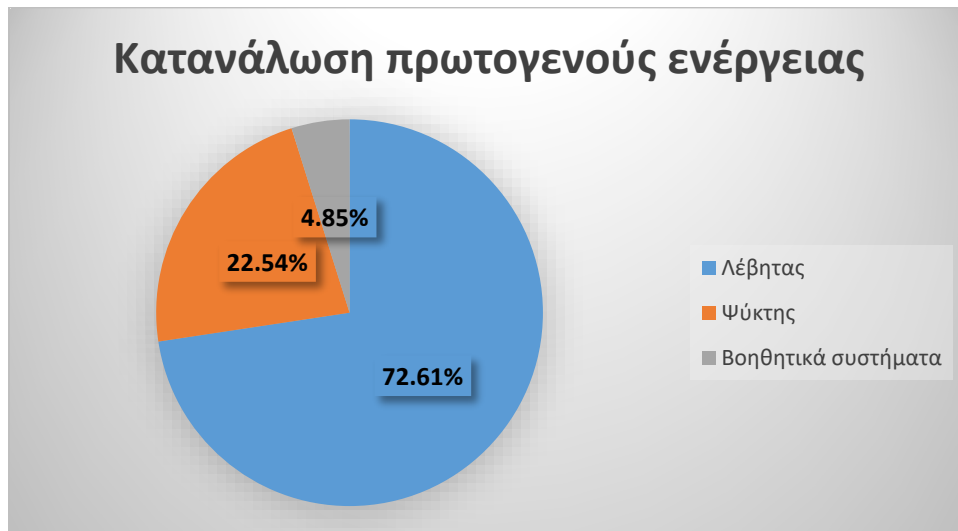
Σχήμα 127: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1

Και εδώ παρουσιάζει ενδιαφέρον η σύγκριση για την ίδια κατοικία και περιοχή, αλλά για το σενάριο 2 (**Πίνακας 75**).

Πίνακας 75: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m² στην Αθήνα και σενάριο 2

Μέρος συστήματος	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)
Λέβητας φυσικού αερίου	47.519
Ψύκτης συμπίεσης ατμού	14.748
Βοηθητικά συστήματα	3.174

Παρατηρείται ότι λόγω της έλλειψης δοχείου ψύξης στο σενάριο 2, η κατανάλωση του ψύκτη σχεδόν τετραπλασιάζεται συγκριτικά με το σενάριο 1, αν και οι υπόλοιπες καταναλώσεις παρουσιάζουν ελάχιστη μεταβολή. Για αυτό οφείλονται τόσο τα υψηλότερα PLR λειτουργίας του ψύκτη στο σενάριο 2 όσο και η μεγαλύτερη ονομαστική του ισχύς, όπως έχει προαναφερθεί. Επιπλέον σε σύγκριση με τη Νάξο, οι καταναλώσεις είναι μεγαλύτερες περίπου στο βαθμό που διαφέρουν και ως προς το σενάριο 1 οι κατοικίες των δύο περιοχών. Η διαφορά του σεναρίου 2 από το σενάριο 1 ως προς τις καταναλώσεις απεικονίζεται και στο ακόλουθο σχήμα (**Σχήμα 128**).



Σχήμα 128: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 2

Επίσης, ως προς τα εμπειρικά όρια που έχουν προαναφερθεί, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι για την περίπτωση του σεναρίου 1 στην Αθήνα, η μέγιστη κατανάλωση του λέβητα και του ψύκτη είναι 80.749 W/m² και 6.866 W/m² αντίστοιχα, που είναι εντός των ορίων. Μάλιστα, για τον ψύκτη είναι πολύ χαμηλότερο από το ανώτατο όριο. Για την αντίστοιχη περίπτωση του σεναρίου 2 οι μέγιστες καταναλώσεις προέκυψαν για το λέβητα 80.749 W/m² (ίδια με το σενάριο 1) και για τον ψύκτη 11.766 W/m² που είναι αισθητά μεγαλύτερη από του σεναρίου 1.

5.4 Αποτελέσματα για Καστοριά (κλιματική ζώνη Δ)

Όπως και με τις περιπτώσεις της Νάξου και της Αθήνας, έτσι και εδώ παρατίθενται αναλυτικά τα αποτελέσματα για την Καστοριά και συγκεκριμένα για την κατοικία των 200 m² και το σενάριο 1, με δοχεία αποθήκευσης τόσο για τη θέρμανση – Ζ.Ν.Χ. όσο και για την ψύξη. Τα αποτελέσματα αποτελούνται από διαγράμματα ετήσιας συμπεριφοράς του συνολικού συστήματος, από διαγράμματα συμπεριφοράς τους σε χαρακτηριστικές ημέρες του έτους και από τις ετήσιες καταναλώσεις των μερών του.

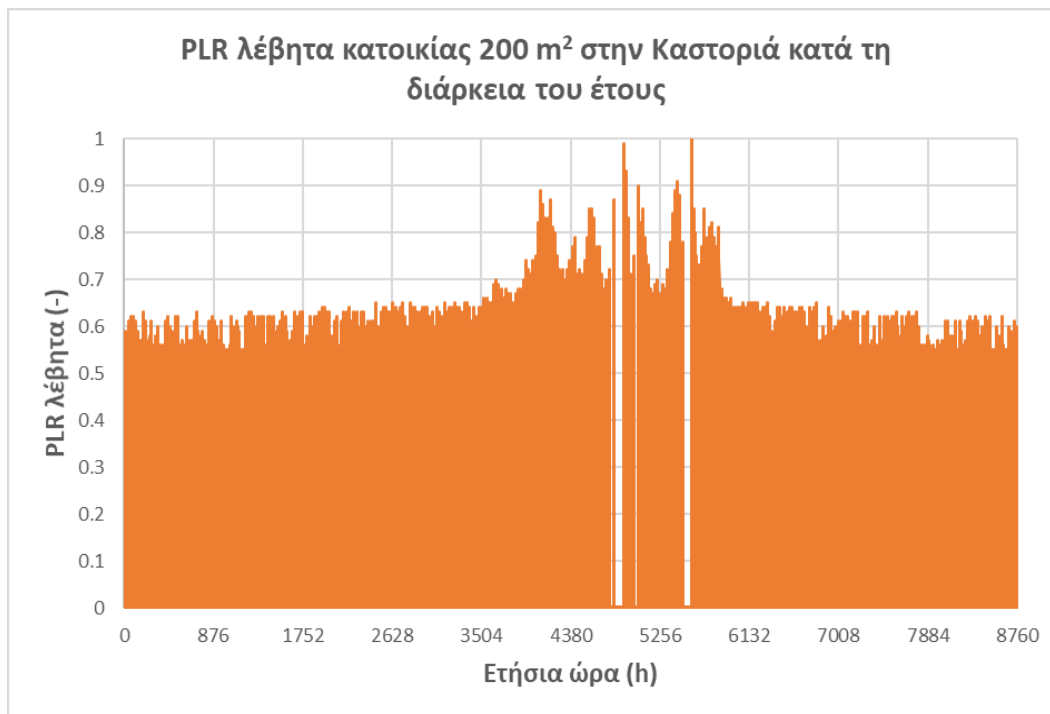
5.4.1 Διαγράμματα ετήσιας συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Καστοριά

Όπως απεικονίζεται στο **Σχήμα 129**, η θερμοκρασία της κατοικίας των 200 m² και του σεναρίου 1 στην Καστοριά σχεδόν για όλη τη διάρκεια του έτους διατηρείται μεταξύ των 19.5 °C και 26.5 °C, εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις που την υπερβαίνει και φτάνει έως τους 27 °C. Μάλιστα, φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού εμφανίζονται πιο συχνά χαμηλές θερμοκρασίες, συγκριτικά με τις άλλες περιοχές, κάποια κρύα πρωινά ή νύχτες λόγω της προσομοίωσης, αλλά και επειδή η Καστοριά ανήκει στην ψυχρότερη

κλιματική ζώνη Δ, οι οποίες εναλλάσσονται με υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 129: Θερμοκρασία της κατοικίας των 200 m² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1



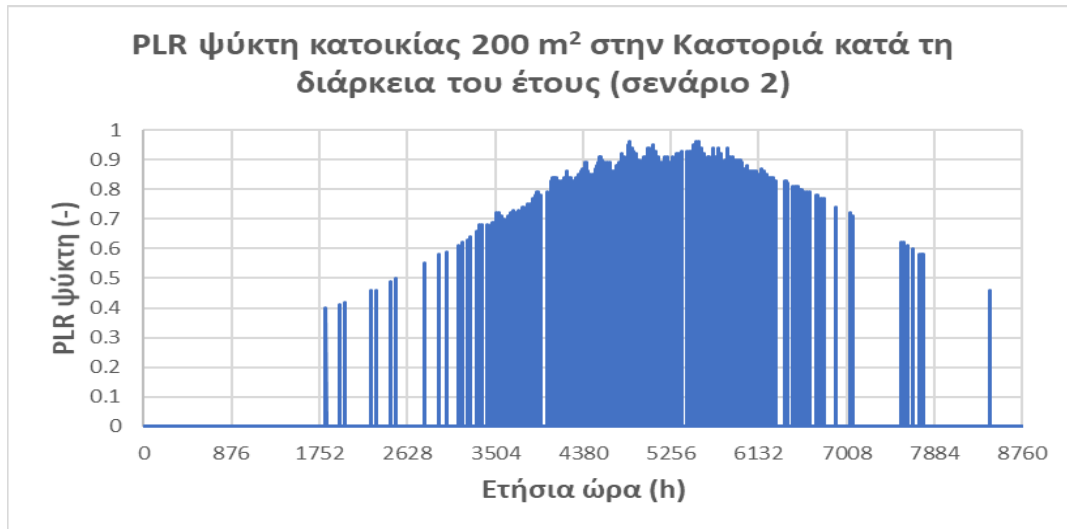
Σχήμα 130: PLR λέβητα της κατοικίας των 200 m² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 130** φαίνεται, αρχικά, ότι ο λέβητας στη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους λειτουργεί με PLR ίσο με 0.6, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και κοντά σε αυτό αυξάνεται, για να καλύψει πτώσεις θερμοκρασίας στο δοχείο θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ., που έχουν προκύψει από τη μη συνεχή λειτουργία του. Επίσης, λειτουργεί περισσότερες φορές από ότι στις κατοικίες των άλλων περιοχών, ακόμα και το καλοκαίρι που είναι σημαντική η διαφορά, λόγω του γενικά πιο ψυχρού κλίματος, αλλά και των κλιματικών δεδομένων της προσομοίωσης.

Στη συνέχεια, ακολουθούν τα διαγράμματα με το PLR του ψύκτη για την ίδια κατοικία, αλλά για τα σενάρια 1 (**Σχήμα 131**) και 2 (**Σχήμα 132**) αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις η λειτουργία του ψύκτη ξεκινά το Μάρτιο και φτάνει ως το Νοέμβριο με μία λειτουργία το Δεκέμβριο – λόγω της προσομοίωσης και των ηλιακών κερδών – που δεν είναι τόσο ρεαλιστική. Όπως και στις άλλες περιοχές, για το σενάριο 1 στην αρχή και στο τέλος της περιόδου λειτουργίας του το PLR είναι μεγαλύτερο, ενώ στο ενδιάμεσο και στο καλοκαίρι που η συχνότητα λειτουργίας αυξάνεται, το PLR μειώνεται. Για το σενάριο 2 ισχύει το αντίστροφο, με τον ψύκτη να λειτουργεί με χαμηλό PLR στην αρχή και στο τέλος της περιόδου, αλλά να αυξάνεται στο ενδιάμεσο και στο καλοκαίρι που οι ανάγκες για ψύξη της κατοικίας αυξάνονται, ξεπερνώντας, μάλιστα το 0.9. Έτσι, εκδηλώνεται η επίδραση του δοχείου ψύξης. Αξίζει να τονιστεί, ωστόσο, ότι και στα δύο σενάρια ο ψύκτης λειτουργεί πάντα με PLR μεγαλύτερο του 0.3 που είναι και το κατώτατο όριο λειτουργίας.



Σχήμα 131: PLR ψύκτη της κατοικίας των 200 m² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1

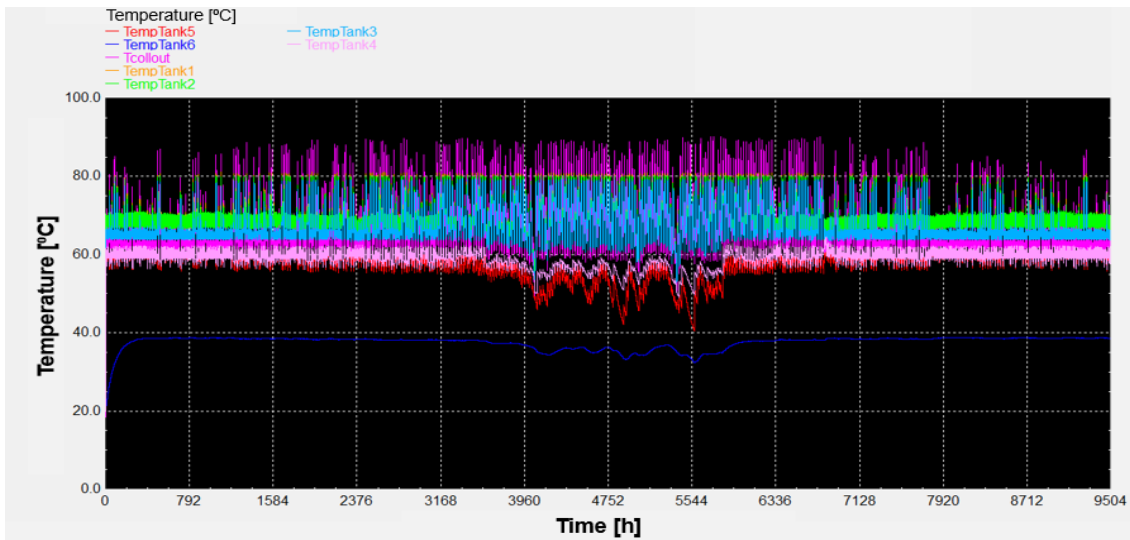


Σχήμα 132: PLR ψύκτη της κατοικίας των 200 m² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 2

Έπειτα, παρατίθεται το διάγραμμα με τη θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. κατά τη διάρκεια του έτους (**Σχήμα 133**), από το οποίο φαίνεται ότι η θερμοκρασία σχεδόν για όλο το έτος είναι ίση με 60 °C, εκτός από μερικές περιπτώσεις το καλοκαίρι, όπου παρατηρείται πτώση μέχρι και τους 52 °C, λόγω της μη συνεχούς λειτουργίας του λέβητα. Όμως, λόγω της συχνότερης λειτουργίας του λέβητα το καλοκαίρι σε σχέση με τις άλλες περιοχές, χρησιμοποιείται δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού ίδιου όγκου με αυτές.

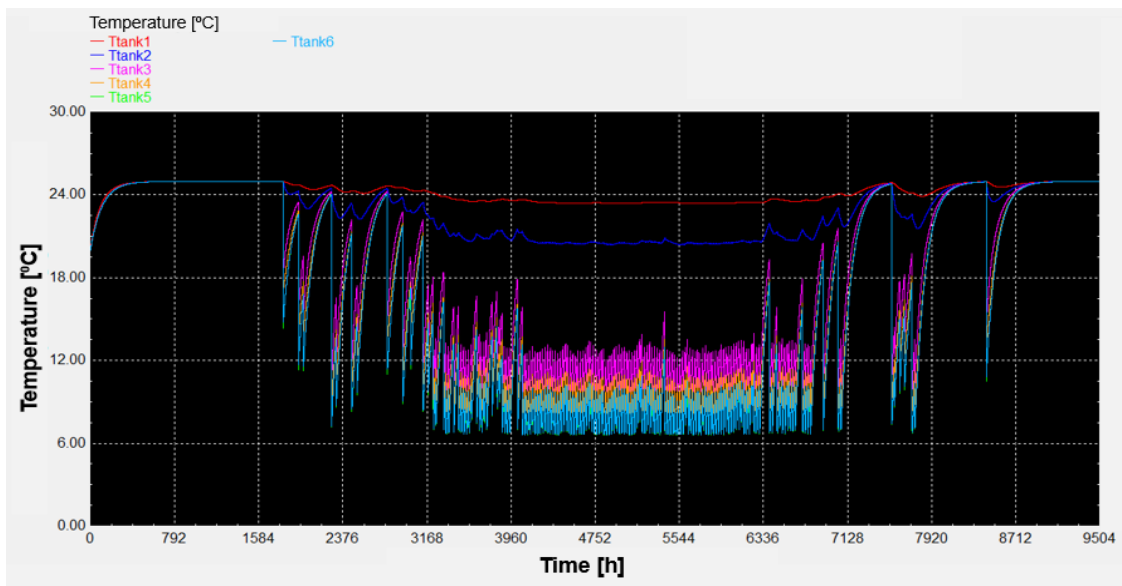


Σχήμα 133: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. της κατοικίας των 200 m² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1



Σχήμα 134: Θερμοκρασίες δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού και εξόδου συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και σενάριο 1

Σύμφωνα με το **Σχήμα 134**, φαίνεται ότι οι θερμοκρασίες όλων των κόμβων του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού, εκτός του κατώτατου, βρίσκονται μεταξύ των 58 °C και 80 °C για όλη τη διάρκεια του έτους, εκτός από το καλοκαίρι, που λόγω της μη συνεχούς λειτουργίας του λέβητα, οι θερμοκρασίες στους κόμβους 4 και 5 μειώνονται κάποιες στιγμές μέχρι τους 50 °C και 40 °C αντίστοιχα.

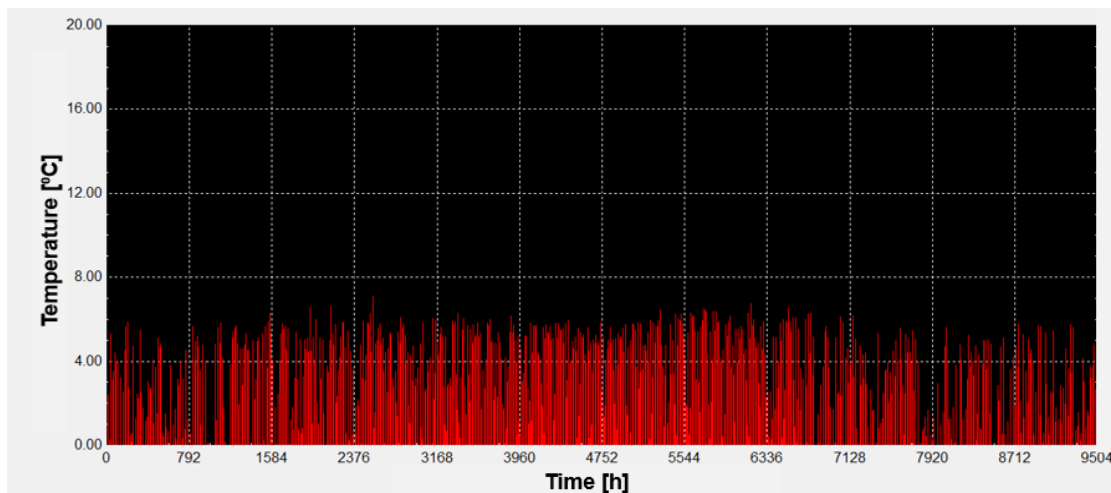


Σχήμα 135: Θερμοκρασίες του δοχείου ψύξης κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

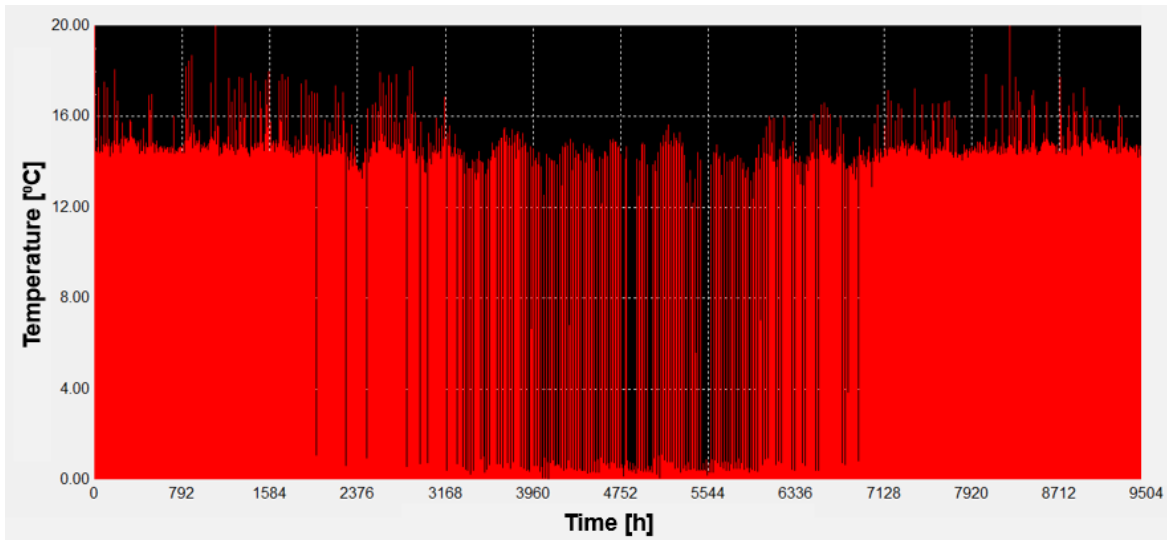
Στο **Σχήμα 135** παρατηρείται ότι, όταν λειτουργεί ο ψύκτης, οι θερμοκρασίες του δοχείου ψύξης μειώνονται, όπως είναι λογικό. Το καλοκαίρι που η λειτουργία του είναι συνεχής, οι θερμοκρασίες των κόμβων 4 – 6 είναι ανάμεσα στους 7 °C και 9 °C, με αποτέλεσμα να απαιτείται λιγότερη ωριαία ισχύς από τον ψύκτη.

Παρακάτω (**Σχήμα 136**) απεικονίζεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξόδου και εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους, η οποία φτάνει μέχρι τους 7 °C, αν και η επιθυμητή είναι 10 °C, γιατί τίθεται κατώτατο όριο ως προς την παροχή της μάζας του ρευστού που μπορεί να εισέλθει σε αυτούς, από το κριτήριο που πρέπει να ικανοποιείται και έχει προαναφερθεί και συνδέει τη διερχόμενη παροχή μάζας με την επιφάνεια των συλλεκτών.

Ακόμα, στο **Σχήμα 137** περιγράφεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου των καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους, η οποία σχεδόν σε όλη τη διάρκειά του κυμαίνεται μεταξύ 15 °C και 20 °C. Μάλιστα, φαίνεται ότι υπάρχει μεγάλη λειτουργία των καλοριφέρ το καλοκαίρι, η οποία οφείλεται τόσο στο ψυχρό κλίμα της Καστοριάς και σε ψυχρές στιγμές της ημέρας, αλλά και σε σφάλματα της προσομοίωσης.

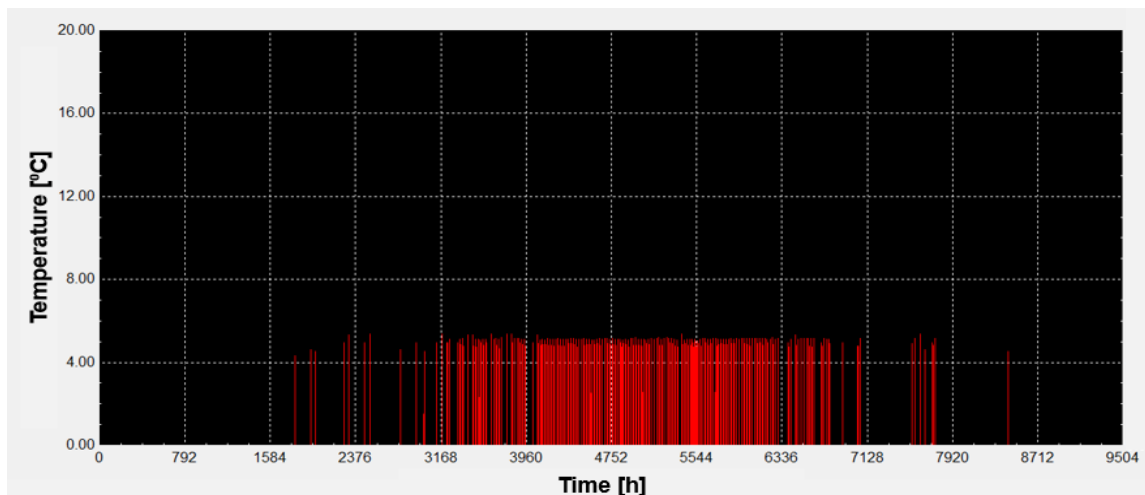


Σχήμα 136: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



Σχήμα 137: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου του καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

Τέλος, στο **Σχήμα 138** φαίνεται ότι η διαφορά θερμοκρασίας του νερού μεταξύ εξόδου και εισόδου των μονάδων fan – coil καθ’ όλη τη διάρκεια της περιόδου λειτουργίας τους είναι περίπου 5 °C, ικανοποιώντας τη σχετική απαίτηση.



Σχήμα 138: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου της μονάδας fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

5.4.2 Διαγράμματα συμπεριφοράς συνολικού συστήματος για Καστοριά και χαρακτηριστικές ημέρες του έτους

5.4.2.1 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Καστοριάς στις 21 Ιανουαρίου



Σχήμα 139: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

Σύμφωνα με το **Σχήμα 139**, στις 21 Ιανουαρίου η θερμοκρασία του κτιρίου βρίσκεται ανάμεσα στους 19.5 °C και 25 °C, θερμοκρασίες στις οποίες διατηρείται με τη βοήθεια και του λέβητα. Μάλιστα η αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι τους 25 °C περίπου (αφού πρόκειται και για θερμή ημέρα) παρατηρείται κατά το χρονικό διάστημα 11:30 – 17:00, καθώς τότε εμφανίζονται και τα ηλιακά κέρδη στο κτίριο.



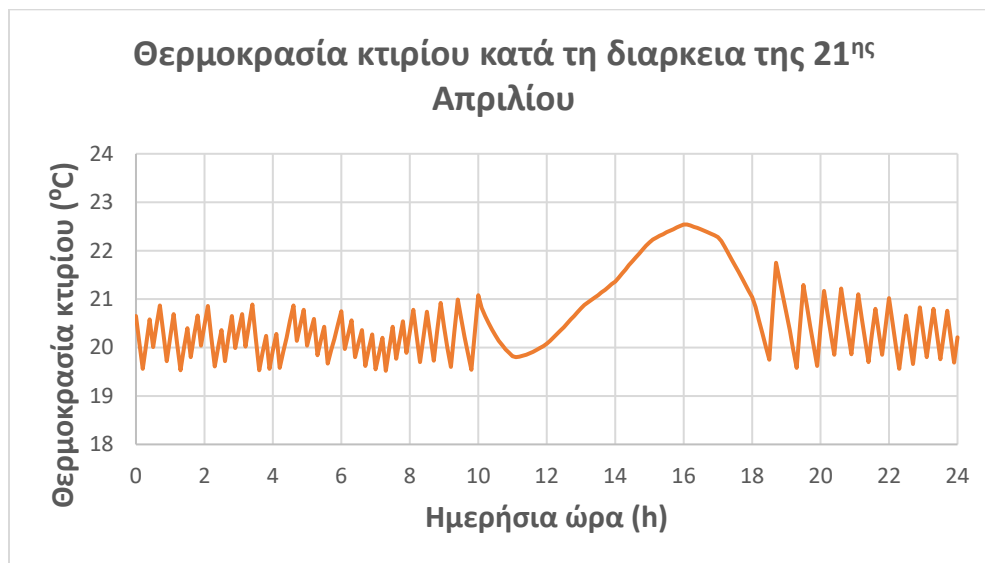
Σχήμα 140: PLR λέβητα στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 140** φαίνεται ότι στις 21 Ιανουαρίου, ο λέβητας λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα με PLR ίσο με 0.5 – 0.6, ενώ για το χρονικό διάστημα 10:30 – 21:00 είναι απενεργοποιημένος. Ακόμα, καθ’ όλη τη διάρκεια της ίδιας ημέρας, η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. διατηρείται ίση με 60 °C με τη συμβολή και του λέβητα.

Όμοια με τις άλλες περιοχές για την ίδια ημέρα, στις 21 Ιανουαρίου στην Καστοριά οι θερμοκρασίες του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. για όλους τους κόμβους, εκτός από του πυθμένα, είναι μεταξύ των 59 °C και 80 °C, στα επιθυμητά δηλαδή όρια. Η θερμοκρασία του συλλέκτη, όπως και αυτές των κόμβων 1 – 3 αυξάνονται το πρωί και το μεσημέρι, όταν δηλαδή υπάρχει ηλιοφάνεια, γεγονός που υποδηλώνεται και με θετική θερμοκρασιακή διαφορά στα άκρα του συλλέκτη το ίδιο χρονικό διάστημα.

Τέλος, στις 21 Ιανουαρίου στην Καστοριά, όπως στις κατοικίες των άλλων περιοχών τα καλοριφέρ λειτουργούν αρκετές ώρες, εκτός από το χρονικό διάστημα 9:00 – 18:30 που η κατοικία θερμαίνεται με τα ηλιακά κέρδη, με τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδό του να κυμαίνεται μεταξύ των 12 °C και 17 °C.

5.4.2.2 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Καστοριάς στις 21 Απριλίου



Σχήμα 141: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

Όπως παρουσιάζεται στο **Σχήμα 141**, στις 21 Απριλίου η θερμοκρασία του κτιρίου μεταβάλλεται μεταξύ των 19.5 °C και των 22.5 °C. Μάλιστα, η μικρή αύξηση μέχρι τους 22.5 °C σημειώνεται στο χρονικό διάστημα 11:00 – 16:00 λόγω των ηλιακών κερδών.



Σχήμα 142: PLR λέβητα στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

Από το **Σχήμα 142** φαίνεται ότι στις 21 Απριλίου ο λέβητας λειτουργεί αρκετές ώρες με PLR μεταξύ του 0.55 και του 0.65, κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας και μέχρι τις 8:30, όταν ξεκινούν να σημειώνονται και τα ηλιακά κέρδη. Επίσης, η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. είναι ίση με 60 °C καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όπως και τις υπόλοιπες ημέρες που αναλύθηκαν.

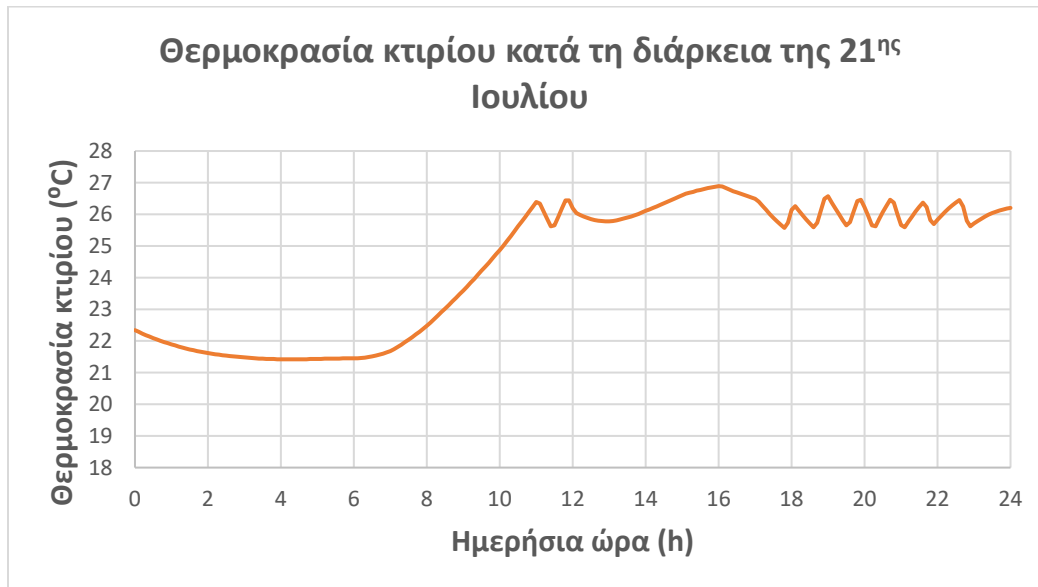
Όπως και στις 21 Ιανουαρίου, στις 21 Απριλίου οι θερμοκρασίες των κόμβων του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ., εκτός του κόμβου του πυθμένα, κυμαίνονται μεταξύ των 59 °C και 80 °C. Μάλιστα, οι θερμοκρασίες των κόμβων 1 – 3, όπως και αυτή της εξόδου από το συλλέκτη, αυξάνονται ως τη μέγιστη τιμή τους από το πρωί μέχρι το απόγευμα, όταν δηλαδή επικρατεί ηλιοφάνεια, κάτι που εκφράζεται και από θετική θερμοκρασιακή διαφορά στα άκρα του συλλέκτη αυτό το διάστημα.

Τέλος, και στις 21 Απριλίου τα καλοριφέρ έχουν μεγάλη λειτουργία η οποία, όμως, διακόπτεται στο χρονικό διάστημα 10:00 – 18:30. Η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην είσοδό του και την έξοδό του κατά τη λειτουργία του κυμαίνεται μεταξύ των 12 °C και 17 °C, οπότε δεν φτάνει πάντα τις επιθυμητές τιμές 15 °C – 20 °C, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του Ιανουαρίου.

5.4.2.3 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Καστοριάς στις 21 Ιουλίου

Κατά το **Σχήμα 143**, στις 21 Ιουλίου η θερμοκρασία του κτιρίου κυμαίνεται μεταξύ των 21.4 °C και 22.3 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ στις 7:00, με την ανατολή του ηλίου και άρα την απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των παραθύρων, η θερμοκρασία

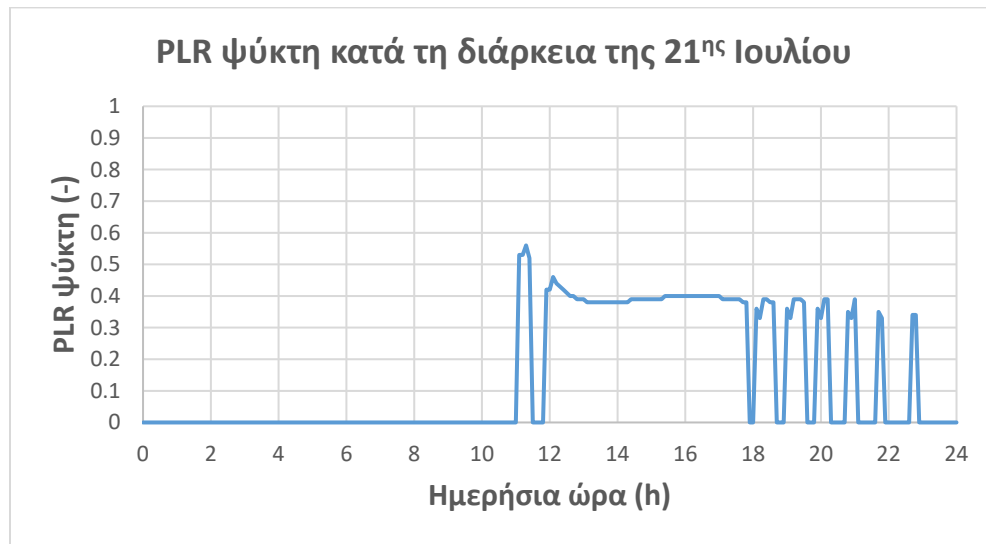
αρχίζει και αυξάνεται μέχρι που φτάνει τη μέγιστη τιμή της στους 27 °C στις 16:00. Ύστερα διατηρείται στους 25.5 °C – 26.5 °C μέχρι το τέλος του εικοσιτετράωρου.



Σχήμα 143: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

Επίσης, όπως και όλες τις προηγούμενες ημέρες, στις 21 Ιουλίου η θερμοκρασία του Ζ.Ν.Χ. διατηρείται σταθερή και ίση με 60 °C, χωρίς, μάλιστα, να λειτουργεί καθόλου ο λέβητας τη συγκεκριμένη ημέρα.

Έπειτα, ακολουθεί το διάγραμμα του PLR λειτουργίας του ψύκτη για τη συγκεκριμένη ημέρα (**Σχήμα 144**) και μάλιστα γίνεται η σύγκρισή του με την αντίστοιχη περίπτωση για το σενάριο 2 (**Σχήμα 145**), όπου δεν υπάρχει δοχείο ψύξης. Για το σενάριο 1 ο ψύκτης ξεκινά να λειτουργεί στις 9:00, όταν η θερμοκρασία του κτιρίου φτάνει τους 26.5 °C με υψηλότερο PLR, το οποίο μειώνεται όσο ο ψύκτης λειτουργεί φτάνοντας στην ελάχιστη τιμή του 0.35. Για το σενάριο 2 ο ψύκτης ξεκινά και αυτός να λειτουργεί στις 9:00 με υψηλό PLR, το οποίο παραμένει υψηλό όσο λειτουργεί (αν και κάνει και μερικές διακοπές) φτάνοντας μάλιστα και το 0.85. Αυτό συμβαίνει, διότι στο σενάριο 2 δεν υπάρχει δοχείο για το σύστημα ψύξης, ώστε να αποθηκεύεται εκεί κρύο νερό, όπως έχει αναφερθεί ξανά.



Σχήμα 144: PLR ψύκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



Σχήμα 145: PLR ψύκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 2

Επιπλέον, σχετικά με τις θερμοκρασίες του δοχείου ψύξης, όπως και στις άλλες περιοχές τον Ιούλιο, μόλις ο ψύκτης ξεκινά να λειτουργεί, οι θερμοκρασίες των κόμβων 3 – 6 αρχίζουν να μειώνονται και να βρίσκονται μεταξύ 6.5 °C και 9.5 °C. Εδώ να τονιστεί ότι από τα χαμηλά στρώματα του δοχείου λαμβάνεται νερό τόσο για τον ψύκτη όσο και για τη λειτουργία των μονάδων fan – coil.

Μάλιστα, την ίδια ημέρα, όπως και στις άλλες περιοχές στην αντίστοιχη περίοδο οι θερμοκρασίες των κόμβων 4 – 6 του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού, βρίσκονται σταθερά κάτω από τους 60 °C, αφού δεν λειτουργεί ο λέβητας, ενώ για τους κόμβους 1 – 3 οι θερμοκρασίες βρίσκονται πάνω από 60 °C και μάλιστα στις 8:00 αρχίζουν να αυξάνονται, όπως και η θερμοκρασία εξόδου από το συλλέκτη, φτάνοντας μέχρι και τους 80 °C. Η αύξηση διαρκεί μέχρι τις 18:00 και εκφράζει την ύπαρξη ηλιοφάνειας, η οποία φαίνεται και με θετική θερμοκρασιακή διαφορά στα άκρα του συλλέκτη το ίδιο χρονικό διάστημα, όπως συμβαίνει και σε προηγούμενες ημέρες.

Τέλος, όμοια με την περίπτωση της Αθήνας, στις 21 Ιουλίου καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας των μονάδων fan – coil, η θερμοκρασιακή διαφορά του νερού, ανάμεσα στην έξοδο του και την είσοδό του, είναι ίση με την επιθυμητή, δηλαδή 5 °C, ενώ παρουσιάζει και συνεχή λειτουργία στο χρονικό διάστημα 12:00 – 18:00.

5.4.2.4 Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος της Καστοριάς στις 20 Οκτωβρίου



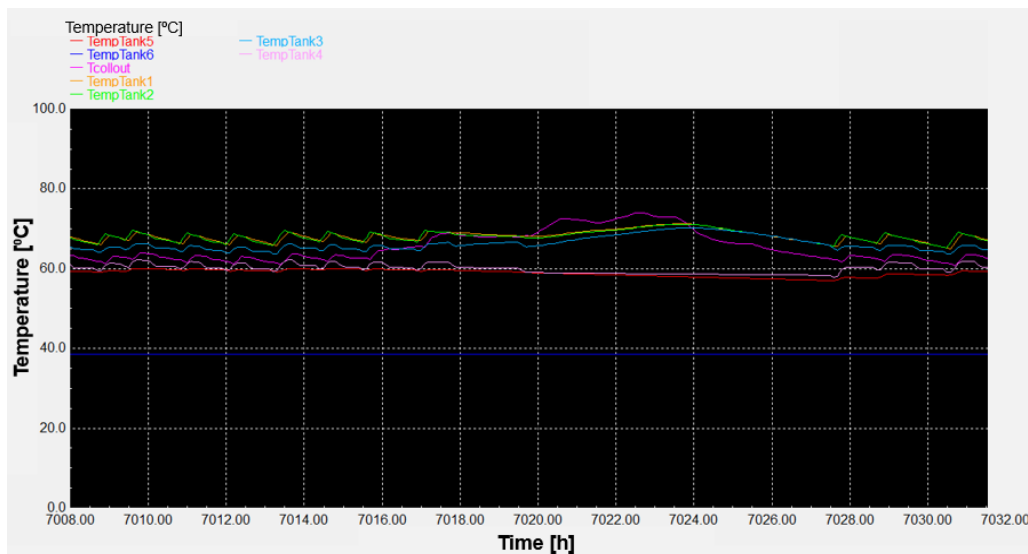
Σχήμα 146: Θερμοκρασία κτιρίου στις 20 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

Όπως παρουσιάζεται στο **Σχήμα 146**, στις 20 Οκτωβρίου η θερμοκρασία του κτιρίου ταλαντώνεται μεταξύ των 19.5 °C και 21 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ από τις 13:00 αρχίζει να αυξάνεται, με τη συμβολή των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια της ημέρας, φτάνοντας τη μέγιστη τιμή των 24 °C στις 16:00.

Από το **Σχήμα 147** φαίνεται ότι στις 20 Οκτωβρίου ο λέβητας λειτουργεί αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της νύχτας με PLR από 0.52 έως και 0.6 που είναι η βέλτιστη τιμή. Έτσι, επιτυγχάνεται και η επιθυμητή θερμοκρασία των 60 °C για το Ζ.Ν.Χ. καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου.



Σχήμα 147: PLR λέβητα στις 20 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

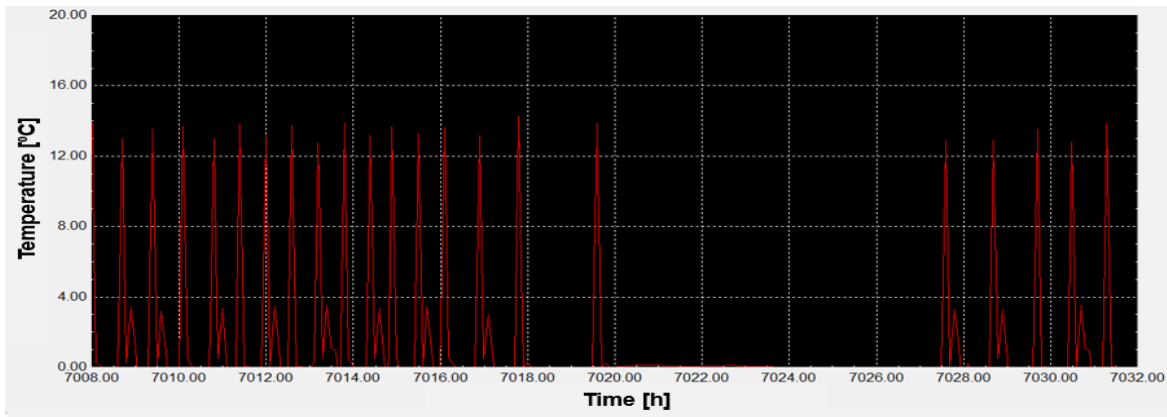


Σχήμα 148: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 20 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

Στο **Σχήμα 148** φαίνεται ότι στις 20 Οκτωβρίου οι θερμοκρασίες των κόμβων του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού, εκτός από τον κόμβο του πυθμένα, κυμαίνονται μεταξύ των 59 °C και 70 °C, με τις υψηλές τιμές να σημειώνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας, όταν εμφανίζονται και τα ηλιακά κέρδη του κτιρίου. Κατά την ίδια περίοδο και συγκεκριμένα στο χρονικό διάστημα 9:00 – 16:00 παρατηρείται κάποια αύξηση και στη θερμοκρασία εξόδου από τον ηλιακό συλλέκτη, καθώς τότε επικρατεί λίγη ηλιοφάνεια, η οποία

συνοδεύεται και από θετική θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην έξοδο και την είσοδο του συλλέκτη.

Τέλος, στο **Σχήμα 149** φαίνεται ότι στις 20 Οκτωβρίου το καλοριφέρ λειτουργεί αρκετές φορές, κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας, με τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην είσοδό του και στην έξοδό του να είναι περίπου στους 13 °C – 14 °C, οριακά κάτω δηλαδή, από τις επιθυμητές τιμές.



Σχήμα 149: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου καλοριφέρ στις 20 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

5.4.3 Συνολικές ετήσιες καταναλώσεις για Καστοριά

Στη συνέχεια παρατίθενται οι ετήσιες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας των μερών του συνολικού συστήματος για την Καστοριά και συγκεκριμένα για την κατοικία των 200 m² και το σενάριο 1 (**Πίνακας 76**).

Πίνακας 76: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m² στην Καστοριά και σενάριο 1

Μέρος συστήματος	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)
Λέβητας φυσικού αερίου	71.115
Ψύκτης συμπίεσης ατμού	2.021
Βοηθητικά συστήματα	3.115

Από τον **Πίνακα 76** φαίνεται ότι ο λέβητας καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια με τεράστια διαφορά και συγκεκριμένα για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και θέρμανση του κτιρίου. Ακόμα, συγκριτικά με τη Νάξο και την Αθήνα, για την ίδια κατοικία στην Καστοριά ο λέβητας έχει αρκετά μεγαλύτερη κατανάλωση που οφείλεται στο αρκετά ψυχρότερο κλίμα, ενώ ο ψύκτης έχει μικρότερη κατανάλωση, αφού στις άλλες περιοχές το κλίμα είναι θερμότερο. Τα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας ανά υποσύστημα φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί (**Σχήμα 150**).



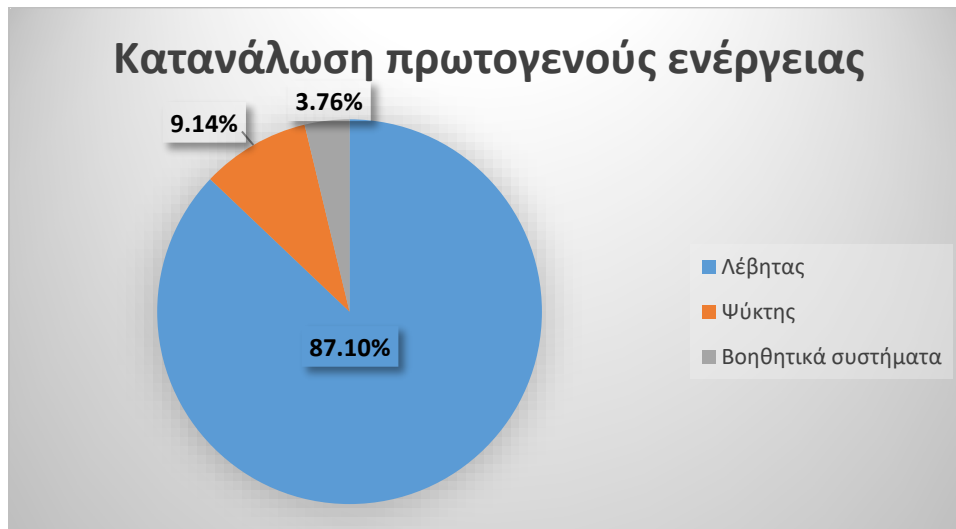
Σχήμα 150: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

Στη συνέχεια ακολουθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά, αλλά για το σενάριο 2 (χωρίς δοχείο ψύξης) (Πίνακας 77).

Πίνακας 77: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m² στην Καστοριά και σενάριο 2

Μέρος συστήματος	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)
Λέβητας φυσικού αερίου	70.691
Ψύκτης συμπίεσης ατμού	7.421
Βοηθητικά συστήματα	3.050

Παρατηρείται ότι λόγω της έλλειψης δοχείου ψύξης στο σενάριο 2, η κατανάλωση του ψύκτη είναι σχεδόν 3.5 φορές μεγαλύτερη από ότι στο σενάριο 1, αν και οι υπόλοιπες καταναλώσεις είναι σχεδόν σταθερές. Φαίνεται, λοιπόν, και εδώ η επίδραση των υψηλότερων PLR λειτουργίας του ψύκτη του σεναρίου 2 και της μεγαλύτερης ονομαστικής του ισχύος. Επιπλέον σε σύγκριση με τη Νάξο και την Αθήνα, όμοια με το σενάριο 1, η κατανάλωση του λέβητα είναι σημαντικά μεγαλύτερη, ενώ η ψύξη αισθητά μικρότερη. Η διαφορά του σεναρίου 2 από το σενάριο 1 ως προς τις καταναλώσεις απεικονίζεται και στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 151).



Σχήμα 151: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 2

Τέλος, ως προς τα εμπειρικά όρια που έχουν προαναφερθεί, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι για την περίπτωση του σεναρίου 1 στην Καστοριά, η μέγιστη κατανάλωση του λέβητα και του ψύκτη είναι 129.12 W/m² και 5.681 W/m² αντίστοιχα, ενώ για την αντίστοιχη περίπτωση του σεναρίου 2 οι μέγιστες καταναλώσεις προέκυψαν για το λέβητα 129.12 W/m² (ίδια με το σενάριο 1) και για τον ψύκτη 13.933 W/m² που είναι αισθητά μεγαλύτερη από του σεναρίου 1. Επομένως, σχετικά με την κατανάλωση του λέβητα, φαίνεται ότι ξεπερνάει αρκετά το όριο της μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης και στα δύο σενάρια, γεγονός που εξηγείται από το πολύ ψυχρό κλίμα της Καστοριάς, αλλά και από τη μοντελοποίηση του κτιρίου ως μοντέλο θερμοχωρητικότητας – αντίστασης και ως ενιαία θερμική ζώνη.

5.5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

5.5.1 Συγκεντρωτικές ετήσιες καταναλώσεις

Όμοια διαδικασία με αυτή που ακολουθήθηκε για τις περιπτώσεις που αναλύθηκαν στα προηγούμενα υποκεφάλαια, ακολουθήθηκε και για όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις, ώστε να προκύψουν οι τελικές καταναλώσεις. Έτσι, στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι ετήσιες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας των συστημάτων των κτιρίων για κάθε περιοχή, εμβαδόν κατοικίας και σενάριο (**Πίνακας 78, Πίνακας 79, Πίνακας 80**). Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται οι ετήσιες καταναλώσεις του λέβητα, του ψύκτη και το άθροισμα όλων των κυκλοφορητών – αντλιών και των ανεμιστήρων των μονάδων fan – coil (βοηθητικά συστήματα) κάθε συστήματος σε kWh/m².

Πίνακας 78: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των συστημάτων για όλες τις περιπτώσεις της Νάξου

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατοικιών Νάξου (kWh/m²)				
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Σενάριο	Λέβητας	Ψύκτης	Βοηθητικά συστήματα
100	1	51.380	3.215	3.853
	2	51.438	10.236	3.755
	3	74.377	3.214	5.879
200	1	41.865	2.771	2.995
	2	41.881	11.384	2.900
	3	59.273	2.898	4.576
300	1	38.538	2.654	2.710
	2	38.606	11.816	2.633
	3	54.365	2.654	4.117

Πίνακας 79: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των συστημάτων για όλες τις περιπτώσεις της Αθήνας

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατοικιών Αθήνας (kWh/m²)				
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Σενάριο	Λέβητας	Ψύκτης	Βοηθητικά συστήματα
100	1	58.243	4.216	4.150
	2	58.234	14.666	4.034
	3	82.235	4.220	6.181
200	1	48.421	3.871	3.303
	2	47.519	14.748	3.174
	3	68.746	3.853	4.821
300	1	43.703	4.108	3.037
	2	43.695	16.948	2.942
	3	57.013	3.574	5.163

Πίνακας 80: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των συστημάτων για όλες τις περιπτώσεις της Καστοριάς

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατοικιών Καστοριάς (kWh/m²)				
Εμβαδόν κατοικίας (m²)	Σενάριο	Λέβητας	Ψύκτης	Βοηθητικά συστήματα
100	1	87.286	2.510	3.958
	2	85.743	7.320	3.876
	3	115.348	2.496	5.997
200	1	71.115	2.021	3.115
	2	70.691	7.421	3.050
	3	93.316	2.017	4.653
300	1	65.803	2.077	2.771
	2	67.778	8.981	2.724
	3	87.496	2.073	4.216

Από τους παραπάνω πίνακες εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Αρχικά, είναι πολύ σημαντική η επίδραση του κλίματος της περιοχής και της επιφάνειας των κατοικιών στις τελικές ετήσιες καταναλώσεις τους.
- Πιο συγκεκριμένα, για κάθε περίπτωση (σεναρίου και επιφάνειας κατοικίας) ο λέβητας στην Καστοριά καταναλώνει πολύ μεγαλύτερη ενέργεια ετησίως, από την αντίστοιχη περίπτωση των άλλων περιοχών. Αυτό οφείλεται στο ψυχρότερο κλίμα της Καστοριάς που έχει ως άμεση συνέπεια τη χρήση λεβήτων μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος, αλλά και τη συχνότερη λειτουργία τους, ακόμα και το καλοκαίρι, όπως έχει αναδειχθεί παραπάνω. Επομένως, είναι εύλογο και το ότι για κάθε περίπτωση ο ψύκτης στην Καστοριά καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από ότι στις άλλες περιοχές.
- Αναφορικά με τις άλλες δύο περιοχές, στην Αθήνα για κάθε περίπτωση καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια ετησίως από την αντίστοιχη περίπτωση στη Νάξο, τόσο για παραγωγή Ζ.Ν.Χ. και θέρμανση της κατοικίας (κατανάλωση λέβητα) όσο και για ψύξη της (κατανάλωση λέβητα). Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από το ότι στην Αθήνα επικρατεί περισσότερο κρύο κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, αλλά και περισσότερη ζέστη κατά την καλοκαιρινή, συγκριτικά με τη Νάξο, που ως νησί έχει πιο ήπιους χειμώνες και πιο δροσερά καλοκαίρια.
- Ακόμα, η Αθήνα για κάθε περίπτωση έχει μεγαλύτερη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των βοηθητικών συστημάτων από τις άλλες περιοχές και η Καστοριά αντίστοιχα μεγαλύτερη από της Νάξου, αν και οι διαφορές είναι πολύ μικρές.
- Σχετικά με την επιφάνεια της κατοικίας, όσο αυτή αυξάνεται – για την ίδια περιοχή και σενάριο – η ετήσια κατανάλωση ενέργειας του λέβητα μειώνεται (μερικές φορές αρκετά), του ψύκτη αυξάνεται λίγο για το σενάριο 2 και μένει

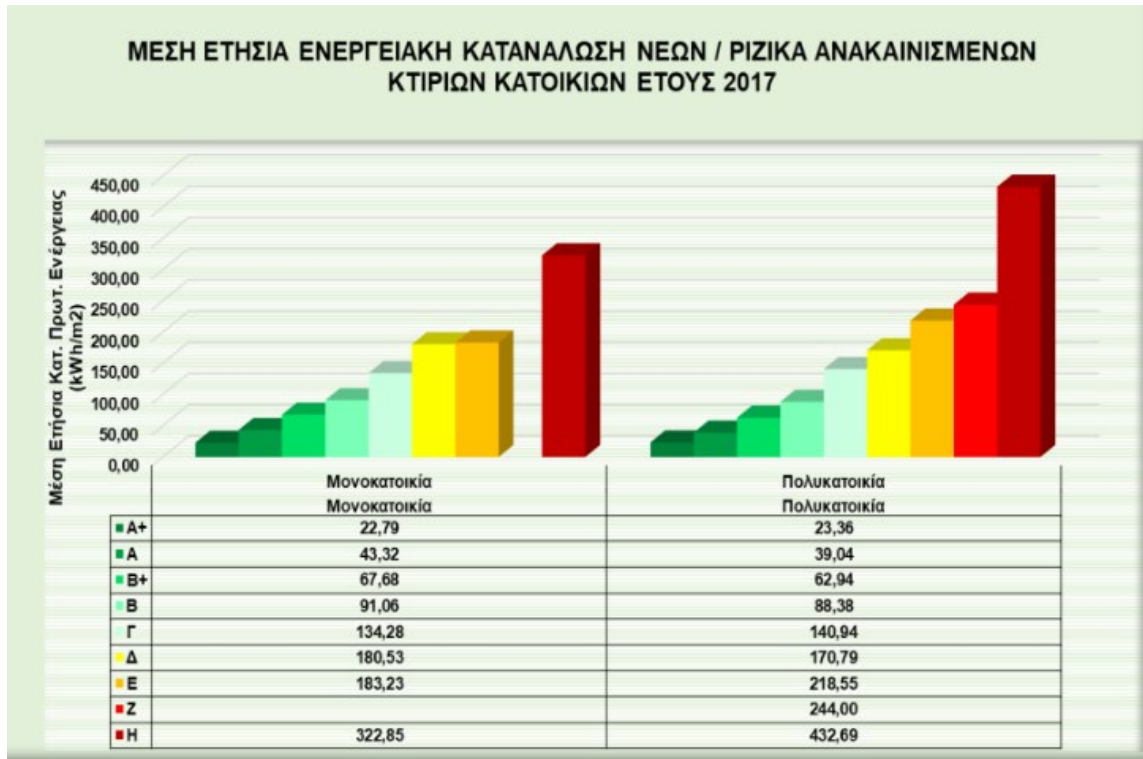
περίπου σταθερή για τα σενάρια 1 και 3, ενώ οι ετήσιες καταναλώσεις των κυκλοφορητών και των ανεμιστήρων μειώνονται λίγο. Μάλιστα, αν και τα αποτελέσματα ακολουθούν ένα μοτίβο η μεταβολή τους δεν είναι αναλογική. Η αιτία για αυτό είναι ότι, για παράδειγμα, μεταξύ της κατοικίας θερμαινόμενης επιφάνειας 200 m² και αυτής των 100 m², αν και η επιφάνεια είναι διπλάσια, η ονομαστική ισχύς του λέβητα, του ψύκτη, των αντλιών ή των ανεμιστήρων είναι μεγαλύτερη, αλλά όχι διπλάσια αντίστοιχα. Επιπλέον, λόγω της απλοποιημένης μοντελοποίησης του κτηρίου, μεγαλύτερη επιφάνεια δαπέδου οδηγεί σε αυξημένη θερμοχωρητικότητα και άρα μεγαλύτερη αδράνεια, περιορίζοντας τις καταναλώσεις.

- Μεταξύ των σεναρίων 1 και 2, για ίδια περιοχή και επιφάνεια κατοικίας ο λέβητας στο σενάριο 2 έχει ίδια περίπου ετήσια κατανάλωση με του σεναρίου 1 ή διαφέρουν λίγο εξαιτίας αποκλίσεων της προσομοίωσης. Επίσης, ο ψύκτης του σεναρίου 2 καταναλώνει περισσότερη ενέργεια ετησίως από των άλλων σεναρίων, επειδή, όπως έχει προαναφερθεί, δεν έχει δοχείο ψύξης, οπότε πρέπει σε πραγματικό χρόνο να ψύχει το νερό που απαιτείται για την κάλυψη των ψυκτικών αναγκών του κτιρίου (δεν αποθηκεύει δηλαδή κρύο νερό σε δοχείο). Αντίθετα, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας των κυκλοφορητών και των ανεμιστήρων για το σενάριο 2 είναι λίγο μικρότερη από του 1, διαφορά που οφείλεται στην αντικατάσταση της αντλίας σταθερών στροφών του ψύκτη του σεναρίου 1 (αντλία λειτουργίας on/off) από αντλία μεταβλητών στροφών στο σενάριο 2. Έτσι, η αντλία του ψύκτη στο σενάριο 2 δεν λειτουργεί μόνο σε ονομαστικές στροφές καταναλώνοντας ονομαστική ισχύ, αλλά μπορεί να λειτουργήσει και σε μικρότερες στροφές από τις ονομαστικές.
- Αξιοσημείωτο, ωστόσο, είναι το πόσο μεγαλύτερη είναι η ετήσια κατανάλωση ενέργειας του λέβητα στο σενάριο 3 σε σύγκριση με τα άλλα δύο σενάρια στην εκάστοτε περίπτωση, αν και η ονομαστική ισχύς του λέβητα στο σενάριο 3 είναι μικρότερη. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι αυξάνοντας την επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών, αυξάνεται και η παροχή του ρευστού που διέρχεται από αυτούς. Για να είναι εκμεταλλεύσιμη όμως η αύξηση της παροχής και της απορροφώμενης ηλιακής ακτινοβολίας, απαιτείται και μεγαλύτερου όγκου δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού. Όταν, όμως, δεν υπάρχει ηλιοφάνεια, ο λέβητας πρέπει να λειτουργεί πιο συχνά, για να θερμάνει το νερό του δοχείου, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο την ετήσια κατανάλωση ενέργειας. Σημειώνεται ότι αυτό είναι απόρροια του κριτηρίου που τέθηκε για σταθερά διαθέσιμη θερμοκρασία 60 °C για Z.N.X.. Εναλλακτικές θεωρήσεις όπως για επίτευξη της παραπάνω θερμοκρασίας μόνο τις ώρες ζήτησης, θα οδηγούσαν σε μειωμένες καταναλώσεις.
- Τέλος, στο σενάριο 3 ο ψύκτης καταναλώνει περίπου την ίδια ενέργεια ετησίως με του σεναρίου 1 της αντίστοιχης περίπτωσης, ενώ οι κυκλοφορητές και οι ανεμιστήρες των fan – coil καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια ετησίως από

τα άλλα σενάρια. Αυτό συμβαίνει λόγω της αντλίας των ηλιακών συλλεκτών, που στο σενάριο 3 έχει διπλάσια ονομαστική παροχή από των άλλων σεναρίων, άρα διακινεί αρκετά μεγαλύτερες παροχές ρευστού. Επίσης, η συμβολή της είναι τόσο σημαντική στη διαμόρφωση της τελικής κατανάλωσης των βοηθητικών συστημάτων, επειδή στη διάρκεια του έτους λειτουργεί περισσότερο από κάθε άλλη αντλία και τους ανεμιστήρες αντίστοιχα.

5.5.2 Κατάταξη κατοικιών σε ενεργειακή κλάση

Επιπρόσθετα, είναι ενδιαφέρουσα η ένταξη όλων των εξεταζόμενων κατοικιών σε ενεργειακή κλάση, βάσει της συνολικής τους ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Φυσικά, η ένταξή τους αυτή είναι προσεγγιστική και οι κατοικίες είναι πιθανόν να βγουν σε μία διαφορετική ενεργειακή κλάση από την πραγματική τους, αφού στις τελικές καταναλώσεις δεν έχουν συμπεριληφθεί πηγές κατανάλωσης ενέργειας, όπως το μαγείρεμα, οι ηλεκτρικές συσκευές, ο φωτισμός κ.ά., το κτίριο έχει θεωρηθεί ερμητικά κλειστό, δεν έχει, δηλαδή, συμπεριληφθεί ο αερισμός, ενώ τέλος, έχουν αμεληθεί εσωτερικά θερμικά κέρδη λόγω των κατοίκων, οικιακών συσκευών και φωτισμού. Οι ενεργειακές κλάσεις προκύπτουν από τη σύγκριση της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του πραγματικού κτιρίου με αυτήν του «κτιρίου αναφοράς», δηλαδή του προς θεώρηση κτιρίου με ιδεατές συνθήκες λειτουργίας, τεχνικά χαρακτηριστικά και συγκεκριμένες προδιαγραφές που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [12]. Στην προκειμένη περίπτωση έγινε χρήση της μέσης ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας νέων και ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 152** [31].



Σχήμα 152: Ενεργειακές κλάσεις κτιρίων κατοικιών βάσει της μέσης ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας [31]

Τονίζεται ότι όλες οι περιπτώσεις που έχουν εξεταστεί κατά τη διάρκεια της εργασίας αφορούν μονοκατοικίες. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται για όλες τις κατοικίες η συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και η ενεργειακή κλάση στην οποία ανήκουν σύμφωνα με το προηγούμενο διάγραμμα (Πίνακας 81).

Πίνακας 81: Συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και ενεργειακή κλάση κατοικιών

Τοποθεσία κατοικίας	Εμβαδόν κατοικίας (m ²)	Σενάριο	Συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)	Ενεργειακή κλάση
Νάξος	100	1	58.448	B+
		2	65.429	B+
		3	83.470	B
	200	1	47.630	B+
		2	56.165	B+
		3	66.747	B+
	300	1	43.902	B+
		2	53.054	B+
		3	61.136	B+
Αθήνα	100	1	66.609	B+
		2	76.934	B
		3	92.635	Γ
	200	1	55.596	B+
		2	65.441	B+
		3	77.419	B
	300	1	50.848	B+
		2	63.585	B+
		3	65.749	B+
Καστοριά	100	1	93.754	Γ
		2	96.939	Γ
		3	123.840	Γ
	200	1	76.251	B
		2	81.161	B
		3	99.986	Γ
	300	1	70.651	B
		2	79.483	B
		3	93.784	Γ

Από τον τελευταίο πίνακα παρατηρείται ότι όλες οι κατοικίες της Νάξου ανήκουν στην ενεργειακή κλάση B+, εκτός από μία που ανήκει στη B, αλλά όλες είναι πολύ αποδοτικές ενεργειακά. Στην Αθήνα οι περισσότερες κατοικίες εντάσσονται στην ενεργειακή κλάση B+ και είναι πολύ αποδοτικές ενεργειακά, όπως και μία που ανήκει στη B, ενώ υπάρχει και μία που ανήκει στη Γ και είναι μέτρια ως προς την ενεργειακή της απόδοση. Τέλος, στην Καστοριά τέσσερις κατοικίες ανήκουν στην ενεργειακή κλάση B και πέντε στην ενεργειακή κλάση Γ. Άρα, στην Καστοριά οι κατοικίες είναι πιο ενεργοβόρες λόγω του ψυχρού κλίματος, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές έχουν γενικά πολύ καλή ενεργειακή απόδοση.

6. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική εργασία

Με την ολοκλήρωση της μελέτης, από την ανάλυση που προηγήθηκε, εξάγονται βασικά συμπεράσματα, καθώς διατυπώνονται και προτάσεις για μελλοντική εργασία.

6.1 Συμπεράσματα

Αρχικά, σχετικά με το πρόγραμμα TRNSYS, είναι ένα σημαντικό εργαλείο που προσφέρεται για την προσομοίωση διάφορων μεταβαλλόμενων συστημάτων, που ωστόσο απαιτεί προσοχή ως προς τις συνδέσεις και τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών για την αποφυγή λανθασμένων αποτελεσμάτων, ενώ στους υπολογισμούς περιέχονται και σφάλματα, που επηρεάζουν λίγο τα τελικά αποτελέσματα.

Επίσης, τα χαρακτηριστικά των μοντέλων του TRNSYS μεταβάλλονται σημαντικά για διαφορετική θερμαινόμενη επιφάνεια κατοικίας, ενώ για διαφορετική περιοχή αν δεν διατηρούνται σταθερά – όπως σε μερικές περιπτώσεις –, η διαφορά τους είναι μικρότερη.

Όπως έχει προαναφερθεί, οι όγκοι των δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού δεν είναι ρεαλιστικοί (θα περίμενε κανείς μικρότερα δοχεία «φυσιολογικά») λόγω των θεωρήσεων ως προς το Ζ.Ν.Χ. (σταθερά διαθέσιμη θερμότητα στους 60 °C ανεξαρτήτως ζήτησης), καθώς και λόγω σφαλμάτων και της ικανοποίησης της σύγκλισης του προγράμματος.

Ακόμα, η συνολική συμπεριφορά του συστήματος είναι πολύ ικανοποιητική, αφού η θερμοκρασία των κτιρίων διατηρείται μεταξύ των 19.5 °C και 26.5 °C κατά τη συντριπτικά μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Επίσης, κατά το μεγαλύτερο μέρος του έτους επιτυγχάνονται οι επιθυμητές τιμές των PID ελεγκτών των καλοριφέρ και των μονάδων fan – coil, ενώ για τους ελεγκτές των ηλιακών συλλεκτών δεν επιτυγχάνονται, διότι η λειτουργία τους περιορίζεται και από το κριτήριο που συνδέει την παροχή με την επιφάνεια των συλλεκτών. Διαγράμματα συμπεριφοράς του συστήματος για περισσότερες περιπτώσεις παρατίθενται στο παράρτημα στο τέλος της εργασίας.

Επιπλέον, όπως φάνηκε, ο λέβητας στις κατοικίες της Καστοριάς, λειτουργεί με σημαντικά μεγαλύτερη συχνότητα από τις άλλες περιοχές, ιδίως το καλοκαίρι, οδηγώντας σε μερικές περιπτώσεις και σε μικρότερο δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού (κατοικία 100 m² Καστοριάς για σενάριο 1 και 2).

Όπως αποδείχθηκε, ιδιαίτερη επίδραση στις τελικές ετήσιες καταναλώσεις του συστήματος έχει τόσο η τοποθεσία και το εμβαδόν της θερμαινόμενης επιφάνειας, όσο και το σενάριο της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται η θερμαινόμενη επιφάνεια, η κατανάλωση ενέργειας του λέβητα μειώνεται, η κατανάλωση ενέργειας του ψύκτη στο σενάριο 2 (χωρίς δοχείο ψύξης) αυξάνεται, ενώ για τα σενάρια 1 και 3 διατηρείται περίπου σταθερή ή μειώνεται λίγο. Αναφορικά με την τοποθεσία, οι

μονοκατοικίες στην Καστοριά παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες συνολικές καταναλώσεις, λόγω του πιο ψυχρού κλίματος και άρα των υψηλότερων αναγκών θέρμανσης. Ανάμεσα στη Νάξο και στην Αθήνα, μικρότερες καταναλώσεις παρουσιάζονται στη Νάξο, στην οποία, ως νησί, επικρατεί πιο ήπιος χειμώνας (μικρότερες ανάγκες θέρμανσης) και πιο δροσερό καλοκαίρι (μικρότερες ανάγκες ψύξης).

Μάλιστα, αξίζει να τονιστεί ότι οι κατοικίες του σεναρίου 3 εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερη ετήσια κατανάλωση ενέργειας από το λέβητα (και τελικά και συνολική κατανάλωση ενέργειας) από τα άλλα σενάρια (της ίδιας τοποθεσίας και επιφάνειας), αν και διαθέτουν μεγαλύτερη συλλεκτική επιφάνεια και λέβητα με μικρότερη ονομαστική ισχύ. Η αιτία για αυτό είναι ότι η μεγαλύτερη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών οδηγεί σε μεγαλύτερο δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού, το οποίο, όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια, απαιτεί περισσότερες ενεργοποιήσεις του λέβητα για τη θέρμανση του αποθηκευμένου νερού. Όπως προαναφέρθηκε, βασική αιτία γι' αυτό είναι η θεώρηση μόνιμα διαθέσιμης θερμότητας για Z.N.X. στους 60 °C.

Έτσι, είναι εύλογο ότι η μεγαλύτερη γενικά συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σημειώνεται στην κατοικία 100 m² στην Καστοριά για το σενάριο 3, ενώ η μικρότερη στην κατοικία 300 m² στη Νάξο για το σενάριο 1.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Από την παραπάνω ανάλυση φαίνεται ότι υπάρχουν αρκετά περιθώρια για βελτίωση του συστήματος και των τελικών καταναλώσεων. Για το σκοπό αυτό, προτείνονται τα εξής:

- Χρήση κλιματικών δεδομένων για την Αθήνα και την Καστοριά από εναλλακτικές βάσεις δεδομένων (π.χ. αρχεία Energy Plus, όπως στην περίπτωση της Νάξου), αντί για τα αρχεία του Meteororm που παρέχονται από το TRNSYS, καθώς στα χρησιμοποιηθέντα αρχεία οι μεταβολές των καιρικών δεδομένων είναι απότομες με εμφάνιση ακραίων τιμών.
- Χρήση αποδοτικότερων και πιο σύγχρονων υποσυστημάτων, όπως ψύκτης προσρόφησης, γεωθερμία, αντιστρεπτή αντλία θερμότητας/ORC με δυνατότητα παραγωγής ψύξης και θέρμανσης ως κλασική αντλία θερμότητας, αλλά και ηλεκτροπαραγωγής μέσω οργανικού κύκλου Rankine, όταν δεν υπάρχει τέτοια απαίτηση και υπάρχει πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια κ.ά..
- Χρήση αποδοτικότερων τερματικών συστημάτων, όπως ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης/δροσισμού.
- Δοκιμή μοντελοποίησης του συστήματος με επιθυμητή θερμοκρασία Z.N.X. 45 °C, αντί για 60 °C, με αποτέλεσμα λιγότερες ενεργοποιήσεις του λέβητα, άρα και λιγότερη ετήσια κατανάλωση από αυτόν. Αντιστοίχως, διαφοροποίηση του κριτηρίου για σταθερή θερμοκρασία 60 °C, ακόμη και τις ώρες μηδενικής ζήτησης.

- Ακριβέστερη μοντελοποίηση του κτιρίου στο περιβάλλον του TRNSYS (περιβάλλον TRNBUILD) για καλύτερη αποτύπωση της θερμοχωρητικότητας του κτιρίου.

Ακόμα, προτείνεται να γίνει τεχνοοικονομική αξιολόγηση του συστήματος τόσο ως προς τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και αγοράς καυσίμου, όσο και προς τις τιμές αγοράς και συντήρησης (όπου απαιτείται) των επιμέρους στοιχείων του συνολικού συστήματος.

Τέλος, θα είχε ενδιαφέρον η μοντελοποίηση και η παραλλαγή του συστήματος για άλλη χώρα, άρα και κλίμα, αλλά και η σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων του TRNSYS με άλλου υπολογιστικού εργαλείου, όπως για παράδειγμα το Energy Plus.

7. Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ε.Ε. (πηγή : Eurostat, 2014) [6]	20
Σχήμα 2: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ελλάδα (πηγή : Eurostat, ανάλυση IOBE 2018) [7]	20
Σχήμα 3: Τελική κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα (πηγή : Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, 2012) [8]	21
Σχήμα 4: Συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου [10].....	22
Σχήμα 5: Ηλεκτρικός θερμοπομπός (convector) [11].....	22
Σχήμα 6: Ποσοστιαία κατανομή κατανάλωσης θερμικής ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στην Ελλάδα (2011 – 2012) [13]	23
Σχήμα 7: Απεικόνιση αντλίας θερμότητας [15]	24
Σχήμα 8: Σχηματική απεικόνιση συστήματος ηλιοθερμίας [18]	25
Σχήμα 9: Απλοποιημένο περίγραμμα κάτοψης κτιρίου (20m × 10m)	27
Σχήμα 10: Άδειο κεντρικό παράθυρο του Simulation Studio	40
Σχήμα 11: Άδειο φύλλο συναρμολόγησης (Assembly Panel) του Simulation Studio	40
Σχήμα 12: Εικονίδιο εξίσωσης στο TRNSYS	41
Σχήμα 13: Παράθυρο σύνδεσης ανάμεσα σε μια αντλία μεταβλητών στροφών και ένα ηλιακό συλλέκτη σωλήνων κενού	42
Σχήμα 14: Πρώτη καρτέλα παραθύρου proforma ηλιακού συλλέκτη σωλήνων κενού (μοντέλο 71).....	43
Σχήμα 15: Καρτέλα παραμέτρων μοντέλου ηλιακών συλλεκτών τεχνολογίας κενού (μοντέλο 71).....	44
Σχήμα 16: Εικονίδιο αναγνώστη δεδομένων.....	46
Σχήμα 17: Εικονίδιο online plotter	47
Σχήμα 18: Εικονίδιο εκτυπωτή	47
Σχήμα 19: Εικονίδιο printegrator.....	47
Σχήμα 20: Εικονίδιο καιρικών δεδομένων (Type 15-6/15-3)	48
Σχήμα 21: Εικονίδιο μοντέλου μονοζωνικού κτιρίου	48
Σχήμα 22: Εικονίδιο θερμοστάτη χώρου	49
Σχήμα 23: Εικονίδιο aquastat	49
Σχήμα 24: Εικονίδιο αντλίας σταθερών στροφών.....	49
Σχήμα 25: Εικονίδιο αντλίας μεταβλητών στροφών	49
Σχήμα 26: Εικονίδιο ελεγκτή PID	50
Σχήμα 27: Εικονίδιο κυλινδρικού δοχείου αποθήκευσης με ενσωματωμένο εναλλάκτη θερμότητας	50
Σχήμα 28: Εικονίδιο λέβητα φυσικού αερίου	51
Σχήμα 29: Εικονίδιο του ηλιακού συλλέκτη σωλήνων κενού	51
Σχήμα 30: Εικονίδιο μοντέλου καλοριφέρ	51
Σχήμα 31: Εικονίδιο διαχωριστή ροής.....	52
Σχήμα 32: Εικονίδιο κυλινδρικού δοχείου αποθήκευσης.....	52
Σχήμα 33: Εικονίδιο αερόψυκτου ψύκτη συμπίεσης ατμού.....	53

Σχήμα 34: Εικονίδιο μοντέλου fan – coil	53
Σχήμα 35: Αρχικό απλό σύστημα Z.N.X. με λέβητα.....	54
Σχήμα 36: Αρχικό απλό σύστημα Z.N.X. με εσωτερική αντίσταση στο δοχείο	54
Σχήμα 37: Αρχικό απλό σύστημα θέρμανσης.....	55
Σχήμα 38: Αρχικό απλό σύστημα ψύξης.....	56
Σχήμα 39: Σύστημα θέρμανσης με μοντέλο κτιρίου, θερμοστάτη και καλοριφέρ.....	56
Σχήμα 40: Σύστημα ψύξης με μοντέλο κτιρίου, θερμοστάτη και μονάδα fan – coil	57
Σχήμα 41: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δύο δοχεία αποθήκευσης	58
Σχήμα 42: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δύο δοχεία - μεγέθυνση 1	58
Σχήμα 43: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δύο δοχεία - μεγέθυνση 2	59
Σχήμα 44: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δύο δοχεία - μεγέθυνση 3	59
Σχήμα 45: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δοχείο μόνο για θέρμανση – Z.N.X.	60
Σχήμα 46: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δοχείο μόνο για θέρμανση – Z.N.X. – μεγέθυνση 1.....	60
Σχήμα 47: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δοχείο μόνο για θέρμανση – Z.N.X. – μεγέθυνση 2.....	61
Σχήμα 48: Συνολικό σύστημα για σενάριο με δοχείο μόνο για θέρμανση – Z.N.X. – μεγέθυνση 3.....	61
Σχήμα 49: Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα συνολικού συστήματος για σενάριο με δοχεία και για θέρμανση – Z.N.X. και για ψύξη	62
Σχήμα 50: Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα συνολικού συστήματος για σενάριο με δοχείο αποθήκευσης θερμότητας μόνο για θέρμανση – Z.N.X.	63
Σχήμα 51: Διακύμανση των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια του έτους στη Νάξο.....	66
Σχήμα 52: Διακύμανση των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια του έτους στην Αθήνα...	67
Σχήμα 53: Διακύμανση των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια του έτους στην Καστοριά	67
Σχήμα 54: Κατανάλωση Z.N.X. ανά άτομο εντός της ημέρας [19]	68
Σχήμα 55: Μεταβολή του συνολικού όγκου των δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού ανά περίπτωση.....	72
Σχήμα 56: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του λέβητα ανά περίπτωση	74
Σχήμα 57: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του καλοριφέρ ανά περίπτωση	77
Σχήμα 58: Μεταβολή του όγκου των δοχείων ψύξης ανά περίπτωση	79
Σχήμα 59: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του ψύκτη ανά περίπτωση	81
Σχήμα 60: Διακύμανση θερμοκρασίας Z.N.X. για όγκο δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού 500 L, κατοικία Αθήνας 200 m ² και το σενάριο 1.....	89
Σχήμα 61: Διακύμανση θερμοκρασίας Z.N.X. για όγκο δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού 800 L, κατοικία Αθήνας 200 m ² και το σενάριο 1.....	89
Σχήμα 62: Διακύμανση θερμοκρασίας Z.N.X. για όγκο δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού 1000 L, κατοικία Αθήνας 200 m ² και το σενάριο 1.....	90
Σχήμα 63: Διακύμανση θερμοκρασίας Z.N.X. για συνολικό όγκο δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού 1200 L, κατοικία Αθήνας 200 m ² και το σενάριο 1.....	90

Σχήμα 64: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για όγκο δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού 800 L, κατοικία Αθήνας 200 m ² και το σενάριο 3.....	91
Σχήμα 65: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για όγκο δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού 1000 L, κατοικία Αθήνας 200 m ² και το σενάριο 3.....	92
Σχήμα 66: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για συνολικό όγκο δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού 1200 L, κατοικία Αθήνας 200 m ² και το σενάριο 3.....	92
Σχήμα 67: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για συνολικό όγκο δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού 1400 L, κατοικία Αθήνας 200 m ² και το σενάριο 3.....	93
Σχήμα 68: Διακύμανση θερμοκρασίας Ζ.Ν.Χ. για συνολικό όγκο δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού 1600 L, κατοικία Αθήνας 200 m ² και το σενάριο 3.....	93
Σχήμα 69: Θερμοκρασία της κατοικίας των 200 m ² στη Νάξο κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1.....	95
Σχήμα 70: PLR του λέβητα κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	96
Σχήμα 71: PLR του ψύκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	97
Σχήμα 72: PLR του ψύκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 2.....	98
Σχήμα 73: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	99
Σχήμα 74: Θερμοκρασίες δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού και εξόδου του συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1 ...	100
Σχήμα 75: Θερμοκρασίες του δοχείου αποθήκευσης για την ψύξη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	101
Σχήμα 76: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	102
Σχήμα 77: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου των καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	102
Σχήμα 78: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	103
Σχήμα 79: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	104
Σχήμα 80: PLR λέβητα στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	105
Σχήμα 81: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	105
Σχήμα 82: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	106
Σχήμα 83: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου καλοριφέρ στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	106
Σχήμα 84: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	107

Σχήμα 85: PLR λέβητα στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	108
Σχήμα 86: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1	108
Σχήμα 87: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1	109
Σχήμα 88: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου καλοριφέρ στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1	109
Σχήμα 89: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1	110
Σχήμα 90: PLR ψύκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	111
Σχήμα 91: PLR ψύκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 2.....	111
Σχήμα 92: Θερμοκρασίες δοχείου ψύξης στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	112
Σχήμα 93: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	113
Σχήμα 94: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1	113
Σχήμα 95: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου μονάδων fan – coil στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1	114
Σχήμα 96: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1	114
Σχήμα 97: PLR ψύκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	115
Σχήμα 98: PLR ψύκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 2.....	116
Σχήμα 99: PLR λέβητα στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	116
Σχήμα 100: Θερμοκρασίες δοχείου ψύξης στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	117
Σχήμα 101: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	117
Σχήμα 102: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	118
Σχήμα 103: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου μονάδων fan – coil στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1.....	118
Σχήμα 104: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 1	120
Σχήμα 105: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m ² στη Νάξο και το σενάριο 2	121

Σχήμα 106: Θερμοκρασία της κατοικίας των 200 m ² στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1.....	122
Σχήμα 107: PLR του λέβητα της κατοικίας των 200 m ² στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1.....	123
Σχήμα 108: PLR του ψύκτη της κατοικίας των 200 m ² στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1.....	123
Σχήμα 109: PLR του ψύκτη της κατοικίας των 200 m ² στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 2.....	124
Σχήμα 110: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	125
Σχήμα 111: Θερμοκρασίες δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού και εξόδου συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	125
Σχήμα 112: Θερμοκρασίες του δοχείου ψύξης κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	126
Σχήμα 113: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1.....	127
Σχήμα 114: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου των καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	127
Σχήμα 115: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1.....	128
Σχήμα 116: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	128
Σχήμα 117: PLR λέβητα στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1.....	129
Σχήμα 118: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	130
Σχήμα 119: PLR λέβητα στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1.....	130
Σχήμα 120: Θερμοκρασία κτιρίου στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	131
Σχήμα 121: PLR ψύκτη στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1.....	132
Σχήμα 122: PLR ψύκτη στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 2.....	132
Σχήμα 123: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1.....	133
Σχήμα 124: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	134
Σχήμα 125: PLR λέβητα στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1.....	134
Σχήμα 126: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου του καλοριφέρ στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	135

Σχήμα 127: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	136
Σχήμα 128: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 2	137
Σχήμα 129: Θερμοκρασία της κατοικίας των 200 m ² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1.....	138
Σχήμα 130: PLR λέβητα της κατοικίας των 200 m ² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1.....	138
Σχήμα 131: PLR ψύκτη της κατοικίας των 200 m ² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1	139
Σχήμα 132: PLR ψύκτη της κατοικίας των 200 m ² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 2.....	140
Σχήμα 133: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. της κατοικίας των 200 m ² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 1.....	140
Σχήμα 134: Θερμοκρασίες δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού και εξόδου συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και σενάριο 1.....	141
Σχήμα 135: Θερμοκρασίες του δοχείου ψύξης κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	141
Σχήμα 136: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1.....	142
Σχήμα 137: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου του καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	143
Σχήμα 138: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου της μονάδας fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1.....	143
Σχήμα 139: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	144
Σχήμα 140: PLR λέβητα στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1.....	144
Σχήμα 141: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	145
Σχήμα 142: PLR λέβητα στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1.....	146
Σχήμα 143: Θερμοκρασία κτιρίου στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	147
Σχήμα 144: PLR ψύκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1.....	148
Σχήμα 145: PLR ψύκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 2.....	148
Σχήμα 146: Θερμοκρασία κτιρίου στις 20 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	149
Σχήμα 147: PLR λέβητα στις 20 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1.....	150

Σχήμα 148: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Z.N.X. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 20 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	150
Σχήμα 149: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου καλοριφέρ στις 20 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	151
Σχήμα 150: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	152
Σχήμα 151: Ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τα μέρη του συνολικού συστήματος για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 2	153
Σχήμα 152: Ενεργειακές κλάσεις κτιρίων κατοικιών βάσει της μέσης ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας [31]	158
Σχήμα 153: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Z.N.X. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	183
Σχήμα 154: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	183
Σχήμα 155: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου του καλοριφέρ στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	184
Σχήμα 156: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Z.N.X. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	184
Σχήμα 157: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	184
Σχήμα 158: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου του καλοριφέρ στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	185
Σχήμα 159: Θερμοκρασίες δοχείου ψύξης στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1	185
Σχήμα 160: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Z.N.X. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1.....	185
Σχήμα 161: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1.....	186
Σχήμα 162: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Z.N.X. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1.....	186
Σχήμα 163: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 1.....	186
Σχήμα 164: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Z.N.X. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	187
Σχήμα 165: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	187
Σχήμα 166: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου καλοριφέρ στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	187
Σχήμα 167: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Z.N.X. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	188
Σχήμα 168: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	188

Σχήμα 169: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου καλοριφέρ στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1.....	188
Σχήμα 170: Θερμοκρασίες δοχείου ψύξης στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	189
Σχήμα 171: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1.....	189
Σχήμα 172: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	189
Σχήμα 173: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου μονάδων fan – coil στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	190
Σχήμα 174: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1	190
Σχήμα 175: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 1.....	190
Σχήμα 176: Θερμοκρασία της κατοικίας των 100 m ² στη Νάξο κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 3.....	191
Σχήμα 177: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στη Νάξο και το σενάριο 3	191
Σχήμα 178: PLR του λέβητα κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στη Νάξο και το σενάριο 3.....	192
Σχήμα 179: PLR του ψύκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στη Νάξο και το σενάριο 3.....	192
Σχήμα 180: Θερμοκρασίες του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου του συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στη Νάξο και το σενάριο 3	192
Σχήμα 181: Θερμοκρασίες του δοχείου ψύξης κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στη Νάξο και το σενάριο 3	193
Σχήμα 182: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στη Νάξο και το σενάριο 3.....	193
Σχήμα 183: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου των καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στη Νάξο και το σενάριο 3	193
Σχήμα 184: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στη Νάξο και το σενάριο 3.....	194
Σχήμα 185: Θερμοκρασία της κατοικίας των 100 m ² στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 2.....	194
Σχήμα 186: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 2	194
Σχήμα 187: PLR του λέβητα κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 2	195
Σχήμα 188: PLR του ψύκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 2	195
Σχήμα 189: Θερμοκρασίες του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου του συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 2	195

Σχήμα 190: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 2.....	196
Σχήμα 191: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου των καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 2	196
Σχήμα 192: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m ² στην Αθήνα και το σενάριο 2.....	196
Σχήμα 193: Θερμοκρασία της κατοικίας των 300 m ² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 2.....	197
Σχήμα 194: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 2.....	197
Σχήμα 195: PLR του λέβητα κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 2	197
Σχήμα 196: PLR του ψύκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 2	198
Σχήμα 197: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου του συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 2.....	198
Σχήμα 198: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 2.....	198
Σχήμα 199: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου των καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 2	199
Σχήμα 200: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m ² στην Καστοριά και το σενάριο 2.....	199

8. Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Στόχοι Ε.Ε. για τα έτη 2020, 2030 και 2050 [3], [4]	19
Πίνακας 2: Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων [12]	28
Πίνακας 3: Συνολικοί συντελεστές θερμοπερατότητας για εξεταζόμενες κατοικίες	28
Πίνακας 4: Θερμοχωρητικότητα του εσωτερικού του κτιρίου για κάθε μέγεθος κατοικίας	28
Πίνακας 5: Σταθερές παράμετροι κατοικιών.....	29
Πίνακας 6: Ιδιότητες μίγματος νερού - γλυκόλης (66 % - 34 %) [20]	29
Πίνακας 7: Σταθερά στοιχεία δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού	30
Πίνακας 8: Ιδιότητες νερού.....	30
Πίνακας 9: Σταθερές παράμετροι λειτουργίας λέβητα.....	30
Πίνακας 10: Σταθερές παράμετροι λειτουργίας καλοριφέρ.....	31
Πίνακας 11: Παράμετροι λειτουργίας αντλίας σταθερών στροφών λέβητα.....	31
Πίνακας 12: Σταθερές παράμετροι λειτουργίας αντλιών μεταβλητών στροφών.....	31
Πίνακας 13: Σταθερές παράμετροι λειτουργίας ψύκτη	32
Πίνακας 14: Σταθερά χαρακτηριστικά αντλίας μεταβλητών στροφών fan – coil	33
Πίνακας 15: Σταθερά στοιχεία δοχείου αποθήκευσης νερού για ψύξη.....	33
Πίνακας 16: Σταθερές παράμετροι λειτουργίας αντλίας σταθερών στροφών ψύκτη	33
Πίνακας 17: Σταθερά χαρακτηριστικά αντλίας μεταβλητών στροφών ψύκτη	34
Πίνακας 18: Γενικά χαρακτηριστικά των προσομοιώσεων	65
Πίνακας 19: Μεταβολή της κλίσης των ηλιακών συλλεκτών ανά περιοχή.....	69
Πίνακας 20: Μεταβολή της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών ανά σενάριο και κατοικία	69
Πίνακας 21: Μεταβολή του εύρους παροχής του ρευστού που διέρχεται από τους συλλέκτες ανά σενάριο.....	69
Πίνακας 22: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας των ηλιακών συλλεκτών ανά περίπτωση	70
Πίνακας 23: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας των ηλιακών συλλεκτών ανά περίπτωση.....	70
Πίνακας 24: Μεταβολή της χωρητικότητας του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1.....	70
Πίνακας 25: Μεταβολή της χωρητικότητας του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2.....	71
Πίνακας 26: Μεταβολή του συνολικού όγκου των δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3.....	71
Πίνακας 27: Μεταβολή της ισχύος του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1	73
Πίνακας 28: Μεταβολή της ισχύος του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2	73

Πίνακας 29: Μεταβολή της ισχύος του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3	73
Πίνακας 30: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1	74
Πίνακας 31: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2	74
Πίνακας 32: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3	75
Πίνακας 33: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1	75
Πίνακας 34: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2	75
Πίνακας 35: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του λέβητα ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3	75
Πίνακας 36: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1	76
Πίνακας 37: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2	76
Πίνακας 38: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3	76
Πίνακας 39: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1	77
Πίνακας 40: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2	77
Πίνακας 41: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3	78
Πίνακας 42: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1	78
Πίνακας 43: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2	78
Πίνακας 44: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του καλοριφέρ ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3	78
Πίνακας 45: Μεταβολή της χωρητικότητας του δοχείου ψύξης ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1	79
Πίνακας 46: Μεταβολή της χωρητικότητας του δοχείου ψύξης ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1	79
Πίνακας 47: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του ψύκτη ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 1	80
Πίνακας 48: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του ψύκτη ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 2	80
Πίνακας 49: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος του ψύκτη ανά κατοικία και περιοχή για το σενάριο 3	80

Πίνακας 50: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1.....	81
Πίνακας 51: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2.....	82
Πίνακας 52: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3.....	82
Πίνακας 53: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1.....	82
Πίνακας 54: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2.....	82
Πίνακας 55: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του ψύκτη ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3.....	83
Πίνακας 56: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1.....	83
Πίνακας 57: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2.....	84
Πίνακας 58: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3.....	84
Πίνακας 59: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1.....	84
Πίνακας 60: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2.....	84
Πίνακας 61: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της αντλίας του fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3.....	84
Πίνακας 62: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1.....	85
Πίνακας 63: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2.....	85
Πίνακας 64: Μεταβολή της ονομαστικής παροχής των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3.....	85
Πίνακας 65: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 1.....	85
Πίνακας 66: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 2.....	86
Πίνακας 67: Μεταβολή της ονομαστικής ισχύος των ανεμιστήρων των fan – coil ανά κατοικία και ανά περιοχή για το σενάριο 3.....	86
Πίνακας 68: Αντιστοίχιση μηνών σε ώρες προσομοίωσης	87
Πίνακας 69: Ετήσια κατανάλωση και PLR του λέβητα συναρτήσει της ονομαστικής του ισχύος για δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού όγκου 700 L	88
Πίνακας 70: Ετήσια κατανάλωση λέβητα συναρτήσει του όγκου του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού για το σενάριο 1	89

Πίνακας 71: Συντελεστής μετατροπής της τελικής κατανάλωσης κτιρίου σε πρωτογενή ενέργεια [12].....	119
Πίνακας 72: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m ² στη Νάξο και σενάριο 1	119
Πίνακας 73: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m ² στη Νάξο και σενάριο 2	120
Πίνακας 74: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m ² στην Αθήνα και σενάριο 1	135
Πίνακας 75: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m ² στην Αθήνα και σενάριο 2	136
Πίνακας 76: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m ² στην Καστοριά και σενάριο 1	151
Πίνακας 77: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για κατοικία 200 m ² στην Καστοριά και σενάριο 2	152
Πίνακας 78: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των συστημάτων για όλες τις περιπτώσεις της Νάξου.....	154
Πίνακας 79: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των συστημάτων για όλες τις περιπτώσεις της Αθήνας.....	154
Πίνακας 80: Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας των συστημάτων για όλες τις περιπτώσεις της Καστοριάς.....	155
Πίνακας 81: Συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και ενεργειακή κλάση κατοικιών	159

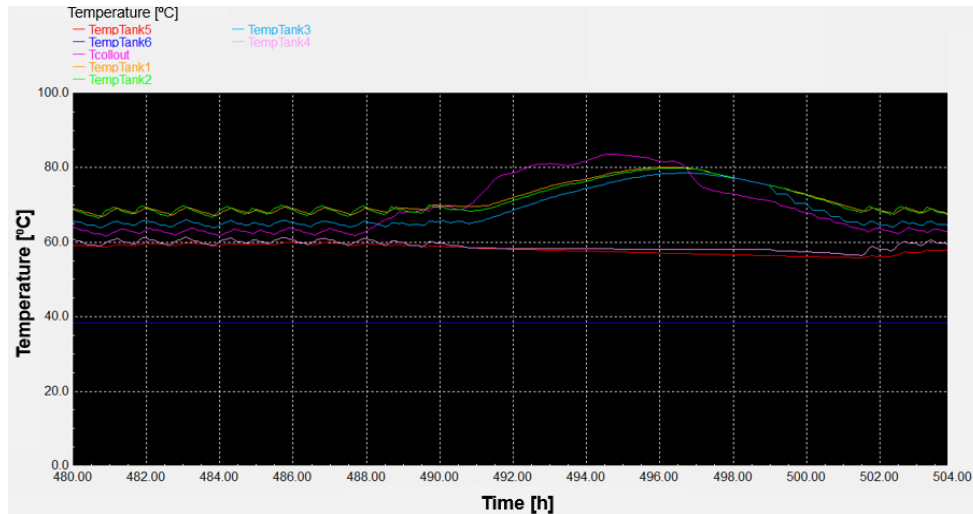
9. Κατάλογος Αναφορών

- [1] Α. Χαραλαμπίδης, "Σύζευξη συστήματος ORC μικρής ισχύος με οικιακό ηλιακό σύστημα και σχεδιασμός κατάλληλης διάταξης", Αθήνα, 2018.
- [2] «Causes of climate change», Climate Action - European Commission, [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/clima/change/causes_el. [Πρόσβαση 30 August 2021].
- [3] «Climate strategies & targets», Climate Action - European Commission, 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en. [Πρόσβαση 22 August 2021].
- [4] IENE, «Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας, Ετήσια Έκθεση 2020», 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.iene.gr/articlefiles/iene_meleti_2020_final1.pdf. [Πρόσβαση 22 Αύγουστος 2021].
- [5] Α. Χ. Νάστας, "Δυναμική μοντελοποίηση τυπικών κτιρίων σε Ελλάδα και Κύπρο. Εφαρμογή στη μελέτη συστήματος θέρμανσης με ηλιακή υποβοήθηση.", Αθήνα, 2018.
- [6] Ν. Ανδρίτσος, «Ενέργεια και Περιβάλλον : Εισαγωγή», 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://slideplayer.gr/slide/11550802/>. [Πρόσβαση 22 August 2021].
- [7] «διαΝΕΟσις : Αυτός είναι ο χάρτης της ενέργειας στην Ελλάδα - Πού πρέπει να δοθεί έμφαση.», Ημερήσια, 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.imerisia.gr/epiheiriseis/energeia/12782_dianeosis-aytos-einai-o-hartis-tis-energeias-stin-ellada-poy-prepei-na. [Πρόσβαση 22 August 2021].
- [8] Π. Κονιδάρη, «Ενεργειακή κατανάλωση στα Ελληνικά κτίρια», 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.indeepanalysis.gr/perivallon/energeiakh-katanalwsh-sta-ellhnika-kthria>. [Πρόσβαση 22 August 2021].
- [9] Ν. Κουτσίδης, «Τι είναι ο λέβητας συμπύκνωσης και πώς λειτουργεί;», MVG Energy Φυσικό Αέριο, 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.mvg.gr/blog/post/ti-einai-o-lebitas-sympuknosis-kai-pos-leitourgei>. [Πρόσβαση 24 August 2021].
- [10] «Κεντρική Θέρμανση, Οικονομία - Ευκολία - Ασφάλεια», Athens GAZ, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://athensgaz.gr/φυσικο-αεριο/>. [Πρόσβαση 24 August 2021].
- [11] «Θέρμανση με ηλεκτρικό ρεύμα», Charakidas, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.charakidas-store.gr/ell/categories/THERMANSI-ME-ILEKTRIKO-REYMA>. [Πρόσβαση 24 August 2021].

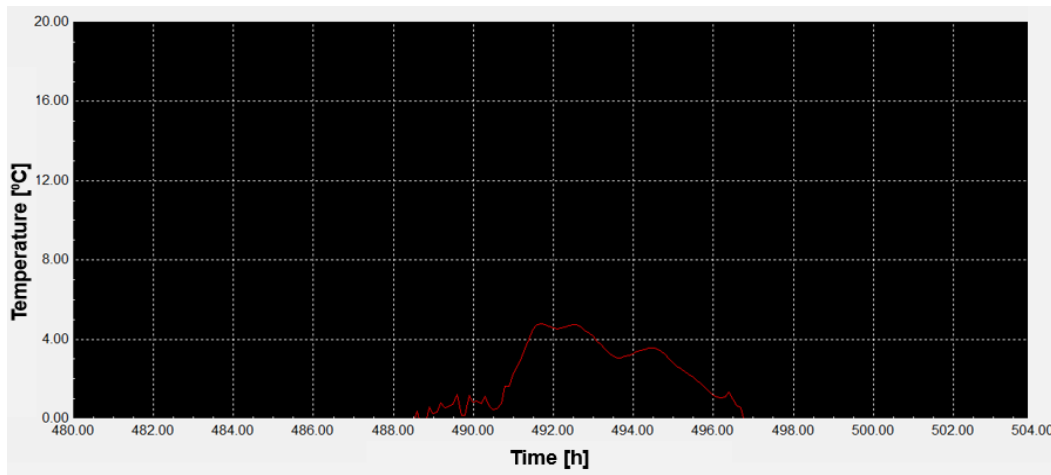
- [12] Τ.Ε.Ε., «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 - Αναλυτικές Εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης», Αθήνα, 2017.
- [13] Ε. Σ. Αρχή, «Έρευνα κατανάλωσης στα νοικοκυριά, 2011 - 2012», 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.statistics.gr/documents/20181/e74d6134-8c02-404e-a02b-aa6d959219e3>. [Πρόσβαση 30 August 2021].
- [14] «Αντλίες Θερμότητας: πώς λειτουργούν και γιατί να τις επιλέξω;», ΚΟΚΟΤΑΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.kokotas.gr/el/nea/antlies-thermotitas-pos-leitourgoun-kai-gati-na-tis-epilekso.html>. [Πρόσβαση 24 August 2021].
- [15] Τ. Γρηγορίου, «Όλα όσα πρέπει να ξέρεις πριν αγοράσεις αντλία θερμότητας», Greenpeace, 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.greenpeace.org/greece/issues/klima/2456/antlia-thermotitas/>. [Πρόσβαση 24 August 2021].
- [16] «Ψύξη απορρόφησης - προσρόφησης», ΚΑΠΕ, [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ee_psi_ksi_aporofisis.htm. [Πρόσβαση 24 August 2021].
- [17] Σ. Τουλόγλου, «Η έννοια του ZNX: Σύστημα Ζεστού Νερού Χρήσης», 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://stefouloglou.blogspot.com/2012/05/blog-post_14.html. [Πρόσβαση 25 August 2021].
- [18] Ι. Βασιλειάδης, «ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΩ - Σύστημα ZNX με χρήση Α.Π.Ε. (Ηλιοθερμία)», 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.politikos-michanikos.net/single-post/2018/02/18/εξοικονομω-συστημα-ζνχ-με-χρηση-απε-ηλιοθερμια>. [Πρόσβαση 25 August 2021].
- [19] BSI Group, BS EN 12831-3:2017, "Energy performance of buildings - Method for calculation of the design heat load - Part 3: Domestic hot water systems heat load and characterisation of needs", Module M8-2, M8-3, 2017.
- [20] «Properties of mixture Water/Glycol», VDI Verlag GmbH, Dusseldorf, 1991. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://detector-cooling.web.cern.ch/data/Table%208-3-1.htm>. [Πρόσβαση 29 August 2021].
- [21] Κ. Αντωνόπουλος, "Θερμικά - ηλιακά συστήματα, μέρος πρώτο", Αθήνα, 2011.
- [22] Solar Energy Laboratory, TRNSYS 18 Vol. 1 - Getting Started, Univ. of Wisconsin-Madison, 2017.

- [23] Ν. Ζέρβας, "Προσομοίωση συστημάτων ηλιακού κλιματισμού με μηχανή απορρόφησης και σύγκρισή τους με τη βοήθεια του λογισμικού TRNSYS", Αθήνα, 2015.
- [24] Solar Energy Laboratory, TRNSYS 2018 Vol. 3 - Standard Component Library Overview, Univ. of Wisconsin-Madison, 2017.
- [25] Solar Energy Laboratory, TRNSYS 18 Vol. 4 - Mathematical Reference, Univ. of Wisconsin-Madison, 2017.
- [26] Solar Energy Laboratory, TRNSYS 18 Vol. 2 - Using the Simulation Studio, Univ. of Wisconsin-Madison, 2017.
- [27] «TESS LIBRARIES», TRNSYS, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.trnsys.com/tess-libraries/>. [Πρόσβαση 5 September 2021].
- [28] Meteotest AG, «Meteonorm Software», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://meteonorm.com/en>. [Πρόσβαση 6 September 2021].
- [29] National Renewable Energy Laboratory (NREL), «Energy Plus», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://energyplus.net/>. [Πρόσβαση 6 September 2021].
- [30] Climate.OneBuilding.Org, «Repository of free climate data for building performance simulation», [Ηλεκτρονικό]. Available: http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/GRC_Greece/index.html. [Πρόσβαση 6 September 2021].
- [31] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, «Πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης κτιρίων: Στατιστική ανάλυση για το έτος 2017», 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://bpes.ypeka.gr/wp-content/uploads/2018_01_10.ΕΤΗΣΙΑ_ΕΚΘΕΣΗ_ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ_ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ_ΝΕΟ.pdf. [Πρόσβαση 18 September 2021].

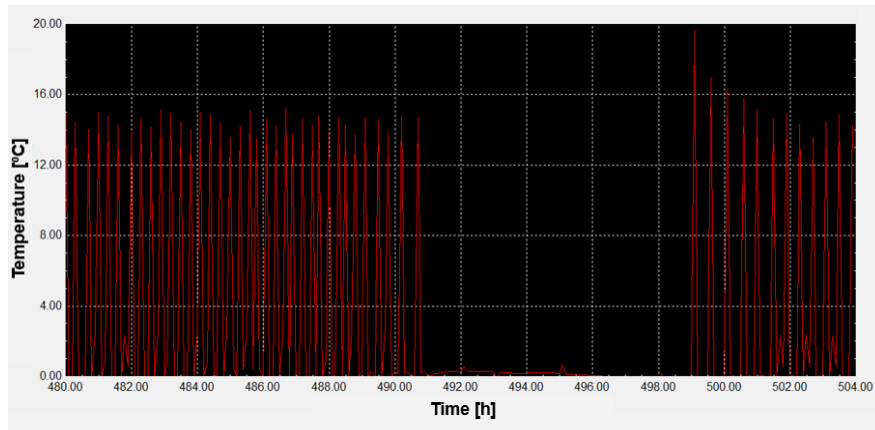
Παράρτημα Ι: Διαγράμματα συμπεριφοράς συστήματος χαρακτηριστικών ημερών



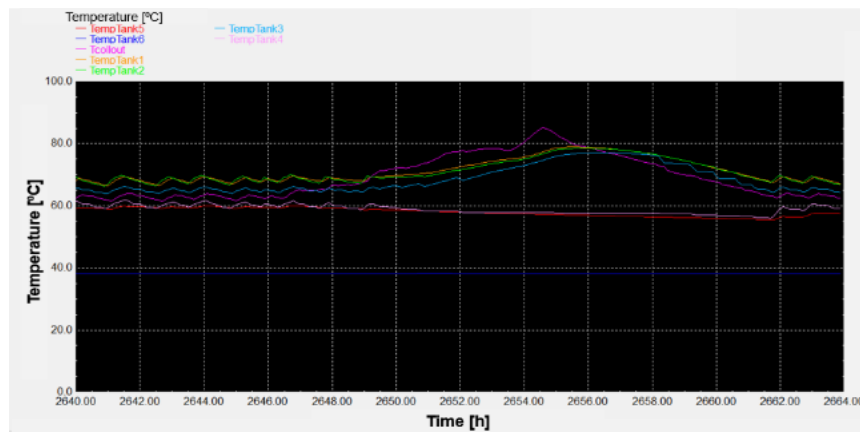
Σχήμα 153: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1



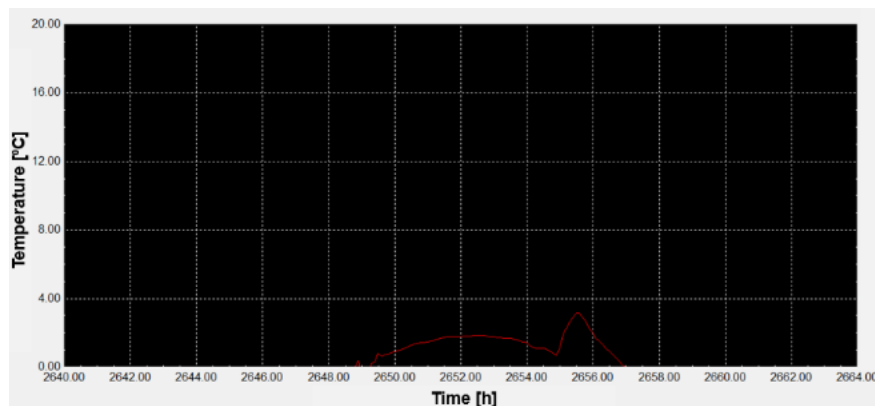
Σχήμα 154: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1



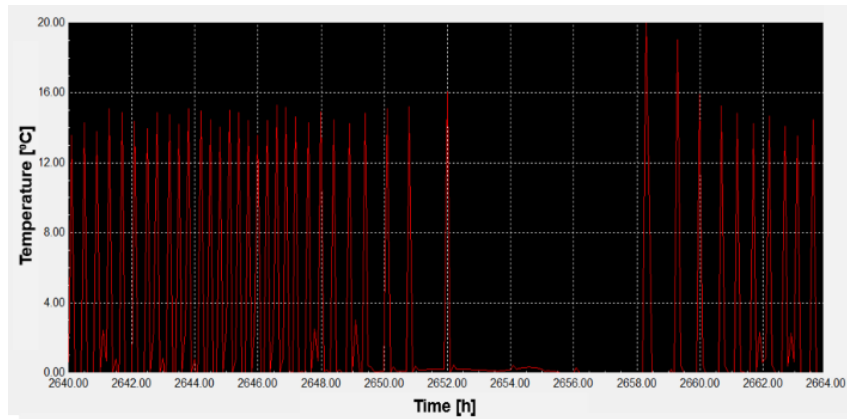
Σχήμα 155: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου του καλοριφέρ στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1



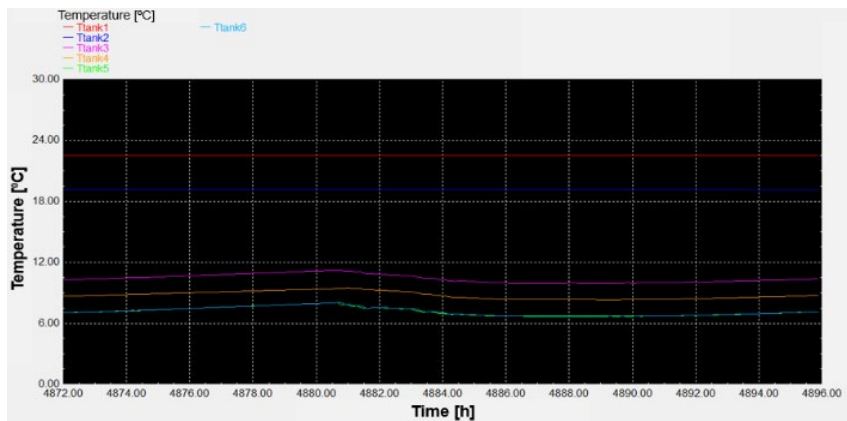
Σχήμα 156: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1



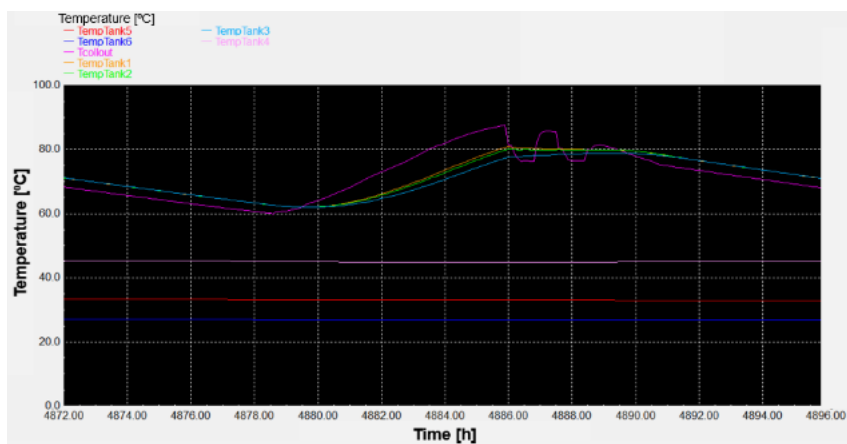
Σχήμα 157: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1



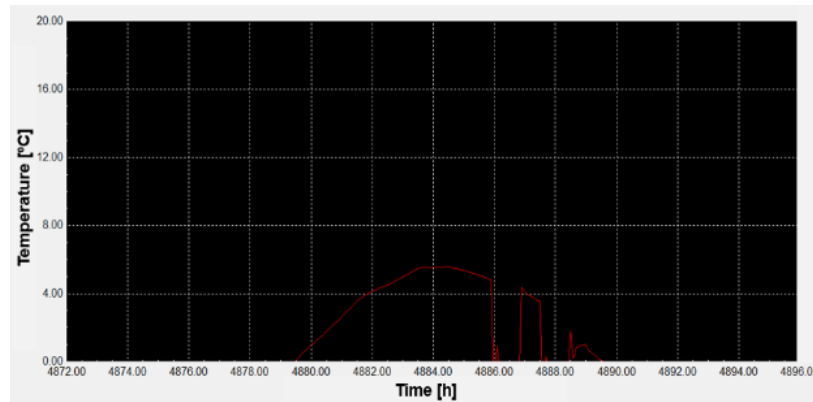
Σχήμα 158: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου του καλοριφέρ στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1



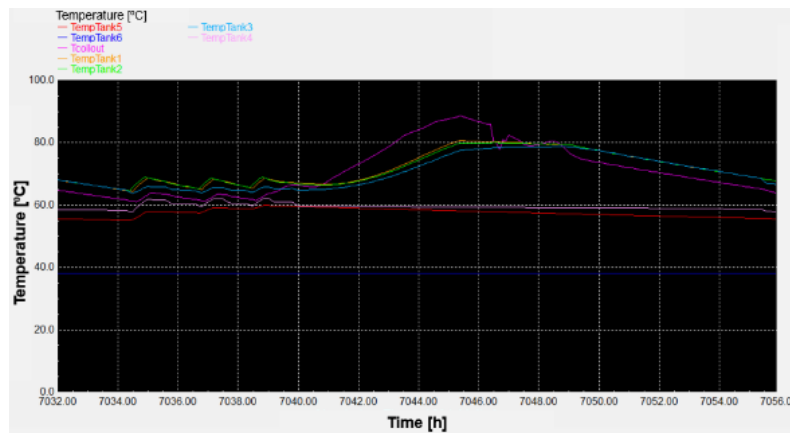
Σχήμα 159: Θερμοκρασίες δοχείου ψύξης στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1



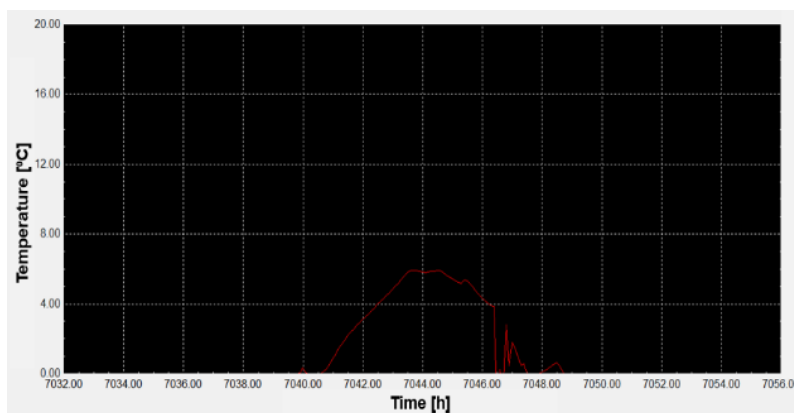
Σχήμα 160: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1



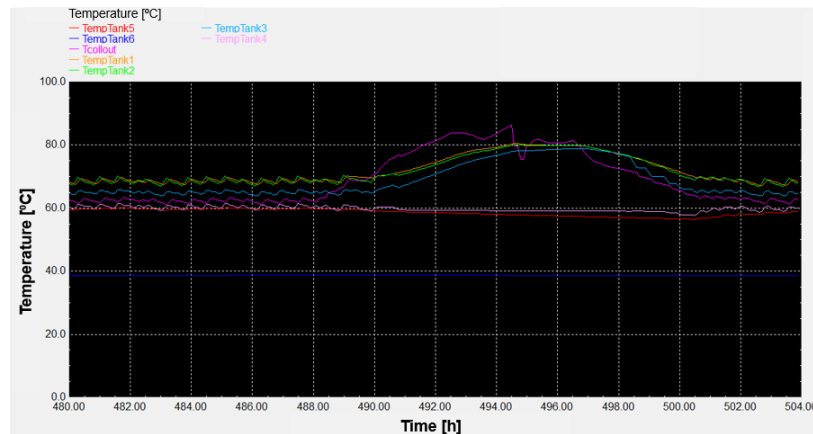
Σχήμα 161: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών στις 23 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1



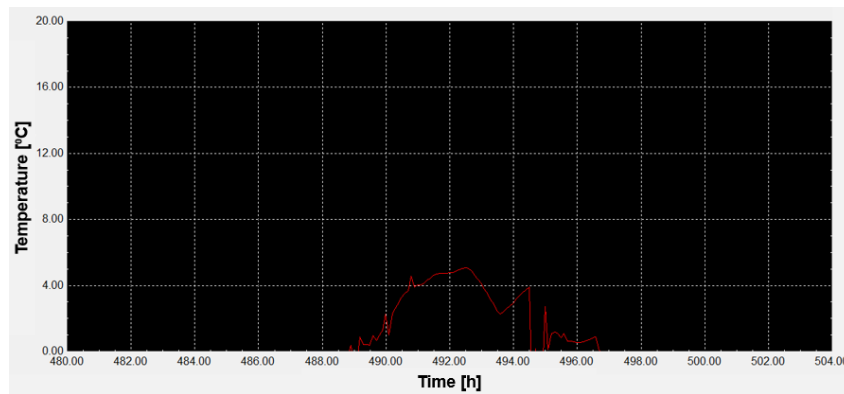
Σχήμα 162: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1



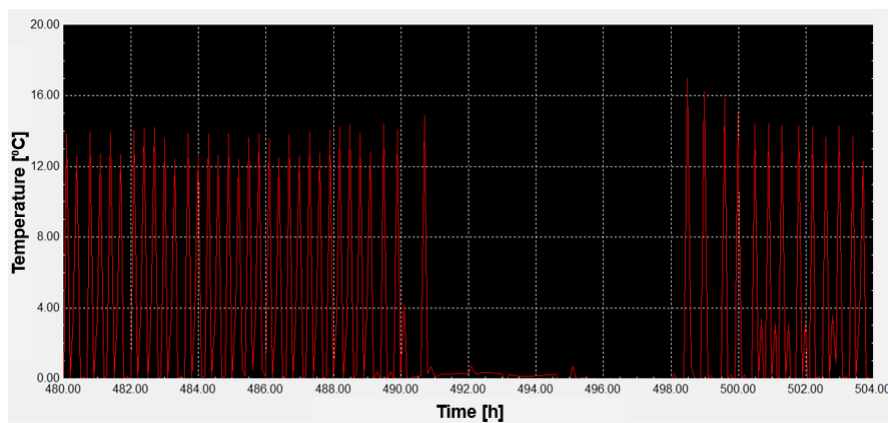
Σχήμα 163: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στην Αθήνα και το σενάριο 1



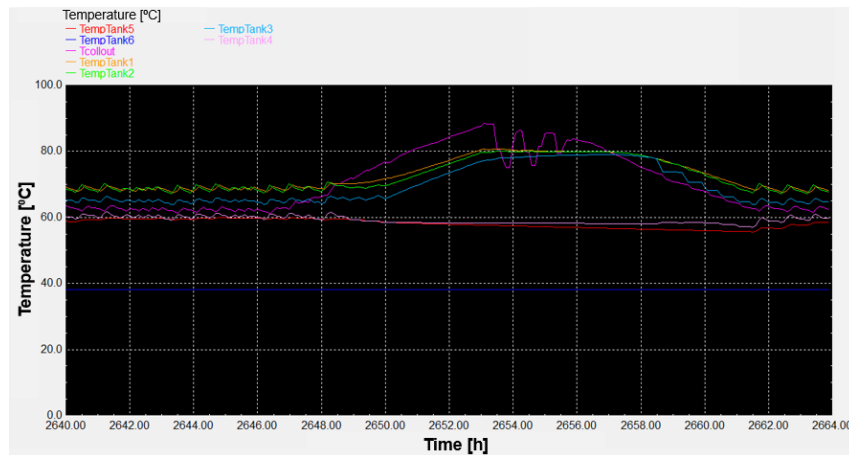
Σχήμα 164: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



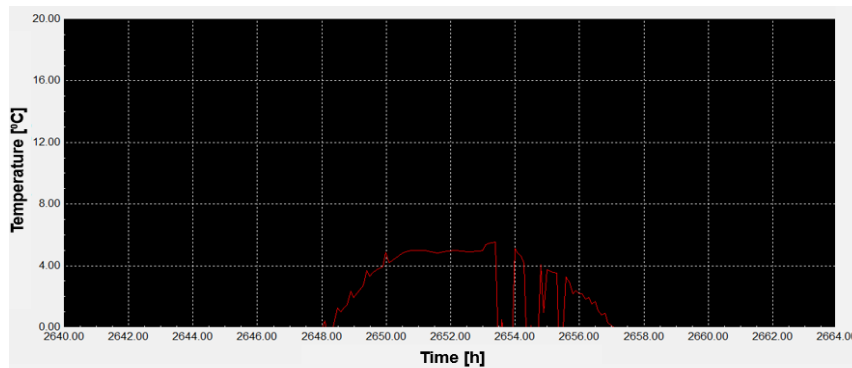
Σχήμα 165: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



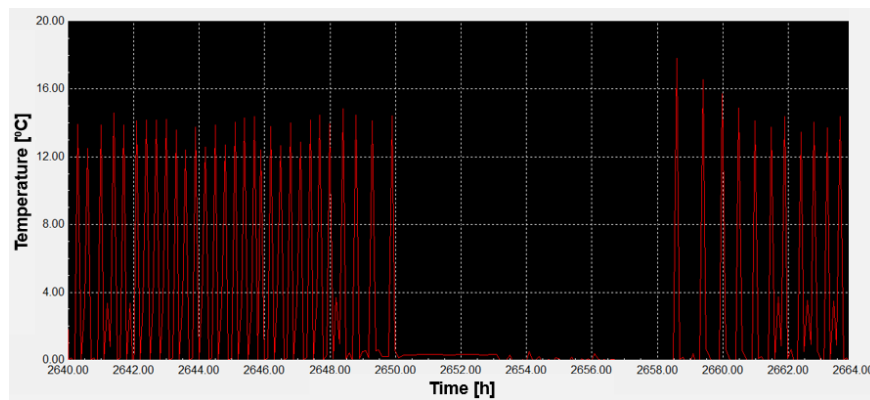
Σχήμα 166: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου καλοριφέρ στις 21 Ιανουαρίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



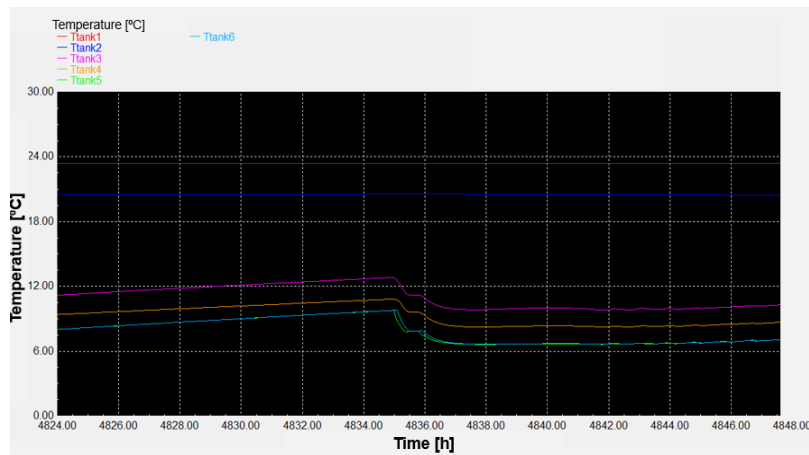
Σχήμα 167: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



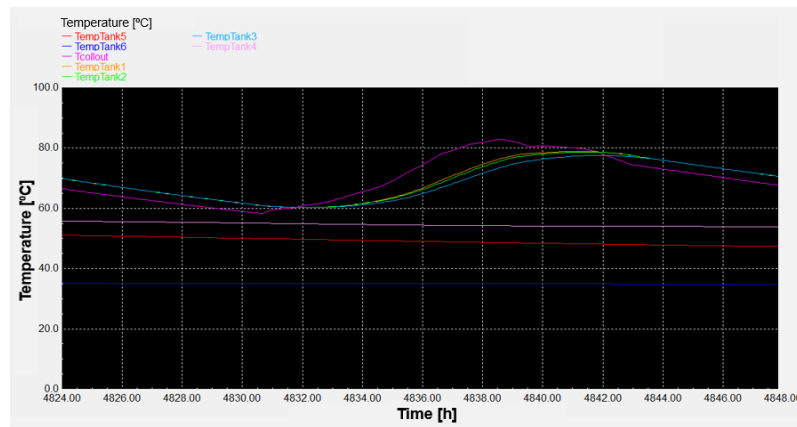
Σχήμα 168: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



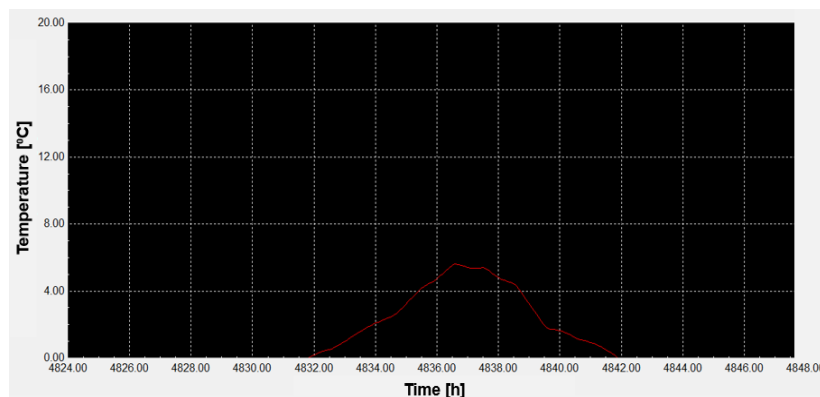
Σχήμα 169: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου καλοριφέρ στις 21 Απριλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



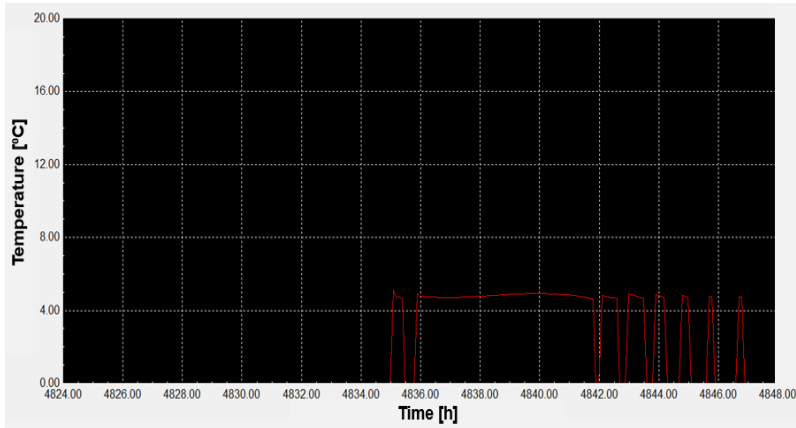
Σχήμα 170: Θερμοκρασίες δοχείου ψύξης στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



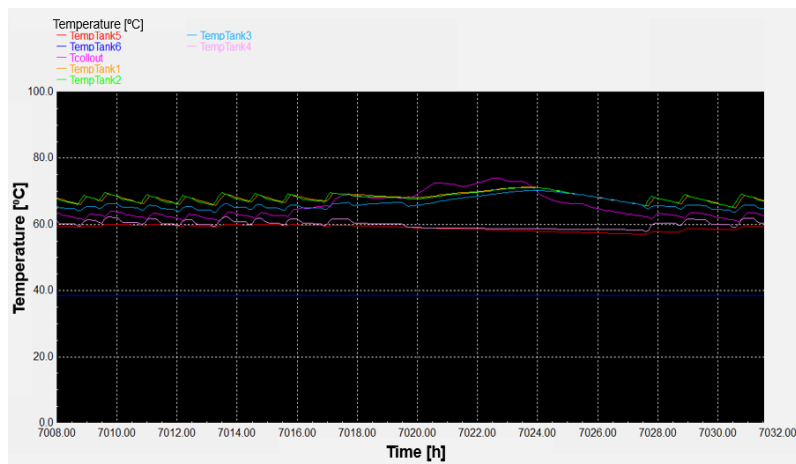
Σχήμα 171: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



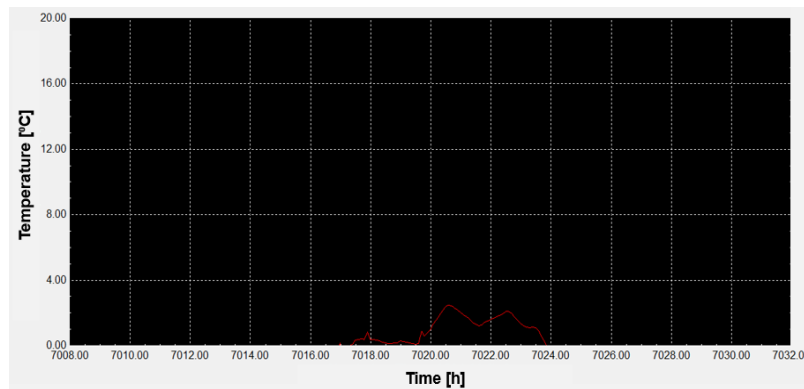
Σχήμα 172: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



Σχήμα 173: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου μονάδων fan – coil στις 21 Ιουλίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



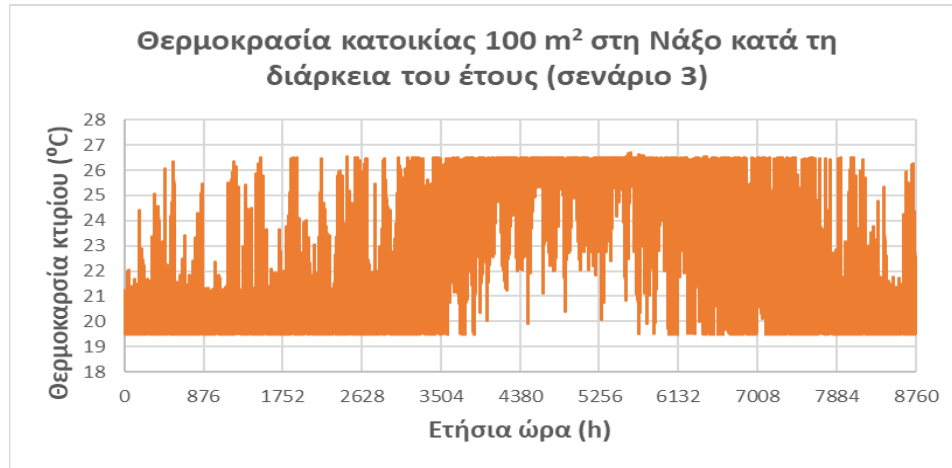
Σχήμα 174: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1



Σχήμα 175: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου ηλιακού συλλέκτη στις 21 Οκτωβρίου για την κατοικία των 200 m² στην Καστοριά και το σενάριο 1

Παράρτημα II: Διαγράμματα ετήσιας συμπεριφοράς συστήματος για τρεις ακόμα χαρακτηριστικές περιπτώσεις

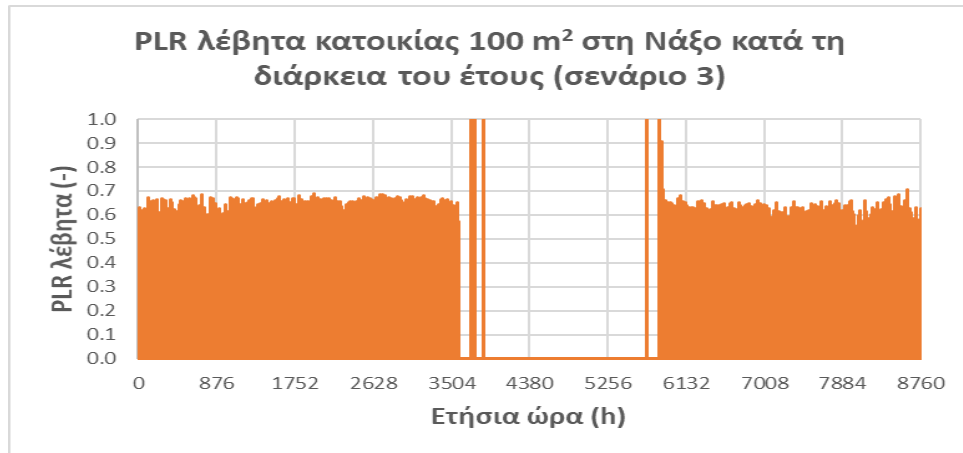
Κατοικία 100 m² στη Νάξο και σενάριο 3:



Σχήμα 176: Θερμοκρασία της κατοικίας των 100 m² στη Νάξο κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 3



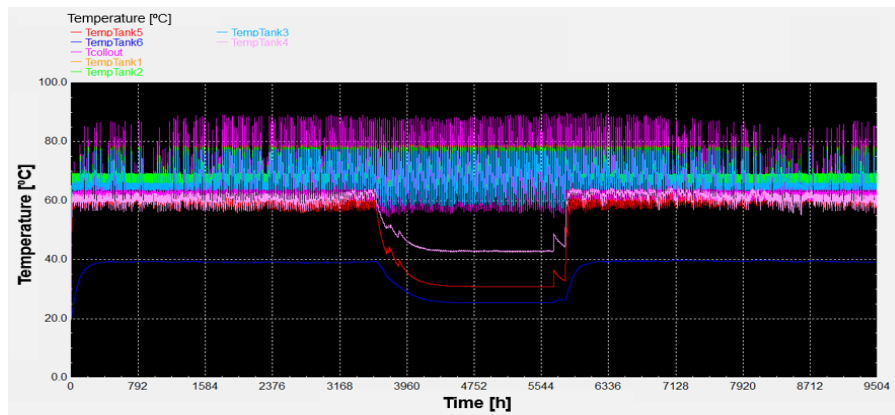
Σχήμα 177: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Z.N.X. κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στη Νάξο και το σενάριο 3



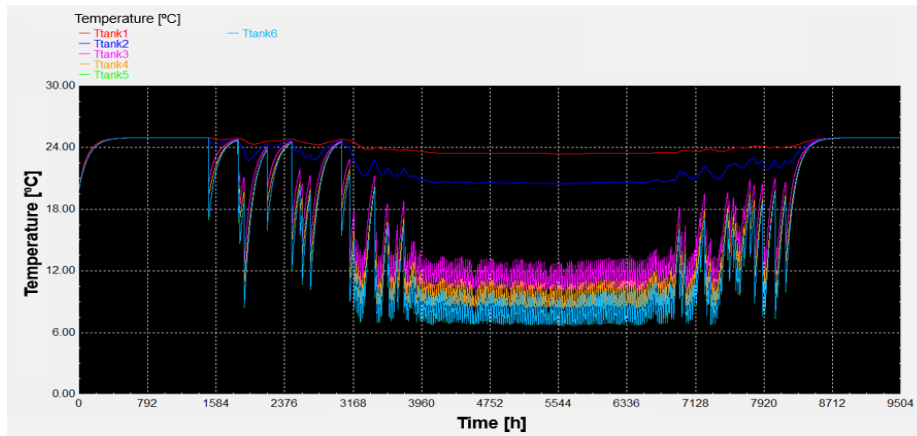
Σχήμα 178: PLR του λέβητα κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στη Νάξο και το σενάριο 3



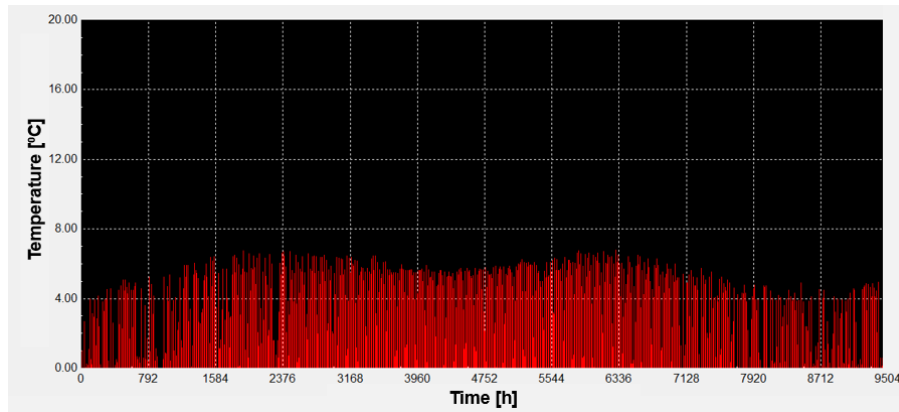
Σχήμα 179: PLR του ψύκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στη Νάξο και το σενάριο 3



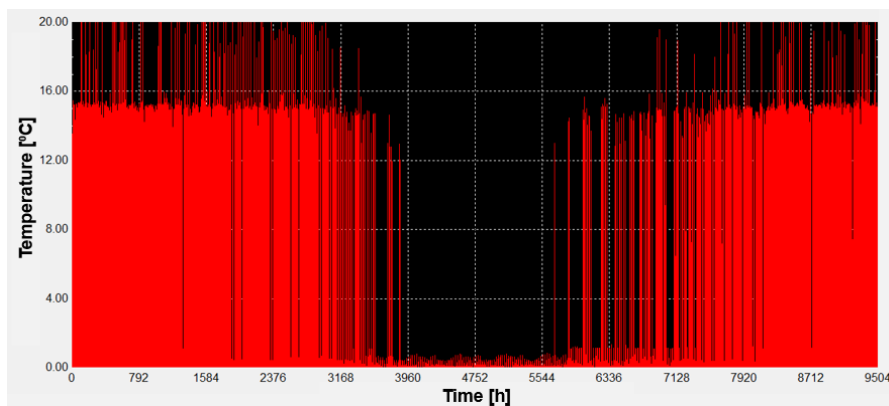
Σχήμα 180: Θερμοκρασίες του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου του συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στη Νάξο και το σενάριο 3



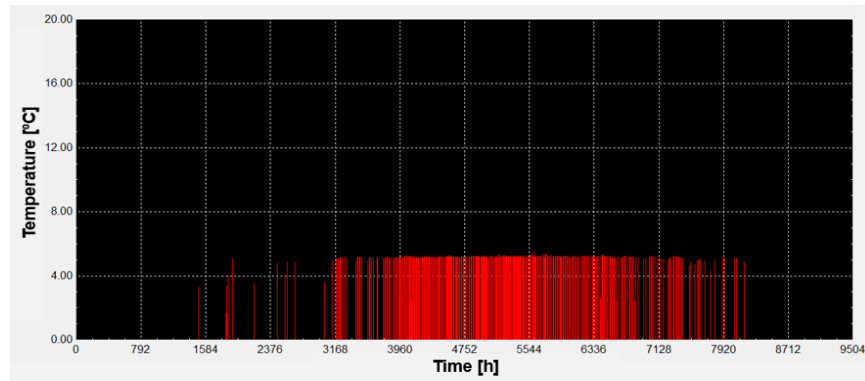
Σχήμα 181: Θερμοκρασίες του δοχείου ψύξης κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στη Νάξο και το σενάριο 3



Σχήμα 182: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στη Νάξο και το σενάριο 3

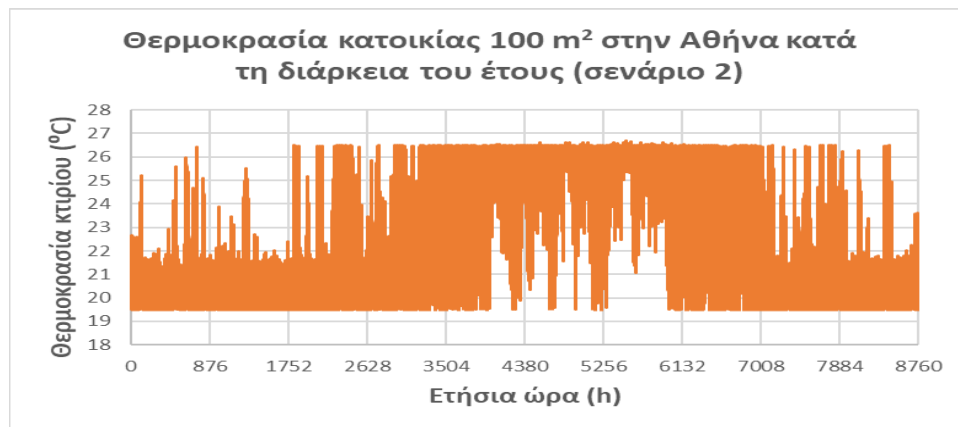


Σχήμα 183: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου των καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στη Νάξο και το σενάριο 3

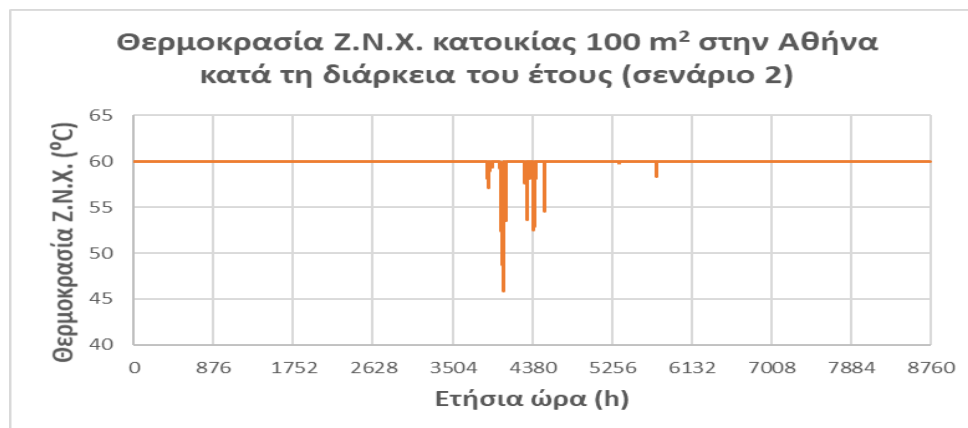


Σχήμα 184: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στη Νάξο και το σενάριο 3

Κατοικία 100 m² στην Αθήνα και σενάριο 2:



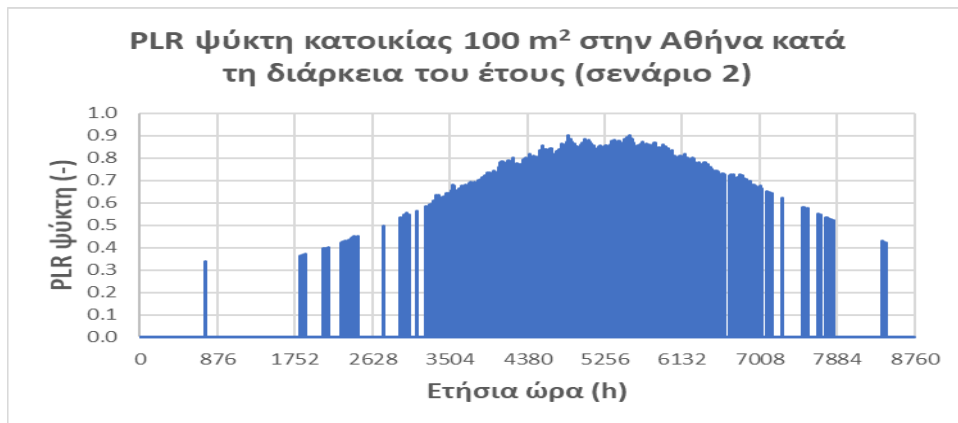
Σχήμα 185: Θερμοκρασία της κατοικίας των 100 m² στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 2



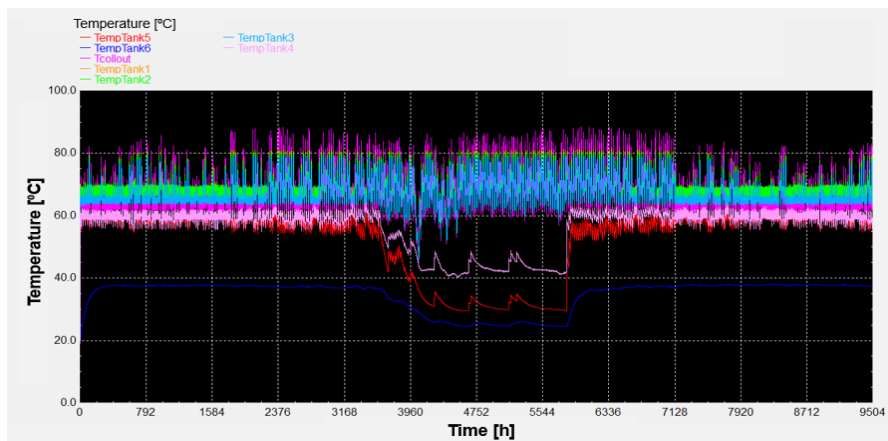
Σχήμα 186: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στην Αθήνα και το σενάριο 2



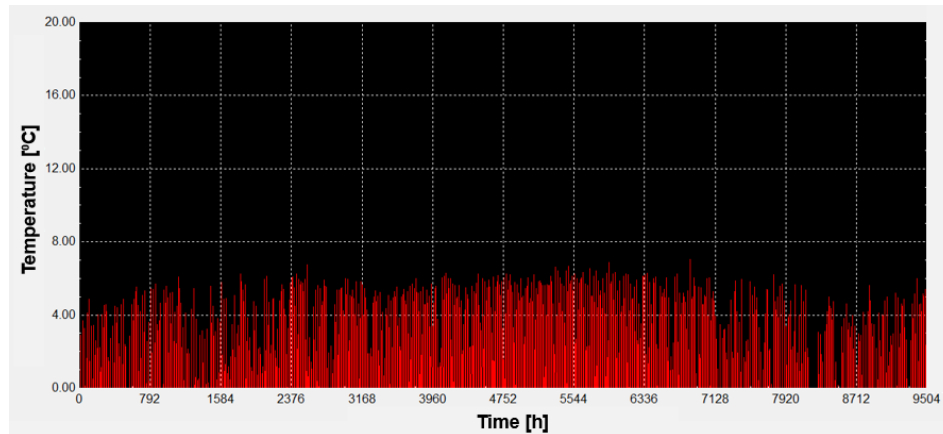
Σχήμα 187: PLR του λέβητα κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στην Αθήνα και το σενάριο 2



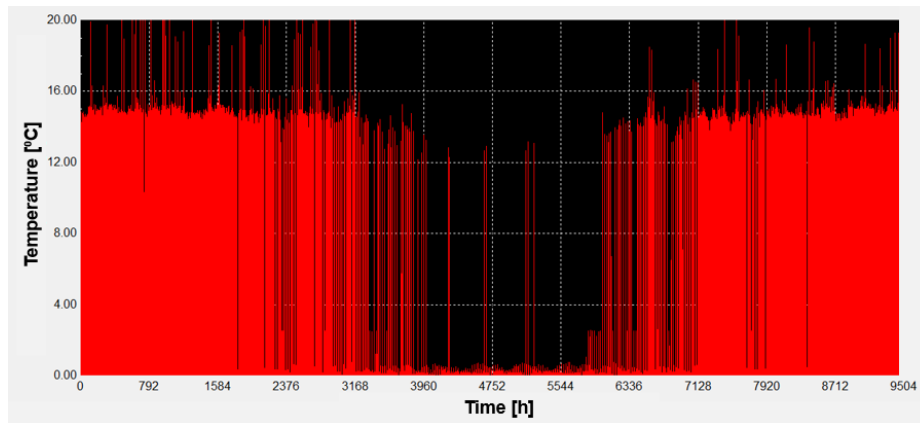
Σχήμα 188: PLR του ψύκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στην Αθήνα και το σενάριο 2



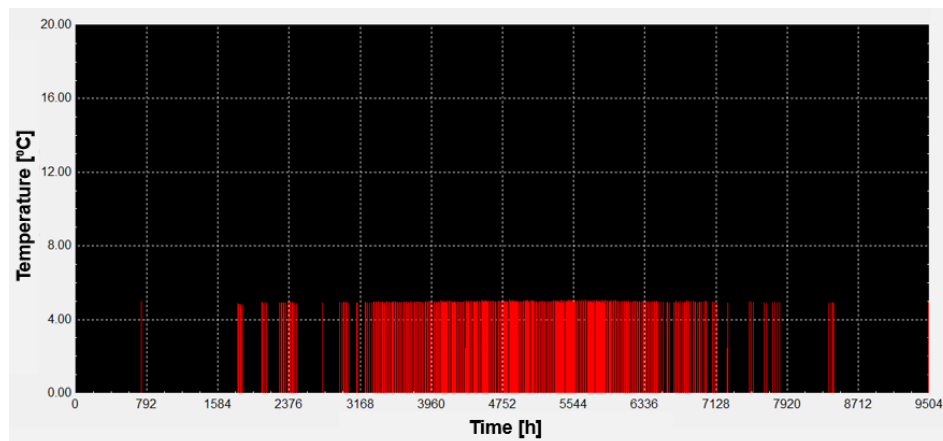
Σχήμα 189: Θερμοκρασίες του δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου του συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στην Αθήνα και το σενάριο 2



Σχήμα 190: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στην Αθήνα και το σενάριο 2

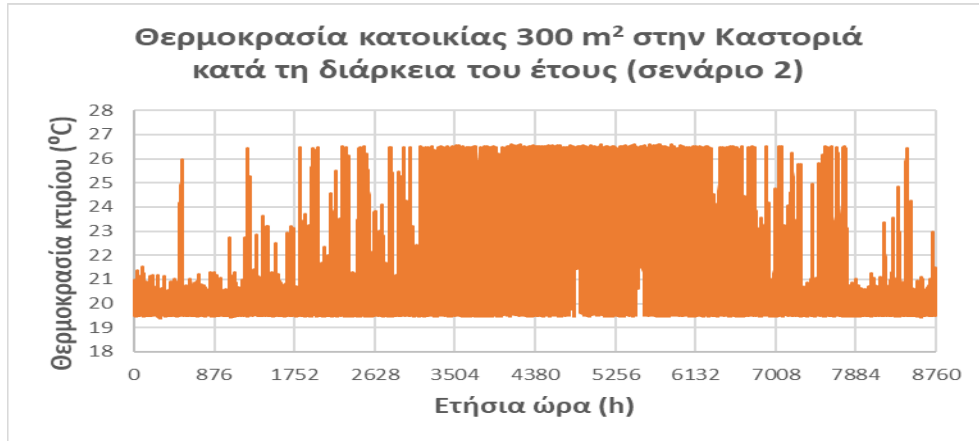


Σχήμα 191: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου των καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στην Αθήνα και το σενάριο 2



Σχήμα 192: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 100 m² στην Αθήνα και το σενάριο 2

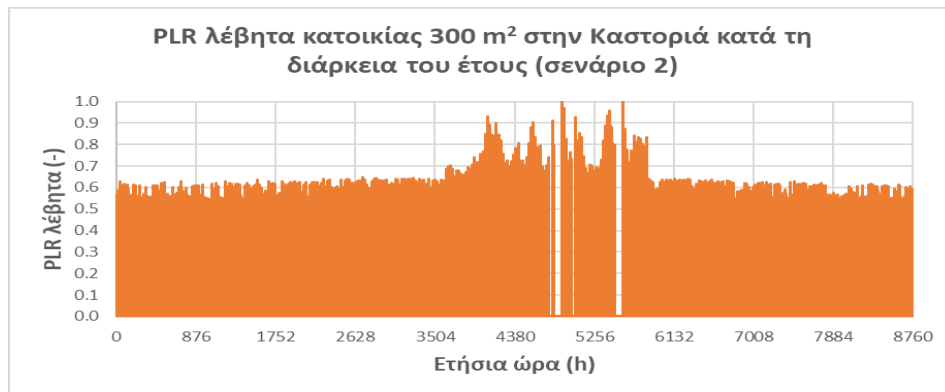
Κατοικία 300 m² στην Καστοριά και σενάριο 2:



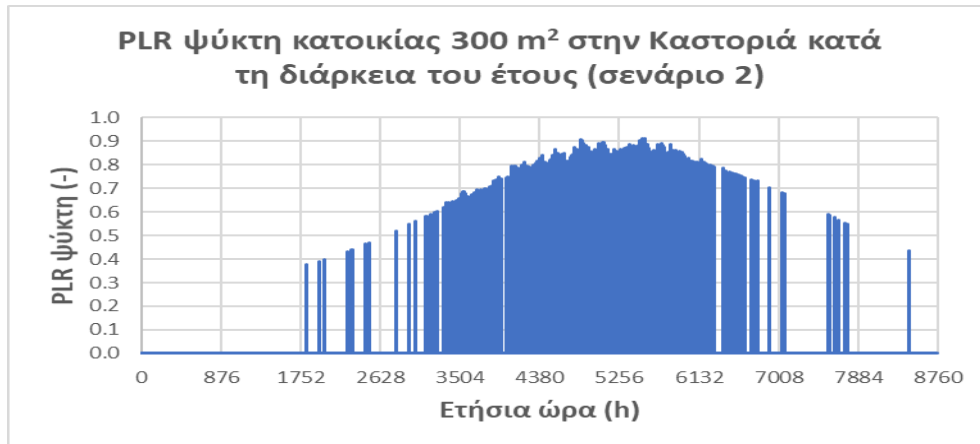
Σχήμα 193: Θερμοκρασία της κατοικίας των 300 m² στην Καστοριά κατά τη διάρκεια του έτους για το σενάριο 2



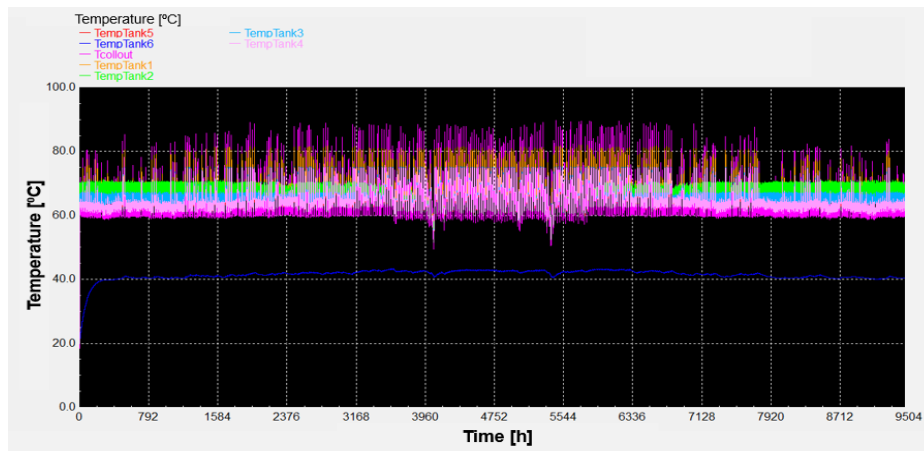
Σχήμα 194: Διακύμανση της θερμοκρασίας του Z.N.X. κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m² στην Καστοριά και το σενάριο 2



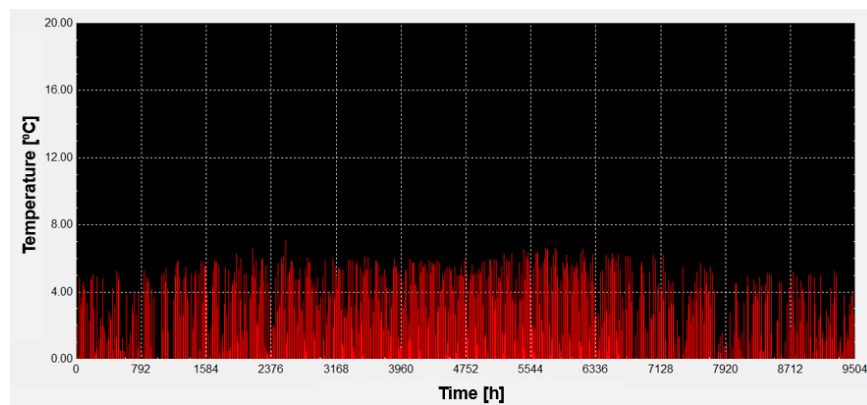
Σχήμα 195: PLR του λέβητα κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m² στην Καστοριά και το σενάριο 2



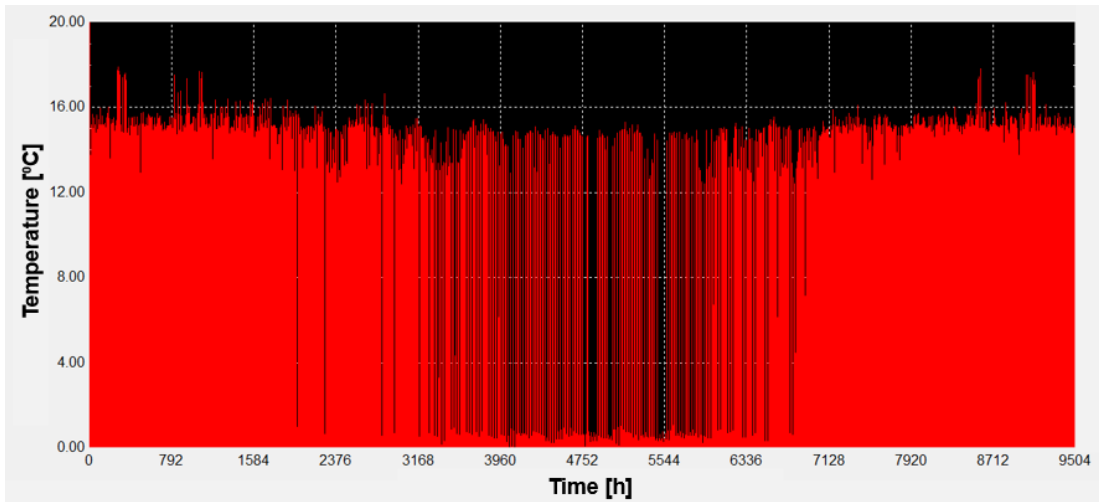
Σχήμα 196: PLR του ψύκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m² στην Καστοριά και το σενάριο 2



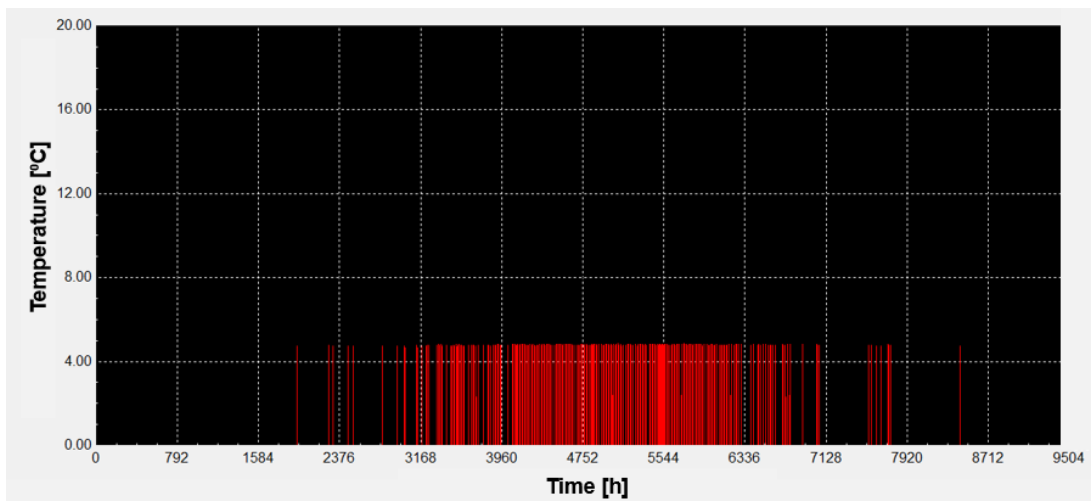
Σχήμα 197: Θερμοκρασίες δοχείου θέρμανσης – Ζ.Ν.Χ. και εξόδου του συλλέκτη κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m² στην Καστοριά και το σενάριο 2



Σχήμα 198: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των ηλιακών συλλεκτών κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m² στην Καστοριά και το σενάριο 2



Σχήμα 199: Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου – εξόδου των καλοριφέρ κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m² στην Καστοριά και το σενάριο 2



Σχήμα 200: Διαφορά θερμοκρασίας εξόδου – εισόδου των μονάδων fan – coil κατά τη διάρκεια του έτους για την κατοικία των 300 m² στην Καστοριά και το σενάριο 2