



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

Ενεργειακή κατεύθυνση
Τομέας μεταφοράς και παραγωγής ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ
ΒΑΣΙΣΜΕΝΩΝ ΣΕ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ
ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΤΙΡΙΟΥ

DYNAMIC SIMULATION-BASED SURROGATE
MODEL DEVELOPMENT FOR THE DIMENSIONING
OF BUILDING ENERGY SYSTEMS



Στεργιανάκος Γεώργιος

AEM: 2167

Επιβλέπων καθηγητής: Πανάρας Γεώργιος

Κοζάνη, Ιούλιος 2021

Περίληψη

Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια ένα από τα κρισιμότερα ζητήματα που απασχολούν την παγκόσμια κοινότητα είναι αυτό της κατανάλωσης ενέργειας και της διαχείρισης αυτής. Για το σκοπό αυτό παρατηρείται στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το αποτύπωμα του ανθρώπου στο περιβάλλον. Στα πλαίσια αυτά, εξέχουσας σημασίας αποτελεί η επιλογή του βέλτιστου συστήματος θέρμανσης/ψύξης για την κάλυψη των απαιτούμενων θερμικών αναγκών ενός κτιρίου, δεδομένου ότι οι ανάγκες αυτές είναι υπαίτιες για το μεγαλύτερο ποσοστό των συνολικών καταναλώσεών του. Η επιλογή αυτή μπορεί να διαδραματίσει σπουδαίο ρόλο τόσο στην κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα, όσο και στην κάλυψη της θερμικής άνεσης των χρηστών του κτιρίου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται η ανάπτυξη εύχρηστων μοντέλων, με ταυτόχρονη έμφαση στην επίτευξη υψηλής ακρίβειας, για τη διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης μίας οικίας στην περιοχή της Αθήνας και πραγματοποιείται σύγκριση με τις αντίστοιχες σχέσεις που προτείνονται από την τεχνική οδηγία 20701-1/2017 του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.). Για το σκοπό αυτό, αντλούνται δεδομένα από ένα μοντέλο δυναμικής προσομοίωσης, το οποίο δίνει μία ακριβή αποτύπωση των δυναμικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα κατά την αλληλεπίδραση του κελύφους του κτιρίου με το εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον. Εν συνεχεία, τα δεδομένα αυτά εισάγονται σε κατάλληλο λογισμικό, το οποίο μέσω τεχνικών αυτοεκμάθησης εξάγει το βέλτιστο υποκατάστατο μοντέλο. Τα διατυπωμένα μοντέλα παλινδρόμησης είναι ικανά να πραγματοποιήσουν πρόβλεψη της θερμικής δυσφορίας των χρηστών και να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης/ψύξης, αλλά και των αντίστοιχων ενεργειακών φορτίων, ανάλογα με το επίπεδο θερμικής άνεσης που τίθεται από τους χρήστες. Σημειώνεται ότι η παρούσα ανάλυση συμπεριέλαβε την επίδραση των βασικών παραμέτρων που σχετίζονται με τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου, όπως είναι ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας και η θερμική αδράνεια του κελύφους, καθώς και ο αερισμός από τα κουφώματα, ενώ η εφαρμογή της μεθοδολογίας επεκτάθηκε και για μία διαφορετική κλιματικά περιοχή της Ελλάδας, ήτοι της Κοζάνης, για συγκριτικούς λόγους. Η παραπάνω διαδικασία υλοποιήθηκε τόσο στην περίπτωση της θέρμανσης, όσο και σε αυτήν της ψύξης. Κατόπιν, παρατίθενται τα συμπεράσματα της εργασίας, στα οποία γίνεται αξιολόγηση των εξαγόμενων μοντέλων διαστασιολόγησης και αναφορά των δυνατοτήτων τους. Τέλος, προτείνονται μελλοντικά θέματα διερεύνησης για την περαιτέρω εξέλιξη των παραπάνω μοντέλων.

Abstract

It is a fact that in recent years, one of the most critical issues facing the global community is that of energy consumption and its management. To this end, there is a shift towards Renewable Energy Sources (RES) in order to minimize Human's environmental footprint. In this context, the selection of the optimum heating/cooling system to meet the thermal needs of a building is of paramount importance, since these needs are responsible for the largest proportion of its total consumption. This choice can play an important role both in the energy consumption of the system and in meeting the thermal comfort of the building occupants.

In this thesis, an attempt is made to develop easy-to-use models, with emphasis on achieving high accuracy, for the dimensioning of the heating and cooling systems of a house in Athens, Greece and a comparison is made with the corresponding relationships proposed by the technical directive 20701-1/2017 of the Energy Performance of Buildings Regulation (EPBD). For this purpose, data are derived from a dynamic simulation model, which gives an accurate representation of the dynamic phenomena that take place during the interaction of the building envelope with the internal and external environment. This data is then entered into a software, which through self-learning techniques extracts the optimal surrogate model. The formulated regression models are capable of predicting the thermal discomfort of the users and can be used to calculate the required heating/cooling power and the corresponding energy loads, depending on the level of thermal comfort set by the users. It is noted that the present analysis included the influence of the main parameters related to the thermal behaviour of the building, such as the average thermal transmittance and the thermal inertia of the building envelope, as well as the ventilation through the windows, while the application of the methodology was extended to a climatically different region of Greece, namely Kozani, for comparative purposes. The above procedure was implemented both in the case of heating and cooling. Then, the conclusions of the paper are presented, in which the evaluation of the extracted dimensioning models and a report of their potentialities are given. Finally, future investigation topics are suggested for further development of the above models.

Ευχαριστίες

Στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας κρίνεται απαραίτητη η απόδοση ευχαριστιών στα άτομα που στήριξαν αυτή την προσπάθεια και συνετέλεσαν στην πραγμάτωσή της.

Πρωτίστως, θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή Γεώργιο Πανάρα, η πολύτιμη καθοδήγηση του οποίου ήταν καθοριστική για την περάτωσή της, ενώ οι πολυάριθμες γνώσεις που μου παρείχε κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου ετών αποτέλεσαν σημαντικά ερεθίσματα για την υλοποίησή της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Νικόλαο Πλόσκα για τη συμβολή και καθοδήγησή του σε θέματα αλγεβρικών μοντέλων και βελτιστοποίησης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να απευθύνω στον Υποψήφιο Διδάκτορα Λεωνίδα Ζουλούμη, ο οποίος με τις γνώσεις και τα πνευματικά του προσόντα στάθηκε σημαντικός αρωγός στην προσπάθεια αυτή και με υποστήριξε σε όλες τις φάσεις εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ιδιαίτερος τη μητέρα και τη γιαγιά μου, που κατά τη διάρκεια των σπουδών μου με αγάπη και υπομονή με στήριξαν, προσφέροντας την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση, συντελώντας έτσι στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	iii
Abstract.....	iv
Ευχαριστίες	v
Περιεχόμενα	vi
Ευρετήριο πινάκων.....	ix
Ευρετήριο διαγραμμάτων.....	xi
Ευρετήριο εικόνων.....	xiii
Ευρετήριο σχημάτων	xiv
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια – ισχύον θεσμικό πλαίσιο	1
1.2 Θερμική άνεση.....	2
1.3 Αναγκαιότητα βέλτιστης διαστασιολόγησης συστημάτων.....	3
1.4 Μεθοδολογίες διαστασιολόγησης συστημάτων.....	4
1.5 Σκοπός διπλωματικής εργασίας	7
2. Μοντέλο δυναμικής προσομοίωσης.....	9
2.1 Περιγραφή μοντέλου.....	9
2.2 Υπολογισμός ροών θερμότητας λόγω εσωτερικών και ηλιακών κερδών	12
2.3 Υπολογισμός ροών θερμότητας λόγω θερμικών απωλειών και αερισμού	14
2.4 Καθορισμός εσωτερικής θερμοκρασίας αέρα για δεδομένη ροή θερμότητας συστήματος θέρμανσης – ψύξης.....	16
2.5 Προσδιορισμός εσωτερικής θερμοκρασίας και απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης – ψύξης.....	17
3. Κτίριο προς μελέτη	20
3.1 Γεωμετρικά θερμικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά κτιριακού κελύφους	20
3.2 Υποθέσεις	23
4. Περιγραφή μεθοδολογίας διαστασιολόγησης.....	24
4.1 Αξιοποίηση αποτελεσμάτων μοντέλου προσομοίωσης.....	24
4.2 Γενική περιγραφή προγράμματος ALAMO και μεθόδων επίλυσης	26
4.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων παλινδρόμησης	28
4.4 Σύγκριση μοντέλων με τον κανονισμό ενεργειακής απόδοσης κτιρίων.....	29
5. Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης και αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του	33
5.1 Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης και ενεργειακών φορτίων οικίας για την περιοχή της Αθήνας	33
5.1.1 Βασικό σενάριο αναφοράς.....	33
5.1.2 Επίδραση θερμομόνωσης κτιριακού κελύφους.....	38
5.1.3 Επίδραση θερμικής αδράνειας κελύφους.....	44

5.1.4 Επίδραση αερισμού λόγω αεροστεγανότητας ανοιγμάτων	49
5.1.5 Εύρεση αναλυτικής σχέσης για τη διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας	56
5.1.6 Παράδειγμα υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης	61
5.2 Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης και ενεργειακών φορτίων οικίας για την περιοχή της Κοζάνης.....	63
6. Διαστασιολόγηση συστήματος ψύξης και αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του.....	69
6.1 Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος ψύξης και ενεργειακών φορτίων οικίας για την περιοχή της Αθήνας	69
6.2 Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος ψύξης και ενεργειακών φορτίων οικίας για την περιοχή της Κοζάνης.....	79
7. Επίλογος.....	85
7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα	85
7.2 Συζήτηση - Μελλοντικές Επεκτάσεις	87
Βιβλιογραφικές Αναφορές	88
Παράρτημα: Προγράμματα που υλοποιήθηκαν στο MATLAB	91
Π.1 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών εσωτερικού χώρου κτιρίου.....	92
Π.2 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για ένα μήνα του έτους.....	93
Π.3 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για όλη την περίοδο θέρμανσης για την περιοχή της Αθήνας.....	96
Π.4 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για όλη την περίοδο θέρμανσης για την περιοχή της Κοζάνης.....	99
Π.5 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για όλη την περίοδο ψύξης για την περιοχή της Αθήνας.....	102
Π.6 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για όλη την περίοδο ψύξης για την περιοχή της Κοζάνης.....	105
Π.7 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για το μήνα του Ιανουαρίου για την περιοχή της Αθήνας.....	108
Π.8 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για το μήνα του Ιανουαρίου για την περιοχή της Κοζάνης.....	111
Π.9 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για την περίοδο θέρμανσης για την περιοχή της Αθήνας.....	114
Π.10 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για την περίοδο θέρμανσης για την περιοχή της Κοζάνης.....	117
Π.11 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για το μήνα του Ιουλίου για την περιοχή της Αθήνας	120
Π.12 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για το μήνα του Ιουλίου για την περιοχή της Κοζάνης.....	123
Π.13 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για την περίοδο ψύξης για την περιοχή της Αθήνας	126
Π.14 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για την περίοδο ψύξης για την περιοχή της Κοζάνης.....	129

Π.15 Αριθμητική επίλυση μοντέλων θερμικής δυσφορίας για τη διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης/ψύξης στην περιοχή της Αθήνας.....	132
Π.16 Αριθμητική επίλυση μοντέλων θερμικής δυσφορίας για τη διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης/ψύξης στην περιοχή της Κοζάνης.....	133

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1.1 Κλίμακες ASHRAE και Bedford για προσδιορισμό θερμικής άνεσης (Nicol & Humphreys, 2002)	3
Πίνακας 3.1 Θερμοχωρητικότητα και επιφάνεια ωφέλιμης μάζας διαφόρων κτιριακών κατασκευών (ISO, 2008).....	20
Πίνακας 3.2 Υπολογισμός γεωμετρικών και θερμικών χαρακτηριστικών μελετώμενου κτιρίου	21
Πίνακας 3.3 Ρυθμός ροής θερμότητας από χρήστες και συσκευές (ISO, 2008)	23
Πίνακας 4.1 Καθορισμός μέσης θερμοκρασιακής διαφοράς ψυκτικού φορτίου ανά προσανατολισμό (TEE, 2017α).....	31
Πίνακας 4.2 Καθορισμός παράγοντα φορτίου υαλοπίνακα ανά προσανατολισμό (TEE, 2017α).....	31
Πίνακας 5.1 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων για την περίοδο θέρμανσης βασικού σεναρίου αναφοράς	34
Πίνακας 5.2 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης βασικού σεναρίου αναφοράς.....	37
Πίνακας 5.3 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης βασικού σεναρίου αναφοράς	37
Πίνακας 5.4 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων για την περίοδο θέρμανσης σεναρίου επίδρασης θερμομόνωσης	39
Πίνακας 5.5 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης κτιριακού κελύφους.....	42
Πίνακας 5.6 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης κτιριακού κελύφους.....	42
Πίνακας 5.7 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων για την περίοδο θέρμανσης σεναρίου επίδρασης θερμικής αδράνειας κελύφους	45
Πίνακας 5.8 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κελύφους.....	47
Πίνακας 5.9 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους.....	48
Πίνακας 5.10 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων για την περίοδο θέρμανσης σεναρίου επίδρασης αερισμού.....	50
Πίνακας 5.11 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και αερισμού.....	52
Πίνακας 5.12 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και αερισμού κτιριακού κελύφους.....	52
Πίνακας 5.13 Αξιολόγηση αναλυτικού μοντέλου πρόβλεψης απαιτούμενης ισχύος συστήματος θέρμανσης	56
Πίνακας 5.14 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια μόνωσης και αερισμού σύμφωνα με το αναλυτικό μοντέλο παρεμβολής.....	58
Πίνακας 5.15 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας, διαστασιολόγησης και ενεργειακών φορτίων θέρμανσης για την περιοχή της Κοζάνης.....	64
Πίνακας 5.16 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και αερισμού σύμφωνα με το αναλυτικό μοντέλο παρεμβολής	66

Πίνακας 5.17 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και αερισμού	68
Πίνακας 6.1 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων για την περίοδο ψύξης	70
Πίνακας 6.2 Διαστασιολόγηση συστήματος ψύξης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους.....	73
Πίνακας 6.3 Αξιολόγηση αναλυτικού μοντέλου πρόβλεψης απαιτούμενης ισχύος συστήματος ψύξης	74
Πίνακας 6.4 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων ψύξης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους.....	77
Πίνακας 6.5 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας, διαστασιολόγησης και ενεργειακών φορτίων ψύξης στην περιοχή της Κοζάνης.....	80
Πίνακας 6.6 Διαστασιολόγηση συστήματος ψύξης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους σύμφωνα με το αναλυτικό μοντέλο παρεμβολής.....	81
Πίνακας 6.7 Μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, μέγιστη και μέση εξωτερική θερμοκρασία για τις περιοχές της Αθήνας και της Κοζάνης για την περίοδο ψύξης	81
Πίνακας 6.8 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων ψύξης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους.....	84

Ευρετήριο διαγραμμάτων

Διάγραμμα 5.1 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μηνιαίου μοντέλου θερμικής δυσφορίας βασικού σεναρίου αναφοράς.....	35
Διάγραμμα 5.2 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου θερμικής δυσφορίας βασικού σεναρίου αναφοράς.....	35
Διάγραμμα 5.3 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου θέρμανσης σεναρίου επίδρασης θερμομόνωσης	40
Διάγραμμα 5.4 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων απλού εποχιακού μοντέλου για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης θερμομόνωσης.....	40
Διάγραμμα 5.5 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης θερμομόνωσης	40
Διάγραμμα 5.6 Σύγκριση μεθοδολογιών διαστασιολόγησης συστήματος θέρμανσης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης κελύφους	43
Διάγραμμα 5.7 Προσδιορισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης κελύφους και θερμοκρασιών άνεσης.....	43
Διάγραμμα 5.8 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου θέρμανσης σεναρίου επίδρασης θερμικής αδράνειας κελύφους	45
Διάγραμμα 5.9 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μηνιαίου μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης θερμικής αδράνειας κελύφους.....	46
Διάγραμμα 5.10 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης θερμικής αδράνειας κελύφους	46
Διάγραμμα 5.11 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου θέρμανσης σεναρίου επίδρασης αερισμού.....	50
Διάγραμμα 5.12 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μηνιαίου μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης αερισμού	51
Διάγραμμα 5.13 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης αερισμού	51
Διάγραμμα 5.14 Μεταβολή απαιτούμενης ισχύος συστήματος θέρμανσης συναρτήσει της θερμομόνωσης του κελύφους για διάφορες τιμές θερμικής αδράνειας και αερισμού από τα κουφώματα	54
Διάγραμμα 5.15 Μεταβολή ενεργειακών φορτίων θέρμανσης συναρτήσει της θερμομόνωσης του κελύφους για διάφορες τιμές θερμικής αδράνειας και αερισμού από τα κουφώματα	55
Διάγραμμα 5.16 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων αναλυτικού μοντέλου παρεμβολής για διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας.....	57
Διάγραμμα 5.17 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για διάφορες τιμές θερμομόνωσης κτιριακού κελύφους και για αερισμό από τα κουφώματα 50 m ³ /h	59
Διάγραμμα 5.18 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για διάφορες τιμές αερισμού από τα ανοίγματα και για μέση θερμοπερατότητα δομικών στοιχείων 1.57 W/(m ² K)	60
Διάγραμμα 5.19 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου θέρμανσης για την περιοχή της Κοζάνης.....	64

Διάγραμμα 5.20 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας οικίας στην περιοχή της Κοζάνης	65
Διάγραμμα 5.21 : Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων αναλυτικού μοντέλου παρεμβολής για διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης.....	65
Διάγραμμα 5.22 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για την περιοχή της Κοζάνης για διάφορες τιμές θερμομόνωσης και για αερισμό από τα κουφώματα 50 m ³ /h	67
Διάγραμμα 5.23 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για την περιοχή της Κοζάνης για διάφορες τιμές αερισμού από τα ανοίγματα και για μέση θερμοπερατότητα δομικών στοιχείων 1.64 W/(m ² K)	68
Διάγραμμα 6.1 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου ψύξης	70
Διάγραμμα 6.2 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μηνιαίου μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας.....	71
Διάγραμμα 6.3 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας	71
Διάγραμμα 6.4 Μεταβολή απαιτούμενης ισχύος συστήματος ψύξης συναρτήσει της θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους για διάφορες τιμές θερμικής αδράνειας και αερισμού από τα κουφώματα.....	74
Διάγραμμα 6.5 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων αναλυτικού μοντέλου παρεμβολής για διαστασιολόγηση συστήματος ψύξης οικίας.....	75
Διάγραμμα 6.6 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος ψύξης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για διάφορες τιμές θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους και για αερισμό από τα κουφώματα 50 m ³ /h	76
Διάγραμμα 6.7 Ωριαία μεταβολή απαιτούμενης ισχύος ψύξης κατά τη διάρκεια δύο ημερών του Ιουλίου για δύο διαφορετικές τιμές θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους σύμφωνα με το μοντέλο προσομοίωσης	78
Διάγραμμα 6.8 Μεταβολή ενεργειακών φορτίων ψύξης συναρτήσει της θερμομόνωσης του κελύφους για διάφορες τιμές θερμικής αδράνειας και αερισμού από τα κουφώματα.....	78
Διάγραμμα 6.9 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου ψύξης στην περιοχή της Κοζάνης.....	80
Διάγραμμα 6.10 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μηνιαίου μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας στην περιοχή της Κοζάνης.....	80
Διάγραμμα 6.11 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων αναλυτικού μοντέλου διαστασιολόγησης συστήματος ψύξης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης.....	80
Διάγραμμα 6.12 Μεταβολή απαιτούμενης ισχύος συστήματος ψύξης συναρτήσει της θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους για διάφορες τιμές θερμικής αδράνειας και αερισμού από τα κουφώματα για την περιοχή της Κοζάνης	82
Διάγραμμα 6.13 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος ψύξης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για την περιοχή της Κοζάνης για διάφορες τιμές θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους και για αερισμό από τα κουφώματα 50 m ³ /h.....	83

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 3.1 Κάτοψη κτιρίου.....	22
Εικόνα 3.2 Τομή κτιρίου.....	22
Εικόνα 4.1 Παράδειγμα υπερπροσαρμογής (overfitting) δεδομένων.....	27
Εικόνα 4.2 Απεικόνιση του περιβάλλοντος του λογισμικού ALAMO.....	28

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1.1 Στάδια δημιουργίας ενός μοντέλου παλινδρόμησης (Montgomery, et al., 2012).....	6
Σχήμα 1.2: Βασική δομή ενός νευρωνικού δικτύου (Burnett, 2006).....	7
Σχήμα 2.1 Μοντέλο αντίστασης – χωρητικότητας απλής ωριαίας μεθόδου (ISO, 2008).....	11
Σχήμα 2.2 Διάγραμμα ροής υπολογισμών απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης/ψύξης.....	19
Σχήμα 4.1 Σχηματική απεικόνιση ακολουθούμενης διαδικασίας καθορισμού διαστασιολογούμενης ισχύος συστημάτων θέρμανσης/ψύξης και αντίστοιχων ενεργειακών φορτίων.....	32

1. Εισαγωγή

1.1 Κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια – ισχύον θεσμικό πλαίσιο

Ένα από τα κρισιμότερα ζητήματα που καλείται να επιλύσει η παγκόσμια κοινότητα τις τελευταίες δεκαετίες είναι η ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω της αύξησης του πληθυσμού, αλλά και της βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων. Είναι γεγονός ότι ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το μεγαλύτερο ποσοστό καταναλώσεων συγκριτικά με τους υπόλοιπους τομείς των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Ειδικότερα, σε ευρωπαϊκό επίπεδο τα κτίρια είναι υπεύθυνα για το 40% των καταναλώσεων, καθώς και για το 36% των εκλυόμενων ρύπων CO₂ (Eurostat, 2020). Αναφορικά με τον οικιακό τομέα, αυτός διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στην κατασπατάληση ενεργειακών πόρων, δεδομένου ότι είναι υπαίτιος για το 26% περίπου των συνολικών καταναλώσεων (Eurostat, 2020). Αξίζει ακόμη να επισημανθεί στο σημείο αυτό, ότι το μεγαλύτερο μερίδιο στις καταναλώσεις που σχετίζονται με τις οικίες οφείλεται στη θέρμανση χώρων, αγγίζοντας το 64% (Eurostat, 2020), ενώ παρόμοια κατάσταση επικρατεί και στην Ελλάδα, όπου το αντίστοιχο ποσοστό ανέρχεται στο 45% (map, 2015).

Υπό το πρίσμα αυτό έχουν γίνει αναρίθμητες προσπάθειες από την πλευρά της ευρωπαϊκής ένωσης για την ελαχιστοποίηση της κατασπατάλησης των ενεργειακών πόρων. Ήδη από το 2010 εκδόθηκε οδηγία για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων (EU, 2010), η οποία θα επέτρεπε την επίτευξη του κύριου στόχου της, ήτοι η μείωση των καταναλώσεων και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% έως το 2020 σε σχέση με αυτές που υπήρχαν το 1990, ενώ καθιερώθηκε ότι από την έναρξη του 2021 όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (near Zero Energy Building, nZEB). Στα πλαίσια ισχυροποίησης της δέσμευσης για επίτευξη των παραπάνω στόχων, αλλά και δημιουργίας ενός ευνοϊκότερου πλαισίου συνθηκών, ότι οι παραπάνω στόχοι επιτεύχθηκαν η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε νέους φιλόδοξους στόχους, σύμφωνα με τους οποίους επιδιώκεται αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) κατά 27% έως το 2030 (σε σχέση με το 1990) και η περαιτέρω μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά 40%, στοχεύοντας έτσι στην “ανάπτυξη ενός βιώσιμου, ανταγωνιστικού, ασφαλούς και απαλλαγμένου από ανθρακούχες εκπομπές ενεργειακό σύστημα” (EU, 2018), δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις ανακαινίσεις κτιρίων.

Στα ίδια πλαίσια κινείται και η Ελλάδα, με την έκδοση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), ο οποίος από το 2010 αντικατέστησε τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ.) που ίσχυε από το 1979, προκειμένου να συμμορφώνεται με το θεσμικό πλαίσιο που καθόρισε η Ε.Ε.. Για την εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ., το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ) προχώρησε στην κατάρτιση τεχνικών οδηγιών (ΤΕΕ, 2017α; ΤΕΕ, 2017β; ΤΕΕ, 2010γ), οι οποίες εξειδικεύουν τα ευρωπαϊκά πρότυπα των μελετών και των επιθεωρήσεων στα Ελληνικά κλιματικά και κτιριακά δεδομένα και καθορίζουν τις ελάχιστες

τεχνικές προδιαγραφές και ενεργειακές απαιτήσεις των νέων και ριζικά ανακαινισμένων κτιρίων. Με αυτό τον τρόπο, το TEE συνεισέφερε καταλυτικά στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και στην ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος.

1.2 Θερμική άνεση

Ως θερμική άνεση ορίζεται “η κατάσταση εκείνη του εγκεφάλου που εκδηλώνει ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον” (ASHRAE, 2017). Η θερμική άνεση υπήρξε ένα από τα πρώτα μελήματα του ανθρώπου, δεδομένου ότι ήδη από την αρχαία εποχή αυτός λάμβανε μέτρα για την εξασφάλισή της, όπως το ντύσιμο και το άναμμα φωτιάς. Ωστόσο, μόνο μετά τη βιομηχανική επανάσταση και την ανάπτυξη της επιστημονικής μεθόδου το 19^ο αιώνα επιδιώχθηκε η πιο συστηματική της μελέτη.

Υποστηρίζεται ότι για την επίτευξη θερμικής άνεσης ενός ατόμου σε ένα χώρο θα πρέπει κανείς να λαμβάνει υπ’ όψιν επτά παράγοντες (Parsons, 2020):

- Η θερμοκρασία του αέρα.
- Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας εσωτερικών επιφανειών του χώρου.
- Η υγρασία του αέρα.
- Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα.
- Το είδος των δραστηριοτήτων του ατόμου.
- Ο ρουχισμός του ατόμου.
- Η ικανότητα που έχει το άτομο να προσαρμόζεται στις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Λόγω της ανάγκης για τον ποσοτικό προσδιορισμό της θερμικής άνεσης έχουν αναπτυχθεί διάφοροι δείκτες, όπως είναι προβλεπόμενη μέση ψήφος (P.M.V.) και το προβλεπόμενο ποσοστό ανικανοποίητων ατόμων (P.P.D.). Οι παραπάνω δείκτες έχουν υιοθετηθεί ευρέως διεθνώς από κανονισμούς – πρότυπα (ASHRAE, 2017; ISO, 2005). Για τον προσδιορισμό αυτής συλλέγονται συνήθως δεδομένα από το θερμικό περιβάλλον και ταυτόχρονα αξιολογείται η θερμική απόκριση των χρηστών ενός χώρου, ρωτώντας τους να δώσουν μία ψήφο σε μία κλίμακα, όπως αυτή της ASHRAE ή της Bedford (βλ. πίνακα 1.1). Σκοπός είναι η εύρεση του κατάλληλου συνδυασμού των παραπάνω επτά παραγόντων ο οποίος θα εξασφαλίσει ψήφο “Neutral” ή “Comfortable”.

ASHRAE descriptor	Numerical equivalent	Bedford descriptor
Hot	3	Much too hot
Warm	2	Too hot
Slightly warm	1	Comfortably warm
Neutral	0	Comfortable
Slightly cool	-1	Comfortably cool
Cool	-2	Too cool
Cold	-3	Much too cool

Πίνακας 1.1 Κλίμακες ASHRAE και Bedford για προσδιορισμό θερμικής άνεσης (Nicol & Humphreys, 2002)

1.3 Αναγκαιότητα βέλτιστης διαστασιολόγησης συστημάτων

Η θερμική άνεση συνδέεται άρρηκτα με την επιλογή του κατάλληλου συστήματος που καλύπτει τις ανάγκες για θέρμανση ή ψύξη, δεδομένου ότι αυτό διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στην επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου. Η εγκατάσταση ενός ανεπαρκούς συστήματος θα έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία αυτού να εξασφαλίσει τις απαιτούμενες συνθήκες θερμικής άνεσης σε ακραίες εξωτερικές θερμοκρασίες. Για το λόγο αυτό άλλωστε, είναι συχνά επιθυμητή η επιλογή ενός συστήματος ελαφράς μεγαλύτερης ισχύος από αυτή που προκύπτει από τους υπολογισμούς, προκειμένου να εξασφαλίζεται θερμική άνεση σε περιπτώσεις όπου οι εξωτερικές συνθήκες είναι πιο ακραίες από τις συνθήκες σχεδιασμού. Από την άλλη μεριά, η επιλογή ενός πολύ μεγαλύτερου συστήματος από το κανονικό (υπερδιαστασιολόγηση) έχει διαπιστωθεί ότι είναι δυνατό να προκαλέσει θερμική δυσφορία, εξαιτίας των μικρών χρονικών διαστημάτων που αυτό λειτουργεί, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο σε μεγάλες διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας και ανεπαρκή αφύγρανση κατά την ψύξη (ASHRAE, 2019). Συνεπώς, η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος είναι κρίσιμης σημασίας, καθώς η δυσφορία που προκαλείται στους χρήστες λόγω κακής επιλογής συστήματος είναι εφικτό να μειώσει την παραγωγικότητά τους (Wargoocki, et al., 2007, p. 19), ενώ σχετίζεται και με την ανάπτυξη ή επιδείνωση προβλημάτων υγείας, όπως αναπνευστικά προβλήματα και καρδιαγγειακές παθήσεις, ιδίως για τις ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού (WHO, 2018).

Πέραν των θεμάτων εσωκλίματος, η σωστή διαστασιολόγηση συνδέεται και με τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας, κόστους λειτουργίας, αλλά και μείωσης του αρχικού κόστους εγκατάστασης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι σύνηθες το φαινόμενο της επιλογής ενός συστήματος ελαφρά μεγαλύτερου από το επιθυμητό για κάλυψη φορτίων αιχμής σε ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες. Ωστόσο, πολλές φορές μπορεί να οδηγηθεί κανείς σε υπερδιαστασιολόγηση, γεγονός που είναι πιθανό να επιφέρει πολλές ανεπιθύμητες επιπτώσεις στη λειτουργία του. Η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος έχει ως απόρροια υψηλότερη ενεργειακή κατανάλωση και αύξηση των κύκλων φόρτισής του, λόγω των μικρών χρόνων

μεταξύ της εκκίνησης και της διακοπής λειτουργίας του, ώστε να μειώνεται ο χρόνος ζωής του. Ιδίως στους συμβατικούς λέβητες, οι οποίοι λειτουργούν μόνο στο ονομαστικό τους φορτίο οι χρόνοι αναμονής αυξάνονται, γεγονός το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες από το δοχείο του λέβητα. Ομοίως αυξάνεται και ο αριθμός των εναύσεων του καυστήρα, φαινόμενο το οποίο συντελεί στην περαιτέρω αύξηση των καταναλώσεων, δεδομένου ότι σε κάθε έναυση πραγματοποιείται μια αρχική φάση προαερισμού, όπου διοχετεύεται στο λέβητα κρύος αέρας για προετοιμασία της καύσης (Παντελίδης, 2018). Παρόλο που ορισμένα συστήματα, όπως οι αντλίες θερμότητας έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν σε συνθήκες μερικού φορτίου σε σχετικά μεγάλα εύρη εξωτερικών θερμοκρασιών, η υπερδιαστασιολόγησή τους οδηγεί συχνά σε δυσχέρεια κάλυψης των φορτίων αιχμής το καλοκαίρι, ώστε να λειτουργούν με πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης άντλησης θερμότητας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε σχετική έρευνα στη Φλόριντα των ΗΠΑ διαπιστώθηκε αύξηση κατά 13% στη ζήτηση αιχμής ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι λόγω υπερδιαστασιολογημένων συστημάτων κλιματισμού (DOE, 2002). Ακόμη, έχει διαπιστωθεί ότι τα παραπάνω συστήματα είναι περισσότερο πιθανό να παρουσιάσουν διαρροές από τους αγωγούς, γεγονός που οφείλεται στην υψηλότερη πίεση λειτουργίας τους.

Για το λόγο αυτό είναι συνήθης η ακόλουθη στρατηγική επιλογής της καταλληλότερης αντλίας θερμότητας για θέρμανση χώρων: η χρήση συμπληρωματικών ηλεκτρικών αντιστάσεων, οι οποίες θα λειτουργούν στην περίπτωση που επικρατούν ακραίες εξωτερικές θερμοκρασίες. Η επιλογή αυτή γίνεται για τη διαστασιολόγηση της αντλίας θερμότητας σε μικρότερο μέγεθος. Απόρροια αυτού είναι ο αυξημένος εποχιακός βαθμός απόδοσης του συνολικού συστήματος, καθώς η αντλία θερμότητας σε όλη τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου θα λειτουργεί πιο κοντά στο ονομαστικό της φορτίο, ενώ η χρονική διάρκεια λειτουργίας των ηλεκτρικών αντιστάσεων θα είναι πολύ μικρή, ώστε η επίδραση των τελευταίων στον εποχιακό βαθμό απόδοσης του συστήματος να είναι αμελητέα.

1.4 Μεθοδολογίες διαστασιολόγησης συστημάτων

Από τα παραπάνω λοιπόν είναι αντιληπτή η αναγκαιότητα της επιλογής του βέλτιστου συστήματος που θα καλύπτει τις ανάγκες των χρηστών ενός κτιρίου σε θέρμανση ή ψύξη. Ωστόσο, προκειμένου ο μελετητής ή ο εγκαταστάτης ενός συστήματος να είναι βέβαιος ότι το σύστημα είναι επαρκές συνήθως προβαίνει στην επιλογή μεγαλύτερων συστημάτων. Στο παρελθόν έχει διαπιστωθεί ότι οι υπερδιαστασιολογήσεις αυτές σε συστήματα θέρμανσης σε πολλές περιπτώσεις υπερέβησαν κατά πολύ ακόμη και το 200% (Παντελίδης, 2018, p. 274).

Αναφορικά με τη διαστασιολόγηση ενός συστήματος θέρμανσης ο επιθεωρητής ελέγχει την περίπτωση υπερδιαστασιολόγησης μίας μονάδας λέβητα – καυστήρα, συγκρίνοντάς την με την υπολογιζόμενη θερμική ισχύ κάνοντας χρήση μίας πολύ απλής σχέσης που προτείνεται από την τεχνική οδηγία 20701-1 (TEE, 2017α, p. 107), η οποία λαμβάνει υπόψη τις θερμικές απώλειες του κτιριακού κελύφους και του συνολικού συστήματος θέρμανσης. Εντούτοις, η

παραπάνω μεθοδολογία λόγω της απλότητάς της, και κατ' επέκταση της πιθανής έλλειψης ακρίβειας στους υπολογισμούς, προτείνει την επαύξηση της υπολογιζόμενης τιμής ισχύος κατά 50%, ώστε να παραμένει ο κίνδυνος υπερδιαστασιολόγησης.

Εναλλακτικά, για τον ακριβή προσδιορισμό των θερμικών απωλειών ενός κτιριακού κελύφους δύναται κανείς να αξιοποιήσει ένα μοντέλο δυναμικής προσομοίωσης. Ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να υπολογίσει με εξαιρετική ακρίβεια την απαιτούμενη ισχύ ενός συστήματος θέρμανσης/ψύξης, δεδομένου ότι λαμβάνει υπόψη, εκτός των άλλων, τα θερμικά κέρδη από τους χρήστες και τις συσκευές του κτιρίου, καθώς και από την ηλιακή ακτινοβολία σε κάθε χρονικό – συνήθως ωριαίο – βήμα υπολογισμών. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η απλή ωριαία μέθοδος η οποία συστήνεται από το ευρωπαϊκό πρότυπο EN ISO 13790 για τον ακριβή υπολογισμό των ενεργειακών φορτίων (ISO, 2008). Για τους λόγους αυτούς τέτοια μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί και για τον καλύτερο έλεγχο των συστημάτων, όπως για παράδειγμα ο προγραμματισμός ενός έξυπνου θερμοστάτη διαχείρισης της θερμικής άνεσης (Ζουλούμης, 2019). Η διαστασιολόγηση στην προκειμένη περίπτωση μπορεί να πραγματοποιηθεί λαμβάνοντας την υψηλότερη σημειωθείσα τιμή απαιτούμενης ισχύος κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης/ψύξης.

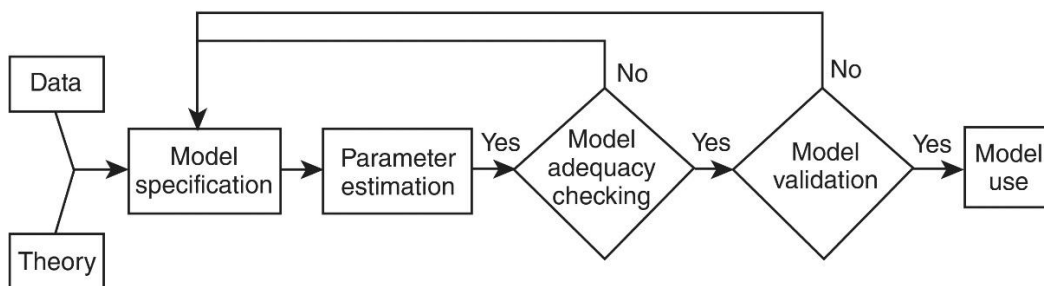
Είναι κατανοητό ότι ο προσδιορισμός των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου που καλείται να καλύψει ένα σύστημα είναι αρκετά περίπλοκος, δεδομένου ότι εξαρτάται από μία πληθώρα παραγόντων που έχουν να κάνουν με τα κατασκευαστικά, θερμικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, καθώς και με εξωτερικούς παράγοντες, όπως είναι η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία.

Ωστόσο, ένα μοντέλο δυναμικής προσομοίωσης χαρακτηρίζεται από σημαντική πολυπλοκότητα. Υπογραμμίζεται ότι για τον ακριβή καθορισμό της απαιτούμενης ισχύος απαιτείται η χρήση ενός αναλυτικού μοντέλου προσομοίωσης, και κατ'επέκταση ενός ειδικού χειριστή, ο οποίος έχει άριστη γνώση της λειτουργίας του καθώς και γνώσεις προγραμματισμού. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαία η χρήση ενός απλούστερου «υποκατάστατου» μοντέλου (surrogate model), το οποίο, αφού συλλέξει επαρκή αριθμό δεδομένων από τη δυναμική προσομοίωση, μπορεί να εντοπίσει μία συσχέτιση ανάμεσα σε μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές με μια εξαρτημένη μεταβλητή. Με αυτόν τον τρόπο, είναι εφικτή η ελάττωση της απαιτούμενης υπολογιστικής ισχύος για τη διεξαγωγή των υπολογισμών, διατηρώντας παράλληλα υψηλή ακρίβεια.

Τα δύο πιο συνήθη μοντέλα που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι τα εξής:

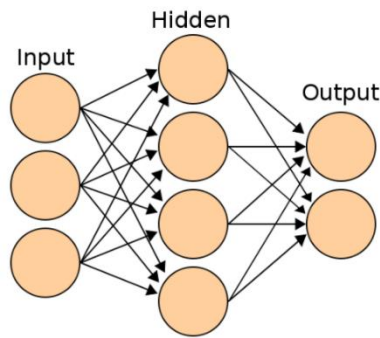
- *Μοντέλο παρεμβολής – παλινδρόμησης (regression model)*: είναι ένα στατιστικό μοντέλο που επιτρέπει τη συσχέτιση ανάμεσα σε μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές (predictor variables) και μία εξαρτημένη μεταβλητή (response variable). Αφού εντοπιστεί το κατάλληλο είδος συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών (γραμμική, εκθετική, λογαριθμική, κ.λπ.) είναι απαραίτητο στη συνέχεια να βρεθούν οι κατάλληλοι

παράμετροι – συντελεστές συσχέτισης του μοντέλου με κάποια μέθοδο (π.χ. μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων) κάνοντας χρήση των διαθέσιμων πειραματικών δεδομένων (training). Κατόπιν, εξετάζεται η καταλληλότητά του (adequacy), διαδικασία στην οποία μπορούν να προστεθούν σημαντικές μεταβλητές οι οποίες παραλήφθηκαν ή να αφαιρεθούν ασήμαντες μεταβλητές. Τέλος, πραγματοποιείται η επικύρωση (validation) του μοντέλου προκειμένου να διασφαλιστεί η εγκυρότητα και η ικανότητά του να παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα. Για το σκοπό αυτό κρίνεται απαραίτητη η πιστοποίηση της σωστής λειτουργίας του μοντέλου όταν αυτό δέχεται ως είσοδο διαφορετικό αριθμό δεδομένων από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευσή του (testing). Στο σχήμα 1.1 δίδεται μία απεικόνιση της παραπάνω διαδικασίας (Montgomery, et al., 2012).



Σχήμα 1.1 Στάδια δημιουργίας ενός μοντέλου παλινδρόμησης (Montgomery, et al., 2012)

- *Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural networks, A.N.N.):* πρόκειται για ένα «υποκατάστατο» μοντέλο το οποίο προσιδιάζει στον τρόπο λειτουργίας των νευρώνων του εγκεφάλου των ζώντων οργανισμών. Αποτελείται από μία σειρά τεχνητών συνδεδεμένων κόμβων τα οποία έχουν τη δυνατότητα να ανταλλάσσουν σήματα μεταξύ τους, όπως ακριβώς οι νευρώνες του εγκεφάλου (βλ. σχήμα 1.2). Κυρίαρχος στόχος λειτουργίας ενός νευρωνικού δικτύου είναι να επιτελεί μόνο του ορισμένες διεργασίες εφόσον «εκπαιδευτεί» κατάλληλα. Η «εκπαίδευση» αυτή υλοποιείται παρουσιάζοντας στο δίκτυο ορισμένα στοιχεία εισόδου (input) για τα οποία είναι γνωστή η έξοδος (output), ώστε το δίκτυο να τροποποιεί την εσωτερική του δομή (hidden) ανάλογα με τα στοιχεία αυτά. Εν συνεχεία, αφού διαπιστωθεί ότι το δίκτυο έχει διαμορφώσει την επιθυμητή δομή είναι πλέον ικανό να λύσει και άλλα προβλήματα παρόμοιας φύσης με αυτά που του έχουν δοθεί προηγουμένως. Παρόλο που τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να αντιμετωπίσουν περίπλοκα μη γραμμικά προβλήματα, η ανάπτυξη («εκπαίδευση») της αρχιτεκτονικής τους είναι δύσκολη, ενώ η δομή που αποκτούν κατόπιν της εκπαίδευσής τους είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, δυσχεραίνοντας την ενσωμάτωσή τους σε άλλα μοντέλα.



Σχήμα 1.2: Βασική δομή ενός νευρωνικού δικτύου (Burnett, 2006)

Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι η παλινδρόμηση έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές στο παρελθόν ως μοντέλο πρόβλεψης των ετήσιων καταναλώσεων (Ciulla & D'Amico, 2019; Papadopoulos & Azar, 2016; Asadi, et al., 2014), καθώς και για την εύρεση της κατάλληλης γεωμετρίας, του προσανατολισμού και των υλικών των δομικών στοιχείων ενός κτιριακού κελύφους που θα εξασφαλίζουν την μικρότερη δυνατή κατανάλωση, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη θερμική δυσφορία των χρηστών (Ascione, et al., 2019; Lin, et al., 2018). Έτσι, ενισχύεται η πεποίθηση για την υψηλή αξιοπιστία αυτού του μοντέλου ακόμη και με χρήση πολλών ανεξάρτητων μεταβλητών, καθώς και η τάση για αντικατάσταση της υπολογιστικής προσομοίωσης από μοντέλα τα οποία είναι πολύ πιο απλά και παρέχουν δυνατότητες γενίκευσης. Σημειώνεται ότι και τα νευρωνικά δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί σε παρόμοιες περιπτώσεις με μεγάλη επιτυχία (Bagheri-Esfaha, et al., 2020), ωστόσο έχει διαπιστωθεί ότι η χρήση των νευρωνικών δικτύων για τον υπολογισμό των καταναλώσεων και της θερμικής άνεσης δεν έχει σημαντικά μεγαλύτερη ακρίβεια από ένα μοντέλο παλινδρόμησης, παρά τη μεγαλύτερη πολυπλοκότητά του (Lin, et al., 2018; Catalina, et al., 2008). Για το λόγο αυτό άλλωστε το 33% των ερευνητικών προσπαθειών έχουν επικεντρωθεί στη χρήση της τελευταίας για την ανάπτυξη υποκατάστατων μοντέλων (Westermann & Evins, 2019).

1.5 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, και στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, κρίθηκε σκόπιμη η χρήση μοντέλων παρεμβολής – παλινδρόμησης (regression models) για την πρόβλεψη των ενεργειακών φορτίων ενός κτιρίου και της θερμικής άνεσης των χρηστών, λαμβάνοντας τα απαραίτητα δεδομένα από ένα αναλυτικό μοντέλο δυναμικής προσομοίωσης. Κύριος στόχος είναι η ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας που αποσκοπεί στην εύρεση μίας απλής – αλλά ακριβής – σχέσης για τον προσδιορισμό της βέλτιστης ονομαστικής ισχύος των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης μίας συγκεκριμένης οικίας, ανάλογα με τα επίπεδα θερμικής άνεσης που θέτει ο χρήστης. Κατόπιν, είναι δυνατό να εντοπιστούν τα ενεργειακά φορτία, τα οποία αντιστοιχούν στην παραπάνω ισχύ για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα για

το οποίο υλοποιήθηκε η ανάλυση, ήτοι της περιόδου θέρμανσης ή ψύξης, ώστε να καθίσταται εφικτή η δημιουργία ενός εργαλείου που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου (π.χ. για την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης).

2. Μοντέλο δυναμικής προσομοίωσης

2.1 Περιγραφή μοντέλου

Ο υπολογισμός των θερμικών και ψυκτικών αναγκών ενός κτιρίου είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τον καθορισμό της εγκατεστημένης ισχύος των συσκευών θέρμανσης και ψύξης. Σύμφωνα με την οδηγία EN ISO 13790 (ISO, 2008) για τον υπολογισμό της ενεργειακών φορτίων συστήνονται δύο μέθοδοι:

- Μέθοδος ημισταθερής κατάστασης, στην οποία οι υπολογισμοί των φορτίων πραγματοποιούνται σε μηνιαία βάση. Σημειώνεται ότι η παρούσα μέθοδος έχει υιοθετηθεί και από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης και πιστοποίησης κτιρίων στην Ελλάδα.
- Δυναμικές μέθοδοι, στις οποίες γίνεται χρήση μικρού βήματος για τον υπολογισμό των φορτίων (τυπικά μία ώρα).

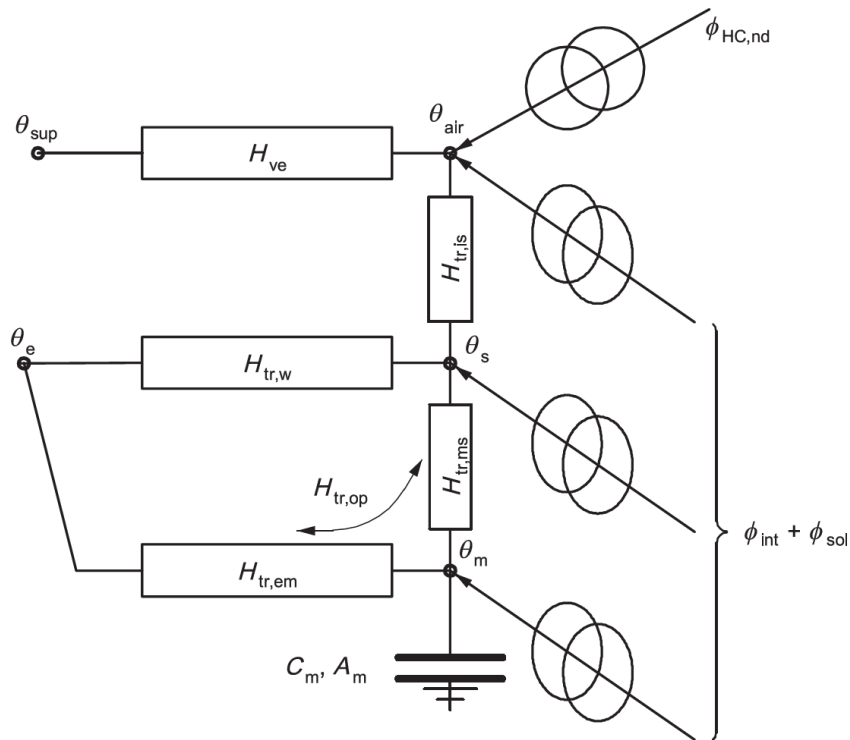
Στην παρούσα διερεύνηση για τον υπολογισμό των ενεργειακών φορτίων έγινε χρήση της απλής ωριαίας μεθόδου, που είναι μία απλοποιημένη δυναμική μέθοδος, της οποίας το βήμα των υπολογισμών είναι μία ώρα. Υπογραμμίζεται ότι το σύνολο των υπολογισμών πραγματοποιήθηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού MATLAB. Η χρήση της παραπάνω μεθόδου, σε αντίθεση με τη μηνιαία παρέχει δυνατότητα ενσωμάτωσης προγράμματος λειτουργίας του χώρου (σε εβδομαδιαίο συνήθως επίπεδο), ανάλογα με τις ώρες παρουσίας των χρηστών σε αυτόν. Επιπροσθέτως, είναι δυνατή η ενσωμάτωση ωριαίων κλιματικών δεδομένων, ενώ λαμβάνεται υπόψη και η θερμική αδράνεια των δομικών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου, ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς.

Για τη χρήση της μεθόδου απαιτείται η είσοδος των ακόλουθων δεδομένων:

- Πλήρης γεωμετρική περιγραφή του κελύφους και των στοιχείων που το αποτελούν.
- Χωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες. Αυτό δεν είναι απαραίτητο όταν πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις (ISO, 2008):
 - Η επιθυμητή θερμοκρασία άνεσης των εσωτερικών χώρων δε διαφέρει περισσότερο από 4 K (4 °C) σε σχέση με άλλα τμήματα του κτιρίου κατά τη χειμερινή ή και τη θερινή περίοδο.
 - Δεν υπάρχουν χώροι με διαφορετική χρήση, γεγονός το οποίο θα μπορούσε να επιβάλλει και διαφορετικές εσωτερικές θερμοκρασίες σχεδιασμού.
 - Δεν υπάρχουν χώροι στο κτίριο που εξυπηρετούνται από διαφορετικά συστήματα θέρμανσης ή/και ψύξης ή/και κλιματισμού.
 - Δεν υπάρχουν χώροι που παρουσιάζουν πολύ μεγάλες συναλλαγές ενέργειας σε σχέση με άλλα τμήματα του κτιρίου.
 - Δεν υπάρχουν χώροι στους οποίους το σύστημα μηχανικού αερισμού καλύπτει λιγότερο από το 80% της επιφάνειας κάτοψης του χώρου του κτιρίου.

- Ιδιότητες μετάδοσης θερμότητας από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου (συντελεστές θερμοπερατότητας και θερμοχωρητικότητα στοιχείων).
- Ιδιότητες μετάδοσης θερμότητας λόγω αερισμού από τα κουφώματα (φυσικός αερισμός) ή λόγω μηχανικού αερισμού (εξαναγκασμένος αερισμός).
- Ωριαία κλιματικά δεδομένα, ήτοι η εξωτερική θερμοκρασία και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στα εκάστοτε στοιχεία του κελύφους.
- Εσωτερικά θερμικά κέρδη, τα οποία προέρχονται από τους χρήστες του κτιρίου και τις συσκευές, καθώς και ηλιακά θερμικά κέρδη.
- Θερμοκρασία άνεσης των χρηστών για θέρμανση και ψύξη (set – point temperature).
- Ονομαστική ισχύς συστημάτων θέρμανσης – ψύξης.

Επισημαίνεται ότι το μοντέλο κατόπιν εισαγωγής των παραπάνω δεδομένων επιστρέφει σαν έξοδο τα ωριαία, μηνιαία ή ετήσια ενεργειακά φορτία που απαιτούνται για θέρμανση ή ψύξη. Επιπροσθέτως, είναι δυνατό κανείς να αντλήσει και επιπλέον πληροφορίες, όπως είναι η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου σε ωριαίο επίπεδο. Το χρησιμοποιούμενο μοντέλο βασίζεται σε ένα ισοδύναμο μοντέλο αντίστασης – χωρητικότητας (resistance – capacitance (R-C) model), η σχηματική απεικόνιση του οποίου πραγματοποιείται στο σχήμα 2.1. Το σύνολο των αντιστάσεων – συντελεστών μετάδοσης θερμότητας που παρουσιάζονται στο ίδιο διάγραμμα αποτελούν μία απλοποίηση της συνολικής μετάδοσης θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Αξίζει να σημειωθεί ότι το παρόν μοντέλο, σε αντίθεση με το αντίστοιχο ημισταθερής κατάστασης, κάνει διαχωρισμό ανάμεσα στη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου και της μέσης θερμοκρασίας των εσωτερικών επιφανειών των δομικών στοιχείων του κελύφους (μέση θερμοκρασία ακτινοβολήσης), με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ακρίβεια των υπολογισμών.



Σχήμα 2.1 Μοντέλο αντίστασης – χωρητικότητας απλής ωριαίας μεθόδου (ISO, 2008)

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η επεξήγηση των μεγεθών που παρουσιάζονται στο παραπάνω σχήμα:

θ_{air} [°C]: Θερμοκρασία αέρα του εσωτερικού χώρου.

θ_{sup} [°C]: Θερμοκρασία αέρα που εισέρχεται στο χώρο λόγω φυσικού ή εξαναγκασμένου αερισμού.

θ_e [°C]: Θερμοκρασία αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος.

θ_m [°C]: Θερμοκρασία δομικών στοιχείων.

θ_s [°C]: Θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας των στοιχείων του κελύφους.

C_m [J/K]: Θερμοχωρητικότητα δομικών στοιχείων του κελύφους.

A_m [m²]: Επιφάνεια ωφέλιμης μάζας.

Φ_{int} [W]: ροή θερμότητας λόγω παρουσίας χρηστών στο χώρο και λειτουργίας των συσκευών.

Φ_{sol} [W]: ροή θερμότητας διαμέσου των δομικών στοιχείων του κελύφους εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας.

$\Phi_{\text{HC,nd}}$ [W]: ροή θερμότητας λόγω της λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης.

$H_{tr,em}$ [W/K]: Συντελεστής θερμοπερατότητας ανάμεσα στο αδιαφανές δομικό στοιχείο και το εξωτερικό περιβάλλον.

$H_{tr,ms}$ [W/K]: Συντελεστής θερμοπερατότητας ανάμεσα στο αδιαφανές δομικό στοιχείο και την εσωτερική επιφάνεια αυτού.

$H_{tr,is}$ [W/K]: Συντελεστής θερμοπερατότητας ανάμεσα στην εσωτερική επιφάνεια του αδιαφανούς δομικού στοιχείου και του εσωτερικού χώρου.

$H_{tr,w}$ [W/K]: Συντελεστής θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων του κελύφους.

2.2 Υπολογισμός ροών θερμότητας λόγω εσωτερικών και ηλιακών κερδών

Ο υπολογισμός των ηλιακών θερμικών κερδών πραγματοποιείται κατά EN ISO 13790 (ISO, 2008), ενώ ο προσδιορισμός των συντελεστών και των διαφόρων μεγεθών που εμφανίζονται στις σχέσεις υπολογισμού γίνεται σε εθνικό επίπεδο από την Τεχνικές Οδηγίες του Τ.Ε.Ε. (ΤΕΕ, 2017α).

Για τον υπολογισμό της ροής θερμότητας λόγω ηλιακών κερδών διαμέσου του στοιχείου k του κελύφους σε [W] γίνεται χρήση της ακόλουθης σχέσης (ISO, 2008):

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k} \quad (2.1)$$

όπου:

- $F_{sh,ob,k}$: συντελεστής σκίασης λόγω παρουσίας εξωτερικών εμποδίων (σκίαστρα, προεξοχές κτιρίου, κτίρια στον ορίζοντα).
- $A_{sol,k} [m^2]$: ηλιακά ωφέλιμη συλλεκτική επιφάνεια.
- $I_{sol,k} \left[\frac{W}{m^2} \right]$: μέση ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στην ωφέλιμη συλλεκτική επιφάνεια του στοιχείου k για το χρονικό βήμα της ανάλυσης (1 ώρα).
- $F_{r,k}$: συντελεστής μορφής ανάμεσα στο στοιχείο και τον ουράνιο θόλο.
- $\Phi_{r,k} [W]$: επιπρόσθετη ροή θερμότητας στο στοιχείο k του κελύφους εξαιτίας της ακτινοβολούσας θερμότητας αυτού προς τον ουράνιο θόλο.

Σημείωση: Ο παράγοντας $F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}$ δε λήφθηκε υπόψιν στην παρούσα ανάλυση λόγω έλλειψης κλιματικών δεδομένων.

Η ηλιακά ωφέλιμη συλλεκτική επιφάνεια μπορεί να υπολογιστεί για αδιαφανή δομικά στοιχεία ως εξής:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \quad (2.2)$$

όπου:

- $F_{sh,gl}$: συντελεστής σκίασης λόγω κινητών σκίαστρων.
- g_{gl} : συντελεστής θερμικών απολαβών του διαφανούς τμήματος του στοιχείου.
- F_F : ποσοστό που καταλαμβάνει το πλαίσιο στο διαφανές δομικό στοιχείο.
- $A_{w,p} [m^2]$: ολικό εμβαδόν υαλοπίνακα.

Για τα διαφανή δομικά στοιχεία η αντίστοιχη σχέση εκφράζεται ως:

$$A_{sol} = a_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \quad (2.3)$$

όπου:

- $a_{S,c}$: αδιάστατος συντελεστής απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας.
- $R_{se} \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$: αντίσταση θερμότητας εξωτερικής επιφάνειας.
- $U_c \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$: ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας.
- $A_c [m^2]$: επιφάνεια του δομικού στοιχείου.

Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη, πέρα από αυτά των συστημάτων θέρμανσης – ψύξης είναι γενικά τα ακόλουθα:

- Ροή θερμότητας λόγω παρουσίας χρηστών στον εσωτερικό χώρο.
- Ροή θερμότητας λόγω λειτουργίας συσκευών – φωτισμού.

Υπογραμμίζεται ότι σε περιπτώσεις που εφαρμόζεται η μέθοδος ημισταθερής κατάστασης (π.χ. για την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης), το χρονικό βήμα της οποίας είναι μηνιαίο, η λήψη των δεδομένων που σχετίζονται με τα εσωτερικά κέρδη γίνεται σε εθνικό επίπεδο από τις τεχνικές οδηγίες του Τ.Ε.Ε.. Ωστόσο, στην παρούσα ερευνητική διερεύνηση, στην οποία το χρονικό βήμα των υπολογισμών είναι ωριαίο, κρίνεται σκόπιμη η ενσωμάτωση εβδομαδιαίου προγράμματος λειτουργίας του χώρου του κτιρίου, ανάλογα με τις ώρες παρουσίας των χρηστών σε αυτόν.

Τελικά, οι ροές θερμότητας από τα εσωτερικά και τα ηλιακά θερμικά κέρδη μπορούν να εκφραστούν από τις παρακάτω σχέσεις σε [W] (ISO, 2008):

$$\Phi_{ia} = 0.5 \cdot \Phi_{int} \quad (2.4)$$

$$\Phi_m = \frac{A_m}{A_t} (0.5 \cdot \Phi_{int} + \Phi_{sol}) \quad (2.5)$$

$$\Phi_{st} = \left(1 - \frac{A_m}{A_t} - \frac{H_{tr,w}}{9.1 \cdot A_t} \right) \cdot (0.5 \cdot \Phi_{int} + \Phi_{sol}) \quad (2.6)$$

όπου η τιμή A_t είναι συνάρτηση της επιφάνειας δαπέδου A_f του θερμαινόμενου ή κλιματιζόμενου χώρου: $A_t = 4.5 \cdot A_f$, ενώ η επιφάνεια ωφέλιμης μάζας A_m λαμβάνεται συνήθως από πίνακες.

2.3 Υπολογισμός ροών θερμότητας λόγω θερμικών απωλειών και αερισμού

Αρχικά, για τον προσδιορισμό των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων γίνεται χρήση της τεχνικής οδηγίας TOTE 20701-1 (TEE, 2017a), ενώ κατόπιν απαιτείται κατάλληλη προσαρμογή αυτών, ώστε να ενσωματωθούν στο πρόγραμμα της προσομοίωσης. Στην περίπτωση των αδιαφανών δομικών στοιχείων, αγνοώντας στην προτεινόμενη τιμή της σχέσης την ύπαρξη των θερμογεφύρων για απλοποίηση των υπολογισμών, ισχύει:

$$H_{op} = \sum_i U_{op,i} \cdot A_t \cdot b \quad (2.7)$$

όπου:

- $H_{op} \left[\frac{W}{K} \right]$: συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας από τα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κελύφους.
- $U_{op,i} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$: θερμοπερατότητα αδιαφανούς δομικού στοιχείου i .
- b : μειωτικός συντελεστής, ο οποίος προσαρμόζει τις υπολογισθείσες θερμικές απώλειες από κάθε επιφάνεια του κελύφους του κτιρίου στις πραγματικές θερμοκρασιακές συνθήκες. Όταν οι επιφάνειες του κτιρίου έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα $b = 1$, ενώ όταν έρχονται σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο $b = 0.5$.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί η δυνατότητα για κατάλληλη προσαύξηση του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας, ώστε να συμπεριλαμβάνει την επίδραση των θερμογεφύρων (TEE, 2017a).

Όπως έχει ήδη παρουσιαστεί, το μοντέλο προσομοίωσης κάνει ένα διαχωρισμό στο συντελεστή μετάδοσης θερμότητας στα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κελύφους σε δύο επιμέρους συντελεστές, γεγονός που εξασφαλίζει μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς (βλ. σχήμα 2.1):

$$H_{em} = \frac{1}{\frac{1}{H_{op}} + \frac{1}{H_{ms}}} \quad (2.8)$$

με:

$$H_{ms} = h_{ms} \cdot A_m \quad (2.9)$$

όπου:

- $h_{ms} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$: συντελεστής μετάδοσης θερμότητας μεταξύ των κόμβων m και s (βλ. σχήμα 2.1).

Με αντίστοιχο τρόπο γίνεται και ο υπολογισμός του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας από τα κουφώματα του κτιριακού κελύφους:

$$H_w = \sum_i U_{w,i} \cdot A_i \cdot b \quad (2.10)$$

όπου:

- $H_w \left[\frac{W}{K} \right]$: συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας από τα ανοίγματα.
- $U_{w,i} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$: θερμοπερατότητα ανοίγματος i.

Τέλος, οι απώλειες λόγω αερισμού μπορούν να προσδιοριστούν από την ακόλουθη σχέση:

$$H_{ve} = \rho \cdot c_p \cdot \sum_i q_{ve,i,mn} \quad (2.11)$$

όπου:

- $H_{ve} \left[\frac{W}{K} \right]$: συνολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας λόγω αερισμού του χώρου του κτιρίου.
- $\rho \cdot c_p$: θερμοχωρητικότητα του αέρα ανά κυβικό, ίση με $1200 \frac{J}{m^3 K}$
- $q_{ve,i,mn} \left[\frac{m^3}{s} \right]$: μέση χρονικά τιμή αερισμού από το δομικό στοιχείο i.

2.4 Καθορισμός εσωτερικής θερμοκρασίας αέρα για δεδομένη ροή θερμότητας συστήματος θέρμανσης – ψύξης

Η εύρεση της θερμοκρασίας του αέρα βασίζεται σε ένα σχήμα Crank – Nicolson, το οποίο υπολογίζει επαναληπτικά τη θερμοκρασία τη χρονική στιγμή t με βάση την τιμή της θερμοκρασίας στο προηγούμενο χρονικό βήμα $t-1$. Το χρονικό βήμα που χρησιμοποιείται είναι η μία ώρα. Συνεπώς, προκειμένου να εκκινήσει η επαναληπτική διαδικασία απαιτείται ο χρήστης να θέσει μία αρχική συνθήκη για την τιμή της θερμοκρασίας θ_m των δομικών στοιχείων, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\theta_{m,t} = \frac{\theta_{m,t-1} \left[\frac{C_m}{3600} - 0.5 \cdot (H_{tr,3} + H_{tr,em}) \right] + \Phi_{m,tot}}{\frac{C_m}{3600} + 0.5 \cdot (H_{tr,3} + H_{tr,em})} \quad (2.12)$$

όπου:

$$\Phi_{m,tot} = \Phi_m + H_{tr,em} \cdot \theta_e + H_{tr,3} \cdot \frac{\Phi_{st} + H_{tr,w} \cdot \theta_e + H_{tr,1} \cdot \left\{ \left[\frac{\Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd}}{H_{ve}} \right] + \theta_{sup} \right\}}{H_{tr,2}} \quad (2.13)$$

$$H_{tr,1} = \frac{1}{\frac{1}{H_{ve}} + \frac{1}{H_{tr,is}}} \quad (2.14)$$

$$H_{tr,2} = H_{tr,1} + H_{tr,w} \quad (2.15)$$

$$H_{tr,3} = \frac{1}{\frac{1}{H_{tr,2}} + \frac{1}{H_{tr,ms}}} \quad (2.16)$$

Σε κάθε χρονικό βήμα t απαιτείται να υπολογιστεί, εκτός των άλλων, η τιμή της θερμοκρασίας των δομικών στοιχείων ως ο μέσος όρος των θερμοκρασιών των δύο χρονικών στιγμών t και $t-1$:

$$\theta_m = \frac{\theta_{m,t} + \theta_{m,t-1}}{2} \quad (2.17)$$

Ακολούθως, μπορεί κανείς να υπολογίσει την θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας των δομικών στοιχείων ως εξής:

$$\theta_s = \frac{H_{tr,ms} \cdot \theta_m + \Phi_{st} + H_{tr,w} \cdot \theta_e + H_{tr,l} \left[\theta_{sup} + \frac{\Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd}}{H_{ve}} \right]}{H_{tr,ms} + H_{tr,w} + H_{tr,l}} \quad (2.18)$$

Τέλος, στο σημείο αυτό είναι πλέον εφικτός ο υπολογισμός της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα στο εκάστοτε χρονικό βήμα των υπολογισμών:

$$\theta_{air} = \frac{H_{tr,is} \cdot \theta_s + H_{ve} \cdot \theta_{sup} + \Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd}}{H_{tr,is} + H_{ve}} \quad (2.19)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί πραγματοποιούνται για μία δεδομένη τιμή αποδιδόμενης ισχύος $\Phi_{HC,nd}$ από το σύστημα, όπως άλλωστε θα φανεί και από την επόμενη ενότητα.

2.5 Προσδιορισμός εσωτερικής θερμοκρασίας και απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης – ψύξης

Στην παρούσα ενότητα πραγματοποιούνται οι τελικοί υπολογισμοί με χρήση των σχέσεων της προηγούμενης ενότητας, προκειμένου να προσδιοριστούν η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου και η απαιτούμενη ισχύς που καλείται να παρέχει το σύστημα σε αυτόν σε κάθε χρονικό βήμα, ώστε να καλύπτεται η θερμική άνεση των χρηστών. Οι υπολογισμοί αυτοί θα υλοποιηθούν με βάση το ακόλουθο λογικό σχήμα:

- Αρχικά γίνεται έλεγχος αν απαιτείται θέρμανση ή ψύξη. Για το σκοπό αυτό, λαμβάνεται μηδενική η τιμή της ισχύος των συστημάτων και υπολογίζεται η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου $\theta_{air,0}$ από τις σχέσεις (2.12) έως (2.19). Αν αυτή βρίσκεται στην περιοχή θερμοκρασιών άνεσης του χρήστη, δηλαδή ανάμεσα στις θερμοκρασίες – στόχους (set – points) θέρμανσης και ψύξης που έχει θέσει αυτός, τότε δεν απαιτούνται επιπλέον υπολογισμοί σε αυτό το χρονικό βήμα και η θερμική άνεση καλύπτεται χωρίς να απαιτείται να λειτουργήσει το σύστημα.
- Αν δε συμβαίνει αυτό, τότε ελέγχεται αν απαιτείται θέρμανση ή ψύξη, συγκρίνοντας τη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου με αυτή των θερμοκρασιών – στόχων.
- Κατόπιν, υπολογίζεται η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα $\theta_{air,10}$ από τις σχέσεις (2.12) έως (2.19) λαμβάνοντας την τιμή αποδιδόμενης ισχύος από το σύστημα ίση με:

$$\Phi_{HC,nd} = \Phi_{HC,nd,10} = 10 \cdot A_f \quad (2.20)$$

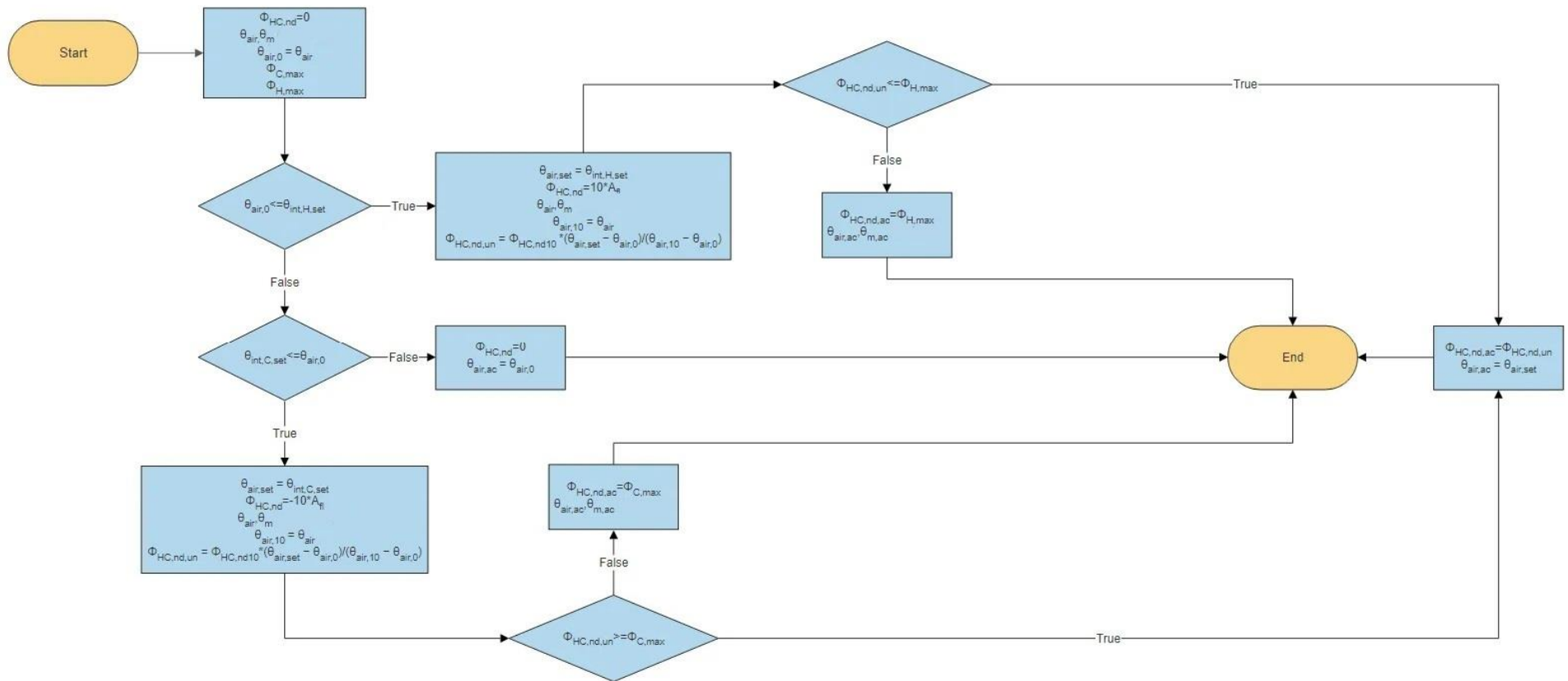
Κρίνεται σκόπιμο να υπογραμμιστεί στο σημείο αυτό ότι σε περίπτωση που απαιτείται ψύξη η τιμή της ισχύος λαμβάνει αρνητική τιμή, δεδομένου ότι παράγεται θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο.

- Εν συνεχεία, υπολογίζεται η απαιτούμενη ισχύς που καλείται να καλύψει το σύστημα στο συγκεκριμένο χρονικό βήμα προκειμένου να επιτευχθεί η θερμοκρασία – στόχος $\theta_{air,set}$ με βάση την ακόλουθη γραμμική παρεμβολή:

$$\Phi_{HC,nd,un} = \Phi_{HC,nd,10} \cdot \frac{\theta_{air,set} - \theta_{air,0}}{\theta_{air,10} - \theta_{air,0}} \quad (2.21)$$

- Έπειτα, ελέγχεται αν το σύστημα είναι ικανό να παρέχει την παραπάνω απαιτούμενη ισχύ:
 - Αν η ονομαστική ισχύς του συστήματος είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη ισχύ που καλείται να δώσει στο συγκεκριμένο χρονικό βήμα τότε αυτό λειτουργεί σε συνθήκες μερικού φορτίου και η θερμοκρασία του χώρου θα είναι ίση με τη θερμοκρασία – στόχο που έχει τεθεί, δηλαδή επιτυγχάνεται θερμική άνεση.
 - Αν δεν ισχύει η παραπάνω συνθήκη τότε το σύστημα λειτουργεί σε πλήρες φορτίο και η θερμική άνεση δεν καλύπτεται. Σε αυτήν την περίπτωση είναι απαραίτητος ο υπολογισμός εκ νέου της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου από τις σχέσεις (2.12) έως (2.19).

Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας που περιεγράφηκε στην ενότητα αυτή δίδεται στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Διάγραμμα ροής υπολογισμών απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης/ψύξης

3. Κτίριο προς μελέτη

3.1 Γεωμετρικά θερμικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά κτιριακού κελύφους

Στο σημείο αυτό της μελέτης παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους, σύμφωνα με το οποίο αναπτύχθηκε η προτεινόμενη μεθοδολογία.

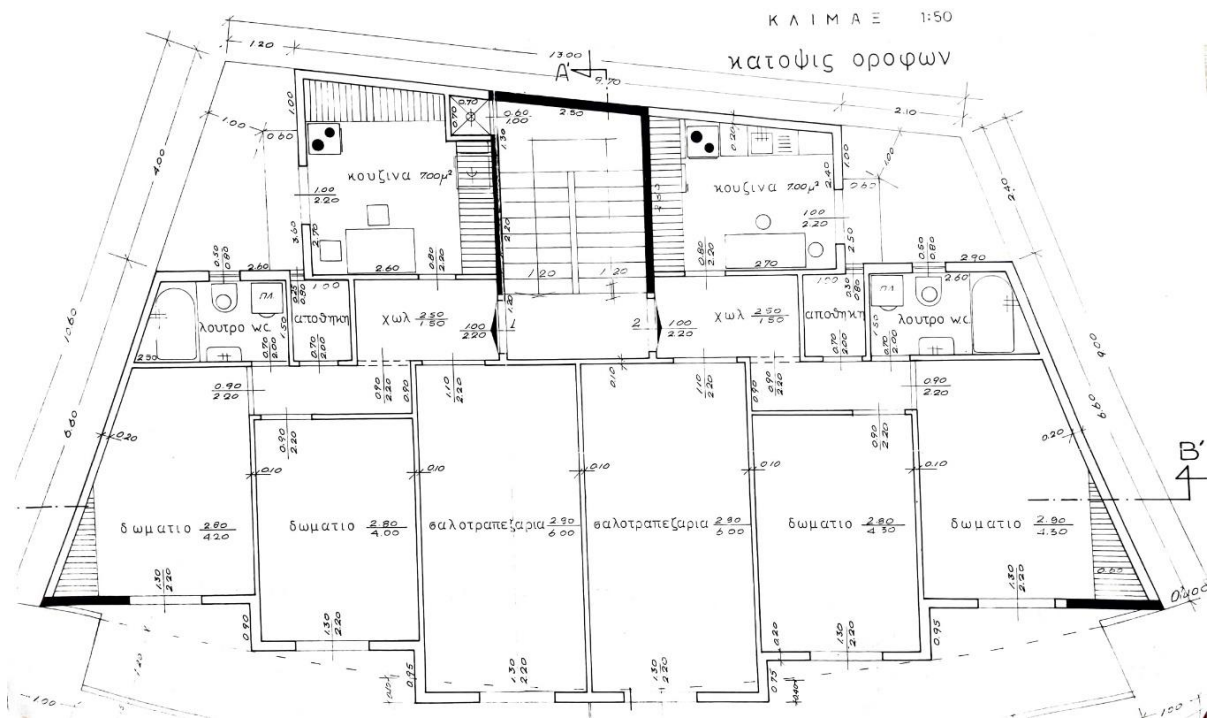
Το κτίριο θεωρείται ότι βρίσκεται στην περιοχή της Αθήνας, για την οποία διατίθενται ωριαία κλιματικά δεδομένα που σχετίζονται με την εξωτερική θερμοκρασία και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στα επιμέρους δομικά στοιχεία του κελύφους από το αστεροσκοπείο Αθηνών (Argiriou, et al., 1999). Ωστόσο, όπως θα δειχθεί και σε επόμενη ενότητα, το σύνολο των υπολογισμών θα επαναληφθεί και για μία ακόμη περιοχή της Ελλάδας και ειδικότερα της Κοζάνης, προς επιβεβαίωση της ορθότητας της ακολουθούμενης μεθοδολογίας. Πρόκειται για μία δώροφη πολυκατοικία, η οποία διαθέτει πυλωτή και συμβατικού τύπου δώμα, ενώ για τη σύσταση των κατακόρυφων δομικών στοιχείων ισχύει η ακόλουθη αναλογία: 70% μπατική οπτοπλινθοδομή / 30% οπλισμένο σκυρόδεμα. Δεδομένου ότι η οικοδομική άδεια του κτιρίου εκδόθηκε πριν το 1979, αυτό δεν υπακούει σε κανένα κανονισμό για θερμομονωτική προστασία. Επισημαίνεται ότι η πλειονότητα των θερμικών χαρακτηριστικών του λήφθηκαν από την τεχνική οδηγία 20701-1 (TEE, 2017α). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι τιμές των θερμοπερατοτήτων των δομικών στοιχείων λήφθηκαν από τον πίνακα 3.5 της παραπάνω τεχνικής οδηγίας. Τα κουφώματα αποτελούνται από διπλούς υαλοπίνακες και η θερμοπερατότητά τους προσδιορίζεται από τον πίνακα 3.13, ενώ θεωρώντας ότι υπάρχει φυσικός αερισμός, η διείσδυση αέρα από αυτά λαμβάνεται από τον πίνακα 3.24. Τέλος, η θερμοχωρητικότητα και η επιφάνεια ωφέλιμης μάζας λήφθηκαν από την Ευρωπαϊκή οδηγία EN ISO 13790 (βλ. πίνακα 3.1), δεδομένου ότι το κτίριο κατατάσσεται στην κατηγορία βαριάς κατασκευής (TEE, 2017α, p. 80). Το σύνολο των γεωμετρικών και θερμικών χαρακτηριστικών του κελύφους παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2 παρακάτω, ενώ στις εικόνες 3.1, 3.2 απεικονίζονται η κάτοψη και μία τομή του κτιρίου.

Class ^a	Monthly and seasonal method C_m J/K ^b	Simple hourly method	
		A_m m ²	C_m J/K
Very light	$80\,000 \times A_f$	$2,5 \times A_f$	$80\,000 \times A_f$
Light	$110\,000 \times A_f$	$2,5 \times A_f$	$110\,000 \times A_f$
Medium	$165\,000 \times A_f$	$2,5 \times A_f$	$165\,000 \times A_f$
Heavy	$260\,000 \times A_f$	$3,0 \times A_f$	$260\,000 \times A_f$
Very heavy	$370\,000 \times A_f$	$3,5 \times A_f$	$370\,000 \times A_f$

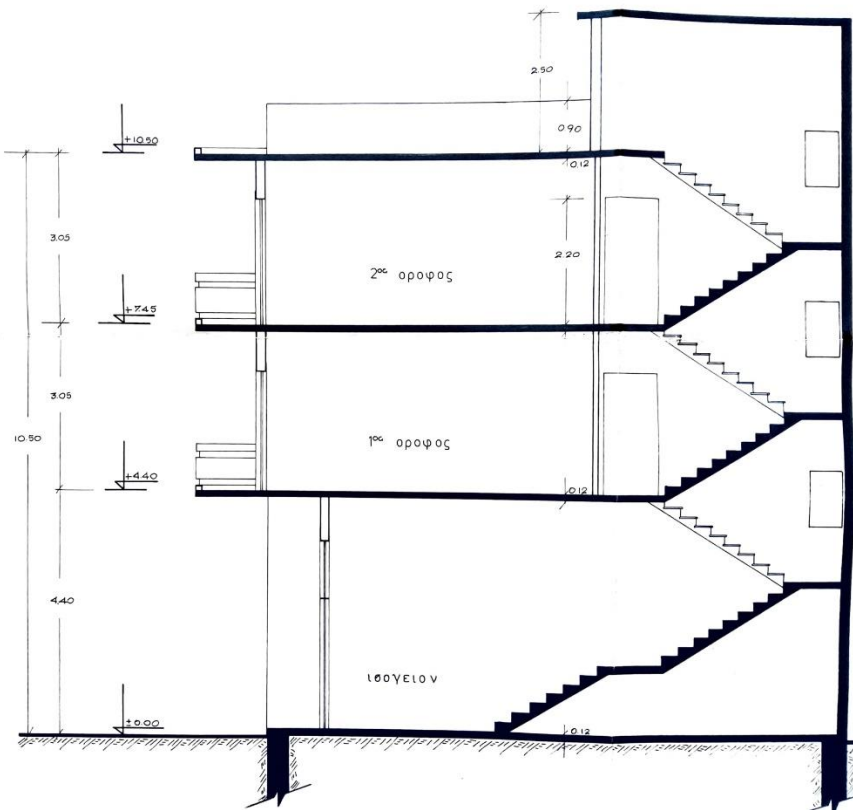
Πίνακας 3.1 Θερμοχωρητικότητα και επιφάνεια ωφέλιμης μάζας διαφόρων κτιριακών κατασκευών (ISO, 2008)

Μέγεθος	Επεξήγηση	Τιμή
A_f [m ²]	Επιφάνεια κλιματιζόμενου χώρου	238.8
$A_{M.Θ.X}$ [m ²]	Επιφάνεια δομικών στοιχείων σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο (κλιμακοστάσιο)	74.9
$A_{παρ}$ [m ²]	Παράπλευρη επιφάνεια κελύφους	346.79
A_w [m ²]	Επιφάνεια διαφανών δομικών στοιχείων	45.6
A_m [m ²]	Επιφάνεια ωφέλιμης μάζας	716.4
$U_{δαπ}$ [W/m ² ·K]	Θερμοπερατότητα δαπέδου	2.75
$U_{ορ}$ [W/m ² ·K]	Θερμοπερατότητα οροφής	3.05
$U_{τχ}$ [W/m ² ·K]	Θερμοπερατότητα κατακόρυφων δομικών στοιχείων	2.56
U_w [W/m ² ·K]	Θερμοπερατότητα κουφωμάτων	4.1
U_m [W/m ² ·K]	Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κελύφους	2.75
V [m ³ /h]	Διείσδυση αέρα από τα κουφώματα	393.5
C_m [MJ/K]	Θερμοχωρητικότητα κτιριακού κελύφους	62.09
α_{sc}	Συντελεστής απορροφητικότητας αδιαφανούς στοιχείου στην ηλιακή ακτινοβολία	0.6
g_{gl}	Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους υαλοπίνακα	0.68
$R_{δαπ}$ [m ² ·K/W]	Αντίσταση θερμότητας δαπέδου	0.17
$R_{ορ}$ [m ² ·K/W]	Αντίσταση θερμότητας οροφής	0.04
$R_{παρ}$ [m ² ·K/W]	Αντίσταση θερμότητας παράπλευρης επιφάνειας κελύφους	0.04

Πίνακας 3.2 Υπολογισμός γεωμετρικών και θερμικών χαρακτηριστικών μελετώμενου κτιρίου



Εικόνα 3.1 Κάτοψη κτιρίου



Εικόνα 3.2 Τομή κτιρίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, ένα από τα πλεονεκτήματα μίας δυναμικής προσομοίωσης είναι η πολύ εύκολη ενσωμάτωση εβδομαδιαίου προγράμματος λειτουργίας του κτιρίου. Δεδομένου ότι από τις τεχνικές οδηγίες του TEE δε δίδονται τέτοια προγράμματα είναι δυνατό κανείς να καταφύγει στην ευρωπαϊκή οδηγία EN ISO 13790 (ISO, 2008), στην οποία αποτυπώνεται ο ρυθμός ροής θερμότητας από τους χρήστες και από τις συσκευές ανάλογα με το χώρο της κατοικίας (πίνακας 3.3).

Days	Hours	Residential buildings	
		Living room plus kitchen $(\Phi_{int,Oc} + \Phi_{int,A})/A_f$ W/m ²	Other conditioned areas (e.g. bedrooms) $(\Phi_{int,Oc} + \Phi_{int,A})/A_f$ W/m ²
Monday to Friday	07.00 to 17.00	8,0	1,0
	17.00 to 23.00	20,0	1,0
	23.00 to 07.00	2,0	6,0
	Average	9,0	2,67
Saturday and Sunday	07.00 to 17.00	8,0	2,0
	17.00 to 23.00	20,0	4,0
	23.00 to 07.00	2,0	6,0
	Average	9,0	3,83
Average		9,0	3,0

Πίνακας 3.3 Ρυθμός ροής θερμότητας από χρήστες και συσκευές (ISO, 2008)

3.2 Υποθέσεις

Για την υλοποίηση του συνόλου των υπολογισμών της προσομοίωσης της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω υποθέσεις:

- Το κτίριο θεωρήθηκε ως μία ενιαία θερμική ζώνη, εφόσον όλοι οι χώροι μίας κατοικίας έχουν παρόμοια χρήση με ίδιο προφίλ λειτουργίας, ενώ η θερμοκρασία άνεσης δε διαφέρει σε καμία περίπτωση περισσότερο από 4 °C τόσο για θέρμανση, όσο και για ψύξη (ISO, 2008, p. 17).
- Στη συνολική επιφάνεια του θερμαινόμενου/κλιματιζόμενου χώρου συμπεριελήφθησαν και οι μη θερμαινόμενοι χώροι του κτιρίου (αποθήκες), δεδομένου ότι ο όγκος που καταλαμβάνουν είναι πολύ μικρός συγκριτικά με το συνολικό όγκο του κτιρίου (ISO, 2008, p. 17).
- Το κτίριο δε διαθέτει κινητά ή άλλα σκίαστρα, ενώ δε σκιάζεται από κανένα εμπόδιο στον ορίζοντα.
- Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης λειτουργούν μόνο όταν οι χρήστες παρευρίσκονται στο χώρο.
- Η θερμοκρασία άνεσης των χρηστών θεωρήθηκε ότι κυμαίνεται στο εύρος 18 – 20 °C για θέρμανση και 25–27 °C για ψύξη.

4. Περιγραφή μεθοδολογίας διαστασιολόγησης

4.1 Αξιοποίηση αποτελεσμάτων μοντέλου προσομοίωσης

Στην παρούσα διερεύνηση έγινε χρήση δύο χρονικών διαστημάτων για τη διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης:

- Του μήνα του έτους που σημειώνονται οι χαμηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες, σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα που υιοθετήθηκαν.
- Της περιόδου θέρμανσης που αντιστοιχεί στην κλιματική ζώνη που ανήκει το κτίριο, η οποία σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία 20701-1/2017 είναι από την 1^η Νοεμβρίου μέχρι και τις 15 Απριλίου για την περίπτωση της Αθήνας και από την 15 Οκτωβρίου έως και τις 30 Απριλίου για την περιοχή της Κοζάνης. (ΤΕΕ, 2017α, p. 27).

Αντιστοίχως, στην περίπτωση της διαστασιολόγησης του συστήματος ψύξης λήφθηκαν τα ακόλουθα χρονικά διαστήματα:

- Ο μήνας του έτους που σημειώνονται οι υψηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες, σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα που υιοθετήθηκαν.
- Η περίοδος ψύξης που αντιστοιχεί στην κλιματική ζώνη που ανήκει το κτίριο, η οποία σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία 20701-1/2017 είναι από τις 15 Μαΐου μέχρι και τις 15 Απριλίου για την περιοχή της Αθήνας και από την 1^η Ιουνίου έως και τις 31 Αυγούστου για την περιοχή της Κοζάνης (ΤΕΕ, 2017α, p. 27).

Αρχικά, έγινε χρήση του μοντέλου δυναμικής προσομοίωσης του ISO EN 13790 προκειμένου να ληφθούν τα απαραίτητα δεδομένα, στα οποία, στη συνέχεια, είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί η παρεμβολή. Ο αριθμός των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό είναι αρκούντως μεγάλος, ώστε να εξασφαλιστεί μεγάλη ακρίβεια στα μοντέλα πρόβλεψης. Όπως έχει ήδη επισημανθεί σε προηγούμενη ενότητα, το μοντέλο προσομοίωσης επιστρέφει σαν έξοδο τις ωριαίες ενεργειακές ανάγκες (σε W) και τις ωριαίες τιμές των θερμοκρασιών του εσωτερικού χώρου (σε °C). Τα ενεργειακά φορτία του χώρου σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (π.χ. μήνας, έτος, κ.λπ.) είναι δυνατό να υπολογιστούν κατόπιν αριθμητικής ολοκλήρωσης σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q_{dem} = \int_0^{\Delta t} \dot{Q} \cdot dt \quad (4.1)$$

όπου,

Δt [h]: χρονικό διάστημα υπολογισμών φορτίων.

\dot{Q} [W]: τιμή ισχύος αντιπροσωπευτική των ωριαίων θερμικών αναγκών του χώρου.

Q_{dem} [Wh]: Ενεργειακά φορτία χώρου στο καθορισμένο χρονικό διάστημα της μελέτης.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση της μεθοδολογίας ποσοτικού προσδιορισμού της έννοιας της θερμικής δυσφορίας. Στην παρούσα διερεύνηση έγινε χρήση δύο διαφορετικών δεικτών για τον προσδιορισμό της:

$$- \text{θερμική δυσφορία (\%)} = \frac{\% \text{ ωρών μη ικανοποίησης άνεσης}}{\text{συνολικός αριθμός ωρών λειτουργίας του συστήματος}} \quad (4.2)$$

$$- DDH_N (\%) = \frac{DDH}{\Delta T_{\max} \cdot H} = \frac{\sum_{i=1}^n (|T_{\text{comf}} - T_{\text{air,ac}}|)}{(|T_{\text{comf}} - T_m|) \cdot H} \quad (4.3)$$

όπου,

$DDH [h]$: Συνολικός αριθμός ωρών θερμικής δυσφορίας (βαθμοώρες) για το χρονικό διάστημα n της ανάλυσης (Discomfort Degree Hours).

DDH_N : Κανονικοποιημένος συντελεστής μεθόδου βαθμοωρών για τον προσδιορισμό της θερμικής δυσφορίας με βάση τη μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση θερμοκρασίας από την επιθυμητή (Normalized Discomfort Degree Hours).

$T_{\text{air,ac}} [^{\circ}C]$: Θερμοκρασία εσωτερικού χώρου.

$\Delta T_{\max} [^{\circ}C]$: Μέγιστη επιτρεπόμενη διαφορά θερμοκρασίας.

$T_{\text{comf}} [^{\circ}C]$: Θερμοκρασία άνεσης των χρηστών του κτιρίου.

$T_m [^{\circ}C]$: Ελάχιστη/μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία.

$H [h]$: Συνολικός αριθμός ωρών λειτουργίας συστήματος θέρμανσης.

Επισημαίνεται ότι η ελάχιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λήφθηκε δύο βαθμούς κάτω από τη θερμοκρασία άνεσης (περίπτωση θέρμανσης), ενώ η μέγιστη δύο βαθμούς πάνω (περίπτωση ψύξης). Σε κάθε περίπτωση, η θερμική άνεση μπορεί να ληφθεί ως εξής:

$$\text{θερμική άνεση (\%)} = 1 - \text{θερμική δυσφορία (\%)} \quad (4.4)$$

Αξίζει να σημειωθεί ακόμη ότι το ποσοστό των ωρών στις οποίες δεν καλύπτεται η θερμική άνεση στην πρώτη περίπτωση αντιπροσωπεύει το ποσοστό του χρόνου για το οποίο η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της θερμοκρασίας άνεσης των χρηστών. Συνεπώς, με αυτόν τον τρόπο υπολογισμού δεν είναι εφικτός ο προσδιορισμός του ποσού της θερμικής δυσφορίας. Το πρόβλημα αυτό καλείται να επιλύσει ο δεύτερος δείκτης που παρουσιάστηκε παραπάνω (DDH_N), ο οποίος υπολογίζει το σύνολο των ωρών

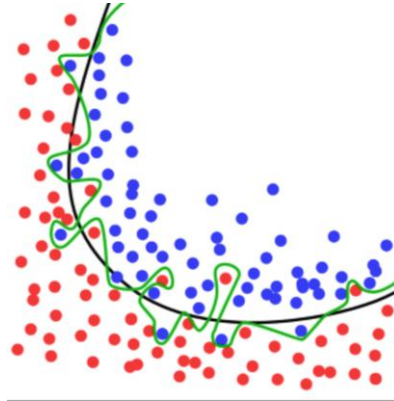
θερμικής δυσφορίας ανάλογα με την απόκλιση της εσωτερικής θερμοκρασίας από τη θερμοκρασία άνεσης. Από μαθηματική σκοπιά, όπως θα αναλυθεί και σε επόμενη ενότητα, το μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του δείκτη έγκειται στο γεγονός του ότι γίνεται χρήση ενός συνεχούς πεδίου ορισμού, σε πλήρη αντίθεση με τον πρώτο δείκτη που λαμβάνει διακριτές τιμές. Προς επίρρωση των ανωτέρω, ο δείκτης αυτός έχει χρησιμοποιηθεί αρκετές φορές στη βιβλιογραφία για τον ποσοτικό προσδιορισμό της θερμικής άνεσης (Lin, et al., 2018; Hamdy, et al., 2010; Zhang, et al., 2005), γεγονός που ενισχύει περαιτέρω την πεποίθηση ότι η μέθοδος των βαθμοωρών είναι ικανή να προσδιορίσει ποσοτικά με μεγάλη ακρίβεια τη θερμική άνεση. Στην προκειμένη περίπτωση ωστόσο έγινε κανονικοποίηση αυτού του δείκτη σύμφωνα με την ελάχιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία που θέτει ο χρήστης (ενδεικτικά λήφθηκε 2 K κάτω από τη θερμοκρασία άνεσης) για λόγους σύγκρισης με τον πρώτο δείκτη θερμικής δυσφορίας, καθώς και για την καλύτερη αναπαράστασή του.

4.2 Γενική περιγραφή προγράμματος ALAMO και μεθόδων επίλυσης

Για τον προσδιορισμό των σχέσεων παλινδρόμησης, έγινε χρήση του λογισμικού ALAMO (Automated Learning of Algebraic Models for Optimization), το οποίο είναι ικανό να εξάγει απλά και ακριβή «υποκατάστατα» μοντέλα (surrogate models) εντοπίζοντας συσχετίσεις μεταξύ διαφόρων μεγεθών, τα δεδομένα των οποίων προέρχονται από προσομοιώσεις ή πειράματα (Cozad, et al., 2014). Το πρόγραμμα αυτό παρέχει πολύ μεγάλη ευκολία ως προς τον καθορισμό των επιθυμητών εξισώσεων παρεμβολής έναντι του MATLAB, καθώς μπορεί να εντοπίσει όχι μόνο τις παραμέτρους, αλλά και το βέλτιστο είδος συσχέτισης μεταξύ των ανεξάρτητων και των εξαρτημένων μεταβλητών του προβλήματος. Ακόμη, έχει διαπιστωθεί ότι το ALAMO υπερτερεί έναντι άλλων παρόμοιων λογισμικών που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό, όπως είναι το SUMO και το Eureqa, καθώς τα παραγόμενα «υποκατάστατα» μοντέλα έχουν αρκετά μεγάλη ακρίβεια, διατηρώντας παράλληλα μεγαλύτερη απλότητα (Cozad, et al., 2013).

Αρχικά, ο χρήστης εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα στα οποία επιθυμεί να βρει κάποια συσχέτιση. Εν συνεχεία, καλείται να προσδιορίσει τις κατάλληλες συναρτήσεις, οι οποίες κατά τη γνώμη του περιγράφουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το πρόβλημα. Οι πιθανές συσχετίσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι εξής: γραμμική, πολυωνυμική, λογαριθμική, εκθετική και ημιτονοειδής. Αξίζει να υπογραμμιστεί ότι ο εντοπισμός των κατάλληλων συναρτήσεων είναι κρίσιμος, καθώς μπορεί να επηρεάσει καθοριστικά τη συμπεριφορά του μοντέλου πρόβλεψης. Ειδικότερα, αν το εξαγόμενο μοντέλο κάνει χρήση μονάχα πολύ απλών συναρτήσεων (π.χ. γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης) είναι πιθανό να μην είναι ικανό να βρει την καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών, ώστε το σφάλμα να είναι μεγάλο (underfitting). Από την άλλη μεριά, αν γίνει χρήση πολλών και άσχετων με το πρόβλημα συναρτήσεων είναι δυνατό να οδηγηθεί κανείς σε υπερπροσαρμογή (overfitting), κατάσταση στην οποία το εξαγόμενο μοντέλο προσπαθεί να περιγράψει το τυχαίο σφάλμα

μεταξύ των δεδομένων και όχι τη σχέση μεταξύ των επιθυμητών μεγεθών. Απότοκο αυτού είναι η αδυναμία του μοντέλου να κάνει προβλέψεις για δεδομένα στα οποία δεν έχει εκπαιδευτεί (Sammut & Webb, 2011). Μία χαρακτηριστική περίπτωση αυτού του φαινομένου απεικονίζεται στην εικόνα 4.1 (science, 2019). Καταληκτικά, είναι απαραίτητη η επιλογή του κατάλληλου αριθμού συναρτήσεων εξασφαλίζοντας έτσι μικρό σφάλμα και παρέχοντας ταυτόχρονα δυνατότητα γενίκευσης του μοντέλου.

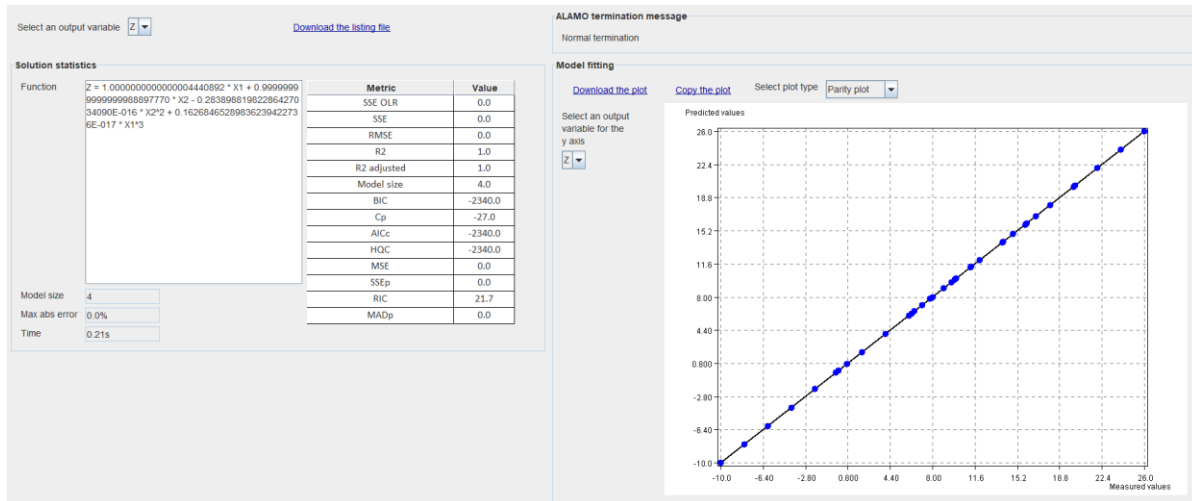


Εικόνα 4.1 Παράδειγμα υπερπροσαρμογής (overfitting) δεδομένων

Στη συνέχεια, ο χρήστης πρέπει να εισάγει το κατάλληλο κριτήριο αποτίμησης των μοντέλων. Είναι γεγονός ότι η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων, η οποία προσδιορίζει τις κατάλληλες παραμέτρους συσχέτισης ελαχιστοποιώντας το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων, χρησιμοποιείται ευρέως στη στατιστική λόγω της απλότητάς της. Ωστόσο, χρήση αυτού του κριτηρίου σε περίπλοκα μοντέλα μπορεί να οδηγήσει πολλές φορές σε υπερπροσαρμογή (overfitting), ιδίως αν ο αριθμός των διαθέσιμων δεδομένων είναι μικρός, δημιουργώντας έτσι ένα μοντέλο με κακή δυνατότητα γενίκευσης (Suykens, et al., 2003, p. 269). Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η χρήση μίας συσχέτισης της οποίας ο βαθμός των πολυωνυμικών όρων είναι κατά ένα μικρότερος από τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων δεδομένων. Παρόλο που το παραπάνω φαινόμενο είναι δυνατό να αποφευχθεί περιορίζοντας την πολυπλοκότητα του μοντέλου, πολλές φορές είναι πιθανό να οδηγηθεί κανείς σε μεγάλα σφάλματα, καθώς αυτό θα αδυνατεί να αποτυπώσει με ακρίβεια τη συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών. Για τους λόγους αυτούς, έγινε χρήση του κριτηρίου Bayesian το οποίο «τιμωρεί» τη χρήση πολύπλοκων όρων, αποτρέποντας το φαινόμενο της υπερπροσαρμογής (overfitting), διατηρώντας παράλληλα την ακρίβεια του μοντέλου παρεμβολής (Claeskens & Hjort, 2008, p. 100).

Τέλος, κατόπιν εισαγωγής όλων των παραπάνω δεδομένων το πρόγραμμα ALAMO επιχειρεί να κατασκευάσει ένα μοντέλο, το οποίο έχει τη μικρότερη δυνατή πολυπλοκότητα και περιγράφει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις συσχετίσεις μεταξύ των επιθυμητών παραμέτρων, ανάλογα βέβαια με τα εισαγόμενα δεδομένα. Σχηματική απεικόνιση του περιβάλλοντος του λογισμικού αυτού παρατίθεται στην εικόνα 4.2. Στα αριστερά της εικόνας αυτής εικονίζεται η σχέση παρεμβολής που εξήχθη από το πρόγραμμα, κατόπιν εισαγωγής

των απαραίτητων δεδομένων από το χρήστη. Στο μέσο της ίδιας εικόνας αναπαρίστανται ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες του μοντέλου (π.χ. σφάλματα, συντελεστής συσχέτισης), για τα οποία θα γίνει ιδιαίτερη αναφορά σε επόμενες ενότητες, ενώ στα δεξιά διακρίνεται ένα διάγραμμα στο οποίο εικονίζεται οπτικά η συσχέτιση που υπάρχει ανάμεσα στις προβλεπόμενες τιμές του εξαγόμενου μοντέλου (predicted values) και στα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα (measured values).



Εικόνα 4.2 Απεικόνιση του περιβάλλοντος του λογισμικού ALAMO

4.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων παλινδρόμησης

Κατόπιν εύρεσης των παραμέτρων συσχέτισης από τα εισαγόμενα δεδομένα της υπολογιστικής προσομοίωσης είναι απαραίτητη η επαλήθευση των εξαγόμενων μοντέλων. Ειδικότερα, για την αξιολόγηση αυτών κρίνεται σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθοι δείκτες (Montgomery, et al., 2012):

- *Συντελεστής Συσχέτισης:*

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.5)$$

όπου:

- y_i : Η τιμή που λαμβάνεται από την προσομοίωση
 - \hat{y}_i : Η προβλεπόμενη τιμή από το μοντέλο παλινδρόμησης
 - \bar{y} : Η μέση τιμή του δείγματος των τιμών που λαμβάνονται από το μοντέλο προσομοίωσης.
 - N : το μέγεθος του δείγματος.
- *Σχετικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα:*

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (4.6)$$

- Άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων:

$$SSE = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.7)$$

Ωστόσο, για την επαλήθευση της αξιοπιστίας ενός μοντέλου οι παραπάνω συντελεστές δεν είναι αρκετοί. Όπως έχει ήδη επισημανθεί σε προηγούμενη ενότητα, απαραίτητο στάδιο για τη δημιουργία ενός αξιόπιστου μοντέλου παλινδρόμησης είναι η τελική επικύρωσή του (validation). Στην παρούσα διερεύνηση, για την επιβεβαίωση της σωστής λειτουργίας των εξαγόμενων μοντέλων πραγματοποιήθηκε τροφοδοσία αυτών με εισόδους διαφορετικές από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευσή τους, δηλαδή για την εύρεση των παραμέτρων συσχέτισης. Για το σκοπό αυτό είναι αναγκαίο να ληφθούν εκ νέου δεδομένα από την υπολογιστική προσομοίωση και να συγκριθούν με τις αντίστοιχες προβλεπόμενες τιμές των μοντέλων κάνοντας χρήση των παραπάνω δεικτών. Κατόπιν, πραγματοποιείται σύγκριση των νέων δεικτών που προκύπτουν με τους αρχικούς. Εφόσον οι σημειωθείσες αποκλίσεις είναι μικρές, ενισχύεται περαιτέρω η πεποίθηση για την υψηλή αξιοπιστία των μοντέλων. Επισημαίνεται ότι ο αριθμός των δειγμάτων από την προσομοίωση σε κάθε περίπτωση είναι ο ίδιος.

4.4 Σύγκριση μοντέλων με τον κανονισμό ενεργειακής απόδοσης κτιρίων

Κατόπιν εύρεσης της διαστασιολογούμενης ισχύος θέρμανσης από τα μοντέλα πρόβλεψης κρίνεται σκόπιμη η σύγκριση των τιμών αυτών με τις αντίστοιχες που προκύπτουν κατόπιν εφαρμογής της ακόλουθης σχέσης που προτείνεται από την τεχνική οδηγία 20701-1 (TEE, 2017α, p. 107):

$$P_{gen} = \left(1.5 \cdot U_m \cdot A + \frac{\dot{V}}{3} \right) \cdot \Delta T \quad (4.8)$$

όπου:

P_{gen} [W]: Η υπολογιζόμενη μέγιστη απαιτούμενη θερμική ισχύς της μονάδας θέρμανσης του κτιρίου.

A [m^2]: το σύνολο των επιφανειών του κελύφους που συνορεύουν με τον εξωτερικό αέρα ή με μη θερμαινόμενους χώρους.

$\dot{V} \left[\frac{m^3}{h} \right]$: η διείσδυση του αέρα από τα κουφώματα.

$\Delta T \left[^\circ C \right]$: Η διαφορά θερμοκρασίας για τη διαστασιολόγηση του συστήματος. Για την κλιματική ζώνη Β, στην οποία βρίσκεται το υπό μελέτη κτίριο λαμβάνεται ίση με 20 °C, ενώ για την κλιματική ζώνη Δ, όπου βρίσκεται η δεύτερη περιοχή μελέτης (Κοζάνη) λαμβάνεται ίση με 28 °C.

Αξίζει να επισημανθεί ότι ο συντελεστής 1.5 της σχέσης 4.8, αφορά εκτός των άλλων απώλειες από το δίκτυο διανομής, τις τερματικές μονάδες, κ.λπ.. Εντούτοις, σε κάθε περίπτωση η επίδραση των όρων απωλειών θερμότητας/απόδοσης των τερματικών μονάδων σε ένα σύστημα ικανοποιητικής απόδοσης δε ξεπερνά το 20%, ενώ μπορεί να θεωρηθεί και της τάξης του 10% (ΤΕΕ, 2017α, pp. 126-132). Συνεπώς, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η χρήση ενός τόσο μεγάλου συντελεστή προσαύξησης είναι ενδεικτική της έλλειψης ακρίβειας στους υπολογισμούς και θα μπορούσε να οδηγήσει και σε υπερδιαστασιολόγηση. Σημειώνεται ότι η παραπάνω σχέση υπολογίστηκε χωρίς το συντελεστή αυτό, προκειμένου να υλοποιηθούν οι απαραίτητες συγκρίσεις με τα εξαγόμενα μοντέλα, τα οποία πραγματοποιούν τη διαστασιολόγηση, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες από το κέλυφος του κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο, είναι εφικτό κανείς έπειτα να ανατρέξει στην τεχνική οδηγία 20701-1/2017α, προκειμένου να εντοπίσει τους βαθμούς απόδοσης των επιμέρους υποσυστημάτων του συνολικού συστήματος θέρμανσης, που θα καθορίσουν τελικά την τιμή της διαστασιολογούμενης ισχύος.

Με όμοιο τρόπο απαιτείται σύγκριση των εξαγόμενων μοντέλων ψύξης με την προτεινόμενη σχέση της τεχνικής οδηγίας 20701-1 (ΤΕΕ, 2017α, p. 118):

$$P_{gen} = \sum U_A \cdot A_A \cdot CLTD_A + \sum A_\Delta \cdot GLF_\Delta + P_{\Pi} + P_{E\Phi} + \frac{\dot{V}}{3} \cdot \Delta T \quad (4.9)$$

όπου:

$P_{gen} [W]$: Η υπολογιζόμενη μέγιστη απαιτούμενη ψυκτική ισχύς της μονάδας ψύξεως/κλιματισμού του κτιρίου.

$A_A [m^2]$: Εξωτερική επιφάνεια αδιαφανούς δομικού στοιχείου ή θυρών ανά προσανατολισμό.

$A_\Delta [m^2]$: Εξωτερική επιφάνεια διαφανούς στοιχείου ανά προσανατολισμό.

$CLTD_A [^\circ C]$: Μέση θερμοκρασιακή διαφορά ψυκτικού φορτίου μέσω αδιαφανών στοιχείων ή θυρών του κελύφους, η οποία λαμβάνεται κατά ASHRAE ή απλουστευτικά ανά προσανατολισμό από τον πίνακα 4.1.

$GLF_{\Delta} \left[\frac{W}{m^2} \right]$: παράγοντας φορτίου υαλοπίνακα, ο οποίος λαμβάνεται κατά ASHRAE ή απλουστευτικά ανά προσανατολισμό από τον πίνακα 4.2.

$P_{\Pi} [W]$: Η εκλύομενη θερμότητα των φυσικών προσώπων λαμβανομένη από τον πίνακα 2.7 της οδηγίας 20701-1/2017.

$P_{E\Phi} [W]$: Εσωτερικά φορτία φωτιστικών και συσκευών, τα οποία λαμβάνονται από τους πίνακες 2.4α και 2.8 αντίστοιχα της οδηγίας 20701-1/2017.

$U_A \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$: μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας για το σύνολο της επιφάνειας A.

$\Delta T [^{\circ}C]$: Διαφορά θερμοκρασίας για τη διαστασιολόγηση συστήματος ψύξης ίση με 10 °C για όλες τις κλιματικές ζώνες.

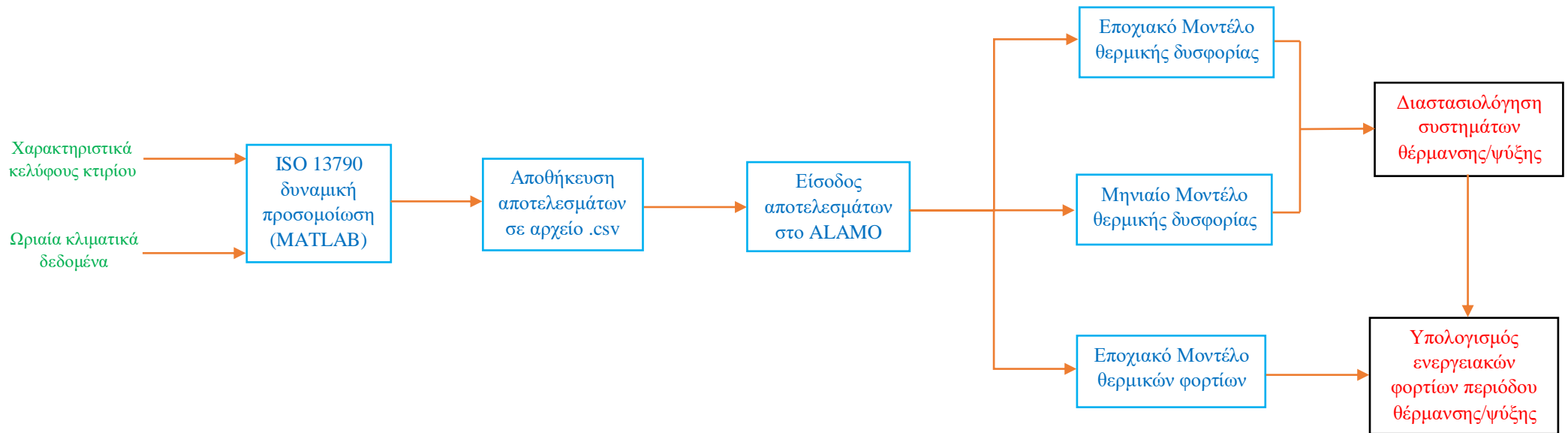
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	B	BA,BΔ	A,Δ	N,NA,NΔ	Οροφή	Δάπεδο
CLTD [°C]	9	14	17	15	13	7

Πίνακας 4.1 Καθορισμός μέσης θερμοκρασιακής διαφοράς ψυκτικού φορτίου ανά προσανατολισμό (ΤΕΕ, 2017α)

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	B	BA	A,NA	N	NΔ,Δ	BΔ	Οροφή
GLF [W/m ² K]	82	140	200	148	250	199	378

Πίνακας 4.2 Καθορισμός παράγοντα φορτίου υαλοπίνακα ανά προσανατολισμό (ΤΕΕ, 2017α)

Για λόγους καλύτερης αναπαράστασης απεικονίζεται το σχήμα 4.1, στο οποίο συνοψίζεται η ακολουθούμενη μεθοδολογία της παρούσας διπλωματικής εργασίας, που περιεγράφηκε σε αυτή την ενότητα.



Σχήμα 4.1 Σχηματική απεικόνιση ακολουθούμενης διαδικασίας καθορισμού διαστασιολογούμενης ισχύος συστημάτων θέρμανσης/ψύξης και αντίστοιχων ενεργειακών φορτίων κτιρίου

5. Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης και αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του

5.1 Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης και ενεργειακών φορτίων οικίας για την περιοχή της Αθήνας

5.1.1 Βασικό σενάριο αναφοράς

Στο στάδιο αυτό της μελέτης κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση των εξαγόμενων μοντέλων παλινδρόμησης, τα οποία έπειτα θα χρησιμοποιηθούν για τη διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης της υπό μελέτη οικίας, καθώς και για την εύρεση των απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων που θα κληθεί αυτό να καλύψει, ανάλογα με το επίπεδο θερμικής άνεσης που θέτει ο χρήστης. Για το σκοπό αυτό οι παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη στο μοντέλο πρόβλεψης είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία άνεσης χρηστών (set – point).
- Ονομαστική ισχύς συστήματος θέρμανσης.

Αξίζει να τονιστεί στο σημείο αυτό ότι για τον προσδιορισμό της θερμικής δυσφορίας στην παρούσα φάση έχει γίνει χρήση του πρώτου δείκτη θερμικής δυσφορίας (βλ. σχέση 4.2) λόγω της απλότητάς του, αλλά και των αξιόπιστων αποτελεσμάτων που είναι δυνατό να εξαγεί κανείς στη φάση αυτή που τα μοντέλα είναι πολύ απλά, όπως θα φανεί καλύτερα και παρακάτω. Οι σχέσεις που προέκυψαν από το λογισμικό ALAMO κατόπιν παρεμβολής των δεδομένων προσομοίωσης για το μήνα Ιανουάριο είναι οι εξής:

$$\dot{Q}_{dem} = -0.0264 \cdot F_{H,max} + 975.1 \cdot \ln(F_{H,max}) + 769 \cdot T_{H,set} - 13,921 \quad (5.1)$$

$$Disc = 0.2114 \cdot 10^{-4} \cdot F_{H,max} - 0.938 \cdot \ln(F_{H,max}) + 0.42 \ln(T_{H,set}) + 7.8069 \quad (5.2)$$

όπου:

- $F_{H,max}$ [W]: ονομαστική ισχύς συστήματος θέρμανσης.
- $T_{H,set}$ [$^{\circ}C$]: θερμοκρασία άνεσης χρηστών για την περίοδο θέρμανσης.
- \dot{Q}_{dem} [kWh]: ενεργειακά φορτία.
- $Disc$: θερμική δυσφορία (thermal discomfort).

Αντίστοιχα, τα εξαγόμενα μοντέλα για την περίπτωση της χρήσης δεδομένων για τη συνολική περίοδο θέρμανσης είναι τα εξής:

$$\dot{Q}_{dem} = -0.1274 \cdot F_{H,max} + 4,255 \cdot \ln(F_{H,max}) + 4,139 \cdot T_{H,set} - 72,228 \quad (5.3)$$

$$Disc = 0.3061 \cdot 10^{-4} \cdot F_{H,max} - 1.05 \cdot \ln(F_{H,max}) + 0.2194 \cdot \ln(T_{H,set}) + 9.264 \quad (5.4)$$

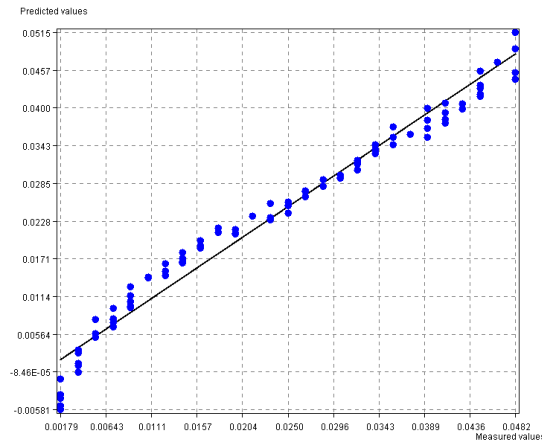
Σημειώνεται ότι η εξαγωγή μηνιαίου μοντέλου υπολογισμού των ενεργειακών φορτίων δε θεωρείται αντιπροσωπευτική, δεδομένου ότι για την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου απαιτείται η υλοποίηση υπολογισμών για τη συνολική ετήσια διάρκεια λειτουργίας των συστημάτων. Για το λόγο αυτό το παραπάνω μοντέλο δεν παρουσιάζεται στους παρακάτω υπολογισμούς, απλώς αναφέρεται η εξίσωση υπολογισμού και η αξιοπιστία του. Από την άλλη μεριά, επιλέχθηκε να εξαχθούν δύο μοντέλα θερμικής δυσφορίας, ένα μηνιαίο και ένα εποχιακό για συγκριτικούς λόγους.

Η αξιολόγηση των παραπάνω μοντέλων πραγματοποιείται στον πίνακα 5.1. Ειδικότερα, στην περίπτωση των ενεργειακών φορτίων διακρίνεται ότι τα σφάλματα είναι πολύ μικρά, ενώ ο συντελεστής συσχέτισης είναι αρκετά μεγάλος σε κάθε περίπτωση. Εκτός αυτού, φαίνεται ότι αμφότερα τα παρουσιαζόμενα μοντέλα ανταποκρίνονται ικανοποιητικά όταν δοκιμάζονται να κάνουν προβλέψεις σε τιμές για τις οποίες δεν έχουν εκπαιδευτεί, γεγονός που ενισχύει την πεποίθηση για την υψηλή αξιοπιστία τους. Από την άλλη μεριά, αναφορικά με τα μοντέλα υπολογισμού της θερμικής δυσφορίας παρατηρείται ότι το εποχιακό μοντέλο εμφανίζει μεγαλύτερα σφάλματα συγκριτικά με το μηνιαίο, ενώ ο συντελεστής συσχέτισης είναι και αυτός μειωμένος.

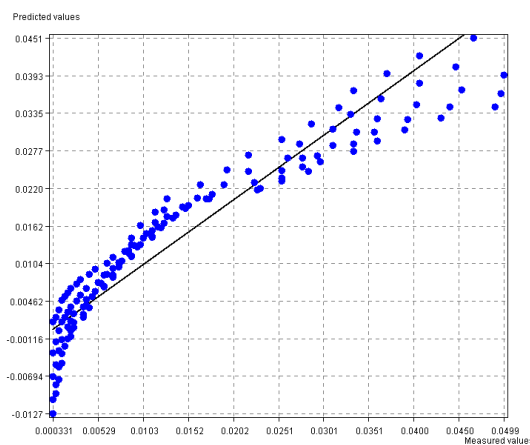
ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ		ΕΠΟΧΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	
		Training	Testing	Training	Testing
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	R ²	0.999	0.999	0.999	0.999
	SSE	960	973	54900	60700
	RMSE [kWh]	3.2	3.3	19.6	20.5
ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑ	R ²	0.974	0.971	0.901	0.893
	SSE	0.0	0.001	0.003	0.003
	RMSE	0.002	0.002	0.004	0.004

Πίνακας 5.1 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων για την περίοδο θέρμανσης βασικού σεναρίου αναφοράς

Προς επίρρωση των ανωτέρω, παρουσιάζονται τα διαγράμματα 5.1, 5.2 έτσι όπως αναδεικνύονται από το λογισμικό ALAMO, στα οποία εικονίζονται οι προβλεπόμενες τιμές των δύο μοντέλων θερμικής δυσφορίας (predicted values) συναρτήσει των πραγματικών τιμών που λαμβάνονται από την υπολογιστική προσομοίωση (measured values). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ευθεία γραμμή των διαγραμμάτων αντιπροσωπεύει τέλεια συσχέτιση, δηλαδή $R^2 = 1$. Είναι εμφανές και πάλι ότι το μηνιαίο μοντέλο εμφανίζει αρκετά καλύτερη συμπεριφορά από το εποχιακό.



Διάγραμμα 5.1 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μηνιαίου μοντέλου θερμικής δυσφορίας βασικού σεναρίου αναφοράς



Διάγραμμα 5.2 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου θερμικής δυσφορίας βασικού σεναρίου αναφοράς

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένα αποτελέσματα από τα παραπάνω μοντέλα. Για τον υπολογισμό της ονομαστικής ισχύος του συστήματος θέρμανσης απαιτείται η επίλυση των δύο εξισώσεων υπολογισμού της θερμικής δυσφορίας ως προς τη μεταβλητή $F_{H,max}$ (εξισώσεις 5.2, 5.4 για το μηνιαίο και εποχιακό μοντέλο αντίστοιχα), υλοποιώντας μία απλή επαναληπτική διαδικασία σε κώδικα MATLAB. Εν συνεχεία, είναι δυνατός ο υπολογισμός των ενεργειακών φορτίων της περιόδου θέρμανσης (εξίσωση 5.3), έχοντας ως δεδομένη την παραπάνω τιμή της ισχύος διαστασιολόγησης.

Στον πίνακα 5.2 απεικονίζεται η διαστασιολογούμενη ισχύς με βάση τη σχέση που προτείνει η τεχνική οδηγία 20701-1, το μοντέλο προσομοίωσης καθώς και τα δύο μοντέλα παρεμβολής. Υπογραμμίζεται ότι οι τιμές στη στήλη «KENAK» αναπαριστούν τη διαστασιολογούμενη ισχύ με βάση την τεχνική οδηγία χωρίς το συντελεστή προσαύξησης για συγκριτικούς λόγους, ενώ οι υπόλοιπες παρενθετικές τιμές σχετίζονται με το απαιτούμενο ποσοστό θερμικής άνεσης που τίθεται από τους χρήστες (π.χ. 100% άνεση). Στην περίπτωση της χρήσης της απλής σχέσης του Κ.Εν.Α.Κ., η προκύπτουσα ισχύς είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας άνεσης των χρηστών. Αυτό συμβαίνει διότι η χρησιμοποιούμενη διαφορά

θερμοκρασίας είναι συγκεκριμένη και εξαρτάται μόνο από την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκεται το μελετώμενο κτίριο. Στην περίπτωση του μοντέλου προσομοίωσης ISO 13790, η διαστασιολόγηση προκύπτει ως η μέγιστη τιμή της απαιτούμενης ισχύος, η οποία σημειώνεται όταν καλύπτονται πλήρως οι θερμικές ανάγκες των χρηστών στο 100%, ώστε η προσέγγιση αυτή να μη λαμβάνει υπόψιν καθόλου τις απαιτούμενες συνθήκες θερμικής άνεσης των χρηστών του κτιρίου.

Υπό το πρίσμα αυτό, είναι σαφής η υπεροχή των δύο μοντέλων πρόβλεψης. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές που προκύπτουν από αυτά προσεγγίζουν με σχετικά μεγάλη ακρίβεια το ακριβές μοντέλο προσομοίωσης, τη στιγμή που η προτεινόμενη τιμή από την τεχνική οδηγία είναι αρκετά παραπάνω από την αναμενόμενη, γεγονός το οποίο σε συνδυασμό με τον υψηλό συντελεστή προσάυξης θα μπορούσε να οδηγήσει σε υπερδιαστασιολόγηση.

Εκτός αυτού, τα δύο μοντέλα παλινδρόμησης παρέχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού της απαιτούμενης ισχύος με βάση τη θερμική άνεση των χρηστών. Ειδικότερα, όπως άλλωστε διακρίνεται και από τον πίνακα 5.2, το ποσοστό του χρόνου για τον οποίο καλύπτεται η θερμική άνεση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαστασιολόγηση, ιδίως στο εποχιακό μοντέλο, και αυτό διότι ο δείκτης αυτός καθορίζει τη λειτουργία του συστήματος σε ακραίες κλιματολογικές συνθήκες. Συνεπώς, η κάλυψη του ποσοστού της θερμικής άνεσης στο 100% μπορεί να μην είναι επιθυμητή, διότι είναι πιθανό να περιλαμβάνει κάλυψη άνεσης σε ακραίες εξωτερικές θερμοκρασίες, οι οποίες μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικές, αν εμφανίζονται ελάχιστες φορές κατά τη διάρκεια του έτους και για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα. Ακόμη, όπως θα φανεί καλύτερα σε επόμενη ενότητα, ο δείκτης θερμικής άνεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαστασιολόγηση μίας αντλίας θερμότητας σε μικρότερο μέγεθος (με συμπληρωματική χρήση αντιστάσεων), ώστε να λειτουργεί με αυξημένο εποχιακό βαθμό απόδοσης.

Επιπροσθέτως, στον ίδιο πίνακα παρατηρείται η τάση στο εποχιακό μοντέλο να σημειώνονται μικρότερες τιμές ισχύος από ότι στο μοντέλο του Ιανουαρίου. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι στο πρώτο οι υπολογισμοί λαμβάνουν υπόψη και μήνες του έτους για τους οποίους σημειώνονται υψηλότερες θερμοκρασίες (π.χ. Μάρτιος, Απρίλιος), οπότε η σημασία των ελάχιστων θερμοκρασιών μειώνεται, καθώς αυτές καταλαμβάνουν μικρότερο ποσοστό στο σύνολο των ωρών της χειμερινής περιόδου, σε σχέση με το αντίστοιχο σύνολο ωρών του Ιανουαρίου. Ακόμη, τα σφάλματα των υπολογισμών στο εποχιακό μοντέλο είναι μεγαλύτερα από αυτά του μηνιαίου, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο αν αναλογιστεί κανείς αυτά που ειπώθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ [kW]				
T_{H,set} (°C)	ΚΕΝΑΚ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΜΗΝΙΑΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΕΠΟΧΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
18	37.5	30 (100% comf)	28.6 (100% comf)	27.8 (100% comf)
			27 (98% comf)	26 (98% comf)
			25 (95% comf)	23.5 (95% comf)
19		32 (100% comf)	30.8 (100% comf)	29.8 (100% comf)
			28.9 (98% comf)	27.3 (98% comf)
			26.5 (95% comf)	24.3 (95% comf)
20	33.5 (100% comf)	33.6 (100% comf)	34 (100% comf)	
		31 (98% comf)	29 (98% comf)	
		28.2 (95% comf)	25.3 (95% comf)	

Πίνακας 5.2 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης βασικού σεναρίου αναφοράς

Τέλος, στον πίνακα 5.3 απεικονίζονται τα απαιτούμενα ενεργειακά φορτία της περιόδου θέρμανσης σύμφωνα με το μοντέλο προσομοίωσης και το αντίστοιχο μηνιαίο μοντέλο παρεμβολής. Είναι εμφανής η εξαιρετική συμφωνία των δύο αποτελεσμάτων, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο, αν κανείς λάβει υπόψη τα πολύ μικρά σφάλματα του μοντέλου. Αξίζει να επισημανθεί στο σημείο αυτό ότι η θερμοκρασία άνεσης παίζει πιο σημαντικό ρόλο στην προκειμένη περίπτωση, σε σχέση με τα καθοριζόμενα επίπεδα θερμικής άνεσης. Αυτό συμβαίνει διότι η πρώτη είναι μία πιο απαιτητική συνθήκη για το σύστημα, δεδομένου ότι επιδρά στη λειτουργία του καθόλη τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, σε αντιδιαστολή με το ποσοστό θερμικής άνεσης, η μεταβολή του οποίου είναι μικρή και αναφέρεται στη λειτουργία του συστήματος σε ακραίες εξωτερικές συνθήκες.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ [kWh]		
T_{H,set} (°C)	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
18	42,269 (100% comf)	42,289 (100% comf)
		42,217 (98% comf)
		42,106 (95% comf)
19	46,448 (100% comf)	46,468 (100% comf)
		46,383 (98% comf)
		46,113 (95% comf)
20	50,617 (100% comf)	50,618 (100% comf)
		50,578 (98% comf)
		50,468 (95% comf)

Πίνακας 5.3 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης βασικού σεναρίου αναφοράς

5.1.2 Επίδραση θερμομόνωσης κτιριακού κελύφους

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η εισαγωγή της θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κελύφους ως παράμετρο για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος του συστήματος θέρμανσης καθώς και των ενεργειακών φορτίων, δεδομένου ότι η θερμομονωτική επάρκεια ενός κτιριακού κελύφους διαδραματίζει πολύ καθοριστικό ρόλο τόσο στην επιλογή του καταλληλότερου συστήματος θέρμανσης, όσο και στις ενεργειακές καταναλώσεις. Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα της προσομοίωσης περιλαμβάνουν, εκτός των άλλων μεταβλητών και 150 σενάρια μόνωσης στο ακόλουθο εύρος:

$$0.8 \leq U_m \leq 2.6$$

όπου $U_m \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ είναι ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου.

Κατόπιν παρεμβολής των δεδομένων προσομοίωσης στο λογισμικό ALAMO προκύπτουν τα ακόλουθα μηνιαία μοντέλα:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{dem} = & 0.234 \cdot F_{H,max} + 431.6 \cdot U_m - 3850 \cdot \ln(F_{H,max}) + \\ & + 9685.9 \cdot \ln(T_{set,H}) + 2994.2 \cdot \ln(U_m) + 9939.2 \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} Disc = & -0.2172 \cdot 10^{-4} \cdot F_{H,max} + 0.0798 \cdot T_{set,H} + 0.1273 \cdot U_m + \\ & + 0.2084 \cdot \ln(F_{H,max}) - 1.1173 \cdot \ln(T_{set,H}) - 0.0662 \cdot \ln(U_m) \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned} DDH_N = & -0.1695 \cdot 10^{-4} \cdot F_{H,max} + 0.0441 \cdot T_{set,H} + 0.1061 \cdot U_m + \\ & + 0.1 \cdot \ln(F_{H,max}) - 0.5538 \cdot \ln(T_{set,H}) - 0.044 \cdot \ln(U_m) \end{aligned} \quad (5.7)$$

όπου DDH_N είναι η υπολογιζόμενη θερμική δυσφορία με βάση τη μέθοδο των βαθμοωρών (βλ. σχέση 4.3). Η χρήση του τελευταίου δείκτη στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη, καθώς, όπως έχει ήδη επισημανθεί στην ενότητα 4.1, παρέχει μία πληρέστερη αποτύπωση του επιπέδου της θερμικής άνεσης.

Τα αντίστοιχα εποχιακά μοντέλα είναι:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{dem} = & 1.3729 \cdot F_{H,max} + 1710 \cdot U_m - 21639 \cdot \ln(F_{H,max}) + \\ & + 52463 \cdot \ln(T_{set,H}) + 14794 \cdot \ln(U_m) + 55878 \end{aligned} \quad (5.8)$$

$$\begin{aligned} Disc = & -0.1291 \cdot 10^{-4} \cdot F_{H,max} + 0.0165 \cdot T_{H,set} + 0.5235 \cdot U_m - \\ & - 0.1726 \cdot \ln(U_m) - 0.0216 \cdot \exp(U_m) + 0.2189 \cdot \cos(U_m) - 0.6789 \end{aligned} \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} DDH_N = & -0.1427 \cdot 10^{-4} \cdot F_{H,max} + 0.0228 \cdot T_{set,H} + \\ & + 0.0652 \cdot U_m - 0.094 \cdot \ln(T_{set,H}) + 0.035 \cdot \ln(U_m) \end{aligned} \quad (5.10)$$

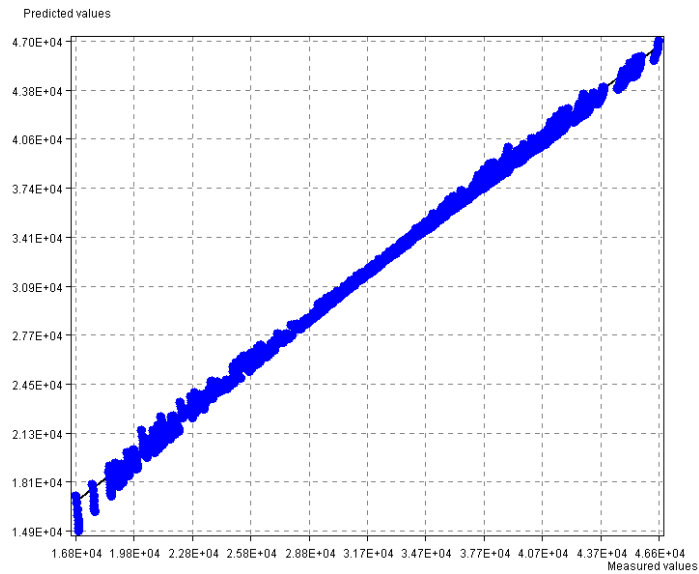
Ακολούθως, στον πίνακα 5.4 πραγματοποιείται σύγκριση της ακρίβειας των διαφόρων μοντέλων. Διαπιστώνεται ότι στην περίπτωση των ενεργειακών φορτίων τα εξαγόμενα μοντέλα

έχουν και πάλι σχετικά μικρά σφάλματα, ενώ ο συντελεστής συσχέτισης παραμένει αρκετά μεγάλος. Αντιθέτως, στα μοντέλα υπολογισμού της θερμικής δυσφορίας τα σφάλματα εμφανίζονται αυξημένα συγκριτικά με την προηγούμενη ενότητα. Αυτό είναι ενδεικτικό της μεγάλης πολυπλοκότητας της επίδρασης της θερμοπερατότητας των στοιχείων του κελύφους στη θερμική άνεση των χρηστών. Ανάμεσα στα δύο μοντέλα θερμικής δυσφορίας το μοντέλο των βαθμοωρών σημειώνει λίγο μικρότερα σφάλματα, ενώ σε αμφότερα η ακρίβεια είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση όπου λαμβάνονται εποχιακά δεδομένα από την προσομοίωση.

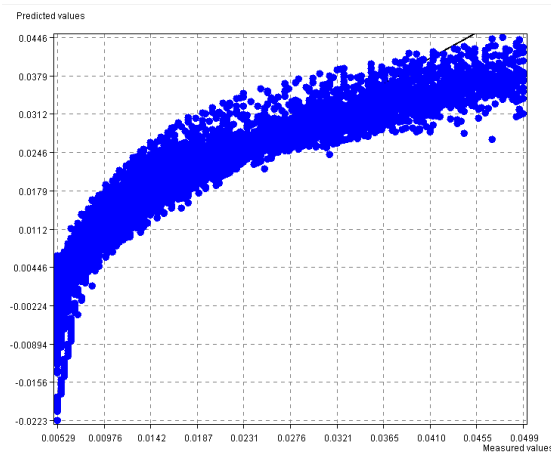
ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ		ΕΠΟΧΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	
		Training	Testing	Training	Testing
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	R ²	0.998	0.998	0.998	0.998
	SSE	1.1E7	1.49E7	2.35E8	2.62E8
	RMSE [kWh]	61.7	71.1	304	318
ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑ (DDH _N)	R ²	0.85	0.856	0.866	0.851
	SSE	0.073	0.07	0.059	0.064
	RMSE	0.005	0.005	0.005	0.005
ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑ (απλά μοντέλα)	R ²	0.769	0.76	0.857	0.853
	SSE	0.321	0.79	0.156	0.148
	RMSE	0.007	0.007	0.006	0.006

Πίνακας 5.4 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων για την περίοδο θέρμανσης σεναρίου επίδρασης θερμομόνωσης

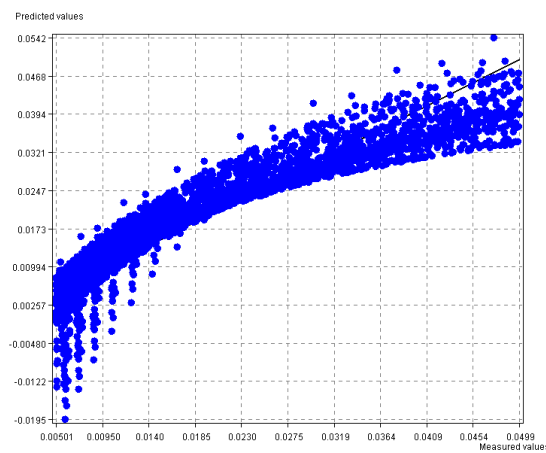
Η ικανότητα παραγωγής αξιόπιστων δεδομένων από τα μοντέλα μπορεί να απεικονιστεί πιο παραστατικά στα επόμενα διαγράμματα. Ειδικότερα, στο διάγραμμα 5.3 επιβεβαιώνεται η εξαιρετική συμπεριφορά του μοντέλου πρόβλεψης των ενεργειακών φορτίων, όπου η συσχέτιση είναι άριστη. Έπειτα, στα διαγράμματα 5.4, 5.5 εικονίζονται ενδεικτικά τα δύο εποχιακά μοντέλα πρόβλεψης της θερμικής δυσφορίας. Όπως έχει ήδη επισημανθεί, αμφότερα τα διαγράμματα εμφανίζουν μεγαλύτερα σφάλματα και χειρότερη συσχέτιση από αυτή της προηγούμενης ενότητας, λόγω της περίπλοκης επίδρασης της μόνωσης στη θερμική άνεση, ενώ είναι σχεδόν ισάξια από άποψη ακρίβειας. Ωστόσο, όπως θα δειχθεί και παρακάτω, τα μοντέλα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης και όχι για τον υπολογισμό της θερμικής δυσφορίας, ώστε τα σφάλματα των υπολογισμών της απαιτούμενης ισχύος να διατηρηθούν σε χαμηλά επίπεδα.



Διάγραμμα 5.3 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου θέρμανσης σεναρίου επίδρασης θερμομόνωσης



Διάγραμμα 5.4 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων απλού εποχιακού μοντέλου για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης θερμομόνωσης



Διάγραμμα 5.5 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης θερμομόνωσης

Εν συνεχεία, κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση ορισμένων αποτελεσμάτων σχετικά με τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ονομαστικής ισχύος και των ενεργειακών φορτίων με χρήση των παραπάνω μοντέλων πρόβλεψης.

Ειδικότερα, στον πίνακα 5.5 πραγματοποιείται διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης για διάφορα σενάρια μόνωσης της οικίας καθώς και για διάφορες τιμές θερμοκρασιών άνεσης. Συγκρίνοντας τις τιμές που προκύπτουν με χρήση της σχέσης της τεχνικής οδηγίας του Κ.Εν.Α.Κ (χωρίς το συντελεστή προσαύξησης) με αυτές του μοντέλου δυναμικής προσομοίωσης διαπιστώνεται ότι σε υψηλές τιμές θερμοπερατοτήτων ($U_m=2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$), η πρώτη κάνει υπερεκτίμηση στον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος, το οποίο σε συνδυασμό με τον υψηλό συντελεστή προσαύξησης είναι δυνατό να οδηγήσει σε υπερδιαστασιολόγηση. Το αποτέλεσμα αυτό είναι σε πλήρη συμφωνία και με τα αποτελέσματα της προηγούμενης ενότητας, όπου λόγω της πολύ υψηλής μέσης θερμοπερατότητας των στοιχείων του κελύφους ο Κ.Εν.Α.Κ έκανε ακόμη μεγαλύτερη υπερεκτίμηση. Αντιθέτως, σε περίπτωση όπου σημειώνεται πολύ καλή θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους ($U_m=0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$) παρατηρείται ότι οι προβλεπόμενες τιμές της ισχύος από την τεχνική οδηγία είναι αρκετά χαμηλές. Μάλιστα, ακόμη και με χρήση του συντελεστή προσαύξησης, ο οποίος περιλαμβάνει ένα σύνολο απωλειών που δε λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο προσομοίωσης, η κάλυψη των αναγκών θέρμανσης είναι πολύ οριακή, ώστε ο Κ.Εν.Α.Κ να μην αποτελεί ένα ασφαλές εργαλείο για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος στην προκειμένη περίπτωση. Τέλος, σε μέσες τιμές θερμοπερατοτήτων ($U_m=1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$) ο Κ.Εν.Α.Κ μπορεί να προβλέψει με μεγάλη ακρίβεια την απαιτούμενη ισχύ, καθώς η τιμή που προτείνει προσεγγίζει αρκετά καλά το μοντέλο προσομοίωσης.

Από την άλλη μεριά, τα μοντέλα πρόβλεψης είναι ικανά να προσεγγίσουν αρκετά ικανοποιητικά το μοντέλο προσομοίωσης σε κάθε περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, το εποχιακό μοντέλο των βαθμοωρών (DDH_N) εμφανίζει τη μεγαλύτερη συνέπεια ως προς τον καθορισμό της διαστασιολογούμενης ισχύος, δεδομένου ότι όλες οι προβλεπόμενες τιμές βρίσκονται σταθερά κάτω από αυτές της προσομοίωσης, με απόκλιση όχι πάνω από 1 kW ισχύος. Από την άλλη, το απλούστερο εποχιακό μοντέλο προσδιορίζει με τη μεγαλύτερη ακρίβεια τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, έχοντας ελάχιστες αποκλίσεις, άλλοτε προς τα άνω και άλλοτε προς τα κάτω, ενώ το αντίστοιχο μηνιαίο μοντέλο εμφανίζει τη μικρότερη ακρίβεια και προβλέπει πάντα μεγαλύτερες τιμές ισχύος.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ [kW]						
U_m [W/(m ² K)]	$T_{H,set}$ [°C]	KENAK	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΜΗΝΙΑΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΕΠΟΧΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΕΠΟΧΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ (DDH _N)
0.85	18	12.6	14 (100% comf)	15 (100% comf)	14 (100% comf)	13.2 (100% comf)
				12.7 (98% comf)	12.8 (98% comf)	11.8 (98% comf)
	20		17 (100% comf)	19.2 (100% comf)	16.9 (100% comf)	16.4 (100% comf)
				17.7 (98% comf)	15.4 (98% comf)	14.7 (98% comf)
1.5	18	20.2	18 (100% comf)	19.8 (100% comf)	19.2 (100% comf)	18.1 (100% comf)
				18.4 (98% comf)	18 (98% comf)	16.6 (98% comf)
	20		21.5 (100% comf)	23.2 (100% comf)	21.7 (100% comf)	20.4 (100% comf)
				22 (98% comf)	20.6 (98% comf)	19.1 (98% comf)
2.0	18	26	21.5 (100% comf)	23.7 (100% comf)	22.5 (100% comf)	20.9 (100% comf)
				22.5 (98% comf)	21.3 (98% comf)	19.6 (98% comf)
	20		24 (100% comf)	26.7 (100% comf)	25 (100% comf)	23.5 (100% comf)
				25.6 (98% comf)	23.9 (98% comf)	22.1 (98% comf)

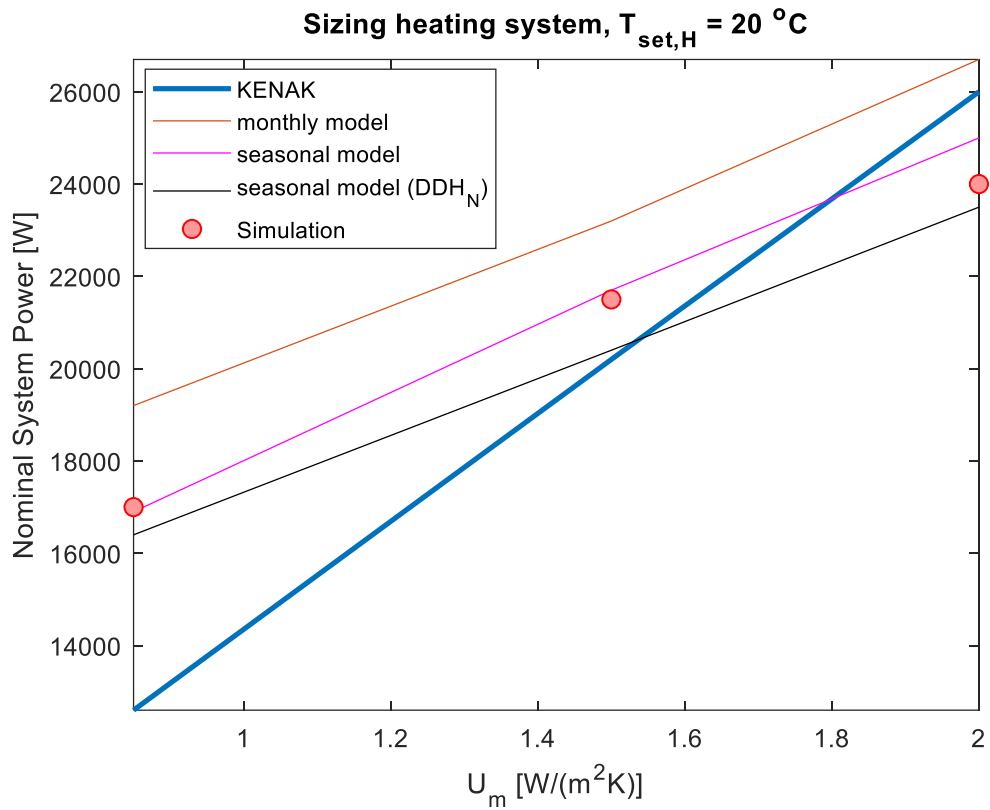
Πίνακας 5.5 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης κτιριακού κελύφους

Τέλος, στον πίνακα 5.6 πραγματοποιείται υπολογισμός των ενεργειακών φορτίων θέρμανσης με χρήση τιμών ισχύος από το μοντέλο των βαθμοωρών. Καθίσταται σαφές ότι οι προβλεπόμενες τιμές προσεγγίζουν με πολύ μεγάλη ακρίβεια την προσομοίωση. Αξίζει ακόμη να επισημανθεί η σπουδαιότητα της προσθήκης μόνωσης σε ένα κτιριακό κέλυφος για την μείωση των φορτίων, καθώς όπως φαίνεται από τον ίδιο πίνακα είναι δυνατό να οδηγήσει σε μείωση των καταναλώσεων έως και 1.5 φορές. Για το λόγο αυτό άλλωστε η πρώτη επέμβαση που προβλέπεται να γίνεται σε παλαιά υφιστάμενα κτίρια είναι η θερμομόνωσή τους.

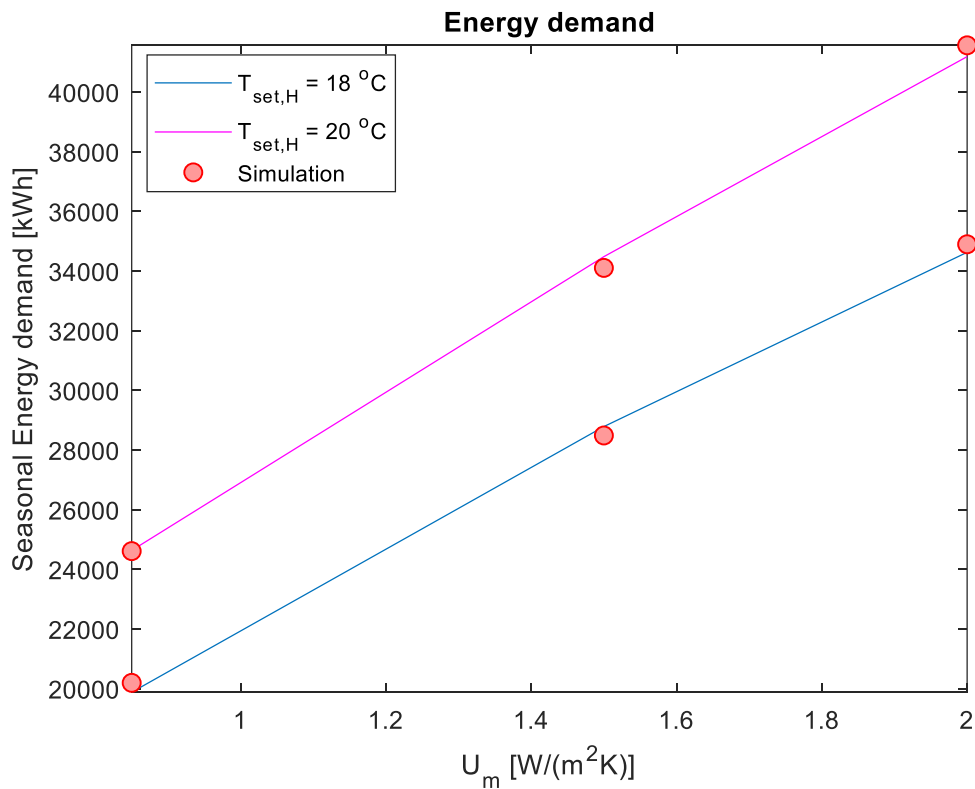
Οπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων των πινάκων 5.5, 5.6 υλοποιείται στα διαγράμματα 5.6 και 5.7 αντίστοιχα.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ [kWh]			
U_m [W/(m ² K)]	$T_{H,set}$ (°C)	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΕΠΟΧΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	18	20,193 (100% comf)	19,878 (100% comf)
			19,374 (98% comf)
	20	24,609 (100% comf)	24,632 (100% comf)
			24,598 (98% comf)
1.5	18	28,486 (100% comf)	28,784 (100% comf)
			28,597 (98% comf)
	20	34,104 (100% comf)	34,881 (100% comf)
			34,521 (98% comf)
2.0	18	34,895 (100% comf)	34,627 (100% comf)
			34,231 (98% comf)
	20	41,565 (100% comf)	41,186 (100% comf)
			40,593 (98% comf)

Πίνακας 5.6 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης κτιριακού κελύφους



Διάγραμμα 5.6 Σύγκριση μεθοδολογιών διαστασιολόγησης συστήματος θέρμανσης με τον Κ.Ε.ν.Α.Κ. για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης κελύφους



Διάγραμμα 5.7 Προσδιορισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης κελύφους και θερμοκρασιών άνεσης

5.1.3 Επίδραση θερμικής αδράνειας κελύφους

Στο σημείο αυτό η ερευνητική διερεύνηση εστιάζεται στη μελέτη της επίδρασης της θερμικής αδράνειας των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους στη διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης της οικίας, καθώς και στα ενεργειακά φορτία που θα κληθεί αυτό να καλύψει. Το εύρος των τιμών των θερμοχωρητικοτήτων λήφθηκε από τον πίνακα 3.1:

$$80,000 \cdot A_f \leq C_m \leq 370,000 \cdot A_f$$

όπου $C_m \left[\frac{J}{K} \right]$ η θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων και $A_f \left[m^2 \right]$ η συνολική επιφάνεια του θερμαινόμενου χώρου. Σημειώνεται ότι η θερμοπερατότητα λειτουργεί στα ίδια εύρη με αυτά που επισημάνθηκαν στην ενότητα 5.1.2.

Κρίνεται σκόπιμο να υπογραμμιστεί ότι χρησιμοποιήθηκε μόνο το μοντέλο των βαθμοωρών για τη διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης, καθώς το άλλο απλούστερο μοντέλο παλινδρόμησης αδυνατεί να κάνει πρόβλεψη του ποσοστού θερμικής δυσφορίας. Αυτό συμβαίνει διότι στην τελευταία περίπτωση η θερμική άνεση λαμβάνει διακριτές τιμές, σε αντίθεση με το μοντέλο βαθμοωρών, όπου γίνεται χρήση ενός συνεχούς πεδίου ορισμού, ώστε η προσθήκη ακόμη μίας ανεξάρτητης μεταβλητής να δυσχεραίνει τον επιλυτή του προγράμματος ALAMO να εντοπίσει κάποια συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών.

Τα εξαγόμενα μηνιαία μοντέλα παρεμβολής είναι:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{dem} = & 0.1301 \cdot F_{H,max} + 238.8 \cdot T_{set,H} + 801.9 \cdot U_m + 0.1414 \cdot 10^{-5} \cdot C_m - \\ & -2443.3 \cdot \ln(F_{H,max}) + 5799.4 \cdot \ln(T_{set,H}) + 2580.3 \cdot \ln(U_m) + 249.4 \cdot \ln(C_m) \end{aligned} \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned} DDH_N = & -0.8335 \cdot 10^{-5} \cdot F_{H,max} + 0.0111 \cdot T_{set,H} + 0.048 \cdot U_m + \\ & +0.2143 \cdot 10^{-9} \cdot C_m + 0.0108 \cdot \ln(U_m) - 0.0166 \cdot \ln(C_m) + 0.1733 \end{aligned} \quad (5.12)$$

ενώ τα αντίστοιχα εποχιακά μοντέλα:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{dem} = & 1.0634 \cdot F_{H,max} + 1843.1 \cdot U_m - 18720 \cdot \ln(F_{H,max}) + \\ & +55966 \cdot \ln(T_{set,H}) + 15353.2 \cdot \ln(U_m) + 1233.7 \cdot \ln(C_m) \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$\begin{aligned} DDH_N = & -0.7618 \cdot 10^{-5} \cdot F_{H,max} + 0.0139 \cdot T_{set,H} + 0.022 \cdot U_m + \\ & +0.1715 \cdot 10^{-9} \cdot C_m - 0.0584 \cdot \ln(F_{H,max}) + 0.0672 \cdot \ln(U_m) - 0.0118 \cdot \ln(C_m) + 0.6 \end{aligned} \quad (5.14)$$

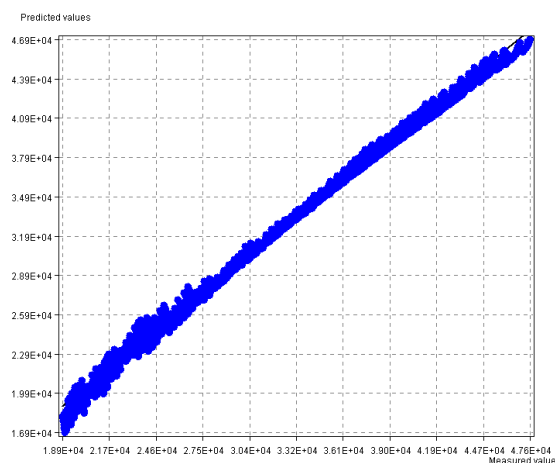
Έπειτα, στον πίνακα 5.7 διερευνάται η ακρίβεια των παραπάνω μοντέλων. Είναι αντιληπτό ότι τα μοντέλα υπολογισμού των ενεργειακών φορτίων παραμένουν εξαιρετικά ακριβή, ενώ έχουν την ικανότητα να πραγματοποιήσουν πολύ καλές προβλέψεις σε δεδομένα για τα οποία δεν έχουν εκπαιδευτεί. Από την άλλη μεριά, το μηνιαίο μοντέλο προσδιορισμού της θερμικής δυσφορίας εμφανίζει μεγαλύτερα σφάλματα συγκριτικά με το αντίστοιχο εποχιακό, ενώ ο συντελεστής συσχέτισης είναι αρκετά μικρότερος, λόγω της περίπλοκης

επίδρασης της θερμοχωρητικότητας στη θερμική άνεση. Είναι γεγονός, ότι η θερμική αδράνεια ενός κτιρίου παίζει πολύ μικρό ρόλο στη διαστασιολόγηση σε περιπτώσεις όπου η εξωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται σε ένα εύρος θερμοκρασιών μακριά από την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου, ώστε να παύει να αποτελεί κριτήριο σχεδιασμού (ASHRAE, 2019, p. 45.2). Ως εκ τούτου, εικάζεται ότι το εποχιακό μοντέλο παρεμβολής εμφανίζει καλύτερη συσχέτιση, λόγω του ότι περιέχει δεδομένα από το σύνολο της χειμερινής περιόδου (15 Νοεμβρίου – 15 Απριλίου), όπου υπάρχουν κλιματολογικά καλύτερες ημέρες, στις οποίες η εξωτερική θερμοκρασία είναι πιο κοντά στη θερμοκρασία άνεσης.

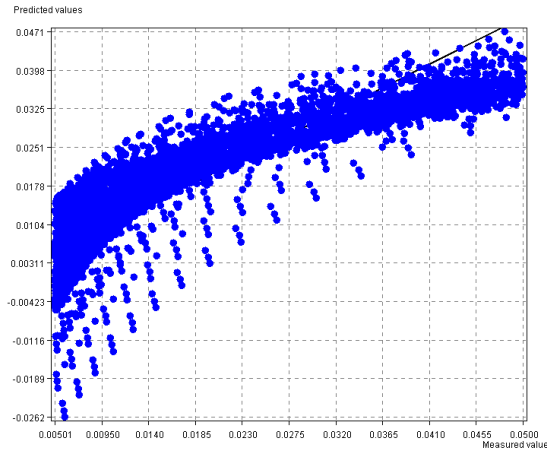
ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ		ΕΠΟΧΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	
		Training	Testing	Training	Testing
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	R ²	0.997	0.997	0.996	0.996
	SSE	3.16E7	2.4E7	6.27E8	4.66E8
	RMSE [kWh]	82.4	72.0	390	341
ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑ	R ²	0.763	0.8	0.845	0.856
	SSE	0.18	0.15	0.105	0.094
	RMSE	0.006	0.006	0.005	0.005

Πίνακας 5.7 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων για την περίοδο θέρμανσης σεναρίου επίδρασης θερμικής αδράνειας κελύφους

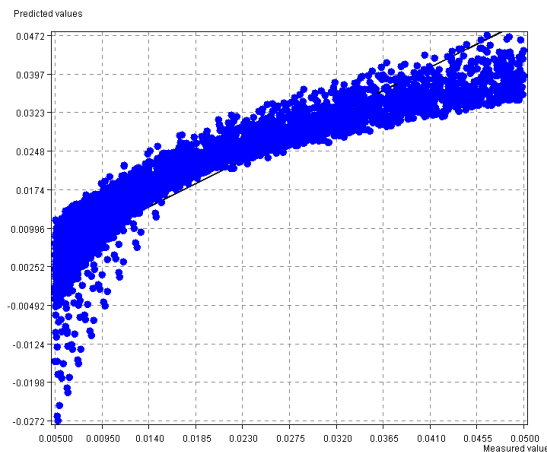
Προς επιβεβαίωση των λεγομένων αυτών παρουσιάζονται ορισμένα διαγράμματα που αναδεικνύουν την ικανότητα των παραπάνω μοντέλων να κάνουν προβλέψεις. Από το διάγραμμα 5.8 είναι εμφανές, για μία ακόμη φορά, ότι το μοντέλο πρόβλεψης των ενεργειακών φορτίων θέρμανσης είναι αρκετά ακριβές, καθώς παρουσιάζει πολύ καλή συσχέτιση και μικρά σφάλματα. Ανάμεσα στα δύο μοντέλα πρόβλεψης της θερμικής δυσφορίας (διαγράμματα 5.9, 5.10) είναι ευδιάκριτη η υπεροχή του εποχιακού μοντέλου, στο οποίο τα σημεία που απέχουν από τη γραμμή συσχέτισης είναι πολύ λιγότερα. Ως εκ τούτου, τα εμφανιζόμενα σφάλματα αναμένονται να είναι και αυτά μικρότερα.



Διάγραμμα 5.8 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου θέρμανσης σεναρίου επίδρασης θερμικής αδράνειας κελύφους



Διάγραμμα 5.9 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μηνιαίου μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης θερμικής αδράνειας κελύφους



Διάγραμμα 5.10 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης θερμικής αδράνειας κελύφους

Ορισμένα ενδεικτικά αποτελέσματα χρήσης των δύο μοντέλων βαθμοωρών απεικονίζονται στον πίνακα 5.8 για κάλυψη θερμικής άνεσης στο 100%. Σύμφωνα με το μοντέλο προσομοίωσης, παρατηρείται ότι η θερμική αδράνεια του κελύφους του κτιρίου έχει μικρή επίδραση στη διαστασιολόγηση ενός συστήματος θέρμανσης, οδηγώντας γενικότερα σε μείωση της απαιτούμενης ισχύος. Εξάιρεση αποτελούν πολύ υψηλές τιμές θερμομόνωσης (π.χ. $U_m = 0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$), όπου σημειώνεται μία πολύ μικρή αύξηση στη βαριά κατηγορία. Το παραπάνω φαινόμενο είναι αντιπροσωπευτικό της πολυπλοκότητας της μεταβολής του μεγέθους αυτού στην υπολογιστική προσομοίωση, όταν αυτή καλείται να δώσει αποτελέσματα σε χειμερινές κλιματολογικές συνθήκες και πολύ χαμηλές τιμές θερμοπερατοτήτων. Το εποχιακό μοντέλο παρεμβολής αποτελεί σχετικά καλή προσέγγιση της προσομοίωσης, με εξάιρεση τις περιπτώσεις χαμηλής θερμοπερατότητας, όπου παρατηρείται ότι δε δύναται να αποτυπώσει την περίπλοκη συμπεριφορά που σημειώθηκε παραπάνω. Αντιθέτως, το μηνιαίο μοντέλο πραγματοποιεί σε κάθε περίπτωση υπερεκτίμηση της απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης, ενώ οι σημειωθείσες αποκλίσεις είναι μεγαλύτερες. Ακόμη, διαπιστώνεται για άλλη μία φορά ότι τα αποτελέσματα της προτεινόμενης σχέσης από την τεχνική οδηγία είναι

και πάλι ασυνεπή με το ακριβές μοντέλο προσομοίωσης στις περιπτώσεις μικρής και μεγάλης μέσης θερμοπερατότητας του κελύφους, όπου σημειώνεται υποεκτίμηση και υπερεκτίμηση αντίστοιχα ως προς τον καθορισμό της απαιτούμενης ισχύος.

Τέλος, στην περίπτωση του μοντέλου υπολογισμού των ενεργειακών φορτίων παρατηρείται και πάλι πολύ καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, με εξαίρεση ίσως σε υψηλές τιμές μονώσεων κελύφους, όπου η απόκλιση είναι μεγαλύτερη (βλ. πίνακα 5.9). Η τάση που διακρίνεται στην προκειμένη περίπτωση είναι ότι αύξηση της θερμικής αδράνειας του κελύφους οδηγεί σε μικρή αύξηση των φορτίων. Το αποτέλεσμα αυτό στοιχειοθετείται και βιβλιογραφικά, καθώς έχει βρεθεί ότι η θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων επενεργεί αρνητικά στα ενεργειακά φορτία στην περίπτωση της θέρμανσης με διακοπτόμενη λειτουργία (Reilly & Kinnane, 2017; Bloomfield & Fisk, 1977). Αυτό έγκειται στο ότι με κάθε εκκίνηση του συστήματος, εκτός της ενέργειας που απαιτείται για την αντιστάθμιση των θερμικών απωλειών, απαιτείται πρόσδοση επιπλέον ποσών ενέργειας για τη θέρμανση των δομικών στοιχείων.

U_m [W/(m ² K)]	ΕΙΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	$T_{H,set}$ [°C]	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ [kW]			
			ΚΕΝΑΚ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΜΗΝΙΑΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΕΠΟΧΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	Ελαφρύ	18	12.6	14.5	15.8	14.1
	Μέτριο			13.5	14.8	13.7
	Βαρύ			14	14.6	13.4
	Ελαφρύ	20		16.5	18.5	16.7
	Μέτριο			15.5	17.6	16.2
	Βαρύ			16.5	17.3	15.9
1.5	Ελαφρύ	18	20.2	19.5	20.3	18.7
	Μέτριο			18	19.4	18.2
	Βαρύ			17.5	19	17.6
	Ελαφρύ	20		21.5	23	21.2
	Μέτριο			20.5	22	20.7
	Βαρύ			20	21.7	20.2
2.0	Ελαφρύ	18	26	22.5	23.6	21.6
	Μέτριο			21.5	22.7	21.1
	Βαρύ			21	22.4	20.5
	Ελαφρύ	20		25	26.1	24.1
	Μέτριο			24.5	25.4	23.7
	Βαρύ			24	25	23.2

Πίνακας 5.8 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κελύφους

U_m [W/(m ² K)]	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	$T_{H,set}$ [°C]	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ [kWh]	
			ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	Ελαφρύ	18	19,772	18,024
	Μέτριο		20,168	18,917
	Βαρύ		20,634	19,828
	Ελαφρύ	20	23,684	23,920
	Μέτριο		24,148	24,814
	Βαρύ		24,706	25,112
1.5	Ελαφρύ	18	27,558	27,207
	Μέτριο		28,680	28,835
	Βαρύ		29,498	30,210
	Ελαφρύ	20	33,021	33,839
	Μέτριο		34,198	34,732
	Βαρύ		35,269	35,080
2.0	Ελαφρύ	18	33,068	33,281
	Μέτριο		33,934	34,174
	Βαρύ		33,885	34,379
	Ελαφρύ	20	39,620	39,177
	Μέτριο		40,663	40,070
	Βαρύ		40,626	41,058

Πίνακας 5.9 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους

Συνεπώς, από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων του κτιρίου παίζει λιγότερο σημαντικό ρόλο τόσο στη διαστασιολόγηση, όσο και στα ενεργειακά φορτία ενός συστήματος θέρμανσης σε σχέση με τις υπόλοιπες εξεταζόμενες παραμέτρους, διότι όπως έχει ήδη αναφερθεί η θερμική αδράνεια επιδρά στα φορτία όταν η διακύμανση των εξωτερικών θερμοκρασιών είναι κοντά στη θερμοκρασία άνεσης, κάτι το οποίο δε συμβαίνει τις περισσότερες μέρες του χειμώνα. Ωστόσο, κρίνεται σκόπιμη η διατήρησή του ως παράμετρο για τη διαστασιολόγηση, καθώς με την εισαγωγή του τα σφάλματα και οι συντελεστές συσχέτισης των μοντέλων πρόβλεψης διατηρήθηκαν στα ίδια σχεδόν επίπεδα.

5.1.4 Επίδραση αερισμού λόγω αεροστεγανότητας ανοιγμάτων

Στην ενότητα αυτή κρίνεται σκόπιμη η εισαγωγή της διείδυσης του αέρα από τα κουφώματα ως παράμετρο στο πρόβλημα. Αξίζει να αναφερθεί ότι η μεταβλητή αυτή, σε συνδυασμό με τη θερμοπερατότητα των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους αποτελούν τις σημαντικότερες παραμέτρους για τη διαστασιολόγηση ενός συστήματος θέρμανσης, όπως άλλωστε φαίνεται και από την προτεινόμενη σχέση της τεχνικής οδηγίας 20701-1 (βλ. σχέση 4.8).

Επισημαίνεται ότι το εύρος λήψης δεδομένων από την υπολογιστική προσομοίωση σχετικά με τον αερισμό είναι:

$$50 \leq \dot{V}_{\text{inf}} \leq 700$$

όπου $\dot{V}_{\text{inf}} \left[\frac{m^3}{h} \right]$ είναι η διείδυση του αέρα από τα κουφώματα.

Υπογραμμίζεται ακόμη ότι τα εύρη λειτουργίας των υπόλοιπων ανεξάρτητων μεταβλητών του προβλήματος (π.χ. θερμοπερατότητα, θερμική αδράνεια) λήφθηκαν στα ίδια εύρη που αναφέρονται στα αντίστοιχα υποκεφάλαια (5.1.2, 5.1.3).

Τα μοντέλα που προκύπτουν κατόπιν παρεμβολής στα μηνιαία δεδομένα της προσομοίωσης είναι:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{dem}} = & 0.068 \cdot F_{H,\text{max}} + 525.5 \cdot T_{\text{set},H} + 886.8 \cdot U_m + 0.1321 \cdot 10^{-5} \cdot C_m + 2.376 \cdot V_{\text{inf}} - \\ & -1223.4 \cdot \ln(F_{H,\text{max}}) + 2480.7 \cdot \ln(U_m) + 231.3 \cdot \ln(C_m) + 15.45 \cdot \ln(V_{\text{inf}}) \end{aligned} \quad (5.15)$$

$$\begin{aligned} DDH_N = & -0.6971 \cdot 10^{-5} \cdot F_{H,\text{max}} + 0.0109 \cdot T_{\text{set},H} + 0.0413 \cdot U_m + 0.2728 \cdot 10^{-9} \cdot C_m + \\ & +0.5237 \cdot 10^{-4} \cdot \dot{V}_{\text{inf}} - 0.0271 \cdot \ln(F_{H,\text{max}}) + 0.0216 \cdot \ln(U_m) - 0.0195 \cdot \ln(C_m) + 0.451 \end{aligned} \quad (5.16)$$

Τα αντίστοιχα εξαγόμενα εποχιακά μοντέλα είναι:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{dem}} = & 0.5084 \cdot F_{H,\text{max}} + 1582.7 \cdot T_{\text{set},H} + 3711 \cdot U_m + 10.75 \cdot V_{\text{inf}} - 7759.1 \cdot \ln(F_{H,\text{max}}) + \\ & +23715 \cdot \ln(T_{H,\text{set}}) + 12169 \cdot \ln(U_m) + 1168.7 \cdot \ln(C_m) + 71.09 \cdot \ln(\dot{V}_{\text{inf}}) - 37563 \end{aligned} \quad (5.17)$$

$$\begin{aligned} DDH_N = & -0.9884 \cdot 10^{-5} \cdot F_{H,\text{max}} + 0.0137 \cdot T_{\text{set},H} + 0.036 \cdot U_m + 0.1908 \cdot 10^{-9} \cdot C_m + \\ & +0.6326 \cdot 10^{-4} \cdot \dot{V}_{\text{inf}} - 0.0154 \cdot \ln(F_{H,\text{max}}) + 0.0459 \cdot \ln(U_m) - 0.0134 \cdot \ln(C_m) + 0.2152 \end{aligned} \quad (5.18)$$

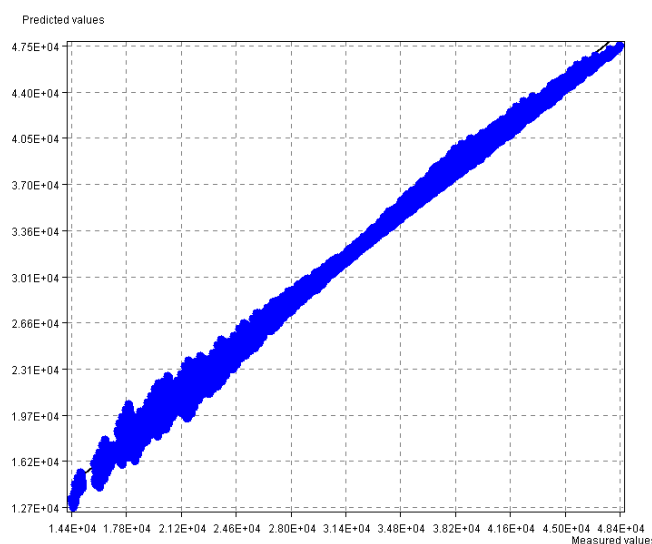
Αναφορικά με την αξιοπιστία τους, τα μοντέλα των ενεργειακών φορτίων παρουσιάζουν αρκετά καλή συμπεριφορά τόσο ως προς την ακρίβεια, όσο και ως προς την ικανότητα να κάνουν καλές προβλέψεις σε δεδομένα για τα οποία δεν έχουν εκπαιδευτεί (βλ. πίνακα 5.10). Να επισημανθεί ωστόσο, ότι τα σφάλματα είναι λίγο μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα των προηγούμενων ενοτήτων, κάτι που είναι ενδεικτικό της πολυπλοκότητας ενός μοντέλου με 5 ανεξάρτητες μεταβλητές. Τα σφάλματα των μοντέλων θερμικής δυσφορίας διατηρούνται και πάλι στα ίδια επίπεδα με την προηγούμενη ενότητα, ενώ και πάλι

διαπιστώνεται ότι το εποχιακό μοντέλο έχει μεγαλύτερη ακρίβεια, ώστε να αποτελεί και πάλι το χρησιμοποιούμενο μοντέλο για τη διαστασιολόγηση.

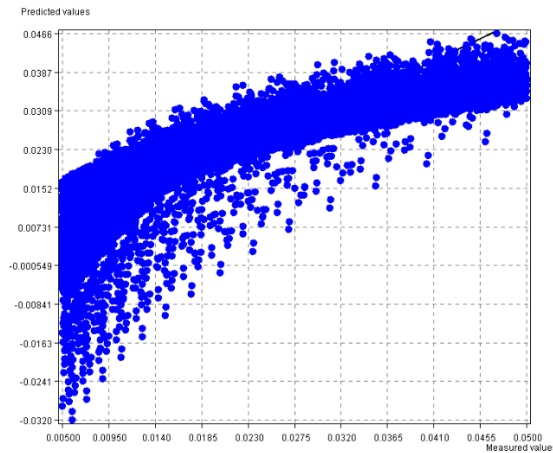
ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ		ΕΠΟΧΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	
		Training	Testing	Training	Testing
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	R ²	0.996	0.996	0.995	0.995
	SSE	1.52E8	1.33E8	3.23E9	3.81E9
	RMSE [kWh]	91.3	85.3	446	486
ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑ	R ²	0.757	0.768	0.833	0.815
	SSE	0.716	0.688	0.441	0.481
	RMSE	0.006	0.006	0.005	0.005

Πίνακας 5.10 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων για την περίοδο θέρμανσης σεναρίου επίδρασης αερισμού

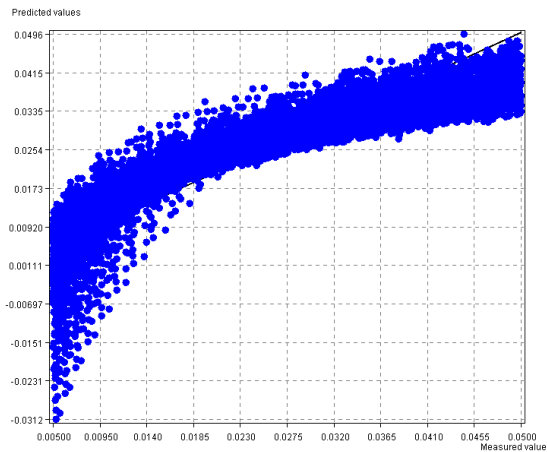
Τα παραπάνω είναι δυνατό να γίνουν περισσότερο αντιληπτά με τα παρακάτω διαγράμματα. Ειδικότερα, από το διάγραμμα 5.11 διαπιστώνεται η πολύ καλή συμφωνία του μοντέλου πρόβλεψης των ενεργειακών φορτίων θέρμανσης με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Είναι εμφανές ότι τα μεγαλύτερα σφάλματα εντοπίζονται σε χαμηλές τιμές φορτίων, ενώ σε μεγαλύτερες τιμές αυτά ελαχιστοποιούνται. Τέλος, στα διαγράμματα 5.12 και 5.13 αναπαρίστανται το μηνιαίο και το εποχιακό μοντέλο πρόβλεψης της θερμικής δυσφορίας αντίστοιχα από όπου και πάλι είναι σαφής η υπεροχή του τελευταίου και η ικανότητά του να κάνει πιο αξιόπιστες προβλέψεις, ιδίως σε χαμηλές τιμές θερμικής δυσφορίας.



Διάγραμμα 5.11 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου θέρμανσης σεναρίου επίδρασης αερισμού



Διάγραμμα 5.12 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μηνιαίου μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης αερισμού



Διάγραμμα 5.13 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας σεναρίου επίδρασης αερισμού

Στον πίνακα 5.11 παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένα αποτελέσματα αναφορικά με τη διαστασιολόγηση. Επισημαίνεται ότι οι υπολογισμοί υλοποιήθηκαν για μία μόνο τιμή θερμικής αδράνειας του κελύφους (βαριά κατηγορία) για λόγους καλύτερης απεικόνισης. Διαπιστώνεται ότι το εποχιακό μοντέλο παρεμβολής αποτελεί μία πολύ καλή προσέγγιση της προσομοίωσης, δεδομένου ότι σε κάθε περίπτωση οι εμφανιζόμενες αποκλίσεις είναι σχετικά μικρές. Από την άλλη μεριά, το μηνιαίο μοντέλο κάνει για άλλη μία φορά υπερεκτίμηση της ισχύος, ενώ οι σημειούμενες αποκλίσεις είναι μεγαλύτερες, λόγω των μεγαλύτερων σφαλμάτων στους υπολογισμούς. Αναφορικά με την προτεινόμενη σχέση της τεχνικής οδηγίας, η μεταβολή της διαστασιολογούμενης ισχύος κατόπιν αλλαγής μόνο του αερισμού, αποτυπώνεται με σχετικά μεγάλη ακρίβεια, ενώ είναι πάλι ορατή η αδυναμία της να αποτυπώσει με ακρίβεια τη μεταβολή της θερμοπερατότητας. Ακόμη, στον πίνακα 5.12 απεικονίζονται αντίστοιχα αποτελέσματα σχετικά με τον προσδιορισμό των ενεργειακών φορτίων, όπου και πάλι παρατηρείται εξαιρετική συμφωνία μεταξύ του μοντέλου παρεμβολής και της προσομοίωσης, με εξαίρεση ίσως τις πολύ χαμηλές τιμές θερμοπερατοτήτων όπου η απόκλιση είναι λίγο μεγαλύτερη.

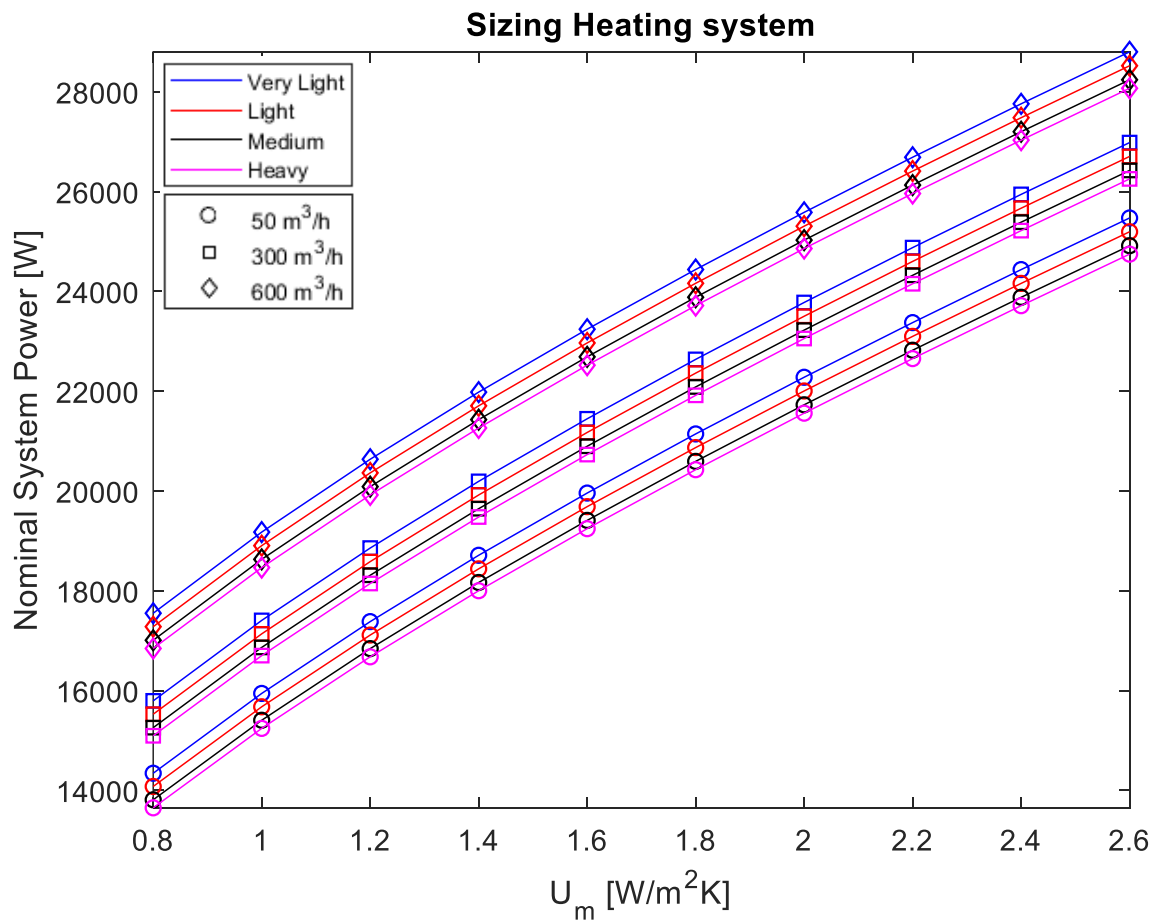
U _m [W/(m ² K)]	Αερισμός [m ³ /h]	T _{H,set} [°C]	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ [kW]			
			ΚΕΝΑΚ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΝ ISO 13790	ΜΗΝΙΑΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΕΠΟΧΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	100	18	10.6	12.5	12.8	11.9
		20		15.5	15.3	14.4
	400	18	12.6	14	14.6	13.6
		20		17	17.1	16.1
	700	18	14.6	15.5	16.4	15.3
		20		18.5	19	18
1.5	100	18	18.2	16	17.1	16.2
		20		18.5	19.9	18.8
	400	18	20.2	17.5	19.2	18
		20		20.5	21.8	20.6
	700	18	22.2	19.5	20.6	19.7
		20		22	23.1	22.3
2.0	100	18	24.1	19.5	20.5	19.1
		20		22	23.2	21.7
	400	18	26.1	21	22.4	20.9
		20		24	25.1	23.5
	700	18	28.1	23	24.3	22.6
		20		26	27.1	25.2

Πίνακας 5.11 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και αερισμού

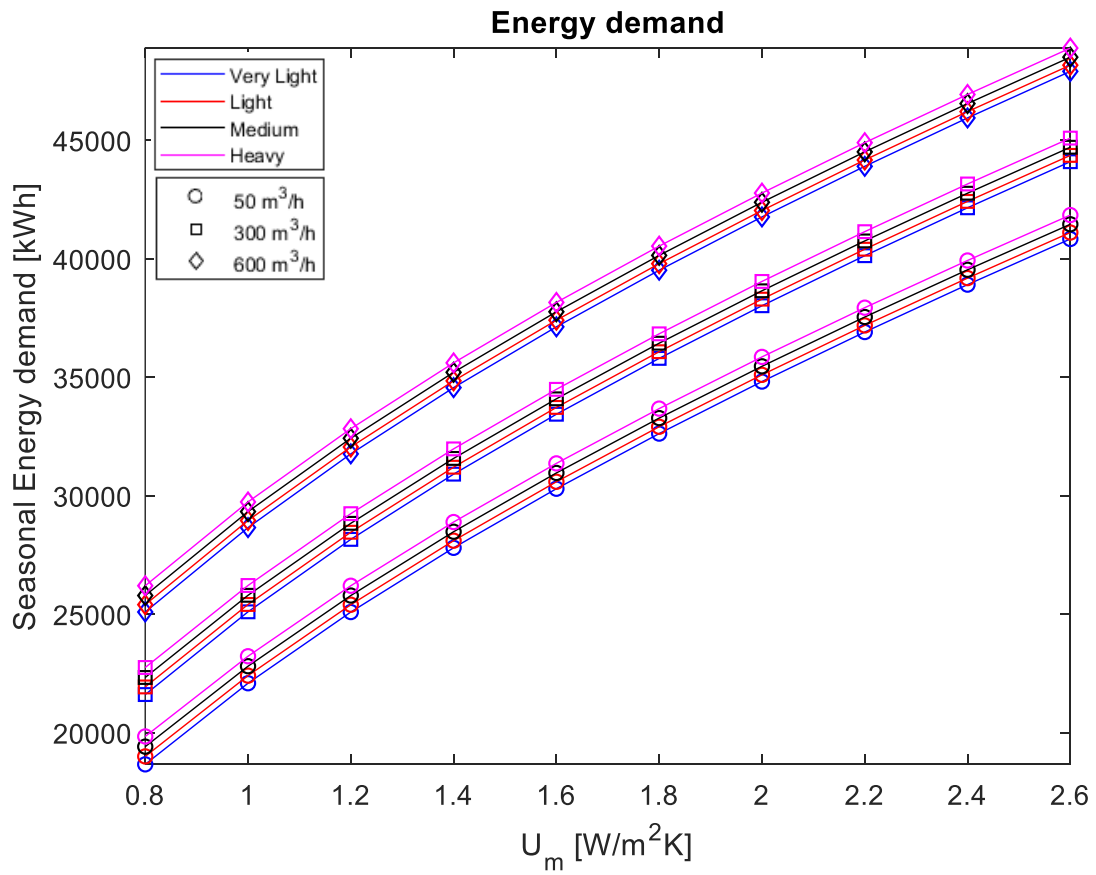
U _m [W/(m ² K)]	Αερισμός [m ³ /h]	T _{H,set} [°C]	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ [kWh]	
			ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΝ ISO 13790	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	100	18	16,799	16,285
		20	20,220	21,714
	400	18	20,287	19,413
		20	24,269	25,034
	700	18	23,531	22,621
		20	28,166	28,396
1.5	100	18	25,600	25,372
		20	30,663	31,202
	400	18	28,815	28,792
		20	34,520	34,731
	700	18	32,028	32,220
		20	38,329	38,244
2.0	100	18	31,026	30,924
		20	37,161	36,920
	400	18	34,169	34,464
		20	40,927	40,540
	700	18	37,310	37,985
		20	44,671	44,126

Πίνακας 5.12 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και αερισμού κτιριακού κελύφους

Οπτική απεικόνιση των πινακοποιημένων τιμών πραγματοποιείται στα διαγράμματα 5.14 και 5.15, στα οποία αναπαρίστανται η απαιτούμενη διαστασιολογούμενη ισχύς και τα ενεργειακά φορτία του κτιρίου αντίστοιχα συναρτήσει της θερμομονωτικής επάρκειας του κελύφους για διάφορα σενάρια αερισμού και θερμοχωρητικότητας. Υπογραμμίζεται ότι η θερμοκρασία άνεσης λήφθηκε στους 20 °C, τιμή η οποία συστήνεται και από την τεχνική οδηγία για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης σε οικίες (ΤΕΕ, 2017α, p. 29), ενώ τα επίπεδα θερμικής άνεσης λήφθηκαν στο 100%. Καθίσταται και πάλι αντιληπτή η τεράστια επίδραση της προσθήκης μόνωσης, δεδομένου ότι είναι δυνατή η επίτευξη μείωσης έως και 40% στην απαιτούμενη ονομαστική ισχύ του συστήματος θέρμανσης σε ένα κέλυφος με εξαιρετική θερμομονωτική επάρκεια ($U_m=0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$) συγκριτικά με κάποιο που δεν υπακούει σε κανένα κανονισμό θερμομόνωσης ($U_m=2.6 \text{ W/m}^2\text{K}$). Η αντίστοιχη μείωση που σημειώνεται στην περίπτωση των ενεργειακών φορτίων αγγίζει το 50%, γεγονός το οποίο εξηγεί το λόγο για τον οποίο η πρώτη επέμβαση που συνιστάται να γίνει σε ένα κτίριο είναι η θερμομόνωσή του. Εκτός αυτού, μείζονος σημασίας αποτελεί και ο αερισμός λόγω αεροστεγανότητας του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι μπορεί να σημειωθεί έως και 20% μείωση στη διαστασιολογούμενη ισχύ εάν πραγματοποιηθεί αντικατάσταση παλαιών ξύλινων κουφωμάτων με μονό υαλοπίνακα και χωρίς πιστοποίηση (~ 600 m³/h) με κουφώματα που έχουν πιστοποίηση κατά EN 12207 (~ 50 m³/h). Παρόμοια ελάττωση συμβαίνει και στα φορτία θέρμανσης, η οποία κυμαίνεται σε 20 – 30% ανάλογα με τη μόνωση του κελύφους. Ειδικότερα, η μείωση αυτή είναι περισσότερο αισθητή σε ένα πολύ καλά θερμομονωμένο κέλυφος ($U_m=0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$), καθώς οι απώλειες λόγω θερμοπερατότητας των αδιαφανών δομικών στοιχείων είναι μικρές και παίζουν λιγότερο ρόλο σε σχέση με αυτές που σχετίζονται με τον αερισμό. Αξίζει να τονιστεί στο σημείο αυτό ότι οι παραπάνω τιμές διείσδυσης αέρα λήφθηκαν από τον πίνακα 3.26 της οδηγίας 20701-1 (ΤΕΕ, 2017α, p. 97) για την επιφάνεια των διαφανών δομικών στοιχείων της συγκεκριμένης οικίας. Τέλος, η θερμική αδράνεια του κελύφους επιδρά ευεργετικά στη διαστασιολόγηση, ωστόσο η επενέργεια αυτού του παράγοντα είναι αρκετά μικρή, όχι πάνω από 5%, ενώ ακόμη μικρότερη είναι η επιρροή που ασκεί στα φορτία, όπου παρατηρείται ελάχιστη αύξηση σε αυτά. Για το λόγο αυτό, η παράμετρος αυτή μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα στην τελευταία περίπτωση.



Διάγραμμα 5.14 Μεταβολή απαιτούμενης ισχύος συστήματος θέρμανσης συναρτήσει της θερμομόνωσης του κελύφους για διάφορες τιμές θερμικής αδράνειας και αερισμού από τα κουφώματα



Διάγραμμα 5.15 Μεταβολή ενεργειακών φορτίων θέρμανσης συναρτήσει της θερμομόνωσης του κελύφους για διάφορες τιμές θερμικής αδράνειας και αερισμού από τα κουφώματα

5.1.5 Εύρεση αναλυτικής σχέσης για τη διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας

Είναι γεγονός ότι στις παραπάνω ενότητες αναπτύχθηκε μία συστηματική μεθοδολογία, η οποία επιτρέπει τη διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης μίας συγκεκριμένης οικίας, μέσω της αξιοποίησης ενός υποκατάστατου μοντέλου, το οποίο συνοψίζει τη θερμική συμπεριφορά του κελύφους σε εποχιακό επίπεδο για ικανοποιητικό εύρος τιμών των πιο χαρακτηριστικών παραμέτρων (θερμοπερατότητα, θερμοχωρητικότητα, αερισμός). Ωστόσο, για την εύρεση της ισχύος απαιτείται αριθμητική επίλυση, συνεπώς και γνώσεις προγραμματισμού από το χρήστη των παραπάνω εξισώσεων. Για το λόγο αυτό, κρίνεται σκόπιμη η εύρεση μίας αναλυτικής σχέσης, με χρήση της οποίας ο μηχανικός είναι δυνατό να βρει απευθείας την απαιτούμενη ισχύ γνωρίζοντας τη μέση θερμοπερατότητα των στοιχείων του κελύφους, τη θερμική αδράνεια αυτού, τη διείδυση αέρα από τα κουφώματα, καθώς και τα επιθυμητά επίπεδα θερμικής άνεσης.

Για το σκοπό αυτό, απαιτείται εκ νέου παρεμβολή των δεδομένων που προκύπτουν από την αριθμητική επίλυση των μοντέλων θερμικής δυσφορίας με χρήση του λογισμικού ALAMO. Για λόγους ακρίβειας έγινε χρήση του εποχιακού μοντέλου βαθμοωρών:

$$DDH_N = -0.9884 \cdot 10^{-5} \cdot F_{H,max} + 0.0137 \cdot T_{set,H} + 0.036 \cdot U_m + 0.1908 \cdot 10^{-9} \cdot C_m + \quad (5.18)$$

$$+ 0.6326 \cdot 10^{-4} \cdot \dot{V}_{inf} - 0.0154 \cdot \ln(F_{H,max}) + 0.0459 \cdot \ln(U_m) - 0.0134 \cdot \ln(C_m) + 0.2152$$

Δεδομένου ότι στο πραγματικό πρόβλημα σχεδιασμού οι ανεξάρτητες μεταβλητές θα είναι τα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους και το ποσοστό κάλυψης της θερμικής άνεσης των χρηστών, επιλέχθηκε η διατύπωση της παραπάνω σχέσης ως εξής:

$$F_{H,max} = 6215.4 \cdot U_m - 0.7954 \cdot 10^{-5} \cdot C_m + 6.059 \cdot \dot{V}_{inf} - 95,230 \cdot DDH_N + 9343.5 \quad (5.19)$$

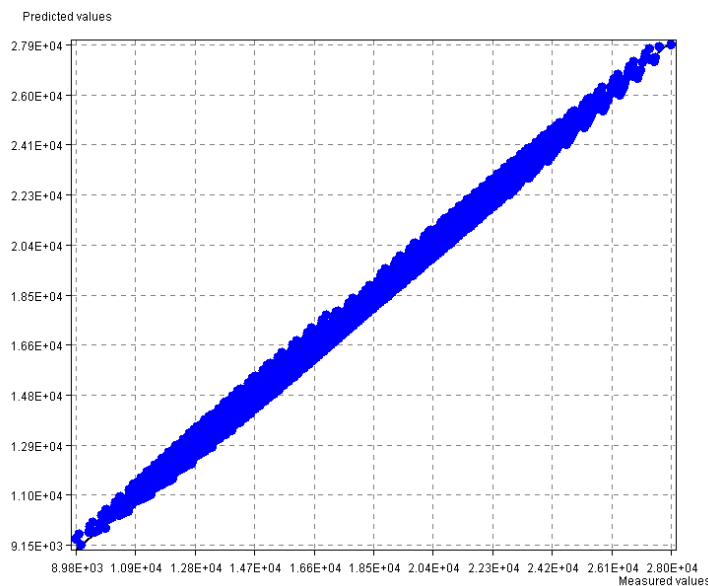
Σημειώνεται ότι η θερμοκρασία άνεσης στην προκειμένη περίπτωση λήφθηκε ίση με $T_{set,H} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, εφόσον αυτή είναι η προτεινόμενη τιμή από την τεχνική οδηγία 20701-1 για οικίες (ΤΕΕ, 2017α, p. 29).

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 5.13 το εξαγόμενο μοντέλο είναι πολύ ακριβές. Ειδικότερα, ο συντελεστής συσχέτισης είναι πολύ μεγάλος, ενώ τα σφάλματα της παρεμβολής είναι ελάχιστα, μερικές εκατοντάδες W. Ακόμη, η ικανότητα του μοντέλου να παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα για δεδομένα για τα οποία δεν έχει εκπαιδευτεί είναι άριστη, όπως άλλωστε φαίνεται από τον ίδιο πίνακα, δεδομένου ότι η μεταβολή των σφαλμάτων είναι ελάχιστη.

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	
	Training	Testing
R ²	0.994	0.994
SSE	2.77E8	2.8E8
RMSE [W]	285	287

Πίνακας 5.13 Αξιολόγηση αναλυτικού μοντέλου πρόβλεψης απαιτούμενης ισχύος συστήματος θέρμανσης

Προς ενίσχυση της βεβαιότητας της αξιοπιστίας του μοντέλου δίδεται το διάγραμμα 5.16, στο οποίο εικονίζεται καλύτερα η ικανότητα του μοντέλου να κάνει προβλέψεις με μικρά σφάλματα.



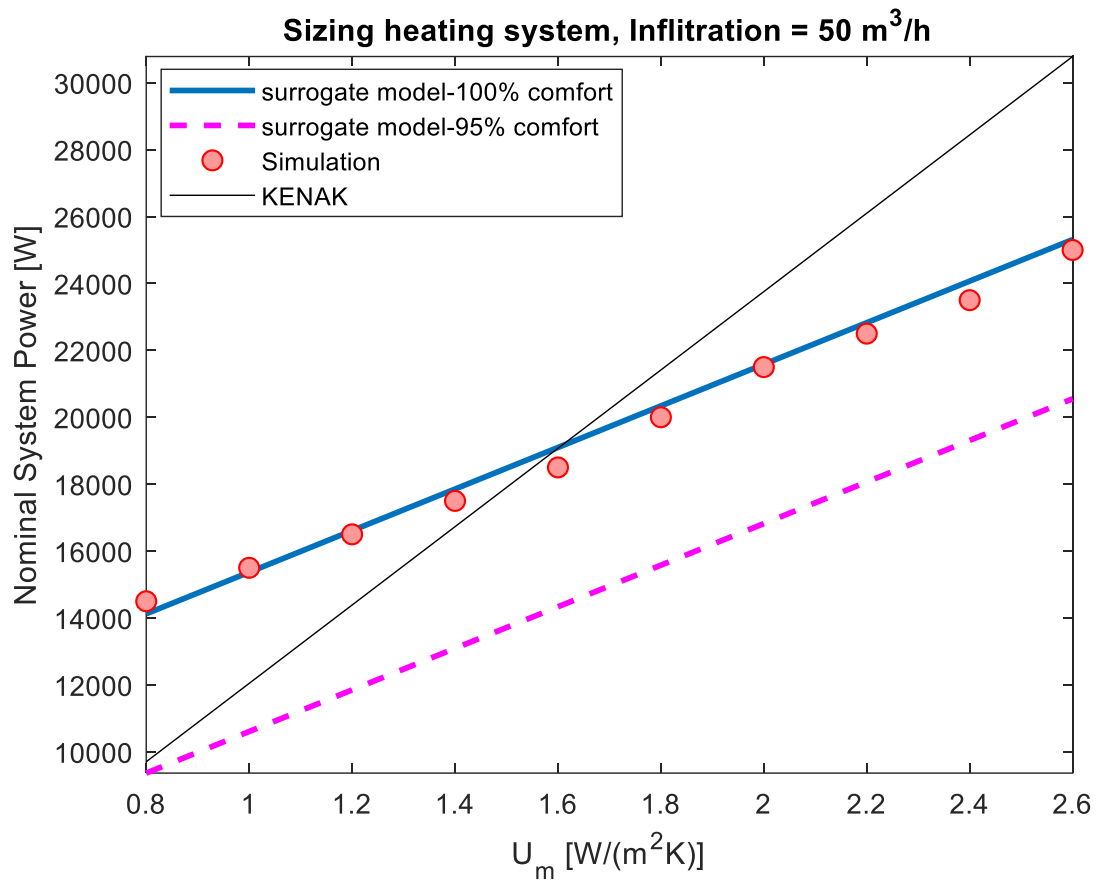
Διάγραμμα 5.16 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων αναλυτικού μοντέλου παρεμβολής για διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας

Ενδεικτικά, στον πίνακα 5.14 απεικονίζονται ορισμένα αποτελέσματα και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα της υπολογιστικής προσομοίωσης. Υπογραμμίζεται ότι οι υπολογισμοί αφορούν ένα «βαρύ» κτιριακό κέλυφος. Διαπιστώνεται και πάλι ότι το εξαγόμενο μοντέλο έχει εξαιρετική ακρίβεια, καθώς τα αποτελέσματά του συμβαδίζουν με αυτά του μοντέλου προσομοίωσης, σε πλήρη αντίθεση με τη σχέση που συστήνεται από την τεχνική οδηγία 20701-1/2017, η οποία αδυνατεί να κάνει σωστές προβλέψεις της απαιτούμενης ισχύος για πολύ μικρές και μεγάλες τιμές θερμοπερατοτήτων. Τέλος, διακρίνεται και πάλι η μεγάλη επίδραση τόσο της θερμοπερατότητας, όσο και του ποσοστού θερμικής άνεσης στον προσδιορισμό της απαιτούμενης ισχύος για λόγους που έχουν αναλυθεί διεξοδικώς σε προηγούμενη ενότητα.

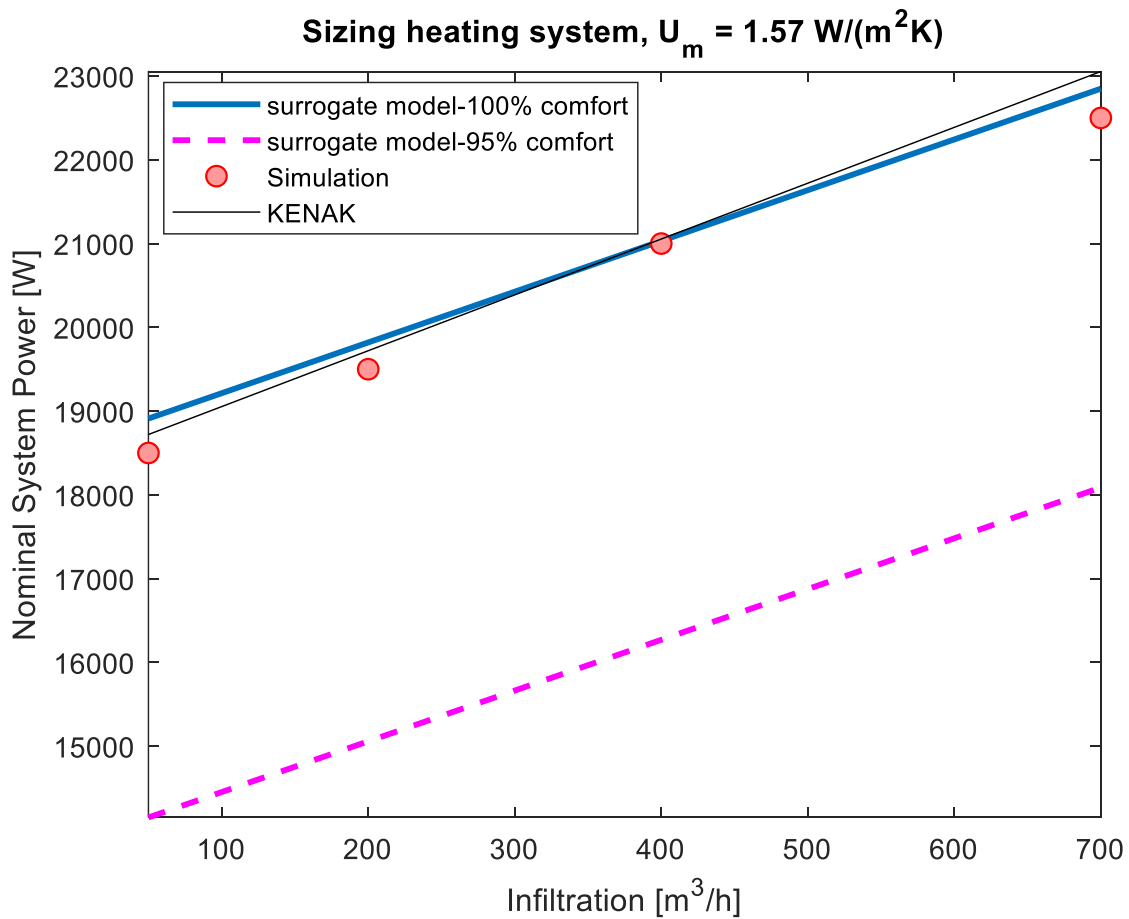
U_m [W/(m ² K)]	Αερισμός [m ³ /h]	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ [kW]		
		KENAK	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	100	10.6	15.5	14.8 (100% comf) 10 (95% comf)
	400	12.6	17	16.6 (100% comf) 11.8 (95% comf)
	700	14.6	18.5	18.4 (100% comf) 13.6 (95% comf)
1.5	100	18.2	18.5	18.7 (100% comf) 14 (95% comf)
	400	20.2	20.5	20.6 (100% comf) 15.8 (95% comf)
	700	22.2	22	22.4 (100% comf) 17.7 (95% comf)
2.0	100	24.1	22	21.9 (100% comf) 17.1 (95% comf)
	400	26.1	24	23.7 (100% comf) 18.9 (95% comf)
	700	28.1	26	25.5 (100% comf) 20.8 (95% comf)

Πίνακας 5.14 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας για διάφορα σενάρια μόνωσης και αερισμού σύμφωνα με το αναλυτικό μοντέλο παρεμβολής

Προς επίρρωση των ανωτέρω τάσεων, παρουσιάζονται ενδεικτικά δύο διαγράμματα, στα οποία πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των τριών μεθόδων υπολογισμού της απαιτούμενης ισχύος του συστήματος θέρμανσης: του Κ.Εν.Α.Κ., του μοντέλου προσομοίωσης και του «υποκατάστατου» μοντέλου παρεμβολής (surrogate model). Το πρώτο (διάγραμμα 5.17) αναπαριστά την επίδραση της θερμοπερατότητας στη διαστασιολογούμενη ισχύ για μία δεδομένη τιμή αερισμού από τα ανοίγματα του κτιρίου (50 m³/h), όπου είναι ξεκάθαρη η αδυναμία της τεχνικής οδηγίας να περιγράψει την τάση που διακρίνεται στο μοντέλο προσομοίωσης. Αντιθέτως, η τελευταία δύναται να περιγράψει με μεγάλη ακρίβεια την μεταβολή της διαστασιολογούμενης ισχύος κατόπιν αλλαγής του αερισμού για δεδομένη τιμή μέσης θερμοπερατότητας κελύφους (βλ. διάγραμμα 5.18). Σε κάθε περίπτωση, το εξαγόμενο απλό γραμμικό μοντέλο παρεμβολής περιγράφει με εξαιρετική ακρίβεια τις σημειωθείσες τάσεις.



Διάγραμμα 5.17 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για διάφορες τιμές θερμομόνωσης κτιριακού κελύφους και για αερισμό από τα κουφώματα 50 m³/h



Διάγραμμα 5.18 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για διάφορες τιμές αερισμού από τα ανοίγματα και για μέση θερμοπερατότητα δομικών στοιχείων $1.57 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

5.1.6 Παράδειγμα υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη μία σύντομη παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο συστήνεται να γίνεται η εφαρμογή της σχέσης που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα (σχέση 5.19) σχετικά με την επιλογή του βέλτιστου συστήματος που θα καλύπτει τα φορτία θέρμανσης. Για το σκοπό αυτό αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των στοιχείων του κτιριακού κελύφους λήφθηκαν ενδεικτικά οι παρακάτω τιμές:

$$U_m = 1.2 \frac{W}{m^2 K}, C_m = 62.09 \cdot 10^6 \frac{J}{K} \text{ (βαριά κατηγορία)}, V_{inf} = 100 \frac{m^3}{h}$$

Για την περίπτωση εγκατάστασης λέβητα, με κάλυψη άνεσης στο 100% προκύπτει (σχέση 5.19):

$$F_{H,max} = 6215.4 \cdot U_m - 0.7954 \cdot 10^{-5} \cdot C_m + 6.059 \cdot \dot{V}_{inf} - 95,230 \cdot DDH_N + 9343.5 \Rightarrow \\ F_{H,max} = 6215.4 \cdot 1.2 - 0.7954 \cdot 10^{-5} \cdot 62.09 \cdot 10^6 + 6.059 \cdot 100 - 95,230 \cdot 0 + 9343.5 \Rightarrow$$

$$F_{H,max,boiler} = 16.9 \approx 17 \text{ kW}$$

όπου το μέγεθος $F_{H,max,boiler}$ αντιπροσωπεύει την ονομαστική ισχύ του λέβητα.

Ωστόσο, ανάλογα με τους περιορισμούς που θέτουν οι χρήστες σχετικά με την κάλυψη της θερμικής άνεσης μπορεί κανείς να επαναλάβει την παραπάνω διαδικασία για διαφορετικές τιμές θερμικής δυσφορίας (π.χ. 5%, 2%, 1%), όπως έχει δειχθεί και σε προηγούμενη ενότητα.

Εάν επιλεγεί η εγκατάσταση μίας αντλίας θερμότητας, προτείνεται η χρήση συμπληρωματικών αντιστάσεων για την κάλυψη φορτίων αιχμής σε ακραίες εξωτερικές θερμοκρασίες, καθώς όπως έχει ήδη επισημανθεί είναι δυνατό να οδηγήσει σε υψηλότερο εποχιακό βαθμό απόδοσης, αφού η αντλία θερμότητας κατά τη συνολική διάρκεια λειτουργίας της θα κληθεί να λειτουργήσει πιο κοντά στο ονομαστικό της φορτίο. Για το σκοπό αυτό, προτείνεται ο υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύος για κάλυψη άνεσης στο 95%:

$$F_{H,max} = 6215.4 \cdot 1.2 - 0.7954 \cdot 10^{-5} \cdot 62.09 \cdot 10^6 + 6.059 \cdot 100 - 95,230 \cdot 0.05 + 9343.5 \Rightarrow$$

$$F_{H,max,HP} = 12.2 \approx 12.5 \text{ kW}$$

όπου το μέγεθος $F_{H,max,HP}$ αντιπροσωπεύει την εγκατεστημένη ισχύ της αντλίας θερμότητας.

Καθίσταται σαφές από τα παραπάνω ότι η απαιτούμενη ισχύς των ηλεκτρικών αντιστάσεων ισούται με τη διαφορά

$$F_{H,max,res} = 16.9 - 12.2 = 4.7 \approx 5 \text{ kW}$$

Αξίζει τέλος να επισημανθεί ότι οι παραπάνω τιμές αντιπροσωπεύουν τις τιμές της ισχύος για κάλυψη μονάχα των απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων θέρμανσης, χωρίς να περιλαμβάνουν τις απώλειες των συστημάτων, όπως είναι οι απώλειες παραγωγής ενέργειας, δικτύου διανομής, τερματικών μονάδων. Συνεπώς, για την εκλογή του κατάλληλου συστήματος συνίσταται η διαίρεση των παραπάνω τιμών ισχύος με τους βαθμούς απόδοσης των επιμέρους υποσυστημάτων (δίκτυο διανομής, τερματικές μονάδες, κ.λπ.), σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες της τεχνικής οδηγίας 20701-1/2017.

5.2 Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης και ενεργειακών φορτίων οικίας για την περιοχή της Κοζάνης

Είναι γεγονός ότι στις προηγούμενες παραγράφους έγινε μία συστηματική προσπάθεια προσδιορισμού της απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης μίας συγκεκριμένης οικίας στην περιοχή της Αθήνας και αναδείχθηκε η υπεροχή των εξαγόμενων μοντέλων έναντι της τεχνικής οδηγίας του Κ.Εν.Α.Κ.. Ωστόσο, για την επιβεβαίωση της ανεπάρκειας του κανονισμού αυτού στη διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης κρίθηκε σκόπιμη η επανάληψη των παραπάνω υπολογισμών για μία περιοχή της Ελλάδας, η οποία ανήκει σε διαφορετική κλιματική ζώνη και ειδικότερα για την Κοζάνη. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία στους υπολογισμούς εξήχθησαν τα παρακάτω μοντέλα παρεμβολής:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{dem} = & -0.1845 \cdot F_{H,max} + 3440 \cdot T_{set,H} + 8397 \cdot U_m + 0.6306 \cdot 10^{-5} \cdot C_m + 13.82 \cdot V_{inf} + \\ & + 6166.6 \cdot \ln(F_{H,max}) + 8825 \cdot \ln(U_m) + 1172 \cdot \ln(C_m) - 30.83 \cdot \ln(V_{inf}) - 125931 \end{aligned} \quad (5.20)$$

$$\begin{aligned} DDH_N = & -0.5097 \cdot 10^{-5} \cdot F_{H,max} + 0.8428 \cdot 10^{-2} \cdot T_{set,H} + 0.0209 \cdot U_m + 0.5819 \cdot 10^{-4} \cdot V_{inf} - \\ & - 0.0381 \cdot \ln(F_{H,max}) + 0.065 \cdot \ln(U_m) - 0.0162 \cdot \ln(C_m) + 0.5841 \end{aligned} \quad (5.21)$$

Από το τελευταίο μοντέλο είναι δυνατή και πάλι η εξαγωγή μίας νέας αναλυτικής σχέσης για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ισχύος:

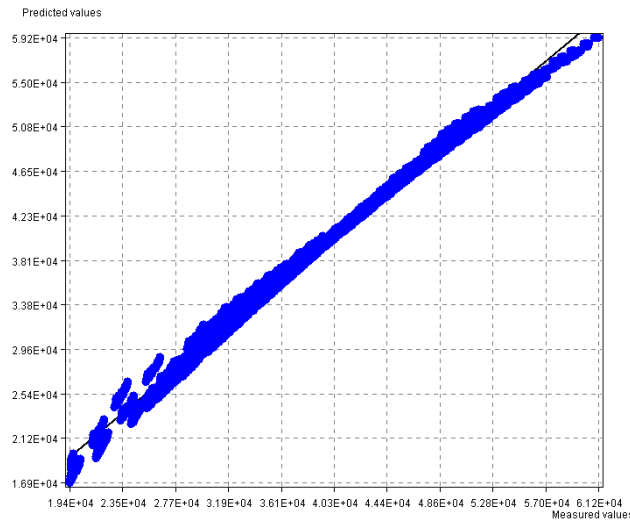
$$F_{H,max} = 9681.4 \cdot U_m - 0.528 \cdot 10^{-4} \cdot C_m + 8.8467 \cdot V_{inf} - 151476 \cdot DDH_N + 14490 \quad (5.22)$$

Σημειώνεται ότι για την εξαγωγή του μοντέλου της σχέσης (5.21) έγινε χρήση εποχιακών δεδομένων από την προσομοίωση, δεδομένου ότι το αναλυτικό μοντέλο της προηγούμενης ενότητας βασίζεται και αυτό σε εποχιακά δεδομένα.

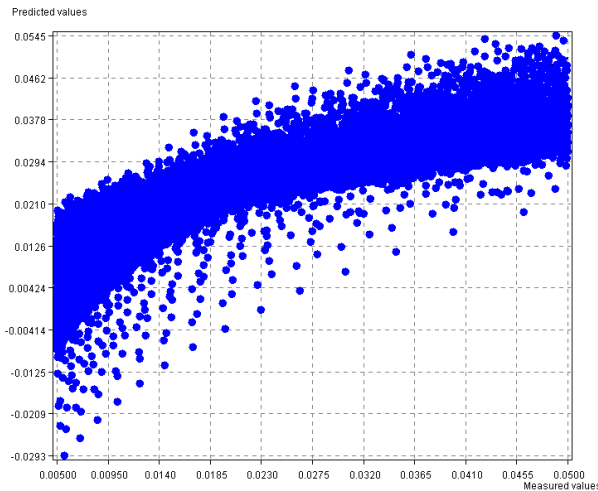
Για μία ακόμη φορά διαπιστώνεται ότι το μοντέλο υπολογισμού των απαιτούμενων φορτίων είναι εξαιρετικά ακριβές (βλ. πίνακα 5.15 και διάγραμμα 5.19), καθώς τα σφάλματα διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα, ενώ η ικανότητα προβλέψεων είναι εξαιρετική. Το μοντέλο υπολογισμού της θερμικής δυσφορίας σημειώνει μεγαλύτερα σφάλματα (βλ. διάγραμμα 5.20), ενώ το αντίστοιχο της διαστασιολόγησης εμφανίζει εξαιρετική συμφωνία με τα αποτελέσματα του δεύτερου μοντέλου (βλ. διάγραμμα 5.21).

ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	
		Training	Testing
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	R ²	0.997	0.997
	SSE	4.83E9	4.87E9
	RMSE [kWh]	448	461
ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑ	R ²	0.788	0.781
	SSE	0.804	0.815
	RMSE	0.006	0.006
ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	R ²	0.993	0.993
	SSE	8.51E8	8.49E8
	RMSE [W]	500	496

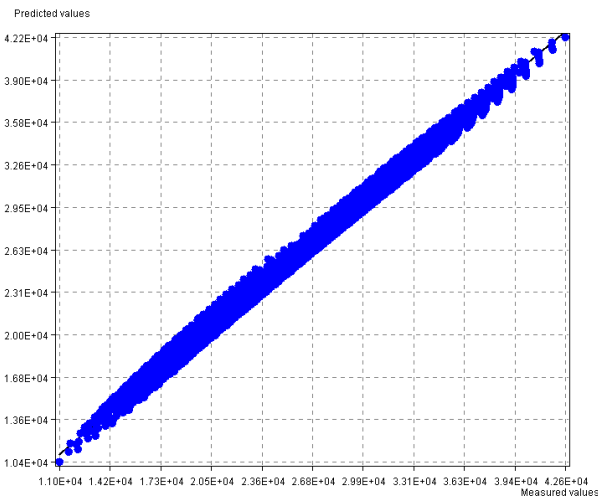
Πίνακας 5.15 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας, διαστασιολόγησης και ενεργειακών φορτίων θέρμανσης για την περιοχή της Κοζάνης



Διάγραμμα 5.19 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου θέρμανσης για την περιοχή της Κοζάνης



Διάγραμμα 5.20 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου βαθμωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας οικίας στην περιοχή της Κοζάνης



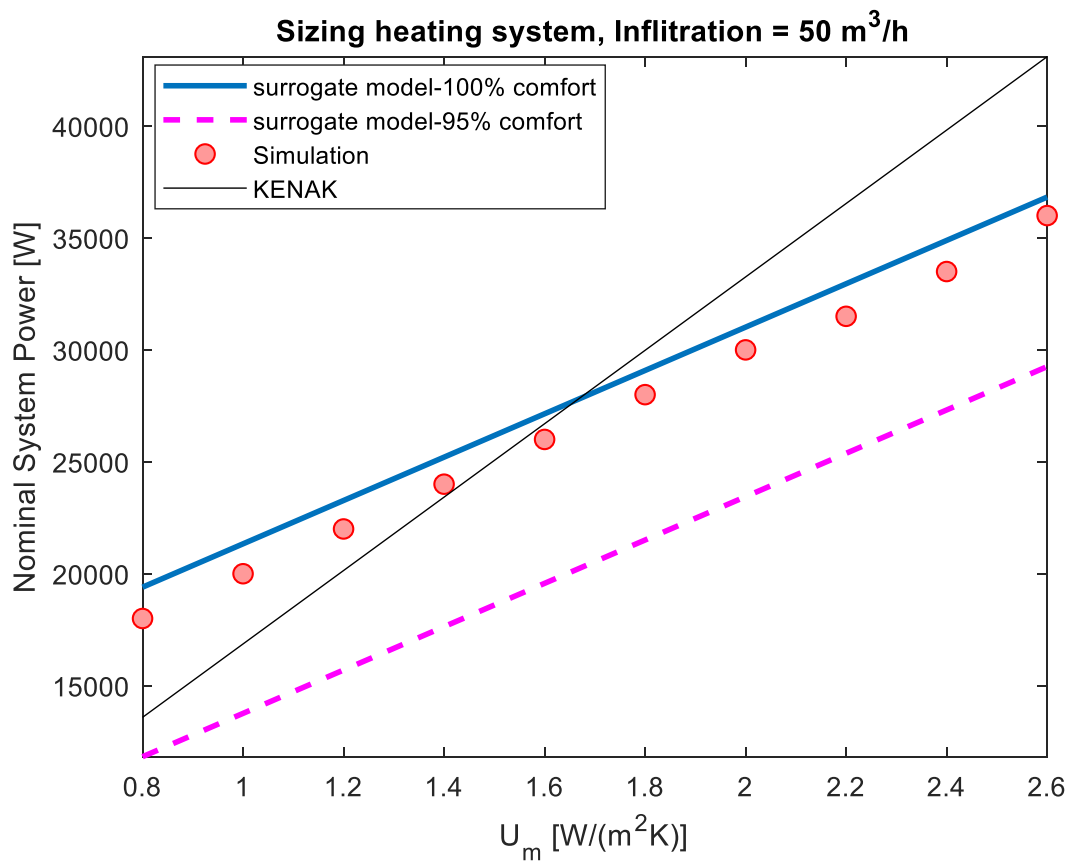
Διάγραμμα 5.21 : Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων αναλυτικού μοντέλου παρεμβολής για διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης

Εν συνεχεία, παρατίθεται ο πίνακας 5.16 στον οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης σύμφωνα με τη χρήση της σχέσης της τεχνικής οδηγίας του Κ.Εν.Α.Κ., του μοντέλου προσομοίωσης και της τελικής σχέσης διαστασιολόγησης. Αναφορικά με την πρώτη εξακριβώνεται, για μία τελευταία φορά, η αδυναμία της να αναπαραστήσει την ακριβή μεταβολή της απαιτούμενης ισχύος με αλλαγή της τιμής της θερμοπερατότητας, δεδομένου ότι σε πολύ μικρές τιμές της τελευταίας κάνει σημαντική υποεκτίμηση, ενώ σε μεγάλες τιμές σαφή υπερεκτίμηση. Αντιθέτως, στο εξαγόμενο μοντέλο παρεμβολής στην πλειονότητα των περιπτώσεων σημειώνεται μία μικρή υπερεκτίμηση, ιδίως σε υψηλές τιμές θερμομόνωσης και χαμηλές τιμές αερισμού, ωστόσο οι αποκλίσεις αυτές είναι σχετικά μικρές και σε καμία περίπτωση πάνω από 2 kW ισχύος. Οπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτών παρατίθεται στο διάγραμμα 5.22, στο οποίο αναπαρίσταται η απαιτούμενη ισχύς συναρτήσει της μέσης θερμοπερατότητας του κτιριακού κελύφους για μία δεδομένη τιμή αερισμού (50 m³/h), όπου είναι εμφανής η μικρή υπερεκτίμηση του μοντέλου. Επιπροσθέτως, στο διάγραμμα 5.23

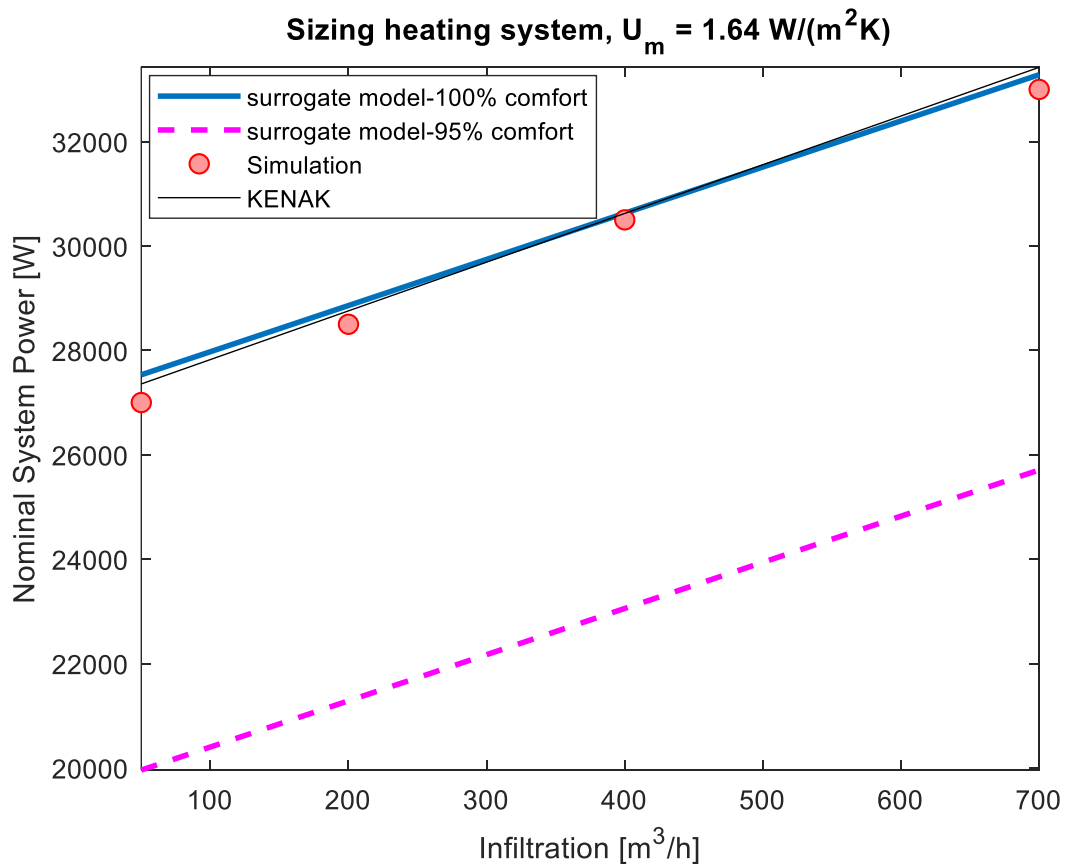
εικονίζεται η μεταβολή της απαιτούμενης ισχύος συναρτήσει του αερισμού από τα κουφώματα για μία συγκεκριμένη τιμή θερμοπερατότητας, όπου και πάλι είναι αντιληπτό ότι η σχέση της τεχνικής οδηγίας αναπαριστά με πολύ μεγάλη ακρίβεια την παραπάνω τάση. Τέλος, παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση η απαιτούμενη ισχύς είναι μεγαλύτερη από αυτή της περιοχής της Αθήνας, δεδομένου ότι στην Κοζάνη τη χειμερινή περίοδο καταγράφονται πιο ακραίες κλιματικές συνθήκες. Η σημειωθείσα αύξηση είναι της τάξης του 40%.

U_m [W/(m ² K)]	Αερισμός [m ³ /h]	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ [kW]		
		ΚΕΝΑΚ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	100	14.9	19	20.3 (100% comf)
				12.8 (95% comf)
	400	17.7	21	23 (100% comf)
				15.4 (95% comf)
	700	20.5	23.5	25.5 (100% comf)
				18 (95% comf)
1.5	100	25.5	26	26.6 (100% comf)
				19 (95% comf)
	400	28.3	29.5	29.3 (100% comf)
				21.7 (95% comf)
	700	31.1	32	31.9 (100% comf)
				24.4 (95% comf)
2.0	100	33.7	30.5	31.5 (100% comf)
				23.9 (95% comf)
	400	36.5	33.5	34.1 (100% comf)
				26.5 (95% comf)
	700	39.3	36.5	36.8 (100% comf)
				29.1 (95% comf)

Πίνακας 5.16 Διαστασιολόγηση συστήματος θέρμανσης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και αερισμού σύμφωνα με το αναλυτικό μοντέλο παρεμβολής



Διάγραμμα 5.22 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για την περιοχή της Κοζάνης για διάφορες τιμές θερμομόνωσης και για αερισμό από τα κουφώματα 50 m³/h



Διάγραμμα 5.23 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για την περιοχή της Κοζάνης για διάφορες τιμές αερισμού από τα ανοίγματα και για μέση θερμοπερατότητα δομικών στοιχείων $1.64 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Ακόμη, στον πίνακα 5.17 αναπαρίστανται τα ενεργειακά φορτία που σημειώνονται σε κάθε μία από τις περιπτώσεις του πίνακα 5.16, όπου βεβαιώνεται η σχετικά καλή συμφωνία του μοντέλου παρεμβολής με το αντίστοιχο της προσομοίωσης. Συγκριτικά με την περιοχή της Αθήνας διαπιστώνεται ότι η αύξηση των φορτίων είναι σημαντική, ήτοι 25 – 30%.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ [kWh]			
U_m [W/(m ² K)]	Αερισμός [m ³ /h]	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	100	26,251	28,656
	400	31,666	33,031
	700	36,706	37,337
1.5	100	38,497	39,630
	400	43,191	43,833
	700	48,002	48,007
2.0	100	46,832	46,506
	400	51,408	50,620
	700	56,110	54,721

Πίνακας 5.17 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων θέρμανσης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και αερισμού

6. Διαστασιολόγηση συστήματος ψύξης και αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του

6.1 Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος ψύξης και ενεργειακών φορτίων οικίας για την περιοχή της Αθήνας

Στο σημείο αυτό θα επιχειρηθεί η διαστασιολόγηση ενός συστήματος ψύξης, βάσει της μεθοδολογίας που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα και θα συγκριθεί με την αντίστοιχη σχέση που προτείνεται από την τεχνική οδηγία (σχέση 4.9). Να σημειωθεί ότι οι υπολογισμοί στην παρούσα φάση είναι πολυπλοκότεροι, δεδομένου ότι η ηλιακή ακτινοβολία και τα εσωτερικά θερμικά κέρδη διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο. Για το λόγο αυτό, και λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός του ότι η ημερήσια διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας το καλοκαίρι είναι κοντά στη θερμοκρασία άνεσης, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη και η απόκριση της κατασκευής του κτιρίου, καθώς μπορεί να μετατοπίσει τα μέγιστα φορτία ψύξης του χώρου σε μετέπειτα χρονικές στιγμές. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας στα δομικά στοιχεία λόγω της θερμικής αδράνειάς τους (θερμοχωρητικότητα) και η απόδοσή της με χρονική καθυστέρηση. Για το σκοπό αυτό, η τεχνική οδηγία 20701-1/2017 εισάγει μία απλοποίηση της μεθόδου CLTD (Cooling Load Temperature Difference), η οποία υπολογίζει μία ισοδύναμη διαφορά θερμοκρασίας ψυκτικού φορτίου κάνοντας χρήση εμπειρικών μεθόδων (βλ. σχέση 4.9). Από την άλλη μεριά, όπως έχει δειχθεί και στην προηγούμενη ενότητα, το μοντέλο προσομοίωσης εξετάζει σε κάθε περίπτωση δυναμικά την επίδραση της θερμικής αδράνειας του κτιρίου, συνεπώς δεν υφίσταται κάποια τροποποίηση.

Όπως δείχθηκε και στην προηγούμενη ενότητα το σύνολο των απαραίτητων δεδομένων της προσομοίωσης είναι δυνατό να αντληθούν για δύο περιόδους, ήτοι ολόκληρη την εποχή που λειτουργεί το σύστημα για την κλιματική ζώνη στην οποία εδράζεται το μελετώμενο κτίριο (15 Μαΐου – 15 Σεπτεμβρίου), καθώς και για το χειρότερο κλιματολογικά μήνα (Ιούλιος). Τα αντίστοιχα εξαγόμενα μοντέλα ενεργειακών φορτίων και θερμικής δυσφορίας αναφορικά με την εποχική περίοδο είναι τα εξής:

$$\dot{Q}_{dem} = 0.0587 \cdot F_{H,max} + 1453 \cdot T_{set,C} - 494.7 \cdot U_m - 0.5704 \cdot 10^{-5} \cdot C_m + 2859 \cdot \ln(F_{H,max}) - 78349 \cdot \ln(T_{set,C}) + 2829 \cdot \ln(U_m) + 1234 \cdot \ln(C_m) - 33.69 \cdot \ln(V_{inf}) + 179216 \quad (6.1)$$

$$DDH_N = -0.0382 \cdot T_{set,C} - 0.0094 \cdot U_m + 0.2081 \cdot 10^{-9} \cdot C_m + 0.1585 \cdot 10^{-4} \cdot V_{inf} - 0.0942 \cdot \ln(F_{H,max}) + 0.776 \cdot \ln(T_{set,C}) + 0.0653 \cdot \ln(U_m) - 0.0373 \cdot \ln(C_m) \quad (6.2)$$

όπου $T_{set,C}$ είναι η θερμοκρασία άνεσης των χρηστών για την περίοδο ψύξης και λαμβάνεται αρχικά στο διάστημα $25 \leq T_{set,C} \leq 27$

Τα μηνιαία μοντέλα είναι:

$$\dot{Q}_{dem} = -0.0229 \cdot F_{H,max} - 138.1 \cdot U_m - 0.3525 \cdot 10^{-5} \cdot C_m + 0.2011 \cdot V_{inf} + \quad (6.3)$$

$$+ 1237.4 \cdot \ln(F_{H,max}) - 11363 \cdot \ln(T_{set,C}) + 1121.3 \cdot \ln(U_m) + 470 \cdot \ln(C_m) + 20898.5$$

$$DDH_N = -0.1072 \cdot 10^{-5} \cdot F_{H,max} - 0.0324 \cdot T_{set,C} + 0.0172 \cdot U_m + 0.3182 \cdot 10^{-9} \cdot C_m + 0.2553 \cdot 10^{-4} \cdot V_{inf} - \quad (6.4)$$

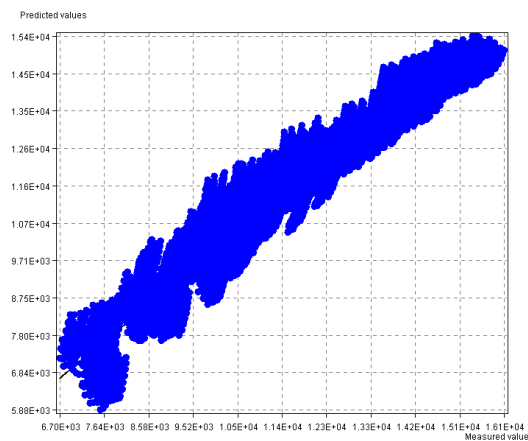
$$- 0.1189 \cdot \ln(F_{H,max}) + 0.534 \cdot \ln(T_{set,C}) + 0.0337 \cdot \ln(U_m) - 0.052 \cdot \ln(C_m) + 1.1112$$

Από τον πίνακα 6.1 διακρίνεται ότι τα μηνιαία μοντέλα παρεμβολής εμφανίζουν καλύτερη συμπεριφορά από τα αντίστοιχα εποχιακά, δεδομένου ότι τα εμφανιζόμενα σφάλματα είναι μικρότερα, ενώ οι συντελεστές συσχέτισης ελαφρά μεγαλύτεροι.

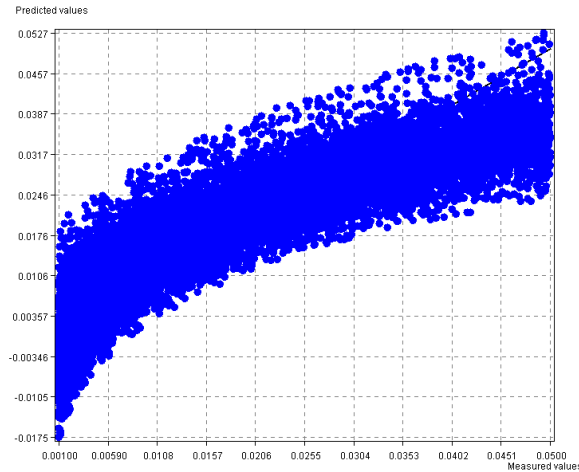
ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ		ΕΠΟΧΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	
		Training	Testing	Training	Testing
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	R ²	0.946	0.945	0.937	0.936
	SSE	1.01E8	1.13E8	4.48E9	4.97E9
	RMSE [kWh]	142	149	513	556
ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑ	R ²	0.793	0.794	0.759	0.758
	SSE	0.758	0.792	1.17	1.21
	RMSE	0.006	0.006	0.007	0.007

Πίνακας 6.1 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων για την περίοδο ψύξης

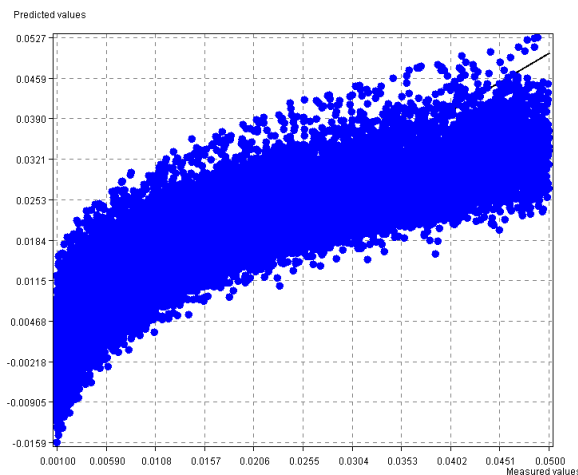
Συμπληρωματικά, στα παρακάτω σχήματα εικονίζονται οι ικανότητες πρόβλεψης του εποχιακού μοντέλου πρόβλεψης των ενεργειακών φορτίων, και των δύο μοντέλων (μηνιαίο και εποχιακό) πρόβλεψης της θερμικής δυσφορίας (διαγράμματα 6.1, 6.2, 6.3 αντίστοιχα).



Διάγραμμα 6.1 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου ψύξης



Διάγραμμα 6.2 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μνημιαίου μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας



Διάγραμμα 6.3 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων εποχιακού μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας

Ενδεικτικά, στον πίνακα 6.2 παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα διαστασιολόγησης του συστήματος ψύξης των δύο μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας, ενώ πραγματοποιείται σύγκριση με το μοντέλο προσομοίωσης και με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προκύπτουν κατόπιν εφαρμογής της σχέσης που συστήνεται από την τεχνική οδηγία 20701-1/2017 (σχέση 4.9). Οι συγκρίσεις αυτές γίνονται για διάφορες τιμές μέσω θερμοπερατοτήτων και θερμικής αδράνειας του κτιριακού κελύφους, ενώ για το σύνολο των παρατιθέμενων αποτελεσμάτων θεωρήθηκε μία τυπική τιμή αερισμού στα 300 m³/h.

Στον ίδιο πίνακα είναι ξεκάθαρη η τεράστια επίδραση που ασκεί η θερμική αδράνεια στη διαστασιολόγηση ενός συστήματος ψύξης, γεγονός που αποτυπώνεται μόνο στο μοντέλο προσομοίωσης και τα δύο μοντέλα παρεμβολής. Διαπιστώνεται ότι ένα «πολύ βαρύ» κτιριακό κέλυφος εμφανίζει 36 – 41% μείωση στην απαιτούμενη ισχύ σε σχέση με ένα «ελαφρύ» για μία δεδομένη τιμή μόνωσης. Η αντίστοιχη μείωση με αύξηση της μόνωσης του κελύφους κυμαίνεται στο 27 – 34 %, ανάλογα με τη θερμοχωρητικότητά του. Καθίσταται λοιπόν σαφές

ότι ο σημαντικότερος παράγοντας που επιδρά στη διασταστασιολόγηση ενός συστήματος ψύξης του κτιρίου είναι η θερμική αδράνεια αυτού.

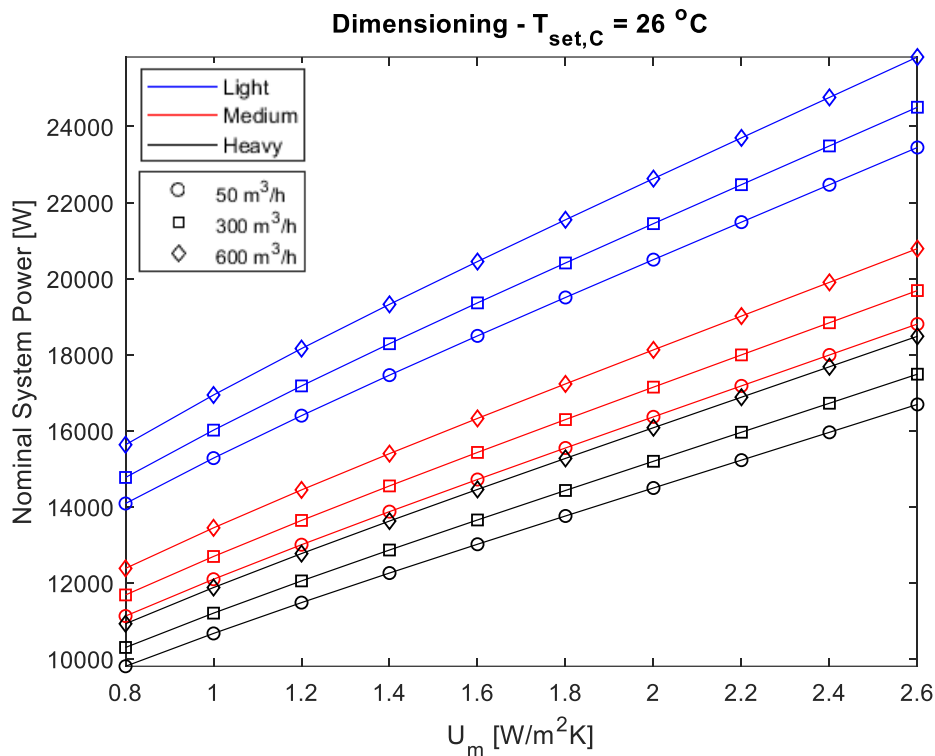
Αναφορικά με τα μοντέλα παρεμβολής παρατηρείται ότι το μηνιαίο μοντέλο του Ιουλίου εμφανίζει εξαιρετική συμφωνία με το αντίστοιχο της προσομοίωσης, ενώ το εποχιακό έχει μεγαλύτερες αποκλίσεις, ιδίως σε μεγάλες τιμές μονώσεων. Σε μεσαίες και μεγάλες τιμές μέσω των θερμοπερατοτήτων αμφοτέρωτα τα μοντέλα εμφανίζουν εξαιρετική ακρίβεια.

Η προτεινόμενη σχέση της τεχνικής οδηγίας 20701-1/2017 φαίνεται ότι σε κάθε περίπτωση κάνει υπερεκτίμηση της απαιτούμενης ισχύος. Αυτό εκτιμάται ότι συμβαίνει λόγω της διαφορετικής προσέγγισης που ακολουθείται στην προκειμένη περίπτωση για τη μοντελοποίηση της απόκρισης του κτιρίου. Ειδικότερα, όπως έχει ήδη επισημανθεί, γίνεται χρήση εμπειρικών σχέσεων (μέθοδος CLTD). Αντιθέτως, το μοντέλο προσομοίωσης δύναται να υπολογίσει σε κάθε χρονικό βήμα μίας ώρας τα στιγμιαία θερμικά κέρδη από τους χρήστες και τις συσκευές, εισάγοντας πρόγραμμα λειτουργίας των χρηστών, καθώς και τα ωριαία θερμικά κέρδη από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κάθε δομικό στοιχείο, ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση του (0° , 90°). Εναλλακτικά, η μεγάλη πολυπλοκότητα αλλά και η ισχυρή επιρροή των θερμικών κερδών στα φορτία ψύξης ενός κτιρίου, σε συνδυασμό με τη χρήση τελείως διαφορετικών τρόπων μοντελοποίησής τους οδηγεί σε αυτές τις μεγάλες αποκλίσεις. Εκτός αυτών, αξίζει να αναφερθεί ότι η σχέση της τεχνικής οδηγίας 20701-1/2017 δεν κάνει διάκριση ανάμεσα στις διάφορες κλάσεις θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου (π.χ. ελαφρύ, βαρύ, κ.λπ.), ενώ οι υπολογισμοί γίνονται ανεξάρτητα της κλιματικής ζώνης στην οποία εδράζεται το κτίριο, γεγονός που μειώνει περαιτέρω την ακρίβεια των υπολογισμών και αυξάνει το χάσμα μεταξύ των δύο διαφορετικών μεθόδων προσέγγισης.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ [kW]					
U_m [W/(m ² K)]	ΕΙΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΚΕΝΑΚ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΜΗΝΙΑΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΕΠΟΧΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	Ελαφρύ	18.8	16	15.1	13.7
	Μέτριο		11.5	11.9	10.7
	Βαρύ		10.5	10.5	9.4
	Πολύ βαρύ		9.5	9.8	8.7
1.5	Ελαφρύ	23.2	19.5	18.8	18.6
	Μέτριο		15	15	14.8
	Βαρύ		13.5	13.3	13.1
	Πολύ βαρύ		12	12.3	12.2
2.0	Ελαφρύ	26.6	22	21.5	21.3
	Μέτριο		17.5	17.1	17.1
	Βαρύ		15	15.2	15.2
	Πολύ βαρύ		14	14.1	14.2

Πίνακας 6.2 Διαστασιολόγηση συστήματος ψύξης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους

Οπτική απεικόνιση των παραπάνω αποτελεσμάτων πραγματοποιείται στο διάγραμμα 6.4, στο οποίο αναπαρίσταται η επίδραση της μόνωσης, της θερμικής αδράνειας του κελύφους καθώς και του αερισμού από τα κουφώματα για τιμή θερμοκρασίας άνεσης ίση με αυτή που προτείνει η τεχνική οδηγία 20701-1/2017 για κατοικίες στην περίοδο ψύξης, ήτοι 26 °C. Στο διάγραμμα αυτό είναι εμφανής όλες οι παραπάνω περιγραφόμενες τάσεις, ενώ είναι πιο ορατό ότι η επίδραση της θερμικής αδράνειας, για μία δεδομένη τιμή μόνωσης και αερισμού, είναι μεγαλύτερη σε χαμηλές τιμές και βαίνει μειούμενη καθώς το μέγεθος αυτό αυξάνεται. Παρατηρώντας το ίδιο διάγραμμα αξίζει ακόμη να σημειωθεί ότι η επίδραση που προκαλεί η διεύθυνση από τα κουφώματα στη διαστασιολόγηση ενός συστήματος είναι σχετικά μικρή και σίγουρα πολύ μικρότερη από αυτή που προξενούν οι άλλοι δύο μελετώμενοι παράγοντες (μόνωση και θερμοχωρητικότητα). Αυτό συμβαίνει διότι οι σημειωθείσες μέγιστες εξωτερικές θερμοκρασίες το καλοκαίρι έχουν μικρότερη απόκλιση από τη θερμοκρασία άνεσης σε σχέση με το χειμώνα, ώστε η συνεισφορά αυτής της παραμέτρου στον καθορισμό της μέγιστης ισχύος ενός συστήματος ψύξης να είναι αρκετά μικρότερη από αυτή στην περίπτωση της χειμερινής περιόδου. Άλλωστε, όπως έχει ήδη επισημανθεί, τη μεγαλύτερη επενέργεια στον προσδιορισμό των μέγιστων ενεργειακών φορτίων για τη διαστασιολόγηση ενός συστήματος ψύξης έχει η ηλιακή ακτινοβολία, και κατ'επέκταση η αποθήκευση αυτής στα δομικά στοιχεία του κτιρίου και η απόδοσή της σε μεταγενέστερες χρονικές στιγμές.



Διάγραμμα 6.4 Μεταβολή απαιτούμενης ισχύος συστήματος ψύξης συναρτήσει της θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους για διάφορες τιμές θερμικής αδράνειας και αερισμού από τα κουφώματα

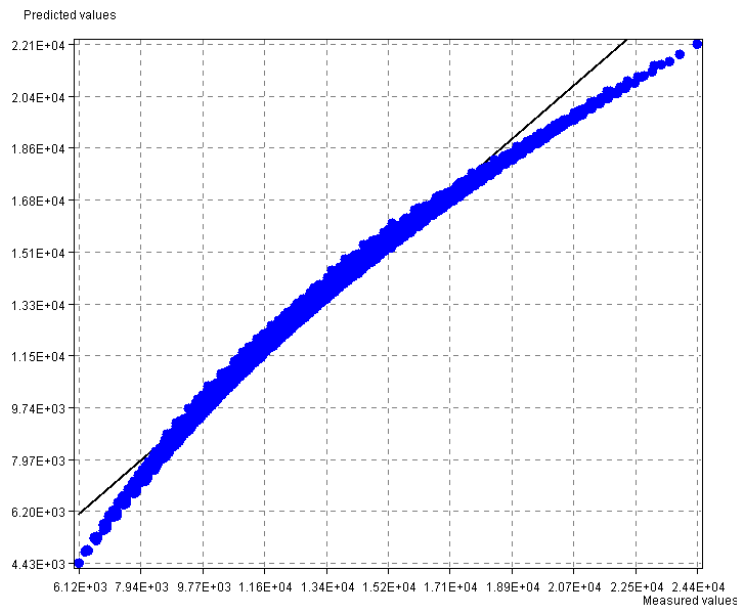
Όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα έτσι και εδώ κρίνεται σκόπιμη η εξαγωγή ενός αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού της διαστασιολογούμενης ισχύος ψύξης, το οποίο είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί εύκολα από ένα μηχανικό χωρίς να απαιτείται αριθμητική επίλυση και άρα γνώσεις προγραμματισμού. Το εξαγόμενο μοντέλο παρεμβολής, το οποίο κάνει χρήση δεδομένων της παραπάνω αριθμητικής επίλυσης είναι το εξής:

$$F_{H,max} = 3157.5 \cdot U_m + 0.5093 \cdot 10^{-4} \cdot C_m + 2.4915 \cdot V_{inf} - 84904.1 \cdot DDH_N + 947.93 \cdot \ln(U_m) - 5639 \cdot \ln(C_m) - 256.79 \cdot \ln(DDH_N) + 109637 \quad (6.5)$$

Διαπιστώνεται ότι το εξαγόμενο μοντέλο είναι πολυπλοκότερο από αυτά της προηγούμενης ενότητας (βλ. σχέσεις 5.20, 5.23), ενώ τα σφάλματα είναι μεγαλύτερα (βλ. πίνακα 6.3, διάγραμμα 6.5) και ο συντελεστής συσχέτισης λίγο μικρότερος. Αυτά είναι απόρροια της πολυπλοκότερης συμπεριφοράς που εμφανίζουν τόσο η θερμική αδράνεια του κελύφους όσο και ο δείκτης θερμικής δυσφορίας στην περίπτωση της ψύξης.

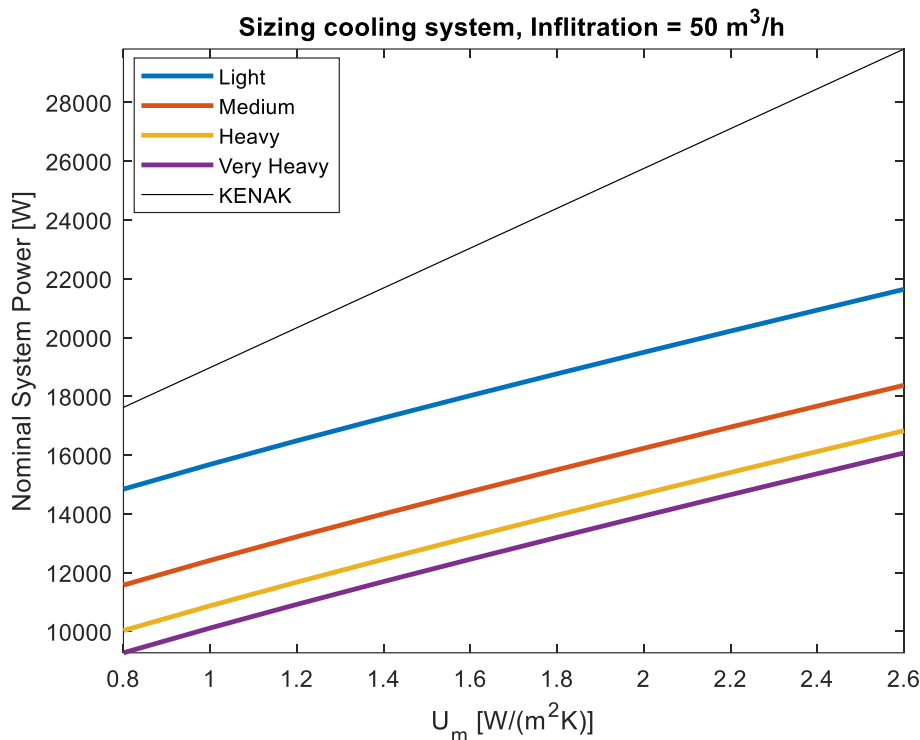
ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	
	Training	Testing
R ²	0.984	0.984
SSE	5.44E8	5.47E8
RMSE	400	406

Πίνακας 6.3 Αξιολόγηση αναλυτικού μοντέλου πρόβλεψης απαιτούμενης ισχύος συστήματος ψύξης



Διάγραμμα 6.5 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων αναλυτικού μοντέλου παρεμβολής για διαστασιολόγηση συστήματος ψύξης οικίας

Ωστόσο, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 6.6 οι εμφανιζόμενες τάσεις και τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης προσεγγίζουν με μεγάλη ακρίβεια αυτά του διαγράμματος 6.4. Στο διάγραμμα αυτό απεικονίζεται η μεταβολή της διαστασιολογούμενης ισχύος συναρτήσει της θερμοπερατότητας, καθώς και της θερμικής αδράνειας του κτιρίου για μία δεδομένη τιμή αερισμού από τα κουφώματα. Καθίσταται και πάλι σαφές ότι η σχέση της τεχνικής οδηγίας του Κ.Εν.Α.Κ. κάνει υπερεκτίμηση της απαιτούμενης ισχύος ανεξάρτητα από τη θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου, λόγω των φαινομένων που αναλύθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο. Παρατηρείται ότι η υπερεκτίμηση αυτή αυξάνεται με αύξηση της θερμοπερατότητας, καθώς η κλίση της ευθείας που περιγράφει την παραπάνω σχέση είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του μοντέλου.



Διάγραμμα 6.6 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος ψύξης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για διάφορες τιμές θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους και για αερισμό από τα κουφώματα 50 m³/h

Έπειτα, στον πίνακα 6.4 αποτυπώνονται ορισμένα αποτελέσματα σχετικά με τα απαιτούμενα ενεργειακά φορτία της περιόδου ψύξης. Καθίσταται σαφές ότι η θερμοπερατότητα των δομικών στοιχείων διαδραματίζει για μία ακόμη φορά σημαντικό ρόλο στα ενεργειακά φορτία, αλλά η επιρροή της σε αυτά είναι αρκετά μικρότερη από αυτή κατά την περίοδο θέρμανσης, δεδομένου ότι κατά το καλοκαίρι η απόκλιση της εξωτερικής θερμοκρασίας από τη θερμοκρασία άνεσης είναι αρκετά μικρότερη. Η επίδραση της θερμικής αδράνειας είναι ήσσονος σημασίας. Ειδικότερα, καθώς μεταβαίνει κανείς από ένα «ελαφρύ» κτίριο σε ένα «μέτριο» παρατηρεί μικρή μείωση των φορτίων που κυμαίνεται από 50 έως 120 kWh, ανάλογα με το επίπεδο της θερμομονωτικής επάρκειας του κτιρίου. Επιπλέον επαύξηση της θερμικής αδράνειας (από «μέτριο σε «βαρύ» κτίριο) προκαλεί σχεδόν μηδαμινή επίδραση στα ενεργειακά φορτία, ενώ περαιτέρω άνοδος αυτής (από «βαρύ σε πολύ «βαρύ») μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε πολύ μικρή αύξηση των φορτίων. Αυτό αποδίδεται στο ότι κύρια επίπτωση της θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων του κελύφους είναι η μείωση των μέγιστων φορτίων, δηλαδή η εξομάλυνση της καμπύλης της ημερήσιας μεταβολής των φορτίων, λόγω του ότι η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται μεν στα δομικά στοιχεία κάποιες ώρες αποδίδεται δε εκ των υστέρων. Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το σύστημα καλείται να λειτουργήσει εντονότερα σε μεταγενέστερες χρονικές στιγμές (π.χ. τις βραδινές ώρες), ώστε τελικά η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα να είναι περίπου η ίδια. Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω λεγομένων παρατίθεται ένα διάγραμμα καμπύλης φορτίων (διάγραμμα 6.7) κατά τη διάρκεια δύο τυπικών ημερών του Ιουλίου. Το διάγραμμα

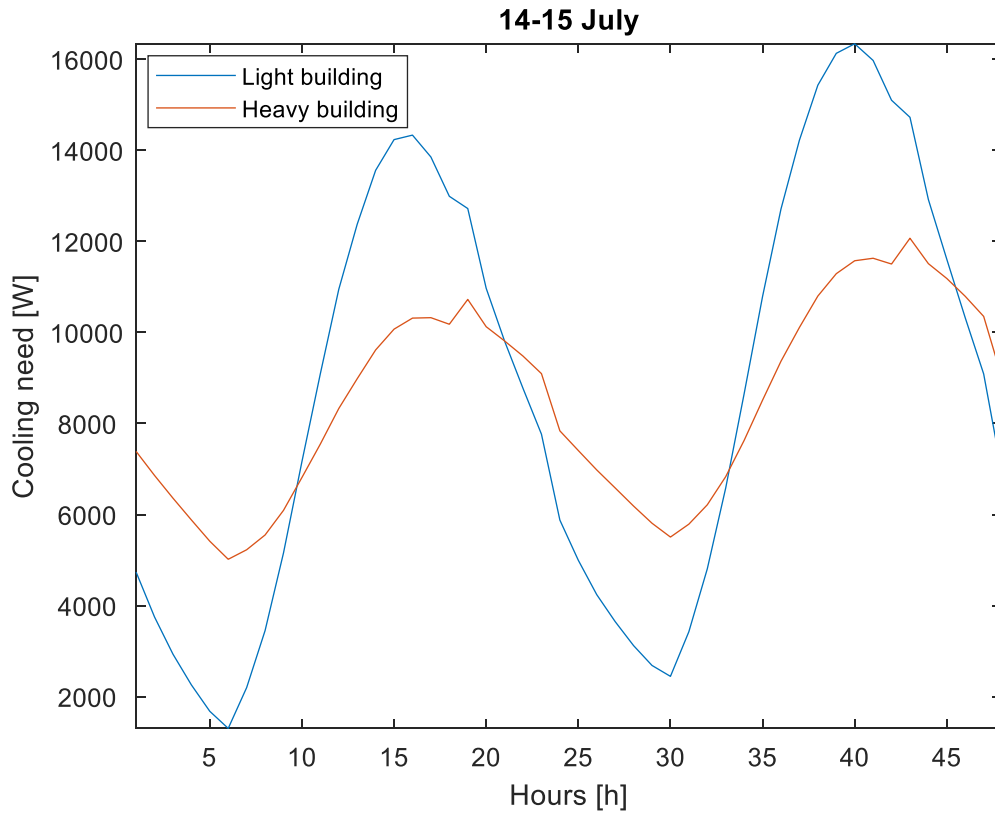
αυτό λήφθηκε από τα αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης για τιμή μέσης θερμοπερατότητας $U_m = 1.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Σημειώνεται ότι κατά τις πρωινές και βραδινές ώρες (1-10, 20-33 στο διάγραμμα) το σύστημα ψύξης στη «βαριά» κατασκευή καλείται να λειτουργήσει περισσότερο από ότι στην «ελαφριά», ενώ το αντίστροφο συμβαίνει τις μεσημεριανές – απογευματινές ώρες (10-20, 33-45).

Τέλος, αναφορικά με το μοντέλο πρόβλεψης (βλ. πίνακα 6.4) παρατηρείται υπερεκτίμηση των φορτίων σε μικρές και μεγάλες τιμές θερμοπερατοτήτων, με αποκλίσεις που δε ξεπερνούν τις 300 kWh, ενώ σε ενδιάμεσες τιμές των τελευταίων σημειώνεται μία μικρή υποεκτίμηση, της τάξης των 200 kWh.

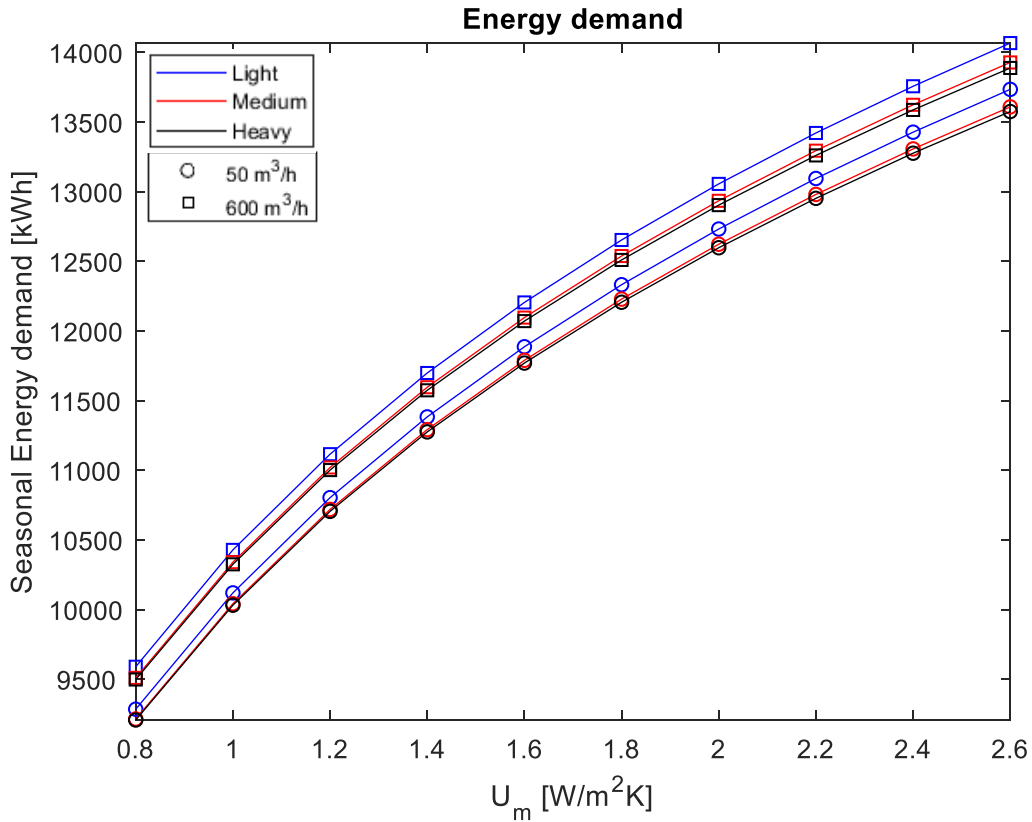
Οπτική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων του πίνακα 6.4 πραγματοποιείται στο διάγραμμα 6.8, όπου απεικονίζεται η επίδραση της θερμομόνωσης, της θερμικής αδράνειας και του αερισμού στα ενεργειακά φορτία ψύξης του κτιρίου. Αναφορικά με τον τελευταίο παράγοντα είναι αξιοπρόσεκτη η πολύ μικρή επενέργεια που έχει στα φορτία ψύξης του κτιρίου, συγκριτικά με τα αντίστοιχα της θέρμανσης. Αυτό είναι απόρροια των διαφορετικών κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στις δύο παραπάνω χρονικές περιόδους μελέτης. Ειδικότερα, τη θερινή περίοδο, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, σημειώνονται μικρότερες αποκλίσεις των εξωτερικών θερμοκρασιών από τη θερμοκρασία άνεσης. Σε αρκετές χρονικές περιόδους μάλιστα η εξωτερική θεροκρασία μπορεί να μειωθεί σε τιμές αρκετά κάτω από τη θερμοκρασία άνεσης (π.χ. τις βραδινές ώρες), ώστε ο αερισμός στην προκειμένη περίπτωση να επενεργεί θετικά στη μείωση των απαιτούμενων φορτίων ψύξης.

U_m [W/(m ² K)]	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΨΥΞΗΣ [kWh]	
		ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΕΠΟΧΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	Ελαφρύ	9,330	9,629
	Μέτριο	9,271	9,538
	Βαρύ	9,262	9,530
	Πολύ βαρύ	9,274	9,557
1.5	Ελαφρύ	11,920	11,757
	Μέτριο	11,870	11,667
	Βαρύ	11,863	11,655
	Πολύ βαρύ	11,876	11,638
2.0	Ελαφρύ	12,591	12,866
	Μέτριο	12,470	12,731
	Βαρύ	12,461	12,715
	Πολύ βαρύ	12,452	12,701

Πίνακας 6.4 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων ψύξης οικίας για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους



Διάγραμμα 6.7 Ωριαία μεταβολή απαιτούμενης ισχύος ψύξης κατά τη διάρκεια δύο ημερών του Ιουλίου για δύο διαφορετικές τιμές θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους σύμφωνα με το μοντέλο προσομοίωσης



Διάγραμμα 6.8 Μεταβολή ενεργειακών φορτίων ψύξης συναρτήσει της θερμομόνωσης του κελύφους για διάφορες τιμές θερμικής αδράνειας και αερισμού από τα κουφώματα

6.2 Υπολογισμός απαιτούμενης ισχύος ψύξης και ενεργειακών φορτίων οικίας για την περιοχή της Κοζάνης

Έχει γίνει ήδη αντιληπτό ότι στην προηγούμενη ενότητα επιχειρήθηκε διαστασιολόγηση του συστήματος ψύξης της μελετώμενης οικίας. Ωστόσο, για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων αναφορικά με την ακεραιότητα των εξαγόμενων μοντέλων παρεμβολής, καθώς και την αξιοπιστία της προτεινόμενης σχέσης της τεχνικής οδηγίας του Κ.Εν.Α.Κ., κρίνεται σκόπιμη η επανάληψη των υπολογισμών της ενότητας 6.1 για την περιοχή της Κοζάνης, δεδομένου ότι η τελευταία σχέση δε λαμβάνει υπόψιν την κλιματική ζώνη στην οποία εδράζεται το κτίριο.

Εφόσον στην προηγούμενη ενότητα δείχθηκε ότι το μηνιαίο μοντέλο παρεμβολής εμφανίζει καλύτερη συμπεριφορά επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί το ίδιο μοντέλο και στην παρούσα φάση για λόγους σύγκρισης:

$$DDH_N = -0.1545 \cdot 10^{-5} \cdot F_{H,max} - 0.8375 \cdot 10^{-2} \cdot T_{set,c} + 0.2117 \cdot 10^{-9} \cdot C_m + 0.1704 \cdot 10^{-4} \cdot V_{inf} - 0.0895 \cdot \ln(F_{H,max}) + 0.0494 \cdot \ln(U_m) - 0.0466 \cdot \ln(C_m) + 1.9102 \quad (6.6)$$

Τα ενεργειακά φορτία για την περίοδο ψύξης στην προκειμένη περίπτωση είναι:

$$\dot{Q}_{dem} = 0.0407 \cdot F_{H,max} + 1680 \cdot U_m - 0.3519 \cdot V_{inf} + 756.8 \cdot \ln(F_{H,max}) - 29960 \cdot \ln(T_{set,c}) - 1882 \cdot \ln(U_m) + 327 \cdot \ln(C_m) - 26 \cdot \ln(V_{inf}) + 90581 \quad (6.7)$$

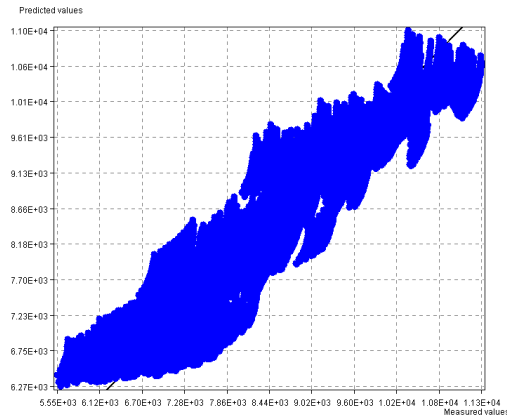
Το εξαγόμενο αναλυτικό μοντέλο διαστασιολόγησης που προκύπτει από τη σχέση (6.6), κατόπιν συλλογής των απαραίτητων αριθμητικών δεδομένων από αυτή και εισαγωγής τους στο πρόγραμμα ALAMO είναι:

$$F_{H,max} = 1552 \cdot U_m + 0.5732 \cdot 10^{-4} \cdot C_m + 2.3403 \cdot V_{inf} - 119523 \cdot DDH_N + 4306 \cdot \ln(U_m) - 7624 \cdot \ln(C_m) - 369.2 \cdot \ln(DDH_N) + 143394 \quad (6.8)$$

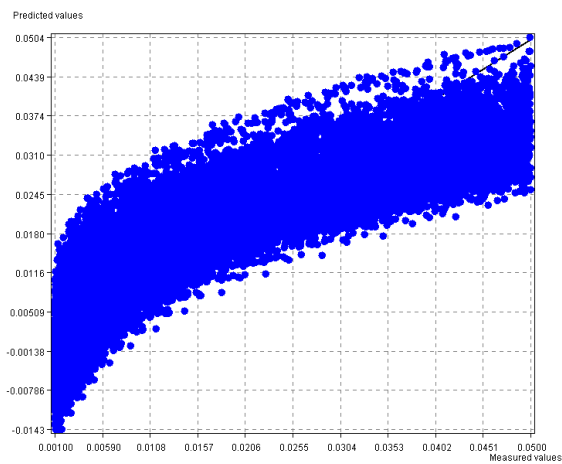
Αξιολόγηση των παραπάνω μοντέλων υλοποιείται στον πίνακα 6.5, όπου φαίνεται ότι τα σφάλματα διατηρούνται για μία ακόμη φορά σε ικανοποιητικά επίπεδα. Οπτική αναπαράσταση της ικανότητας πρόβλεψης των μοντέλων δίδεται στα διαγράμματα 6.9 με 6.11.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	
		Training	Testing
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	R ²	0.878	0.878
	SSE	5.21E9	5.29E9
	RMSE [kWh]	410	439
ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑ	R ²	0.757	0.756
	SSE	1.23	1.24
	RMSE	0.006	0.006
ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	R ²	0.986	0.986
	SSE	8.08E8	8.09E8
	RMSE [W]	487	494

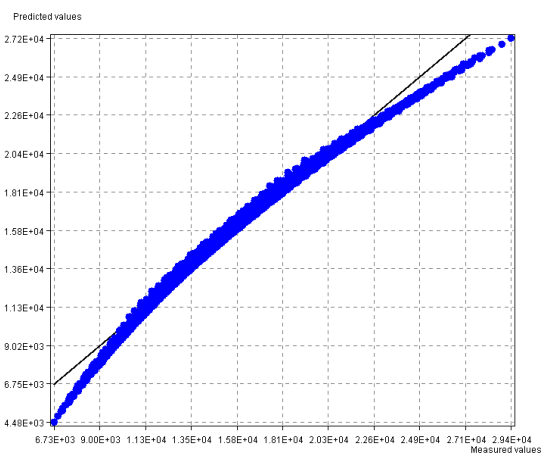
Πίνακας 6.5 Αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης θερμικής δυσφορίας, διαστασιολόγησης και ενεργειακών φορτίων ψύξης στην περιοχή της Κοζάνης



Διάγραμμα 6.9 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μοντέλου υπολογισμού φορτίων περιόδου ψύξης στην περιοχή της Κοζάνης



Διάγραμμα 6.10 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων μηνιαίου μοντέλου βαθμοωρών για πρόβλεψη θερμικής δυσφορίας στην περιοχή της Κοζάνης



Διάγραμμα 6.11 Αποτελέσματα εκπαίδευσης δεδομένων αναλυτικού μοντέλου διαστασιολόγησης συστήματος ψύξης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης

Εν συνεχεία, στον πίνακα 6.6 παρατηρείται ότι το αναλυτικό μοντέλο προσδιορισμού της απαιτούμενης ισχύος πραγματοποιεί σχετικά καλές προβλέψεις. Ειδικότερα, σε μικρές τιμές θερμικής αδράνειας («ελαφρύ» κτίριο) κάνει μία μικρή υποεκτίμηση της ισχύος, ενώ σε υψηλότερες τιμές («πολύ βαρύ» κτίριο) υπερεκτίμηση. Ακόμη, συγκριτικά με την περιοχή της Αθήνας, σημειώνεται αύξηση στην απαιτούμενη ισχύ κατά 25 – 30%. Αυτό οφείλεται στις πιο ακραίες κλιματικές συνθήκες που εμφανίζονται στην Κοζάνη, ιδίως στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, η οποία όπως έχει ήδη επισημανθεί σε προηγούμενη ενότητα διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στον καθορισμό της μέγιστης απαιτούμενης ισχύος ψύξης. Για την επιβεβαίωση του ισχυρισμού αυτού δίδεται ο πίνακας 6.7, στον οποίο παρουσιάζονται η μέση και η μέγιστη σημειωθείσα εξωτερική θερμοκρασία, καθώς και η μέση τιμή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας της περιόδου ψύξης, ανάλογα με τον προσανατολισμό των δομικών στοιχείων για τις δύο μελετώμενες περιοχές.

U_m [W/(m ² K)]	ΕΙΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ [kW]		
		ΚΕΝΑΚ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΝ ISO 13790	ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	Ελαφρύ	18.8	21	20.5
	Μέτριο		15.5	16.1
	Βαρύ		13.5	13.9
	Πολύ βαρύ		12	12.7
1.5	Ελαφρύ	23.2	26	23.9
	Μέτριο		20	19.5
	Βαρύ		18	17.3
	Πολύ βαρύ		16	16.2
2.0	Ελαφρύ	26.6	27.5	25.9
	Μέτριο		22	21.5
	Βαρύ		19.5	19.4
	Πολύ βαρύ		17.5	18.2

Πίνακας 6.6 Διαστασιολόγηση συστήματος ψύξης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους σύμφωνα με το αναλυτικό μοντέλο παρεμβολής

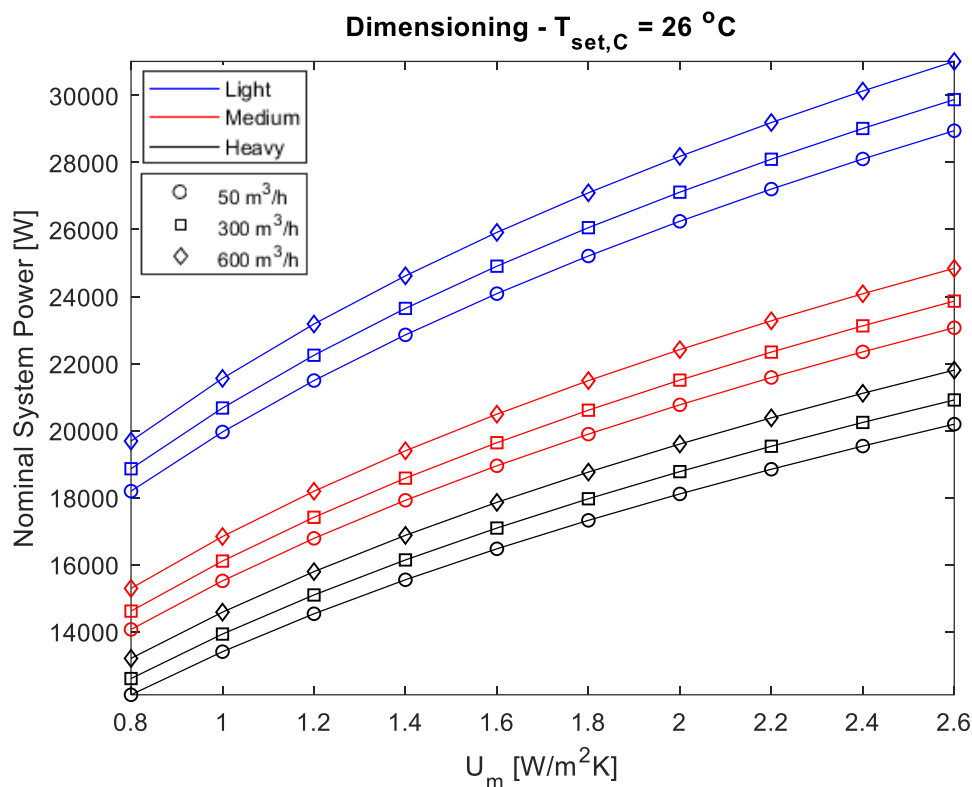
	Οριζόντιο Επίπεδο [W/m ²]	Νότος-90° [W/m ²]	Ανατολή-90° [W/m ²]	Δύση-90° [W/m ²]	Βορράς-90° [W/m ²]	Μέγιστη θερμοκρασία [°C]	Μέση θερμοκρασία [°C]
Αθήνα	303.86	73.49	80.88	80.01	65.66	38.3	27.1
Κοζάνη	291.83	127.69	170.18	167.31	77.89	39.1	25

Πίνακας 6.7 Μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, μέγιστη και μέση εξωτερική θερμοκρασία για τις περιοχές της Αθήνας και της Κοζάνης για την περίοδο ψύξης

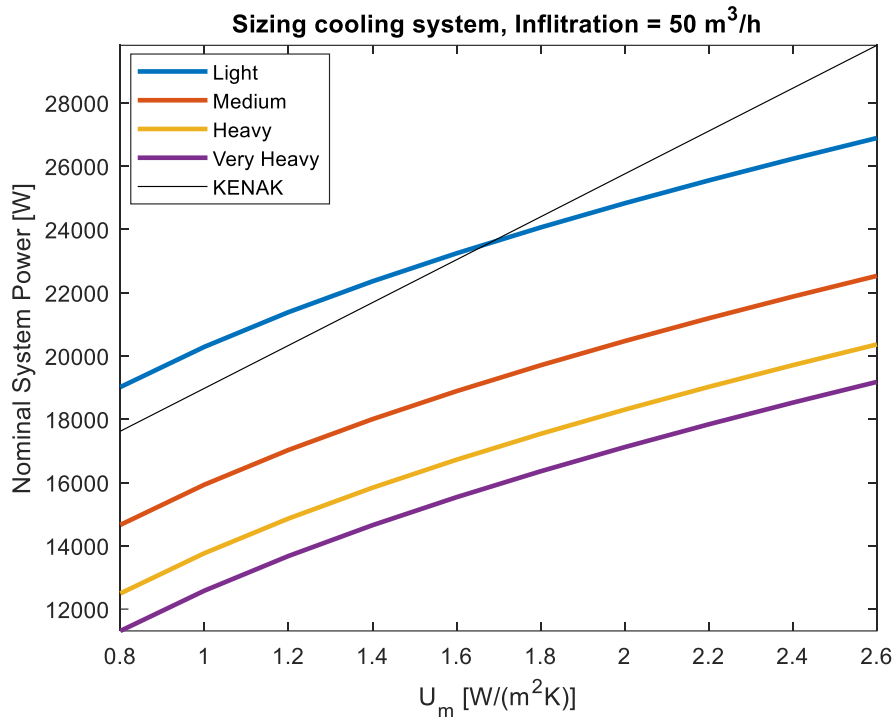
Στο διάγραμμα 6.12 εικονίζεται η μεταβολή της απαιτούμενης ισχύος ψύξης συναρτήσει της μέσης θερμοπερατότητας και του αερισμού σύμφωνα με το μηνιαίο μοντέλο (βλ. εξίσωση 6.6). Συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα 6.4 της προηγούμενης ενότητας είναι εμφανές ότι το νέο μοντέλο εμφανίζει εντονότερη μη γραμμική – λογαριθμική συμπεριφορά. Δεδομένου ότι οι δύο παραπάνω προσεγγίσεις είναι οι ίδιες και η μόνη υφιστάμενη αλλαγή είναι τα κλιματικά δεδομένα, εικάζεται ότι λόγω της τροποποίησης των

παραπάνω δεδομένων ο επιλυτής του προγράμματος ALAMO εντόπισε μία μη γραμμική συσχέτιση, η οποία αντιπροσωπεύει καλύτερα τα δεδομένα της προσομοίωσης στην περιοχή της Κοζάνης από ότι μία γραμμική. Ωστόσο, οι παρατηρούμενες τάσεις σε αμφότερες τις περιπτώσεις είναι παρόμοιες. Δηλαδή παρατηρείται μεγάλη μείωση της απαιτούμενης ισχύος από ένα «ελαφρύ» σε ένα «μέτριο» κτιριακό κέλυφος, μείωση η οποία ελαττώνεται καθώς η θερμική αδράνεια αυξάνεται περαιτέρω, ενώ οι απώλειες λόγω αερισμού δε διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο.

Έπειτα, στο διάγραμμα 6.13 πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ του τελικού αναλυτικού μοντέλου με την αντίστοιχη σχέση της τεχνικής οδηγίας του Κ.Εν.Α.Κ.. Διαπιστώνεται ότι σχεδόν σε κάθε περίπτωση πραγματοποιείται υπερεκτίμηση της απαιτούμενης ισχύος ψύξης από τον Κ.Εν.Α.Κ., με εξαίρεση τις χαμηλές τιμές θερμοπερατοτήτων στην περίπτωση της «ελαφριάς» κατασκευής. Ακόμη, τόσο στο διάγραμμα 6.12 όσο και στο 6.13 είναι εμφανές ότι οι καμπύλες έχουν μετατοπιστεί σε μεγαλύτερες τιμές ισχύος συγκριτικά με τα αντίστοιχα διαγράμματα στην περιοχή της Αθήνας (διαγράμματα 6.4, 6.6), λόγω των πιο ακραίων κλιματικών συνθηκών.



Διάγραμμα 6.12 Μεταβολή απαιτούμενης ισχύος συστήματος ψύξης συναρτήσει της θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους για διάφορες τιμές θερμικής αδράνειας και αερισμού από τα κουφώματα για την περιοχή της Κοζάνης



Διάγραμμα 6.13 Σύγκριση αναλυτικού μοντέλου υπολογισμού απαιτούμενης ισχύος ψύξης με τον Κ.Εν.Α.Κ. για την περιοχή της Κοζάνης για διάφορες τιμές θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους και για αερισμό από τα κουφώματα 50 m³/h

Τέλος, στον πίνακα 6.8 παρουσιάζονται ορισμένα ενδεικτικά αποτελέσματα του μοντέλου υπολογισμού των ενεργειακών φορτίων της περιόδου ψύξης (σχέση 6.7) συγκριτικά με το αντίστοιχο της προσομοίωσης. Είναι ορατό ότι το μοντέλο αυτό κάνει πολύ καλές προβλέψεις, με εξαίρεση τις πολύ χαμηλές τιμές θερμοπερατοτήτων, όπου σημειώνεται υπερεκτίμηση των φορτίων. Στο σημείο αυτό αξίζει να υπογραμμιστεί ότι τα ενεργειακά φορτία στην περιοχή της Κοζάνης είναι μικρότερα από αυτά της Αθήνας, σε αντίθεση με τη διαστασιολογούμενη ισχύ, ενώ μικρότερη είναι και η επίδραση της θερμοπερατότητας σε αυτά. Αυτό έγκειται στο γεγονός του ότι στην Κοζάνη σημειώνεται μικρότερη μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (βλ. πίνακα 6.7), με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις στη λειτουργία του συστήματος να είναι χαμηλότερες, ενώ ταυτόχρονα όπως έχει ήδη επισημανθεί σημειώνονται πιο ακραίες συνθήκες (μικρής χρονικής διάρκειας ώστε να μην επιδρούν σημαντικά στα ενεργειακά φορτία), γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερη διαστασιολογούμενη ισχύ. Εκτός αυτού, στην Κοζάνη η περίοδος ψύξης διαρκεί μικρότερο χρονικό διάστημα, ώστε τελικά, παρά τις μεγαλύτερες τιμές ακτινοβολιών, τα ενεργειακά φορτία να εμφανίζονται μειωμένα.

U_m [W/(m ² K)]	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΨΥΞΗΣ [kWh]	
		ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EN ISO 13790	ΕΠΟΧΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
0.85	Ελαφρύ	7,845	8,276
	Μέτριο	7,735	8,151
	Βαρύ	7,723	8,099
	Πολύ βαρύ	7,706	8,097
1.5	Ελαφρύ	8,560	8,553
	Μέτριο	8,372	8,457
	Βαρύ	8,338	8,425
	Πολύ βαρύ	8,314	8,446
2.0	Ελαφρύ	9,192	8,994
	Μέτριο	8,946	8,911
	Βαρύ	8,896	8,896
	Πολύ βαρύ	8,865	8,914

Πίνακας 6.8 Υπολογισμός ενεργειακών φορτίων ψύξης οικίας στην περιοχή της Κοζάνης για διάφορα σενάρια θερμομόνωσης και θερμικής αδράνειας κτιριακού κελύφους

7. Επίλογος

7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε μία συστηματική μεθοδολογία, η οποία αποσκοπεί στην ακριβή διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης μίας οικίας στην περιοχή της Αθήνας (κλιματική ζώνη Β), καθώς και στην αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς τους, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες των στοιχείων του κτιριακού κελύφους και τις απαιτούμενες συνθήκες θερμικής άνεσης που τίθενται από τους χρήστες. Τα παραπάνω υλοποιήθηκαν σύμφωνα με υποκατάστατα μοντέλα, τα οποία αξιοποίησαν τα δεδομένα που παρείχε ένα αναλυτικό μοντέλο δυναμικής προσομοίωσης της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου (ISO, 2008). Ειδικότερα, η διαστασιολόγηση βασίστηκε στη χρήση δύο μοντέλων θερμικής δυσφορίας: ένα μηνιαίο, στο οποίο τα δεδομένα της προσομοίωσης προέρχονται από το χειρότερο κλιματικά μήνα της περιόδου λειτουργίας του συστήματος (Ιανουάριος ή Ιούλιος) και ένα εποχιακό, στο οποίο τα δεδομένα λαμβάνονται για τη συνολική περίοδο θέρμανσης/ψύξης. Εκτός αυτού, κατασκευάστηκαν και μοντέλα υπολογισμού των ενεργειακών φορτίων για την περίοδο θέρμανσης/ψύξης, κάνοντας πάλι χρήση των δεδομένων της προσομοίωσης, τα οποία είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων, συγκρίνοντάς τα με αυτά της υπολογιστικής προσομοίωσης, καθώς και με τις προτεινόμενες σχέσεις από την τεχνική οδηγία 20701-1 (TEE, 2017α). Τέλος, έγινε επιβεβαίωση των εμφανιζόμενων τάσεων υλοποιώντας όλους τους παραπάνω υπολογισμούς και για την περιοχή της Κοζάνης (κλιματική ζώνη Δ).

Όσον αφορά τις δυνατότητες των υποκατάστατων μοντέλων ισχύουν τα ακόλουθα:

- Κάνουν χρήση απλών σχέσεων για τον υπολογισμό της ισχύος και των ενεργειακών φορτίων, χωρίς να θυσιάζεται σημαντικά η ακρίβεια, καθώς όπως έχει ήδη υπογραμμιστεί η παρεμβολή έγινε κάνοντας χρήση δεδομένων από ένα αναλυτικό μοντέλο δυναμικής προσομοίωσης (ISO, 2008). Πράγματι, οι υπολογιζόμενες τιμές ισχύος είναι πολύ κοντά στο μοντέλο προσομοίωσης, ακόμη και σε ακραίες τιμές θερμοπερατοτήτων, σε αντίθεση με αυτές τις τεχνικής οδηγίας. Οι όποιες πιθανές παρεκκλίσεις μπορούν να αναχαιτιστούν εισάγοντας ένα μικρό συντελεστή προσαύξησης. Συνεπώς, δεν απαιτείται εξειδικευμένος χειρισμός από άτομο με γνώσεις προγραμματισμού και πολύ καλή εμπειρία στη χρήση της απλής ωριαίας μεθόδου του προτύπου EN ISO 13790.
- Λαμβάνουν υπόψη τη θερμική άνεση του χρήστη, σε κάθε στιγμή της εποχιακής λειτουργίας και για εύρος κλιματικών συνθηκών, παρέχοντας τη δυνατότητα ακριβούς προσδιορισμού της ισχύος του θερμικού συστήματος. Παράλληλα, επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη διαχείριση της συνθήκης θερμικής άνεσης, οδηγώντας σε ένα πρακτικά εξίσου επαρκές θερμικό σύστημα.

- Παρέχουν ακριβή πληροφορία σε μεγάλο εύρος συνθηκών λειτουργίας των υπό εγκατάσταση ενεργειακών συστημάτων, διασφαλίζοντας τη διαστασιολόγηση και λειτουργία αυτών σε συνθήκες ονομαστικού φορτίου.

Αναφορικά με τα εξαγόμενα αποτελέσματα των υποκατάστατων μοντέλων, διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Στην περίπτωση της θέρμανσης, αλλά και της ψύξης παρατηρείται η τάση στο μηνιαίο μοντέλο να σημειώνονται μεγαλύτερες τιμές ισχύος από ότι στο αντίστοιχο εποχιακό.
- Η θερμοπερατότητα του κτιριακού κελύφους, τόσο στη θέρμανση όσο και στη ψύξη αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες, δεδομένου ότι επενεργεί καθοριστικά στον προσδιορισμό της διαστασιολογούμενης ισχύος και στα ενεργειακά φορτία του κτιρίου. Σημειώνεται ότι η επίδραση της θερμομόνωσης είναι περισσότερο εμφανής στην περίοδο της θέρμανσης, εφόσον σημειώνονται πιο ακραίες εξωτερικές θερμοκρασίες.
- Λιγότερο σημαντικό αλλά εξίσου σπουδαίο ρόλο με την προσθήκη μόνωσης διαδραματίζει η διείσδυση αέρα από τα κουφώματα, αναφορικά με τη διαστασιολόγηση ενός συστήματος θέρμανσης. Στην περίπτωση της ψύξης ο αερισμός παίζει μικρότερο ρόλο τόσο στη διαστασιολόγηση, όσο και στα ενεργειακά φορτία.
- Η θερμική αδράνεια του κτιριακού κελύφους γενικά επιδρά ευεργετικά στη μείωση της απαιτούμενης ισχύος θέρμανσης, ωστόσο η επίδραση αυτή είναι μάλλον μικρή. Η επενέργεια αυτού του μεγέθους είναι ακόμα μικρότερη στα ενεργειακά φορτία θέρμανσης του κτιρίου. Αντιθέτως, τη θερινή περίοδο η θερμική αδράνεια επιδρά καθοριστικά στον προσδιορισμό της απαιτούμενης ισχύος του συστήματος ψύξης, παίζοντας όμως και πάλι πολύ μικρό ρόλο στα ενεργειακά φορτία ψύξης.
- Το ποσοστό θερμικής άνεσης επιδρά σημαντικά στη διαστασιολόγηση, καθώς σε περίπτωση στην οποία οι ακραίες κλιματολογικές συνθήκες σημειώνονται ελάχιστες φορές κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ ο χρήστης είναι σχετικά ανεκτικός ως προς την κάλυψη της θερμικής άνεσης, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της απαιτούμενης ισχύος. Ωστόσο, η επιρροή αυτού του παράγοντα είναι πολύ μικρή στα ενεργειακά φορτία, δεδομένου ότι οι παραπάνω ακραίες συνθήκες σημειώνονται λίγες ώρες κατά τη διάρκεια του έτους, ώστε η επίδραση στη λειτουργία του συστήματος να είναι μικρή.

Εν κατακλείδι, η βέλτιστη διαστασιολόγηση των συστημάτων με την εφαρμογή μίας μεθοδολογίας όπως η παρουσιαζόμενη στην εν λόγω εργασία, μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των εξόδων εγκατάστασης, αλλά και του κόστους λειτουργίας των συστημάτων με ταυτόχρονη διατήρηση υψηλού επιπέδου θερμικής άνεσης των χρηστών ενός κτιρίου.

7.2 Συζήτηση - Μελλοντικές Επεκτάσεις

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η αναφορά σε κάποιους περιορισμούς της παρούσας μελέτης, καθώς και η σύσταση ορισμένων θεμάτων που θα μπορούσαν να αναλυθούν σε μελλοντική διερεύνηση. Ειδικότερα, η έρευνα αυτή περιορίστηκε σε μία συγκεκριμένη κατοικία με ένα τυπικό ωράριο λειτουργίας και σε δύο κλιματικές ζώνες. Συνεπώς, για την άντληση πιο αξιόπιστων συμπερασμάτων σχετικά με την καταλληλότητα των μοντέλων συστήνεται η διερεύνηση περισσότερων κτιρίων με μεγαλύτερο εύρος διαμορφώσεων κελύφους, καθώς και η μελέτη τους σε περισσότερα ωράρια λειτουργίας και για το σύνολο των κλιματικών ζωνών της Ελλάδας. Ειδικότερα θα μπορούσαν να εισαχθούν οι ακόλουθες παράμετροι στα μοντέλα πρόβλεψης:

- Η επιφάνεια του θερμαινόμενου χώρου του κτιρίου.
- Ο λόγος επιφάνειας/όγκου κτιρίου.
- Το ποσοστό που καταλαμβάνουν τα διαφανή δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους.
- Ο προσανατολισμός των δομικών στοιχείων.
- Η κλιματική ζώνη, και ως εκ τούτου η εξωτερική θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία.
- Το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου, ήτοι οι χρονικές στιγμές έναρξης και διακοπής λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης.

Ακόμη, θα ήταν δυνατό να μελετηθεί η επίδραση της εισαγωγής σκιάστρων στη διαστασιολόγηση του συστήματος ψύξης, καθώς και στη μείωση των φορτίων.

Εφόσον εξαχθούν τα παραπάνω μοντέλα και δοκιμαστεί η ικανότητά τους να κάνουν καλές προβλέψεις, είναι αντιληπτό ότι θα ήταν δυνατό να γενικευτεί η σύγκριση με τις προβλέψεις της τεχνικής οδηγίας. Στο πλαίσιο αυτό, τα μοντέλα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης σε κάθε κτίριο της ελληνικής επικράτειας, αλλά και να αξιοποιηθούν για την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων και την έκδοση των σχετικών πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Argiriou, A. et al., 1999. Comparison of Methodologies for TRY Generation Using 20 Years Data for Athens, Greece. *Solar Energy*, Volume 66, pp. 33-45.
- Asadi, S., Amiria, S. S. & Mottahedi, M., 2014. On the development of multi-linear regression analysis to assess energy consumption in the early stages of building design. *Energy and Buildings*, Issue 85, pp. 246-255.
- Ascione, F., Bianco, N., Mauro, G. M. & Napolitano, D. F., 2019. Building envelope design: Multi-objective optimization to minimize energy consumption, global cost and thermal discomfort. Application to different Italian climatic zones. *Energy*, Issue 174, pp. 359-374.
- ASHRAE, 2017. *ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, s.l.: ASHRAE.
- ASHRAE, 2019. *ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating and Air-Conditioning Applications*. Atlanta: ASHRAE.
- Bagheri-Esfaha, H., Safikhani, H. & Motahara, S., 2020. Multi-objective optimization of cooling and heating loads in residential buildings integrated with phase change materials using the artificial neural network and genetic algorithm. *Energy Storage*, Τόμος 32.
- Bloomfield, D. & Fisk, D., 1977. The Optimisation of Intermittent Heating. *Building and Environment*, Τόμος 12, pp. 43-55.
- Burnett, C. M., 2006. *Wikipedia*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Artificial_neural_network.svg
[Πρόσβαση 30 June 2021].
- Catalina, T., Virgone, J. & Blanco, E., 2008. Development and validation of regression models to predict monthly heating demand for residential buildings. *Energy and Buildings*, Issue 40, pp. 1825-1832.
- Ciulla, G. & D'Amico, A., 2019. Building energy performance forecasting: A multiple linear regression approach. *Applied Energy*, Issue 253.
- Claeskens, G. & Hjort, N. L., 2008. *Model selection and model averaging*. 1st επιμ. New York: Cambridge University Press.
- Cozad, A., Sahinidis, N. V. & Miller, a. D. C., 2013. Learning surrogate models for simulation-based optimization. *American Institute of Chemical Engineers*, Issue 60, pp. 2211-2227.
- Cozad, A., Sahinidis, N. V. & Miller, D. C., 2014. A combined first-principles and data-driven approach to model building. *Computers and Chemical Engineering*, Issue 73, pp. 116-127.
- DOE, U. D. o. E., 2002. *Right-size Heating and Cooling equipment*. Washington D.C.: Office of building Technology, U.S Dept. of Energy.
- EU, 2010. Directive (EU) 2010/31 of the European parliament and of the council of 19 May 2010. *Official Journal of the European Union*.
- EU, 2018. Directive (EU) 2018/844 of the European parliament and of the council of 30 May 2018. *Official Journal of the European Union*.
- Eurostat, 2020. *Energy efficient buildings*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en?redir=1
[Πρόσβαση 21 April 2021].
- Eurostat, 2020. *Energy consumption in households*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics->

- [explained/index.php/Energy_consumption_in_households](#)
[Πρόσβαση 21 April 2021].
- Eurostat, 2020. *Eurostat statistics explained*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Final_energy_consumption_by_sector_EU-27_2018_\(%25_of_total,_based_on_tonnes_of_oil_equivalent\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Final_energy_consumption_by_sector_EU-27_2018_(%25_of_total,_based_on_tonnes_of_oil_equivalent).png)
[Πρόσβαση 21 April 2021].
- Hamdy, M., Hasan, A. & Siren, K., 2010. Optimum design of a house and its HVAC systems using simulation-based optimisation. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 5(3), pp. 120-124.
- ISO, 2005. *ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, s.l.: s.n.
- ISO, 2008. *Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling (ISO 13790:2008)*, Brussels: s.n.
- Lin, Y., Zhou, S., Yang, W. & Li, C.-Q., 2018. Design Optimization Considering Variable Thermal Mass, Insulation, Absorptance of Solar Radiation, and Glazing Ratio Using a Prediction Model and Genetic Algorithm. *Sustainability*.
- map, H. r., 2015. *Heating and Cooling: facts and figures*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2019/03/Brochure_Heating-and-Cooling_web.pdf
[Πρόσβαση 21 April 2021].
- Montgomery, D. C., Peck, E. A. & Vining, G. G., 2012. *Introduction to linear regression analysis*. 5th επιμ. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Nicol, J. & Humphreys, M., 2002. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, Issue 34, pp. 563-572.
- Papadopoulos, S. & Azar, E., 2016. Integrating building performance simulation in agent-based modeling using regression surrogate models: A novel human-in-the-loop energy modeling approach. *Energy and Buildings*, Issue 128, pp. 214-223.
- Parsons, K., 2020. *Human Thermal Comfort*. 1st επιμ. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis.
- Reilly, A. & Kinnane, O., 2017. The impact of thermal mass on building energy consumption. *Applied Energy*, Issue 198, pp. 108-121.
- Sammut, C. & Webb, G. I., 2011. *Encyclopedia of Machine Learning*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8_623
[Πρόσβαση 25 May 2021].
- science, E. D., 2019. *Overfitting in Machine Learning: What it is and how to prevent it*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://elitedatascience.com/overfitting-in-machine-learning>
[Πρόσβαση 25 May 2021].
- Suykens, J. και συν., 2003. *Advances in Learning Theory: Methods, Models and Applications*. 1st επιμ. The Netherlands: IOS Press.
- Wargocki, P. και συν., 2007. *Indoor Climate and Productivity in Offices*. 2nd επιμ. Finland: Federation of European Heating and Air-conditioning Associations.
- Westermann, P. & Evins, R., 2019. Surrogate modelling for sustainable building design – A review. *Energy & Buildings*, Issue 198, pp. 170-186.
- WHO, 2018. *WHO Housing and Health Guidelines*. Switzerland: s.n.
- Zhang, Y., Lin, K., Zhang, Q. & Di, H., 2005. Ideal thermophysical properties for free-cooling (or heating) buildings with constant thermal physical property material. *Energy and Buildings*, Issue 38, pp. 1164-1170.
- Ζουλούμης, Λ., 2019. *Ανάπτυξη «έξυπνου» συστήματος διαχείρισης θερμικής άνεσης*. Κοζάνη.

- Παντελίδης, Γ., 2018. *Οδηγός Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτηρίων*. 2η επιμ. Αθήνα: Εκδόσεις Δεδεμάδη.
- ΤΕΕ, 2010γ. Τεχνική Οδηγία ΤΟΤΕΕ 20701-3. Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών.
- ΤΕΕ, 2017α. Τεχνική Οδηγία ΤΟΤΕΕ 20701-1. Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για το υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.
- ΤΕΕ, 2017β. Τεχνική Οδηγία ΤΟΤΕΕ 20701-2. Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών.

Παράρτημα: Προγράμματα που υλοποιήθηκαν στο MATLAB

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση του συνόλου των υπολογισμών οι οποίοι υλοποιήθηκαν σε προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB, προκειμένου να συλλεχθούν τα απαραίτητα δεδομένα για τη διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης στις περιοχές της Αθήνας και της Κοζάνης. Σημειώνεται, για μία τελευταία φορά, ότι τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν στο λογισμικό ALAMO, το οποίο έκανε παρεμβολή στα παραπάνω δεδομένα και εξήγαγε τα επιθυμητά μοντέλα. Αρχικά, προβάλλονται το σύνολο των συναρτήσεων (functions) υπολογισμού της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου και των ενεργειακών φορτίων. Έπειτα, επιδεικνύονται τα σενάρια (scripts) τα οποία «καλούν» τις παραπάνω συναρτήσεις για τον υπολογισμό της θερμικής δυσφορίας και των ενεργειακών φορτίων. Τέλος, παρουσιάζονται οι υπολογιστικοί κώδικες, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την αριθμητική επίλυση των μοντέλων θερμικής δυσφορίας και για την εξαγωγή του τελικού αναλυτικού μοντέλου διαστασιολόγησης.

Π.1 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών εσωτερικού χώρου κτιρίου

```
function [Tm, Ts, Tair, Top] =  
Tair_calc(I, D, Hve, His, Hw, Hms, Hem, Fm, Fst, Fia, the, thsup, thmt, FHCnd, Cm)  
%  
% Author : Georgios Stergianakos  
% Date   : 7 June 2021  
% This function is used to calculate the internal air temperature  
% every hour  
  
H1 = 1/((1/Hve)+(1/His)); H2 = H1+Hw; H3 = 1/((1/H2)+(1/Hms));  
Fmtot =  
Fm(I, D) + Hem*the(I, D) + H3*(Fst(I, D) + Hw*the(I, D) + H1*((Fia(I, D) + FHCnd(I,  
, D))/Hve) + thsup(I, D)))/H2;  
thmt2 = (thmt*(Cm/3600) -  
0.5*(H3+Hem) + Fmtot) / ((Cm/3600) + 0.5*(H3+Hem));  
Tm = (thmt + thmt2)/2;  
Ts =  
(Hms*Tm + Fst(I, D) + Hw*the(I, D) + H1*(thsup(I, D) + (Fia(I, D) + FHCnd(I, D))/Hv  
e))/ (Hms + Hw + H1);  
Tair = (His*Ts + Hve*thsup(I, D) + Fia(I, D) + FHCnd(I, D)) / (His + Hve);  
Top = 0.3*Tair + 0.7*Ts;  
end
```

Π.2 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για ένα μήνα του έτους

```
function [Tairac, FHCndac, FHCndun] =
LOADS_SCEN_31D(Af,Apar,Aw,Awpar,Awpor,Asalot,Uoppar,Uw,Uf1,Uf2,Ta,Is
ol_N,Isol_B,Isol_A,Isol_D,Isol_R,TintH,TintC,FHmax,FCmax,Fshob,Fgl,a
sc,ggl,Uop,Uor,Udap,Ror,Radap,Raop,Cm,Am,Vinf)
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This function calculates the internal air temperature and energy
% demand for a specific month of the year

Hoppar = Uoppar*(Apar-Aw);
Hw = Uw*45.6; Hf1 = Af*Uf1; Hf2 = Af*Uf2;
Hop = Hoppar + Hf1 + Hf2; Hve = (7.4*Awpar+8.7*Awpor)/3600*1200;
At = 4.5*2*Af; Hms = 9.1*Am; Hem = 1/((1/Hop)-(1/Hms)); His=3.45*At;
%% SOLAR HEAT GAINS
Asolop_N = asc*Raop*Uop*(105.98);
Asolop_B = asc*Raop*Uop*(86.12);
Asolop_A = asc*Raop*Uop*(49.41);
Asolop_D = asc*Raop*Uop*(60.02);
Asolop_R = asc*Raop*Uop*(119.4);

Asolw_N = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1.3*2.2*12);
Asolw_B = Fgl*ggl*(1-0.2)*(0.5*0.8*4+0.25*0.8*2+0.3*0.8*2);
Asolw_A = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1*2.2*2);
Asolw_D = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1*2.2*2);

for i = 1:24
    for j=1:31
        Fsolop_N(i,j) = Fshob*Asolop_N*Isol_N(i,j);
        Fsolop_B(i,j) = Fshob*Asolop_B*Isol_B(i,j);
        Fsolop_A(i,j) = Fshob*Asolop_A*Isol_A(i,j);
        Fsolop_D(i,j) = Fshob*Asolop_D*Isol_D(i,j);
        Fsolop_R(i,j) = Fshob*Asolop_R*Isol_R(i,j);

        Fsolw_N(i,j) = Fshob*Asolw_N*Isol_N(i,j);
        Fsolw_B(i,j) = Fshob*Asolw_B*Isol_B(i,j);
        Fsolw_A(i,j) = Fshob*Asolw_A*Isol_A(i,j);
        Fsolw_D(i,j) = Fshob*Asolw_D*Isol_D(i,j);
        Fsolw(i,j) =
        Fsolw_N(i,j)+Fsolw_B(i,j)+Fsolw_A(i,j)+Fsolw_D(i,j);
        Fsolop(i,j) =
        Fsolop_N(i,j)+Fsolop_B(i,j)+Fsolop_A(i,j)+Fsolop_D(i,j)+Fsolop_R(i,j)
        );
        Fsol(i,j) = Fsolop(i,j)+Fsolw(i,j);
    %% INTERNAL HEAT GAINS
    ss = 0;
    for j = 1:31
        ss = ss+1;
        for i = 1:24
            if ss ~= 6 && ss ~= 7
                if (i >= 8 && i <= 17)
```

```

        Qint(i,j) = (8*Asalot+1*(1-Asalot))*2*Af;
elseif i>18 && i<24
        Qint(i,j) = (20*Asalot+1*(1-Asalot))*2*Af;
else
        Qint(i,j) = (2*Asalot+6*(1-Asalot))*2*Af;
end
else
    if (i >= 8 && i <= 17)
        Qint(i,j) = (8*Asalot+2*(1-Asalot))*2*Af;
elseif i>18 && i<24
        Qint(i,j) = (20*Asalot+4*(1-Asalot))*2*Af;
else
        Qint(i,j) = (2*Asalot+6*(1-Asalot))*2*Af;
end
end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
Fint = Qint;
%% TOTAL GAINS
Fia = 0.5*Fint;
Fm = Am/At*(0.5*Fint+Fsol);
Fst = (1-(Am/At)-Hw/(9.1*At))*(0.5*Fint+Fsol);
%% calculating internal air temperature and energy demand
thmt1=10; Tm = thmt1;

for j = 1:31
    for i = 1:24
        thmt1 = Tm;
        FHCnd(i,j) = 0;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
        Tair0(i,j) = Tair;
        Tm2(i,j) = Tm;

        if Tair0(i,j)<=TintC(i,j) && Tair0(i,j)>=TintH(i,j) %20<T<26
            FHCndac(i,j) = 0;
            FHCndun(i,j) = 0;
            Tairac(i,j) = Tair0(i,j);
        elseif Tair0(i,j)>TintC(i,j)
            Tairset = TintC(i,j);
            FHCnd10(i,j) = -10*2*Af;
            FHCnd(i,j) = FHCnd10(i,j);
            [Tm,Ts,Tair,Top]
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
            Tm2(i,j) = Tm;
            Tair10(i,j) = Tair;
            FHCndun(i,j) = FHCnd10(i,j).*((Tairset-
Tair0(i,j))./(Tair10(i,j)-Tair0(i,j)));
            if FHCndun(i,j)>=FCmax
                FHCndac(i,j) = FHCndun(i,j);
                [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
                Tm2(i,j) = Tm;

```

```

        Tairac(i,j) = Tairset;
    else
        FHCndac(i,j) = FCmax;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j)=Tair;
    end
elseif Tair0(i,j)<TintH(i,j)
    Tairset = TintH(i,j);
    FHCnd10(i,j) = 10*2*Af;
    FHCnd(i,j) = FHCnd10(i,j);
    [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
    Tm2(i,j) = Tm;
    Tair10(i,j) = Tair;
    FHCndun(i,j) = FHCnd10(i,j).*((Tairset-
Tair0(i,j))./(Tair10(i,j)-Tair0(i,j)));
    if FHCndun(i,j)<=FHmax
        FHCndac(i,j) = FHCndun(i,j);
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j) = Tairset;
    else
        FHCndac(i,j) = FHmax;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j) = Tair;
    end
end
end
end
end

```

Π.3 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για όλη την περίοδο θέρμανσης για την περιοχή της Αθήνας

```

function [Tairac, FHCndac, FHCndun] =
LOADS_SCEN_1SEAS(Af, Apar, Aw, Awpar, Awpor, Asalot, Uoppar, Uw, Uf1, Uf2, Ta,
Isol_N, Isol_B, Isol_A, Isol_D, Isol_R, TintH, TintC, FHmax, FCmax, Fshob, Fgl
, asc, ggl, Uop, Uor, Udap, Ror, Radap, Raop, Cm, Am, Vinf)
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This function calculates the internal air temperature and energy
% demand for the entire heating season of Athens (15 November - 15
% April)

Hoppar = Uoppar*(Apar-Aw);
Hw = Uw*45.6; Hf1 = Af*Uf1; Hf2 = Af*Uf2;
Hop = Hoppar + Hf1 + Hf2; Hve = (7.4*Awpar+8.7*Awpor)/3600*1200;
At = 4.5*2*Af; Hms = 9.1*Am; Hem = 1/((1/Hop)-(1/Hms)); His=3.45*At;
%% SOLAR HEAT GAINS
Asolop_N = asc*Raop*Uop*(105.98);
Asolop_B = asc*Raop*Uop*(86.12);
Asolop_A = asc*Raop*Uop*(49.41);
Asolop_D = asc*Raop*Uop*(60.02);
Asolop_R = asc*Raop*Uop*(119.4);

Asolw_N = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1.3*2.2*12);
Asolw_B = Fgl*ggl*(1-0.2)*(0.5*0.8*4+0.25*0.8*2+0.3*0.8*2);
Asolw_A = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1*2.2*2);
Asolw_D = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1*2.2*2);

for i = 1:24
    for j=1:166
        Fsolop_N(i,j) = Fshob*Asolop_N*Isol_N(i,j);
        Fsolop_B(i,j) = Fshob*Asolop_B*Isol_B(i,j);
        Fsolop_A(i,j) = Fshob*Asolop_A*Isol_A(i,j);
        Fsolop_D(i,j) = Fshob*Asolop_D*Isol_D(i,j);
        Fsolop_R(i,j) = Fshob*Asolop_R*Isol_R(i,j);

        Fsolw_N(i,j) = Fshob*Asolw_N*Isol_N(i,j);
        Fsolw_B(i,j) = Fshob*Asolw_B*Isol_B(i,j);
        Fsolw_A(i,j) = Fshob*Asolw_A*Isol_A(i,j);
        Fsolw_D(i,j) = Fshob*Asolw_D*Isol_D(i,j);
        Fsolw(i,j) =
        Fsolw_N(i,j)+Fsolw_B(i,j)+Fsolw_A(i,j)+Fsolw_D(i,j);
        Fsolop(i,j) =
        Fsolop_N(i,j)+Fsolop_B(i,j)+Fsolop_A(i,j)+Fsolop_D(i,j)+Fsolop_R(i,j)
        );
        Fsol(i,j) = Fsolop(i,j)+Fsolw(i,j);
    %% INTERNAL HEAT GAINS
    ss = 0;
    for j = 1:166
        ss = ss+1;
        for i = 1:24
            if ss ~= 6 && ss ~= 7
                if (i >= 8 && i <= 17)

```

```

        Qint(i,j) = (8*Asalot+1*(1-Asalot))*2*Af;
elseif i>18 && i<24
        Qint(i,j) = (20*Asalot+1*(1-Asalot))*2*Af;
else
        Qint(i,j) = (2*Asalot+6*(1-Asalot))*2*Af;
end
else
    if (i >= 8 && i <= 17)
        Qint(i,j) = (8*Asalot+2*(1-Asalot))*2*Af;
    elseif i>18 && i<24
        Qint(i,j) = (20*Asalot+4*(1-Asalot))*2*Af;
    else
        Qint(i,j) = (2*Asalot+6*(1-Asalot))*2*Af;
    end
end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
Fint = Qint;
%% TOTAL GAINS
Fia = 0.5*Fint;
Fm = Am/At*(0.5*Fint+Fsol);
Fst = (1-(Am/At)-Hw/(9.1*At))*(0.5*Fint+Fsol);
%% calculating internal air temperature and energy demand
thmt1=10; Tm = thmt1;

for j = 1:166
    for i = 1:24
        thmt1 = Tm;
        FHCnd(i,j) = 0;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
        Tair0(i,j) = Tair;
        Tm2(i,j) = Tm;

        if Tair0(i,j)<=TintC(i,j) && Tair0(i,j)>=TintH(i,j)
            FHCndac(i,j) = 0;
            FHCndun(i,j) = 0;
            Tairac(i,j) = Tair0(i,j);
        elseif Tair0(i,j)>TintC(i,j)
            Tairset = TintC(i,j);
            FHCnd10(i,j) = -10*2*Af;
            FHCnd(i,j) = FHCnd10(i,j);
            [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
            Tm2(i,j) = Tm;
            Tair10(i,j) = Tair;
            FHCndun(i,j) = FHCnd10(i,j).*((Tairset-
Tair0(i,j))./(Tair10(i,j)-Tair0(i,j)));
            if FHCndun(i,j)>=FCmax
                FHCndac(i,j) = FHCndun(i,j);
                [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
                Tm2(i,j) = Tm;
            end
        end
    end
end

```



```

        Tairac(i,j) = Tairset;
    else
        FHCndac(i,j) = FCmax;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j)=Tair;
    end
elseif Tair0(i,j)<TintH(i,j)
    Tairset = TintH(i,j);
    FHCnd10(i,j) = 10*2*Af;
    FHCnd(i,j) = FHCnd10(i,j);
    [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
    Tm2(i,j) = Tm;
    Tair10(i,j) = Tair;
    FHCndun(i,j) = FHCnd10(i,j).*((Tairset-
Tair0(i,j))./(Tair10(i,j)-Tair0(i,j)));
    if FHCndun(i,j)<=FHmax
        FHCndac(i,j) = FHCndun(i,j);
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j) = Tairset;
    else
        FHCndac(i,j) = FHmax;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j) = Tair;
    end
end
end
end
end
end

```

Π.4 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για όλη την περίοδο θέρμανσης για την περιοχή της Κοζάνης

```

function [Tairac, FHCndac, FHCndun] =
LOADS_SCEN_1SEAS_koz (Af, Apar, Aw, Awpar, Awpor, Asalot, Uoppar, Uw, Uf1, Uf2
, Ta, Isol_N, Isol_B, Isol_A, Isol_D, Isol_R, TintH, TintC, FHmax, FCmax, Fshob
, Fgl, asc, ggl, Uop, Uor, Udap, Ror, Radap, Raop, Cm, Am, Vinf)
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This function calculates the internal air temperature and energy
% demand for the entire heating season of Kozani (1 November - 30
% April)

Hoppar = Uoppar*(Apar-Aw);
Hw = Uw*45.6; Hf1 = Af*Uf1; Hf2 = Af*Uf2;
Hop = Hoppar + Hf1 + Hf2; Hve = (7.4*Awpar+8.7*Awpor)/3600*1200;
At = 4.5*2*Af; Hms = 9.1*Am; Hem = 1/((1/Hop)-(1/Hms)); His=3.45*At;
%% SOLAR HEAT GAINS
Asolop_N = asc*Raop*Uop*(105.98);
Asolop_B = asc*Raop*Uop*(86.12);
Asolop_A = asc*Raop*Uop*(49.41);
Asolop_D = asc*Raop*Uop*(60.02);
Asolop_R = asc*Raop*Uop*(119.4);

Asolw_N = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1.3*2.2*12);
Asolw_B = Fgl*ggl*(1-0.2)*(0.5*0.8*4+0.25*0.8*2+0.3*0.8*2);
Asolw_A = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1*2.2*2);
Asolw_D = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1*2.2*2);

for i = 1:24
    for j=1:198
        Fsolop_N(i,j) = Fshob*Asolop_N*Isol_N(i,j);
        Fsolop_B(i,j) = Fshob*Asolop_B*Isol_B(i,j);
        Fsolop_A(i,j) = Fshob*Asolop_A*Isol_A(i,j);
        Fsolop_D(i,j) = Fshob*Asolop_D*Isol_D(i,j);
        Fsolop_R(i,j) = Fshob*Asolop_R*Isol_R(i,j);

        Fsolw_N(i,j) = Fshob*Asolw_N*Isol_N(i,j);
        Fsolw_B(i,j) = Fshob*Asolw_B*Isol_B(i,j);
        Fsolw_A(i,j) = Fshob*Asolw_A*Isol_A(i,j);
        Fsolw_D(i,j) = Fshob*Asolw_D*Isol_D(i,j);
        Fsolw(i,j) =
        Fsolw_N(i,j)+Fsolw_B(i,j)+Fsolw_A(i,j)+Fsolw_D(i,j);
        Fsolop(i,j) =
        Fsolop_N(i,j)+Fsolop_B(i,j)+Fsolop_A(i,j)+Fsolop_D(i,j)+Fsolop_R(i,j)
        );
        Fsol(i,j) = Fsolop(i,j)+Fsolw(i,j);
    %% INTERNAL HEAT GAINS
    ss = 0;
    for j = 1:198
        ss = ss+1;
        for i = 1:24
            if ss ~= 6 && ss ~= 7
                if (i >= 8 && i <= 17)

```

```

        Qint(i,j) = (8*Asalot+1*(1-Asalot))*2*Af;
elseif i>18 && i<24
        Qint(i,j) = (20*Asalot+1*(1-Asalot))*2*Af;
else
        Qint(i,j) = (2*Asalot+6*(1-Asalot))*2*Af;
end
else
    if (i >= 8 && i <= 17)
        Qint(i,j) = (8*Asalot+2*(1-Asalot))*2*Af;
elseif i>18 && i<24
        Qint(i,j) = (20*Asalot+4*(1-Asalot))*2*Af;
else
        Qint(i,j) = (2*Asalot+6*(1-Asalot))*2*Af;
end
end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
Fint = Qint;
%% TOTAL GAINS
Fia = 0.5*Fint;
Fm = Am/At*(0.5*Fint+Fsol);
Fst = (1-(Am/At)-Hw/(9.1*At))*(0.5*Fint+Fsol);
%% calculating internal air temperature and energy demand
thmt1=10; Tm = thmt1;

for j = 1:198
    for i = 1:24
        thmt1 = Tm;
        FHCnd(i,j) = 0;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
        Tair0(i,j) = Tair;
        Tm2(i,j) = Tm;

        if Tair0(i,j)<=TintC(i,j) && Tair0(i,j)>=TintH(i,j)
            FHCndac(i,j) = 0;
            FHCndun(i,j) = 0;
            Tairac(i,j) = Tair0(i,j);
        elseif Tair0(i,j)>TintC(i,j)
            Tairset = TintC(i,j);
            FHCnd10(i,j) = -10*2*Af;
            FHCnd(i,j) = FHCnd10(i,j);
            [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
            Tm2(i,j) = Tm;
            Tair10(i,j) = Tair;
            FHCndun(i,j) = FHCnd10(i,j).*((Tairset-
Tair0(i,j))./(Tair10(i,j)-Tair0(i,j)));
            if FHCndun(i,j)>=FCmax
                FHCndac(i,j) = FHCndun(i,j);
                [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
                Tm2(i,j) = Tm;
            end
        end
    end
end

```

```

        Tairac(i,j) = Tairset;
    else
        FHCndac(i,j) = FCmax;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j)=Tair;
    end
elseif Tair0(i,j)<TintH(i,j)
    Tairset = TintH(i,j);
    FHCnd10(i,j) = 10*2*Af;
    FHCnd(i,j) = FHCnd10(i,j);
    [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
    Tm2(i,j) = Tm;
    Tair10(i,j) = Tair;
    FHCndun(i,j) = FHCnd10(i,j).*((Tairset-
Tair0(i,j))./(Tair10(i,j)-Tair0(i,j)));
    if FHCndun(i,j)<=FHmax
        FHCndac(i,j) = FHCndun(i,j);
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j) = Tairset;
    else
        FHCndac(i,j) = FHmax;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j) = Tair;
    end
end
end
end
end
end

```

Π.5 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για όλη την περίοδο ψύξης για την περιοχή της Αθήνας

```

function [Tairac, FHCndac, FHCndun] =
LOADS_SCEN_1SEAS_sum(Af, Apar, Aw, Awpar, Awpor, Asalot, Uoppar, Uw, Uf1, Uf2
, Ta, Isol_N, Isol_B, Isol_A, Isol_D, Isol_R, TintH, TintC, FHmax, FCmax, Fshob
, Fgl, asc, ggl, Uop, Uor, Udap, Ror, Radap, Raop, Cm, Am, Vinf)
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This function calculates the internal air temperature and energy
% demand for the entire cooling season of Athens (15 May - 15
% September)

Hoppar = Uoppar*(Apar-Aw);
Hw = Uw*45.6; Hf1 = Af*Uf1; Hf2 = Af*Uf2;
Hop = Hoppar + Hf1 + Hf2; Hve = (7.4*Awpar+8.7*Awpor)/3600*1200;
At = 4.5*2*Af; Hms = 9.1*Am; Hem = 1/((1/Hop)-(1/Hms)); His=3.45*At;
%% SOLAR HEAT GAINS
Asolop_N = asc*Raop*Uop*(105.98);
Asolop_B = asc*Raop*Uop*(86.12);
Asolop_A = asc*Raop*Uop*(49.41);
Asolop_D = asc*Raop*Uop*(60.02);
Asolop_R = asc*Raop*Uop*(119.4);

Asolw_N = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1.3*2.2*12);
Asolw_B = Fgl*ggl*(1-0.2)*(0.5*0.8*4+0.25*0.8*2+0.3*0.8*2);
Asolw_A = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1*2.2*2);
Asolw_D = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1*2.2*2);

for i = 1:24
    for j=1:124
        Fsolop_N(i,j) = Fshob*Asolop_N*Isol_N(i,j);
        Fsolop_B(i,j) = Fshob*Asolop_B*Isol_B(i,j);
        Fsolop_A(i,j) = Fshob*Asolop_A*Isol_A(i,j);
        Fsolop_D(i,j) = Fshob*Asolop_D*Isol_D(i,j);
        Fsolop_R(i,j) = Fshob*Asolop_R*Isol_R(i,j);

        Fsolw_N(i,j) = Fshob*Asolw_N*Isol_N(i,j);
        Fsolw_B(i,j) = Fshob*Asolw_B*Isol_B(i,j);
        Fsolw_A(i,j) = Fshob*Asolw_A*Isol_A(i,j);
        Fsolw_D(i,j) = Fshob*Asolw_D*Isol_D(i,j);
        Fsolw(i,j) =
        Fsolw_N(i,j)+Fsolw_B(i,j)+Fsolw_A(i,j)+Fsolw_D(i,j);
        Fsolop(i,j) =
        Fsolop_N(i,j)+Fsolop_B(i,j)+Fsolop_A(i,j)+Fsolop_D(i,j)+Fsolop_R(i,j)
        );
        Fsol(i,j) = Fsolop(i,j)+Fsolw(i,j);
    %% INTERNAL HEAT GAINS
    ss = 0;
    for j = 1:124
        ss = ss+1;
        for i = 1:24
            if ss ~= 6 && ss ~= 7
                if (i >= 8 && i <= 17)

```

```

        Qint(i,j) = (8*Asalot+1*(1-Asalot))*2*Af;
elseif i>18 && i<24
        Qint(i,j) = (20*Asalot+1*(1-Asalot))*2*Af;
else
        Qint(i,j) = (2*Asalot+6*(1-Asalot))*2*Af;
end
else
    if (i >= 8 && i <= 17)
        Qint(i,j) = (8*Asalot+2*(1-Asalot))*2*Af;
elseif i>18 && i<24
        Qint(i,j) = (20*Asalot+4*(1-Asalot))*2*Af;
else
        Qint(i,j) = (2*Asalot+6*(1-Asalot))*2*Af;
end
end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
Fint = Qint;
%% TOTAL GAINS
Fia = 0.5*Fint;
Fm = Am/At*(0.5*Fint+Fsol);
Fst = (1-(Am/At)-Hw/(9.1*At))*(0.5*Fint+Fsol);
%% calculating internal air temperature and energy demand
thmt1=10; Tm = thmt1;

for j = 1:124
    for i = 1:24
        thmt1 = Tm;
        FHCnd(i,j) = 0;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
        Tair0(i,j) = Tair;
        Tm2(i,j) = Tm;

        if Tair0(i,j)<=TintC(i,j) && Tair0(i,j)>=TintH(i,j)
            FHCndac(i,j) = 0;
            FHCndun(i,j) = 0;
            Tairac(i,j) = Tair0(i,j);
        elseif Tair0(i,j)>TintC(i,j)
            Tairset = TintC(i,j);
            FHCnd10(i,j) = -10*2*Af;
            FHCnd(i,j) = FHCnd10(i,j);
            [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
            Tm2(i,j) = Tm;
            Tair10(i,j) = Tair;
            FHCndun(i,j) = FHCnd10(i,j).*((Tairset-
Tair0(i,j))./(Tair10(i,j)-Tair0(i,j)));
            if FHCndun(i,j)>=FCmax
                FHCndac(i,j) = FHCndun(i,j);
                [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
                Tm2(i,j) = Tm;
            end
        end
    end
end

```

```

        Tairac(i,j) = Tairset;
    else
        FHCndac(i,j) = FCmax;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j)=Tair;
    end
elseif Tair0(i,j)<TintH(i,j)
    Tairset = TintH(i,j);
    FHCnd10(i,j) = 10*2*Af;
    FHCnd(i,j) = FHCnd10(i,j);
    [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
    Tm2(i,j) = Tm;
    Tair10(i,j) = Tair;
    FHCndun(i,j) = FHCnd10(i,j).*((Tairset-
Tair0(i,j))./(Tair10(i,j)-Tair0(i,j)));
    if FHCndun(i,j)<=FHmax
        FHCndac(i,j) = FHCndun(i,j);
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j) = Tairset;
    else
        FHCndac(i,j) = FHmax;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j) = Tair;
    end
end
end
end
end
end

```

Π.6 Συνάρτηση υπολογισμού θερμοκρασιών και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για όλη την περίοδο ψύξης για την περιοχή της Κοζάνης

```

function [Tairac, FHCndac, FHCndun] =
LOADS_SCEN_1SEAS_sum_koz (Af, Apar, Aw, Awp, Awpar, Awpor, Asalot, Uoppar, Uw, Uf1
, Uf2, Ta, Isol_N, Isol_B, Isol_A, Isol_D, Isol_R, TintH, TintC, FHmax, FCmax, F
shob, Fgl, asc, ggl, Uop, Uor, Udap, Ror, Radap, Raop, Cm, Am, Vinf)
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This function calculates the internal air temperature and energy
% demand for the entire cooling season of Kozani (1 June - 31
% August)

Hoppar = Uoppar*(Apar-Aw);
Hw = Uw*45.6; Hf1 = Af*Uf1; Hf2 = Af*Uf2;
Hop = Hoppar + Hf1 + Hf2; Hve = (7.4*Awpar+8.7*Awpor)/3600*1200;
At = 4.5*2*Af; Hms = 9.1*Am; Hem = 1/((1/Hop)-(1/Hms)); His=3.45*At;
%% SOLAR HEAT GAINS
Asolop_N = asc*Raop*Uop*(105.98);
Asolop_B = asc*Raop*Uop*(86.12);
Asolop_A = asc*Raop*Uop*(49.41);
Asolop_D = asc*Raop*Uop*(60.02);
Asolop_R = asc*Raop*Uop*(119.4);

Asolw_N = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1.3*2.2*12);
Asolw_B = Fgl*ggl*(1-0.2)*(0.5*0.8*4+0.25*0.8*2+0.3*0.8*2);
Asolw_A = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1*2.2*2);
Asolw_D = Fgl*ggl*(1-0.2)*(1*2.2*2);

for i = 1:24
    for j=1:92
        Fsolop_N(i,j) = Fshob*Asolop_N*Isol_N(i,j);
        Fsolop_B(i,j) = Fshob*Asolop_B*Isol_B(i,j);
        Fsolop_A(i,j) = Fshob*Asolop_A*Isol_A(i,j);
        Fsolop_D(i,j) = Fshob*Asolop_D*Isol_D(i,j);
        Fsolop_R(i,j) = Fshob*Asolop_R*Isol_R(i,j);

        Fsolw_N(i,j) = Fshob*Asolw_N*Isol_N(i,j);
        Fsolw_B(i,j) = Fshob*Asolw_B*Isol_B(i,j);
        Fsolw_A(i,j) = Fshob*Asolw_A*Isol_A(i,j);
        Fsolw_D(i,j) = Fshob*Asolw_D*Isol_D(i,j);
        Fsolw(i,j) =
        Fsolw_N(i,j)+Fsolw_B(i,j)+Fsolw_A(i,j)+Fsolw_D(i,j);
        Fsolop(i,j) =
        Fsolop_N(i,j)+Fsolop_B(i,j)+Fsolop_A(i,j)+Fsolop_D(i,j)+Fsolop_R(i,j)
        );
        Fsol(i,j) = Fsolop(i,j)+Fsolw(i,j);
    %% INTERNAL HEAT GAINS
    ss = 0;
    for j = 1:92
        ss = ss+1;
        for i = 1:24
            if ss ~= 6 && ss ~= 7
                if (i >= 8 && i <= 17)

```



```

        Qint(i,j) = (8*Asalot+1*(1-Asalot))*2*Af;
elseif i>18 && i<24
        Qint(i,j) = (20*Asalot+1*(1-Asalot))*2*Af;
else
        Qint(i,j) = (2*Asalot+6*(1-Asalot))*2*Af;
end
else
    if (i >= 8 && i <= 17)
        Qint(i,j) = (8*Asalot+2*(1-Asalot))*2*Af;
elseif i>18 && i<24
        Qint(i,j) = (20*Asalot+4*(1-Asalot))*2*Af;
else
        Qint(i,j) = (2*Asalot+6*(1-Asalot))*2*Af;
end
end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
Fint = Qint;
%% TOTAL GAINS
Fia = 0.5*Fint;
Fm = Am/At*(0.5*Fint+Fsol);
Fst = (1-(Am/At)-Hw/(9.1*At))*(0.5*Fint+Fsol);
%% calculating internal air temperature and energy demand
thmt1=10; Tm = thmt1;

for j = 1:92
    for i = 1:24
        thmt1 = Tm;
        FHCnd(i,j) = 0;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
        Tair0(i,j) = Tair;
        Tm2(i,j) = Tm;

        if Tair0(i,j)<=TintC(i,j) && Tair0(i,j)>=TintH(i,j)
            FHCndac(i,j) = 0;
            FHCndun(i,j) = 0;
            Tairac(i,j) = Tair0(i,j);
        elseif Tair0(i,j)>TintC(i,j)
            Tairset = TintC(i,j);
            FHCnd10(i,j) = -10*2*Af;
            FHCnd(i,j) = FHCnd10(i,j);
            [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
            Tm2(i,j) = Tm;
            Tair10(i,j) = Tair;
            FHCndun(i,j) = FHCnd10(i,j).*((Tairset-
Tair0(i,j))./(Tair10(i,j)-Tair0(i,j)));
            if FHCndun(i,j)>=FCmax
                FHCndac(i,j) = FHCndun(i,j);
                [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
                Tm2(i,j) = Tm;
            end
        end
    end
end

```

```

        Tairac(i,j) = Tairset;
    else
        FHCndac(i,j) = FCmax;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j)=Tair;
    end
elseif Tair0(i,j)<TintH(i,j)
    Tairset = TintH(i,j);
    FHCnd10(i,j) = 10*2*Af;
    FHCnd(i,j) = FHCnd10(i,j);
    [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCnd,Cm);
    Tm2(i,j) = Tm;
    Tair10(i,j) = Tair;
    FHCndun(i,j) = FHCnd10(i,j).*((Tairset-
Tair0(i,j))./(Tair10(i,j)-Tair0(i,j)));
    if FHCndun(i,j)<=FHmax
        FHCndac(i,j) = FHCndun(i,j);
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j) = Tairset;
    else
        FHCndac(i,j) = FHmax;
        [Tm,Ts,Tair,Top] =
Tair_calc(i,j,Hve,His,Hw,Hms,Hem,Fm,Fst,Fia,Ta,Ta,thmt1,FHCndac,Cm);
        Tm2(i,j) = Tm;
        Tairac(i,j) = Tair;
    end
end
end
end
end
end

```

Π.7 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για το μήνα του Ιανουαρίου για την περιοχή της Αθήνας

```
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This script calculates thermal discomfort and energy demand of
% January for Athens

clear; clc; format long
close all
Af = 119.4; A1 = 58.8425; A2 = 60.58; Apar = 346.785; Aw = 45.6;
Awpapar = 4*0.5*0.8+2*0.3*0.8+2*0.25*0.8; Awpor = 45.6-Awpapar;
Asalot = (17.4*4+7*4)/(2*Af);
FCmax = -5000; Tcomf = 18:1:20;
Fshob = 1; Fgl = 1; asc = 0.6; ggl = 0.68;
Ror = 0.04; Radap = 0.17; Raop = 0.04;
Am2 = [2.5,2.5,2.5,3,3.5]*2*Af;
Cm2 = [80000,110000,165000,260000,370000]*2*Af;
Vinf = [50,200,400,700];
Ta = xlsread('Athens.xlsx','E2:E745');
Ta = reshape(Ta,[24,31]);
Isol_N = xlsread('Athens.xlsx','I2:I745');
Isol_N = reshape(Isol_N,[24,31]);
Isol_B = xlsread('Athens.xlsx','L2:L745');
Isol_B = reshape(Isol_B,[24,31]);
Isol_A = xlsread('Athens.xlsx','J2:J745');
Isol_A = reshape(Isol_A,[24,31]);
Isol_D = xlsread('Athens.xlsx','K2:K745');
Isol_D = reshape(Isol_D,[24,31]);
Isol_R = xlsread('Athens.xlsx','F2:F745');
Isol_R = reshape(Isol_R,[24,31]);
for xx = 1:40
Uoppar = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1); Uw = 2+(6-2)*rand(1); Uf1 = Uoppar;
Uf2 = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1);
Um(xx) = (Uoppar*(Apar-Aw)+Uw*Aw+Uf1*Af+Uf2*Af)/(Apar+2*Af);
for yy = 1:length(Am2)
for ww = 1:length(Vinf)
for xxx = 1:length(Tcomf)
ss = 0;
for j = 1:31
ss = ss+1;
for i = 1:24
if ss ~= 6 && ss ~= 7
if (i >= 8 && i < 16)
TintH(i,j) = 0;
TintC(i,j) = 99;
else
TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
TintC(i,j) = 26;
end
else
if (i >= 8 && i < 16)
TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
TintC(i,j) = 26;
else
```

```

        TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
        TintC(i,j) = 26;
    end
end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
FHmax = 8000:500:40000;
for zz = 1:length(FHmax)
[Tairac_diak_HA, FHCndac_diak_HA, FHCndun_diak_HA] =
LOADS_SCEN_31D(Af,Apar,Aw,Awpar,Awpor,Asalot,Uoppar,Uw,Uf1,Uf2,Ta,
Isol_N,Isol_B,Isol_A,Isol_D,Isol_R,TintH,TintC,FHmax(zz),FCmax,Fshob
,Fgl,asc,ggl,Uoppar,Uf1,Uf2,Ror,Radap,Raop,Cm2(yy),Am2(yy),Vinf(ww))
;
En_diak_HA_monthly(xxx,zz,ww,yy,xx) =
sum(abs(trapz(1:24,FHCndac_diak_HA)*10^(-3)));
[r,c] = size(Tairac_diak_HA);
    sss = 0; ss = 0;
    for jjj = 1:c
        sss = sss + 1;
        for iii = 1:r
            if sss ~= 6 && sss ~= 7
                if (iii <= 7 || iii >= 16)
                    ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
                end
            else
                ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
            end
        end
        if sss == 7
            sss = 0;
        end
    end
    HDH(xxx,zz,ww,yy,xx) = ss/(2*(31*16+8*2*4));
end
end
end
end
end

[r,c,d,e,f] = size(HDH);
for p = 1:f
for t = 1:e
for k = 1:d
    for i = 1:r
        for j = 1:c
            if HDH(i,j,k,t,p) <= 0.005 || HDH(i,j,k,t,p)>=0.05
                HDH_N(i,j,k,t,p) = -123;
            else
                HDH_N(i,j,k,t,p) = HDH(i,j,k,t,p);
            end
        end
    end
end
end

```

```

    end
end
end
end
[FHmax_m2, Tcomf_m2, Vinf_m2, Cm_m2, Um_m2] =
ndgrid(FHmax, Tcomf, Vinf, Cm2, Um);
FHmax_m2 = permute(FHmax_m2, [2, 1, 3, 4, 5]);
Tcomf_m2 = permute(Tcomf_m2, [2, 1, 3, 4, 5]);
Vinf_m2 = permute(Vinf_m2, [2, 1, 3, 4, 5]);
Um_m2 = permute(Um_m2, [2, 1, 3, 4, 5]);
Cm_m2 = permute(Cm_m2, [2, 1, 3, 4, 5]);
xDData = reshape(FHmax_m2, [numel(FHmax_m2), 1]);
yData = reshape(Tcomf_m2, [numel(Tcomf_m2), 1]);
pData = reshape(Vinf_m2, [numel(Vinf_m2), 1]);
zData = reshape(Um_m2, [numel(Um_m2), 1]);
tData = reshape(Cm_m2, [numel(Cm_m2), 1]);
wData = reshape(HDH_N, [numel(HDH_N), 1]);
wData_N = wData(find(wData~-123));
w1Data = reshape(En_diak_HA_monthly, [numel(En_diak_HA_monthly), 1]);
w1Data_N = w1Data(find(wData~-123));
zData_N = zData(find(wData~-123));
xDData_N = xData(find(wData~-123));
yData_N = yData(find(wData~-123));
tData_N = tData(find(wData~-123));
pData_N = pData(find(wData~-123));
xlswrite('6D_EN_January.xlsx',
[xData_N, yData_N, zData_N, tData_N, pData_N, w1Data_N])
xlswrite('6D_DISC_january.xlsx',
[xData_N, yData_N, zData_N, tData_N, pData_N, wData_N])

```

Π.8 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για το μήνα του Ιανουαρίου για την περιοχή της Κοζάνης

```
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This script calculates thermal discomfort and energy demand of
% January for Kozani

clear; clc; format long
close all
Af = 119.4; A1 = 58.8425; A2 = 60.58; Apar = 346.785; Aw = 45.6;
Awpapar = 4*0.5*0.8+2*0.3*0.8+2*0.25*0.8; Awpor = 45.6-Awpapar;
Asalot = (17.4*4+7*4)/(2*Af);
FCmax = -5000; Tcomf = 18:1:20;
Fshob = 1; Fgl = 1; asc = 0.6; ggl = 0.68;
Ror = 0.04; Radap = 0.17; Raop = 0.04;
Am2 = [2.5,2.5,2.5,3,3.5]*2*Af;
Cm2 = [80000,110000,165000,260000,370000]*2*Af;
Vinf = [50,200,400,700];
Ta = xlsread('Kozani.xlsx','E2:E745');
Ta = reshape(Ta,[24,31]);
Isol_N = xlsread('Kozani.xlsx','I2:I745');
Isol_N = reshape(Isol_N,[24,31]);
Isol_B = xlsread('Kozani.xlsx','L2:L745');
Isol_B = reshape(Isol_B,[24,31]);
Isol_A = xlsread('Kozani.xlsx','J2:J745');
Isol_A = reshape(Isol_A,[24,31]);
Isol_D = xlsread('Kozani.xlsx','K2:K745');
Isol_D = reshape(Isol_D,[24,31]);
Isol_R = xlsread('Kozani.xlsx','F2:F745');
Isol_R = reshape(Isol_R,[24,31]);
for xx = 1:40
    Uoppar = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1); Uw = 2+(6-2)*rand(1); Uf1 = Uoppar;
    Uf2 = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1);
    Um(xx) = (Uoppar*(Apar-Aw)+Uw*Aw+Uf1*Af+Uf2*Af)/(Apar+2*Af);
    for yy = 1:length(Am2)
        for ww = 1:length(Vinf)
            for xxx = 1:length(Tcomf)
                ss = 0;
                for j = 1:31
                    ss = ss+1;
                    for i = 1:24
                        if ss ~= 6 && ss ~= 7
                            if (i >= 8 && i < 16)
                                TintH(i,j) = 0;
                                TintC(i,j) = 99;
                            else
                                TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
                                TintC(i,j) = 26;
                            end
                        else
                            if (i >= 8 && i < 16)
                                TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
                                TintC(i,j) = 26;
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
```

```

        else
            TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
            TintC(i,j) = 26;
        end
    end
end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
FHmax = 8000:500:40000;
for zz = 1:length(FHmax)
    [Tairac_diak_HA, FHCndac_diak_HA, FHCndun_diak_HA] =
LOADS_SCEN_31D(Af,Apar,Aw,Awpar,Awpor,Asalot,Uoppar,Uw,Uf1,Uf2,Ta,
Isol_N,Isol_B,Isol_A,Isol_D,Isol_R,TintH,TintC,FHmax(zz),FCmax,Fshob
,Fgl,asc,ggl,Uoppar,Uf1,Uf2,Ror,Radap,Raop,Cm2(yy),Am2(yy),Vinf(ww))
;
En_diak_HA_monthly(xxx,zz,ww,yy,xx) =
sum(abs(trapz(1:24,FHCndac_diak_HA)*10^(-3)));
    [r,c] = size(Tairac_diak_HA);
    sss = 0; ss = 0;
    for jjj = 1:c
        sss = sss + 1;
        for iii = 1:r
            if sss ~= 6 && sss ~= 7
                if (iii <= 7 || iii >= 16)
                    ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
                end
            else
                ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
            end
        end
        if sss == 7
            sss = 0;
        end
    end
    HDH(xxx,zz,ww,yy,xx) = ss/(2*(31*16+8*2*4));
end
end
end
end
end

[r,c,d,e,f] = size(HDH);
for p = 1:f
for t = 1:e
for k = 1:d
    for i = 1:r
        for j = 1:c
            if HDH(i,j,k,t,p) <= 0.005 || HDH(i,j,k,t,p)>=0.05
                HDH_N(i,j,k,t,p) = -123;
            else
                HDH_N(i,j,k,t,p) = HDH(i,j,k,t,p);
            end
        end
    end
end
end
end

```

```

        end
    end
end
end
end
[FHmax_m2, Tcomf_m2, Vinf_m2, Cm_m2, Um_m2] =
ndgrid(FHmax,Tcomf,Vinf,Cm2,Um);
FHmax_m2 = permute(FHmax_m2,[2,1,3,4,5]);
Tcomf_m2 = permute(Tcomf_m2,[2,1,3,4,5]);
Vinf_m2 = permute(Vinf_m2,[2,1,3,4,5]);
Um_m2 = permute(Um_m2,[2,1,3,4,5]);
Cm_m2 = permute(Cm_m2,[2,1,3,4,5]);
xData = reshape(FHmax_m2,[numel(FHmax_m2),1]);
yData = reshape(Tcomf_m2,[numel(Tcomf_m2),1]);
pData = reshape(Vinf_m2,[numel(Vinf_m2),1]);
zData = reshape(Um_m2,[numel(Um_m2),1]);
tData = reshape(Cm_m2,[numel(Cm_m2),1]);
wData = reshape(HDH_N,[numel(HDH_N),1]);
wData_N = wData(find(wData~-123));
w1Data = reshape(En_diak_HA_monthly,[numel(En_diak_HA_monthly),1]);
w1Data_N = w1Data(find(wData~-123));
zData_N = zData(find(wData~-123));
xData_N = xData(find(wData~-123));
yData_N = yData(find(wData~-123));
tData_N = tData(find(wData~-123));
pData_N = pData(find(wData~-123));
xlswrite('6D_EN_January_koz.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,w1Data_N])
xlswrite('6D_DISC_january_koz.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,wData_N])

```


Π.9 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για την περίοδο θέρμανσης για την περιοχή της Αθήνας

```
%  
% Author : Georgios Stergianakos  
% Date : 7 June 2021  
% This script calculates thermal discomfort and energy demand of  
% the entire heating season of Athens  
  
clear; clc; format long  
close all  
Af = 119.4; A1 = 58.8425; A2 = 60.58; Apar = 346.785; Aw = 45.6;  
Awpapar = 4*0.5*0.8+2*0.3*0.8+2*0.25*0.8; Awpor = 45.6-Awpapar;  
Asalot = (17.4*4+7*4)/(2*Af);  
FCmax = -5000; Tcomf = 18:1:20;  
Fshob = 1; Fgl = 1; asc = 0.6; ggl = 0.68;  
Ror = 0.04; Radap = 0.17; Raop = 0.04;  
Am2 = [2.5,2.5,2.5,3,3.5]*2*Af;  
Cm2 = [80000,110000,165000,260000,370000]*2*Af;  
Vinf = [50,200,400,700];  
Ta1 = xlsread('Athens.xlsx','E7298:E8761');  
Ta2 = xlsread('Athens.xlsx','E2:E2521');  
Ta = [Ta1;Ta2];  
Ta = reshape(Ta,[24,166]);  
Isol_N1 = xlsread('Athens.xlsx','I7298:I8761');  
Isol_N2 = xlsread('Athens.xlsx','I2:I2521');  
Isol_N = [Isol_N1;Isol_N2];  
Isol_N = reshape(Isol_N,[24,166]);  
Isol_B1 = xlsread('Athens.xlsx','L7298:L8761');  
Isol_B2 = xlsread('Athens.xlsx','L2:L2521');  
Isol_B = [Isol_B1;Isol_B2];  
Isol_B = reshape(Isol_B,[24,166]);  
Isol_A1 = xlsread('Athens.xlsx','J7298:J8761');  
Isol_A2 = xlsread('Athens.xlsx','J2:J2521');  
Isol_A = [Isol_A1;Isol_A2];  
Isol_A = reshape(Isol_A,[24,166]);  
Isol_D1 = xlsread('Athens.xlsx','K7298:K8761');  
Isol_D2 = xlsread('Athens.xlsx','K2:K2521');  
Isol_D = [Isol_D1;Isol_D2];  
Isol_D = reshape(Isol_D,[24,166]);  
Isol_R1 = xlsread('Athens.xlsx','R7298:R8761');  
Isol_R2 = xlsread('Athens.xlsx','R2:R2521');  
Isol_R = [Isol_R1;Isol_R2];  
Isol_R = reshape(Isol_R,[24,166]);  
  
for xx = 1:40  
Uoppar = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1); Uw = 2+(6-2)*rand(1); Uf1 = Uoppar;  
Uf2 = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1);  
Um(xx) = (Uoppar*(Apar-Aw)+Uw*Aw+Uf1*Af+Uf2*Af)/(Apar+2*Af);  
for yy = 1:length(Am2)  
for ww = 1:length(Vinf)  
for xxx = 1:length(Tcomf)  
ss = 0;  
for j = 1:166  
ss = ss+1;  
for i = 1:24
```

```

        if ss ~= 6 && ss ~= 7
            if (i >= 8 && i < 16)
                TintH(i,j) = 0;
                TintC(i,j) = 99;
            else
                TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
                TintC(i,j) = 26;
            end
        else
            if (i >= 8 && i < 16)
                TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
                TintC(i,j) = 26;
            else
                TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
                TintC(i,j) = 26;
            end
        end
    end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
FHmax = 8000:500:40000;
for zz = 1:length(FHmax)
    [Tairac_diak_HA, FHCndac_diak_HA, FHCndun_diak_HA] =
    LOADS_SCEN_1SEAS(Af,Apar,Aw,Awpar,Awpor,Asalot,Uoppar,Uw,Uf1,Uf2,Ta,
    Isol_N,Isol_B,Isol_A,Isol_D,Isol_R,TintH,TintC,FHmax(zz),FCmax,Fshob
    ,Fgl,asc,ggl,Uoppar,Uf1,Uf2,Ror,Radap,Raop,Cm2(yy),Am2(yy),Vinf(ww))
    ;
    En_diak_HA_monthly(xxx,zz,ww,yy,xx) =
    sum(abs(trapz(1:24,FHCndac_diak_HA)*10^(-3)));
    [r,c] = size(Tairac_diak_HA);
    sss = 0; ss = 0;
    for jjj = 1:c
        sss = sss + 1;
        for iii = 1:r
            if sss ~= 6 && sss ~= 7
                if (iii <= 7 || iii >= 16)
                    ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
                end
            else
                ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
            end
        end
    end
    if sss == 7
        sss = 0;
    end
end
HDH(xxx,zz,ww,yy,xx) = ss/(2*(166*16+8*2*23));

end
end
end
end
end

```

```

[r,c,d,e,f] = size(HDH);
for p = 1:f
for t = 1:e
for k = 1:d
    for i = 1:r
        for j = 1:c
            if HDH(i,j,k,t,p) <= 0.005 || HDH(i,j,k,t,p)>=0.05
                HDH_N(i,j,k,t,p) = -123;
            else
                HDH_N(i,j,k,t,p) = HDH(i,j,k,t,p);
            end
        end
    end
end
end
end
end
[FHmax_m2, Tcomf_m2, Vinf_m2, Cm_m2, Um_m2] =
ndgrid(FHmax,Tcomf,Vinf,Cm2,Um);
FHmax_m2 = permute(FHmax_m2, [2,1,3,4,5]);
Tcomf_m2 = permute(Tcomf_m2, [2,1,3,4,5]);
Vinf_m2 = permute(Vinf_m2, [2,1,3,4,5]);
Um_m2 = permute(Um_m2, [2,1,3,4,5]);
Cm_m2 = permute(Cm_m2, [2,1,3,4,5]);
xData = reshape(FHmax_m2, [numel(FHmax_m2),1]);
yData = reshape(Tcomf_m2, [numel(Tcomf_m2),1]);
pData = reshape(Vinf_m2, [numel(Vinf_m2),1]);
zData = reshape(Um_m2, [numel(Um_m2),1]);
tData = reshape(Cm_m2, [numel(Cm_m2),1]);
wData = reshape(HDH_N, [numel(HDH_N),1]);
wData_N = wData(find(wData~-123));
w1Data = reshape(En_diak_HA_monthly, [numel(En_diak_HA_monthly),1]);
w1Data_N = w1Data(find(wData~-123));
zData_N = zData(find(wData~-123));
xData_N = xData(find(wData~-123));
yData_N = yData(find(wData~-123));
tData_N = tData(find(wData~-123));
pData_N = pData(find(wData~-123));
xlswrite('6D_EN_heating_season.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,w1Data_N])
xlswrite('6D_DISC_heating_season.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,wData_N])

```

Π.10 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για την περίοδο θέρμανσης για την περιοχή της Κοζάνης

```
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This script calculates thermal discomfort and energy demand of
% the entire heating season of Kozani

clear; clc; format long
close all
Af = 119.4; A1 = 58.8425; A2 = 60.58; Apar = 346.785; Aw = 45.6;
Awpapar = 4*0.5*0.8+2*0.3*0.8+2*0.25*0.8; Awpor = 45.6-Awpapar;
Asalot = (17.4*4+7*4)/(2*Af);
FCmax = -5000; Tcomf = 18:1:20;
Fshob = 1; Fgl = 1; asc = 0.6; ggl = 0.68;
Ror = 0.04; Radap = 0.17; Raop = 0.04;
Am2 = [2.5,2.5,2.5,3,3.5]*2*Af;
Cm2 = [80000,110000,165000,260000,370000]*2*Af;
Vinf = [50,200,400,700];
Ta1 = xlsread('Kozani.xlsx','E7298:E8761');
Ta2 = xlsread('Kozani.xlsx','E2:E2521');
Ta = [Ta1;Ta2];
Ta = reshape(Ta,[24,198]);
Isol_N1 = xlsread('Kozani.xlsx','I7298:I8761');
Isol_N2 = xlsread('Kozani.xlsx','I2:I2521');
Isol_N = [Isol_N1;Isol_N2];
Isol_N = reshape(Isol_N,[24,198]);
Isol_B1 = xlsread('Kozani.xlsx','L7298:L8761');
Isol_B2 = xlsread('Kozani.xlsx','L2:L2521');
Isol_B = [Isol_B1;Isol_B2];
Isol_B = reshape(Isol_B,[24,198]);
Isol_A1 = xlsread('Kozani.xlsx','J7298:J8761');
Isol_A2 = xlsread('Kozani.xlsx','J2:J2521');
Isol_A = [Isol_A1;Isol_A2];
Isol_A = reshape(Isol_A,[24,198]);
Isol_D1 = xlsread('Kozani.xlsx','K7298:K8761');
Isol_D2 = xlsread('Kozani.xlsx','K2:K2521');
Isol_D = [Isol_D1;Isol_D2];
Isol_D = reshape(Isol_D,[24,198]);
Isol_R1 = xlsread('Kozani.xlsx','R7298:R8761');
Isol_R2 = xlsread('Kozani.xlsx','R2:R2521');
Isol_R = [Isol_R1;Isol_R2];
Isol_R = reshape(Isol_R,[24,198]);

for xx = 1:40
Uoppar = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1); Uw = 2+(6-2)*rand(1); Uf1 = Uoppar;
Uf2 = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1);
Um(xx) = (Uoppar*(Apar-Aw)+Uw*Aw+Uf1*Af+Uf2*Af)/(Apar+2*Af);
for yy = 1:length(Am2)
for ww = 1:length(Vinf)
for xxx = 1:length(Tcomf)
ss = 0;
for j = 1:198
ss = ss+1;
for i = 1:24
```

```

        if ss ~= 6 && ss ~= 7
            if (i >= 8 && i < 16)
                TintH(i,j) = 0;
                TintC(i,j) = 99;
            else
                TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
                TintC(i,j) = 26;
            end
        else
            if (i >= 8 && i < 16)
                TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
                TintC(i,j) = 26;
            else
                TintH(i,j) = Tcomf(xxx);
                TintC(i,j) = 26;
            end
        end
    end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
FHmax = 8000:500:40000;
for zz = 1:length(FHmax)
    [Tairac_diak_HA, FHCndac_diak_HA, FHCndun_diak_HA] =
LOADS_SCEN_1SEAS_koz(Af, Apar, Aw, Awpar, Awpor, Asalot, Uoppar, Uw, Uf1, Uf2
, Ta, Isol_N, Isol_B, Isol_A, Isol_D, Isol_R, TintH, TintC, FHmax(zz), FCmax, F
shob, Fgl, asc, ggl, Uoppar, Uf1, Uf2, Ror, Radap, Raop, Cm2(yy), Am2(yy), Vinf(
ww));
    En_diak_HA_monthly(xxx, zz, ww, yy, xx) =
sum(abs(trapz(1:24, FHCndac_diak_HA)*10^(-3)));
    [r,c] = size(Tairac_diak_HA);
    sss = 0; ss = 0;
    for jjj = 1:c
        sss = sss + 1;
        for iii = 1:r
            if sss ~= 6 && sss ~= 7
                if (iii <= 7 || iii >= 16)
                    ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii, jjj));
                end
            else
                ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii, jjj));
            end
        end
    end
    if sss == 7
        sss = 0;
    end
end
HDH(xxx, zz, ww, yy, xx) = ss/(2*(198*16+8*2*28));
end
end
end
end
end

```

```

[r,c,d,e,f] = size(HDH);
for p = 1:f
for t = 1:e
for k = 1:d
    for i = 1:r
        for j = 1:c
            if HDH(i,j,k,t,p) <= 0.005 || HDH(i,j,k,t,p)>=0.05
                HDH_N(i,j,k,t,p) = -123;
            else
                HDH_N(i,j,k,t,p) = HDH(i,j,k,t,p);
            end
        end
    end
end
end
end
end
[FHmax_m2, Tcomf_m2, Vinf_m2, Cm_m2, Um_m2] =
ndgrid(FHmax,Tcomf,Vinf,Cm2,Um);
FHmax_m2 = permute(FHmax_m2, [2,1,3,4,5]);
Tcomf_m2 = permute(Tcomf_m2, [2,1,3,4,5]);
Vinf_m2 = permute(Vinf_m2, [2,1,3,4,5]);
Um_m2 = permute(Um_m2, [2,1,3,4,5]);
Cm_m2 = permute(Cm_m2, [2,1,3,4,5]);
xData = reshape(FHmax_m2, [numel(FHmax_m2),1]);
yData = reshape(Tcomf_m2, [numel(Tcomf_m2),1]);
pData = reshape(Vinf_m2, [numel(Vinf_m2),1]);
zData = reshape(Um_m2, [numel(Um_m2),1]);
tData = reshape(Cm_m2, [numel(Cm_m2),1]);
wData = reshape(HDH_N, [numel(HDH_N),1]);
wData_N = wData(find(wData~-123));
w1Data = reshape(En_diak_HA_monthly, [numel(En_diak_HA_monthly),1]);
w1Data_N = w1Data(find(wData~-123));
zData_N = zData(find(wData~-123));
xData_N = xData(find(wData~-123));
yData_N = yData(find(wData~-123));
tData_N = tData(find(wData~-123));
pData_N = pData(find(wData~-123));
xlswrite('6D_EN_heating_season_koz.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,w1Data_N])
xlswrite('6D_DISC_heating_season_koz.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,wData_N])

```

Π.11 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για το μήνα του Ιουλίου για την περιοχή της Αθήνας

```
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This script calculates thermal discomfort and energy demand of
% July for Athens

clear; clc; format long
close all
Af = 119.4; A1 = 58.8425; A2 = 60.58; Apar = 346.785; Aw = 45.6;
Awpapar = 4*0.5*0.8+2*0.3*0.8+2*0.25*0.8; Awpor = 45.6-Awpapar;
Asalot = (17.4*4+7*4)/(2*Af);
FCmax = -[1000:500:30000]; Tcomf = 25:1:27; FHmax = 20000;
Fshob = 1; Fgl = 1; asc = 0.6; ggl = 0.68;
Ror = 0.04; Radap = 0.17; Raop = 0.04;
Am2 = [2.5,2.5,2.5,3,3.5]*2*Af;
Cm2 = [80000,110000,165000,260000,370000]*2*Af;
Vinf = [50,200,400,700];
Ta = xlsread('Athens.xlsx','E4346:E5089');
Ta = reshape(Ta,[24,31]);
Isol_N = xlsread('Athens.xlsx','I4346:I5089');
Isol_N = reshape(Isol_N,[24,31]);
Isol_B = xlsread('Athens.xlsx','L4346:L5089');
Isol_B = reshape(Isol_B,[24,31]);
Isol_A = xlsread('Athens.xlsx','J4346:J5089');
Isol_A = reshape(Isol_A,[24,31]);
Isol_D = xlsread('Athens.xlsx','K4346:K5089');
Isol_D = reshape(Isol_D,[24,31]);
Isol_R = xlsread('Athens.xlsx','F4346:F5089');
Isol_R = reshape(Isol_R,[24,31]);
for xx = 1:40
Uoppar = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1); Uw = 2+(6-2)*rand(1); Uf1 = Uoppar;
Uf2 = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1);
Um(xx) = (Uoppar*(Apar-Aw)+Uw*Aw+Uf1*Af+Uf2*Af)/(Apar+2*Af);
for yy = 1:length(Am2)
for ww = 1:length(Vinf)
for xxx = 1:length(Tcomf)
ss = 0;
for j = 1:31
ss = ss+1;
for i = 1:24
if ss ~= 6 && ss ~= 7
if (i >= 8 && i < 16)
TintH(i,j) = 0;
TintC(i,j) = 99;
else
TintH(i,j) = 0;
TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
end
else
if (i >= 8 && i < 16)
TintH(i,j) = 0;
TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
```

```

        else
            TintH(i,j) = 0;
            TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
        end
    end
end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
for zz = 1:length(FCmax)
[Tairac_diak_HA, FHCndac_diak_HA, FHCndun_diak_HA] =
LOADS_SCEN_31D(Af,Apar,Aw,Awpar,Awpor,Asalot,Uoppar,Uw,Uf1,Uf2,Ta,
Isol_N,Isol_B,Isol_A,Isol_D,Isol_R,TintH,TintC,FHmax(zz),FCmax,Fshob
,Fgl,asc,ggl,Uoppar,Uf1,Uf2,Ror,Radap,Raop,Cm2(yy),Am2(yy),Vinf(w))
;
En_diak_HA_monthly(xxx,zz,ww,yy,xx) =
sum(abs(trapz(1:24,FHCndac_diak_HA)*10^(-3)));
[r,c] = size(Tairac_diak_HA);
sss = 0; ss = 0;
for jjj = 1:c
    sss = sss + 1;
    for iii = 1:r
        if Tcomf(xxx)<=Tairac_diak_HA(iii,jjj)
            if sss ~= 6 && sss ~= 7
                if (iii <= 7 || iii >= 16)
                    ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
                end
            else
                ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
            end
        end
    end
    if sss == 7
        sss = 0;
    end
end
HDH(xxx,zz,ww,yy,xx) = ss/(2*(31*16+8*2*4));
end
end
end
end
end
end

[r,c,d,e,f] = size(HDH);
for p = 1:f
for t = 1:e
for k = 1:d
    for i = 1:r
        for j = 1:c
            if HDH(i,j,k,t,p) <= 0.005 || HDH(i,j,k,t,p)>=0.05
                HDH_N(i,j,k,t,p) = -123;
            else
                HDH_N(i,j,k,t,p) = HDH(i,j,k,t,p);
            end
        end
    end
end
end
end
end
end

```



```

        end
    end
end
end
end
[FCmax_m2, Tcomf_m2, Vinf_m2, Cm_m2, Um_m2] =
ndgrid(FCmax,Tcomf,Vinf,Cm2,Um);
FCmax_m2 = permute(FCmax_m2,[2,1,3,4,5]);
Tcomf_m2 = permute(Tcomf_m2,[2,1,3,4,5]);
Vinf_m2 = permute(Vinf_m2,[2,1,3,4,5]);
Um_m2 = permute(Um_m2,[2,1,3,4,5]);
Cm_m2 = permute(Cm_m2,[2,1,3,4,5]);
xData = reshape(FCmax_m2,[numel(FCmax_m2),1]);
yData = reshape(Tcomf_m2,[numel(Tcomf_m2),1]);
pData = reshape(Vinf_m2,[numel(Vinf_m2),1]);
zData = reshape(Um_m2,[numel(Um_m2),1]);
tData = reshape(Cm_m2,[numel(Cm_m2),1]);
wData = reshape(HDH_N,[numel(HDH_N),1]);
wData_N = wData(find(wData~-123));
w1Data = reshape(En_diak_HA_monthly,[numel(En_diak_HA_monthly),1]);
w1Data_N = w1Data(find(wData~-123));
zData_N = zData(find(wData~-123));
xData_N = xData(find(wData~-123));
yData_N = yData(find(wData~-123));
tData_N = tData(find(wData~-123));
pData_N = pData(find(wData~-123));
xlswrite('6D_EN_July.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,w1Data_N])
xlswrite('6D_DISC_July.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,wData_N])

```

Π.12 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για το μήνα του Ιουλίου για την περιοχή της Κοζάνης

```
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This script calculates thermal discomfort and energy demand of
% July for Kozani

clear; clc; format long
close all
Af = 119.4; A1 = 58.8425; A2 = 60.58; Apar = 346.785; Aw = 45.6;
Awpapar = 4*0.5*0.8+2*0.3*0.8+2*0.25*0.8; Awpor = 45.6-Awpapar;
Asalot = (17.4*4+7*4)/(2*Af);
FCmax = -[1000:500:30000]; Tcomf = 25:1:27; FHmax = 20000;
Fshob = 1; Fgl = 1; asc = 0.6; ggl = 0.68;
Ror = 0.04; Radap = 0.17; Raop = 0.04;
Am2 = [2.5,2.5,2.5,3,3.5]*2*Af;
Cm2 = [80000,110000,165000,260000,370000]*2*Af;
Vinf = [50,200,400,700];
Ta = xlsread('Kozani.xlsx','E4346:E5089');
Ta = reshape(Ta,[24,31]);
Isol_N = xlsread('Kozani.xlsx','I4346:I5089');
Isol_N = reshape(Isol_N,[24,31]);
Isol_B = xlsread('Kozani.xlsx','L4346:L5089');
Isol_B = reshape(Isol_B,[24,31]);
Isol_A = xlsread('Kozani.xlsx','J4346:J5089');
Isol_A = reshape(Isol_A,[24,31]);
Isol_D = xlsread('Kozani.xlsx','K4346:K5089');
Isol_D = reshape(Isol_D,[24,31]);
Isol_R = xlsread('Kozani.xlsx','F4346:F5089');
Isol_R = reshape(Isol_R,[24,31]);
for xx = 1:40
Uoppar = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1); Uw = 2+(6-2)*rand(1); Uf1 = Uoppar;
Uf2 = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1);
Um(xx) = (Uoppar*(Apar-Aw)+Uw*Aw+Uf1*Af+Uf2*Af)/(Apar+2*Af);
for yy = 1:length(Am2)
for ww = 1:length(Vinf)
for xxx = 1:length(Tcomf)
ss = 0;
for j = 1:31
ss = ss+1;
for i = 1:24
if ss ~= 6 && ss ~= 7
if (i >= 8 && i < 16)
TintH(i,j) = 0;
TintC(i,j) = 99;
else
TintH(i,j) = 0;
TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
end
else
if (i >= 8 && i < 16)
TintH(i,j) = 0;
TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
end
end
end
end
end
end
```

```

        else
            TintH(i,j) = 0;
            TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
        end
    end
end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
for zz = 1:length(FCmax)
[Tairac_diak_HA, FHCndac_diak_HA, FHCndun_diak_HA] =
LOADS_SCEN_31D(Af,Apar,Aw,Awpar,Awpor,Asalot,Uoppar,Uw,Uf1,Uf2,Ta,
Isol_N,Isol_B,Isol_A,Isol_D,Isol_R,TintH,TintC,FHmax(zz),FCmax,Fshob
,Fgl,asc,ggl,Uoppar,Uf1,Uf2,Ror,Radap,Raop,Cm2(yy),Am2(yy),Vinf(w))
;
En_diak_HA_monthly(xxx,zz,ww,yy,xx) =
sum(abs(trapz(1:24,FHCndac_diak_HA)*10^(-3)));
[r,c] = size(Tairac_diak_HA);
sss = 0; ss = 0;
for jjj = 1:c
    sss = sss + 1;
    for iii = 1:r
        if Tcomf(xxx)<=Tairac_diak_HA(iii,jjj)
            if sss ~= 6 && sss ~= 7
                if (iii <= 7 || iii >= 16)
                    ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
                end
            else
                ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
            end
        end
    end
    if sss == 7
        sss = 0;
    end
end
HDH(xxx,zz,ww,yy,xx) = ss/(2*(31*16+8*2*4));
end
end
end
end
end
end
end

[r,c,d,e,f] = size(HDH);
for p = 1:f
for t = 1:e
for k = 1:d
    for i = 1:r
        for j = 1:c
            if HDH(i,j,k,t,p) <= 0.005 || HDH(i,j,k,t,p)>=0.05
                HDH_N(i,j,k,t,p) = -123;
            else
                HDH_N(i,j,k,t,p) = HDH(i,j,k,t,p);
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
end

```

```

        end
    end
end
end
end
[FCmax_m2, Tcomf_m2, Vinf_m2, Cm_m2, Um_m2] =
ndgrid(FCmax,Tcomf,Vinf,Cm2,Um);
FCmax_m2 = permute(FCmax_m2,[2,1,3,4,5]);
Tcomf_m2 = permute(Tcomf_m2,[2,1,3,4,5]);
Vinf_m2 = permute(Vinf_m2,[2,1,3,4,5]);
Um_m2 = permute(Um_m2,[2,1,3,4,5]);
Cm_m2 = permute(Cm_m2,[2,1,3,4,5]);
xData = reshape(FCmax_m2,[numel(FCmax_m2),1]);
yData = reshape(Tcomf_m2,[numel(Tcomf_m2),1]);
pData = reshape(Vinf_m2,[numel(Vinf_m2),1]);
zData = reshape(Um_m2,[numel(Um_m2),1]);
tData = reshape(Cm_m2,[numel(Cm_m2),1]);
wData = reshape(HDH_N,[numel(HDH_N),1]);
wData_N = wData(find(wData~-123));
w1Data = reshape(En_diak_HA_monthly,[numel(En_diak_HA_monthly),1]);
w1Data_N = w1Data(find(wData~-123));
zData_N = zData(find(wData~-123));
xData_N = xData(find(wData~-123));
yData_N = yData(find(wData~-123));
tData_N = tData(find(wData~-123));
pData_N = pData(find(wData~-123));
xlswrite('6D_EN_July_koz.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,w1Data_N])
xlswrite('6D_DISC_July_koz.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,wData_N])

```

Π.13 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για την περίοδο ψύξης για την περιοχή της Αθήνας

```
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This script calculates thermal discomfort and energy demand of
% the entire cooling season (15 May - 15 September) of Athens

clear; clc; format long
close all
Af = 119.4; A1 = 58.8425; A2 = 60.58; Apar = 346.785; Aw = 45.6;
Awpar = 4*0.5*0.8+2*0.3*0.8+2*0.25*0.8; Awpor = 45.6-Awpar;
Asalot = (17.4*4+7*4)/(2*Af);
FCmax = -[1000:500:30000]; Tcomf = 25:1:27; FHmax = 20000;
Fshob = 1; Fgl = 1; asc = 0.6; ggl = 0.68;
Ror = 0.04; Radap = 0.17; Raop = 0.04;
Am2 = [2.5,2.5,2.5,3,3.5]*2*Af;
Cm2 = [80000,110000,165000,260000,370000]*2*Af;
Vinf = [50,200,400,700];
Ta = xlsread('Athens.xlsx','E3218:E6193');
Ta = reshape(Ta,[24,124]);
Isol_N = xlsread('Athens.xlsx','I3218:I6193');
Isol_N = reshape(Isol_N,[24,124]);
Isol_B = xlsread('Athens.xlsx','L3218:L6193');
Isol_B = reshape(Isol_B,[24,124]);
Isol_A = xlsread('Athens.xlsx','J3218:J6193');
Isol_A = reshape(Isol_A,[24,124]);
Isol_D = xlsread('Athens.xlsx','K3218:K6193');
Isol_D = reshape(Isol_D,[24,124]);
Isol_R = xlsread('Athens.xlsx','F3218:F6193');
Isol_R = reshape(Isol_R,[24,124]);
for xx = 1:40
Uoppar = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1); Uw = 2+(6-2)*rand(1); Uf1 = Uoppar;
Uf2 = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1);
Um(xx) = (Uoppar*(Apar-Aw)+Uw*Aw+Uf1*Af+Uf2*Af)/(Apar+2*Af);
for yy = 1:length(Am2)
for ww = 1:length(Vinf)
for xxx = 1:length(Tcomf)
ss = 0;
for j = 1:124
ss = ss+1;
for i = 1:24
if ss ~= 6 && ss ~= 7
if (i >= 8 && i < 16)
TintH(i,j) = 0;
TintC(i,j) = 99;
else
TintH(i,j) = 0;
TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
end
else
if (i >= 8 && i < 16)
TintH(i,j) = 0;
TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
```

```

        else
            TintH(i,j) = 0;
            TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
        end
    end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
for zz = 1:length(FCmax)
[Tairac_diak_HA, FHCndac_diak_HA, FHCndun_diak_HA] =
LOADS_SCEN_1SEAS_sum(Af,Apar,Aw,Awpar,Awp0r,Asalot,Uoppar,Uw,Uf1,Uf2
,Ta,Isol_N,Isol_B,Isol_A,Isol_D,Isol_R,TintH,TintC,FHmax(zz),FCmax,F
shob,Fgl,asc,ggl,Uoppar,Uf1,Uf2,Ror,Radap,Raop,Cm2(yy),Am2(yy),Vinf(
ww));
En_diak_HA_monthly(xxx,zz,ww,yy,xx) =
sum(abs(trapz(1:24,FHCndac_diak_HA)*10^(-3)));
[r,c] = size(Tairac_diak_HA);
sss = 0; ss = 0;
for jjj = 1:c
    sss = sss + 1;
    for iii = 1:r
        if Tcomf(xxx)<=Tairac_diak_HA(iii,jjj)
            if sss ~= 6 && sss ~= 7
                if (iii <= 7 || iii >= 16)
                    ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
                end
            else
                ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
            end
        end
    end
    if sss == 7
        sss = 0;
    end
end
HDH(xxx,zz,ww,yy,xx) = ss/(2*(166*16+8*2*23));
end
end
end
end
end
end

[r,c,d,e,f] = size(HDH);
for p = 1:f
for t = 1:e
for k = 1:d
    for i = 1:r
        for j = 1:c
            if HDH(i,j,k,t,p) <= 0.005 || HDH(i,j,k,t,p)>=0.05
                HDH_N(i,j,k,t,p) = -123;
            else
                HDH_N(i,j,k,t,p) = HDH(i,j,k,t,p);
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
end

```

```

        end
    end
end
end
end
[FCmax_m2, Tcomf_m2, Vinf_m2, Cm_m2, Um_m2] =
ndgrid(FCmax,Tcomf,Vinf,Cm2,Um);
FCmax_m2 = permute(FCmax_m2,[2,1,3,4,5]);
Tcomf_m2 = permute(Tcomf_m2,[2,1,3,4,5]);
Vinf_m2 = permute(Vinf_m2,[2,1,3,4,5]);
Um_m2 = permute(Um_m2,[2,1,3,4,5]);
Cm_m2 = permute(Cm_m2,[2,1,3,4,5]);
xData = reshape(FCmax_m2,[numel(FCmax_m2),1]);
yData = reshape(Tcomf_m2,[numel(Tcomf_m2),1]);
pData = reshape(Vinf_m2,[numel(Vinf_m2),1]);
zData = reshape(Um_m2,[numel(Um_m2),1]);
tData = reshape(Cm_m2,[numel(Cm_m2),1]);
wData = reshape(HDH_N,[numel(HDH_N),1]);
wData_N = wData(find(wData~-123));
w1Data = reshape(En_diak_HA_monthly,[numel(En_diak_HA_monthly),1]);
w1Data_N = w1Data(find(wData~-123));
zData_N = zData(find(wData~-123));
xData_N = xData(find(wData~-123));
yData_N = yData(find(wData~-123));
tData_N = tData(find(wData~-123));
pData_N = pData(find(wData~-123));
xlswrite('6D_EN_cooling_season.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,w1Data_N])
xlswrite('6D_DISC_cooling_Season.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,wData_N])

```

Π.14 Υπολογισμός θερμικής δυσφορίας και ενεργειακών φορτίων κτιρίου για την περίοδο ψύξης για την περιοχή της Κοζάνης

```

%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This script calculates thermal discomfort and energy demand of
% the entire cooling season (1 June - 31 August) of Kozani

clear; clc; format long
close all
Af = 119.4; A1 = 58.8425; A2 = 60.58; Apar = 346.785; Aw = 45.6;
Awpar = 4*0.5*0.8+2*0.3*0.8+2*0.25*0.8; Awpor = 45.6-Awpar;
Asalot = (17.4*4+7*4)/(2*Af);
FCmax = -[1000:500:30000]; Tcomf = 25:1:27; FHmax = 20000;
Fshob = 1; Fg1 = 1; asc = 0.6; ggl = 0.68;
Ror = 0.04; Radap = 0.17; Raop = 0.04;
Am2 = [2.5,2.5,2.5,3,3.5]*2*Af;
Cm2 = [80000,110000,165000,260000,370000]*2*Af;
Vinf = [50,200,400,700];
Ta = xlsread('Kozani.xlsx','E3643:E5850');
Ta = reshape(Ta,[24,92]);
Isol_N = xlsread('Kozani.xlsx','I3643:I5850');
Isol_N = reshape(Isol_N,[24,92]);
Isol_B = xlsread('Kozani.xlsx','L3643:L5850');
Isol_B = reshape(Isol_B,[24,92]);
Isol_A = xlsread('Kozani.xlsx','J3643:J5850');
Isol_A = reshape(Isol_A,[24,92]);
Isol_D = xlsread('Kozani s.xlsx','K3643:K5850');
Isol_D = reshape(Isol_D,[24,92]);
Isol_R = xlsread('Kozani.xlsx','F3643:F5850');
Isol_R = reshape(Isol_R,[24,92]);
for xx = 1:40
    Uoppar = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1); Uw = 2+(6-2)*rand(1); Uf1 = Uoppar;
    Uf2 = 0.3+(2.5-0.3)*rand(1);
    Um(xx) = (Uoppar*(Apar-Aw)+Uw*Aw+Uf1*Af+Uf2*Af)/(Apar+2*Af);
    for yy = 1:length(Am2)
        for ww = 1:length(Vinf)
            for xxx = 1:length(Tcomf)
                ss = 0;
                for j = 1:92
                    ss = ss+1;
                    for i = 1:24
                        if ss ~= 6 && ss ~= 7
                            if (i >= 8 && i < 16)
                                TintH(i,j) = 0;
                                TintC(i,j) = 99;
                            else
                                TintH(i,j) = 0;
                                TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
                            end
                        else
                            if (i >= 8 && i < 16)
                                TintH(i,j) = 0;
                                TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```



```

        else
            TintH(i,j) = 0;
            TintC(i,j) = Tcomf(xxx);
        end
    end
end
end
if ss == 7
    ss=0;
end
end
for zz = 1:length(FCmax)
[Tairac_diak_HA, FHCndac_diak_HA, FHCndun_diak_HA] =
LOADS_SCEN_1SEAS_sum(Af,Apar,Aw,Awpar,Awp0r,Asalot,Uoppar,Uw,Uf1,Uf2
,Ta,Isol_N,Isol_B,Isol_A,Isol_D,Isol_R,TintH,TintC,FHmax(zz),FCmax,F
shob,Fgl,asc,ggl,Uoppar,Uf1,Uf2,Ror,Radap,Raop,Cm2(yy),Am2(yy),Vinf(
ww));
En_diak_HA_monthly(xxx,zz,ww,yy,xx) =
sum(abs(trapz(1:24,FHCndac_diak_HA)*10^(-3)));
[r,c] = size(Tairac_diak_HA);
sss = 0; ss = 0;
for jjj = 1:c
    sss = sss + 1;
    for iii = 1:r
        if Tcomf(xxx)<=Tairac_diak_HA(iii,jjj)
            if sss ~= 6 && sss ~= 7
                if (iii <= 7 || iii >= 16)
                    ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
                end
            else
                ss = ss + abs(Tcomf(xxx) -
Tairac_diak_HA(iii,jjj));
            end
        end
    end
    if sss == 7
        sss = 0;
    end
end
HDH(xxx,zz,ww,yy,xx) = ss/(2*(92*16+8*2*13));
end
end
end
end
end
end

[r,c,d,e,f] = size(HDH);
for p = 1:f
for t = 1:e
for k = 1:d
    for i = 1:r
        for j = 1:c
            if HDH(i,j,k,t,p) <= 0.005 || HDH(i,j,k,t,p)>=0.05
                HDH_N(i,j,k,t,p) = -123;
            else
                HDH_N(i,j,k,t,p) = HDH(i,j,k,t,p);
            end
        end
    end
end
end
end
end
end

```

```

        end
    end
end
end
end
[FCmax_m2, Tcomf_m2, Vinf_m2, Cm_m2, Um_m2] =
ndgrid(FCmax,Tcomf,Vinf,Cm2,Um);
FCmax_m2 = permute(FCmax_m2,[2,1,3,4,5]);
Tcomf_m2 = permute(Tcomf_m2,[2,1,3,4,5]);
Vinf_m2 = permute(Vinf_m2,[2,1,3,4,5]);
Um_m2 = permute(Um_m2,[2,1,3,4,5]);
Cm_m2 = permute(Cm_m2,[2,1,3,4,5]);
xData = reshape(FCmax_m2,[numel(FCmax_m2),1]);
yData = reshape(Tcomf_m2,[numel(Tcomf_m2),1]);
pData = reshape(Vinf_m2,[numel(Vinf_m2),1]);
zData = reshape(Um_m2,[numel(Um_m2),1]);
tData = reshape(Cm_m2,[numel(Cm_m2),1]);
wData = reshape(HDH_N,[numel(HDH_N),1]);
wData_N = wData(find(wData~-123));
w1Data = reshape(En_diak_HA_monthly,[numel(En_diak_HA_monthly),1]);
w1Data_N = w1Data(find(wData~-123));
zData_N = zData(find(wData~-123));
xData_N = xData(find(wData~-123));
yData_N = yData(find(wData~-123));
tData_N = tData(find(wData~-123));
pData_N = pData(find(wData~-123));
xlswrite('6D_EN_cooling_season_koz.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,w1Data_N])
xlswrite('6D_DISC_cooling_Season_koz.xlsx',
[xData_N,yData_N,zData_N,tData_N,pData_N,wData_N])

```

Π.15 Αριθμητική επίλυση μοντέλων θερμικής δυσφορίας για τη διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης/ψύξης στην περιοχή της Αθήνας

```
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This scripts solves numerically thermal discomfort models in order
% to size the heating/cooling system in the area of Athens

clear; clc; format long
Disc_005 =@(F,T,U,cp,Vinf,DDH) - 0.9884E-005 * F + 0.13655E-001 * T
+ 0.3597E-001 * U + 0.1908E-009 * cp + 0.6326E-004 * Vinf - 0.1535E-
001 * log(F) + 0.4587E-001 * log(U) - 0.134168E-001 * log(cp) +
0.21521;

Disc_sum_005 =@(F,T,U,cp,Vinf,DDH) - 0.10716E-005 * F - 0.32363E-001
* T + 0.1716E-001 * U + 0.31816E-009 * cp + 0.25528E-004 * Vinf -
0.1189 * log(F) + 0.5340 * log(T) + 0.3371E-001 * log(U) - 0.5203E-
001 * log(cp) + 1.1112-DDH;

T = 20;
TT = 26;
U = 0.8:0.1:2.6;
cp = [80000,110000,165000,260000,370000]*2*119.4;
Vinf = [50,200,400,700];
HDH = 0.005:0.005:0.05;
    for j = 1:length(U)
        for k = 1:length(cp)
            for w = 1:length(Vinf)
                for x = 1:length(HDH)
                    FHMAX_FINAL_OPT(j,k,w,x) =
fzero(Disc_005, [8000,45000], [], T,U(j), cp(k), Vinf(w), HDH(x));
                    FHMAX_FINAL_OPT_sum(j,k,w,x) =
fzero(Disc_sum_005, [1000,35000], [], TT,U(j), cp(k), Vinf(w), HDH(x));
                end
            end
        end
    end

    end
    end
    end

[U_m,cp_m,Vinf_m,HDH_m] = ndgrid(U,cp,Vinf,HDH);
xData = reshape(U_m, [numel(U_m),1]);
yData = reshape(cp_m, [numel(U_m),1]);
zData = reshape(Vinf_m, [numel(U_m),1]);
wData = reshape(HDH_m, [numel(U_m),1]);
w2Data = reshape(FHMAX_FINAL_OPT, [numel(U_m),1]);
w3Data = reshape(FHMAX_FINAL_OPT_sum, [numel(U_m),1]);
xlswrite('FHMAX_OPT.xlsx', [xData,yData,zData,wData,w2Data])
xlswrite('FHMAX_OPT_sum.xlsx', [xData,yData,zData,wData,w3Data])
```

Π.16 Αριθμητική επίλυση μοντέλων θερμικής δυσφορίας για τη διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης/ψύξης στην περιοχή της Κοζάνης

```
%
% Author : Georgios Stergianakos
% Date   : 7 June 2021
% This scripts solves numerically thermal discomfort models in order
% to size the heating/cooling system in the area of kozani

clear; clc; format long
Disc_005 = @(F,T,U,cp,Vinf,DDH) - 0.50971E-005 * F + 0.84282E-002 *
T + 0.20881E-001 * U + 0.58193E-004 * Vinf - 0.38091E-001 * log(F) +
0.64923E-001 * log(U) - 0.16245E-001 * log(cp) + 0.58409-DDH;

Disc_sum_005 = @(F,T,U,cp,Vinf,DDH) - 0.15449E-005 * F - 0.83747E-
002 * T + 0.21165E-009 * cp + 0.17036E-004 * Vinf - 0.89482E-001 *
log(F) + 0.4937E-001 * log(U) - 0.46554E-001 * log(cp) + 1.91016-
DDH;

T = 20;
TT = 26;
U = 0.8:0.1:2.6;
cp = [80000,110000,165000,260000,370000]*2*119.4;
Vinf = [50,200,400,700];
HDH = 0.005:0.005:0.05;
    for j = 1:length(U)
        for k = 1:length(cp)
            for w = 1:length(Vinf)
                for x = 1:length(HDH)
                    FHMAX_FINAL_OPT(j,k,w,x) =
fzero(Disc_005, [8000,45000], [], T,U(j),cp(k),Vinf(w),HDH(x));
                    FHMAX_FINAL_OPT_sum(j,k,w,x) =
fzero(Disc_sum_005, [1000,35000], [], TT,U(j),cp(k),Vinf(w),HDH(x));
                end
            end
        end
    end

    end

[U_m,cp_m,Vinf_m,HDH_m] = ndgrid(U,cp,Vinf,HDH);
xData = reshape(U_m, [numel(U_m),1]);
yData = reshape(cp_m, [numel(U_m),1]);
zData = reshape(Vinf_m, [numel(U_m),1]);
wData = reshape(HDH_m, [numel(U_m),1]);
w2Data = reshape(FHMAX_FINAL_OPT, [numel(U_m),1]);
w3Data = reshape(FHMAX_FINAL_OPT_sum, [numel(U_m),1]);
xlswrite('FHMAX_OPT_koz.xlsx', [xData,yData,zData,wData,w2Data])
xlswrite('FHMAX_OPT_sum_koz.xlsx', [xData,yData,zData,wData,w3Data])
```