



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Καταγραφή ενεργειακής απόδοσης πλίνθινης κατοικίας με
λογισμικό δυναμικής προσομοίωσης και μετρήσεις

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αναστάσιος Π. Γκίκας
Αριθμός μητρώου: 46143781

Επιβλέπων : Καθηγητής: Δρ. Ι. Λεκάκης
Πανεπιστημιακός υπότροφος: Κ. Βασιλόπουλος.

Αθήνα, Ιούλιος 2020



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
SECTION OF ENERGY ENGINEERING

Energy efficiency analysis of a house constructed with earth
using a dynamic simulation software and measurements

THESIS

Anastasios.P Gkikas

ADVISOR: Professor: Dr I.Lekakis
University scholarship holder: K.Vasilopoulos

Athens, July 2020

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μοντελοποίηση νεόδμητης οικίας η οποία ανεγέρθηκε με τεχνική φυσικής δόμησης και ο υπολογισμός της ενεργειακής της συμπεριφοράς.

Η κατοικία βρίσκεται στον οικισμό Κάτω Ελάτη του νομού Τρικάλων και κατασκευάστηκε με ωμόπλινθους, οι οποίοι παρήχθησαν χειρωνακτικά επιτόπου. Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου αποτελείται από δομική ξυλεία, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των πολεοδομικών κανονισμών και του Ευρωκώδικα 5. Η τεχνική αυτή είναι αφενός οικολογική, έχει ελάχιστο ενεργειακό αποτύπωμα, καθώς χρησιμοποιήθηκαν ακατέργαστα υλικά τα οποία ήταν διαθέσιμα στον περιβάλλοντα χώρο της οικίας. Κατά αυτό τον τρόπο επιτρέπεται στην οικία να διαθέτει μια ικανοποιητική ενεργειακή συμπεριφορά, καθώς η ωμοπλινθοδομή εξασφαλίζει φυσική διαπνοή και σχετικά υψηλή θερμοχωρητικότητα. Η μελέτη αποτελεί συνεργασία του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και της μη κυβερνητικής οργάνωσης μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα, Μηχανικοί της Γης (ΜτΓ). Η οικία αποτελεί ιδιοκτησία του κυρίου Κωνσταντίνου Καταβούτα (Πολιτικός μηχανικός MSc) μέλους των μηχανικών της γης. Η στήριξη στην εκπόνηση της πτυχιακής ήταν διαρκής από τον κ. Καταβούτα ο οποίος παρείχε όλα τα κατασκευαστικά σχέδια της οικίας αλλά και λεπτομερή αναφορά για την τεχνολογία και τα υλικά κατασκευής.

Στο πλαίσιο λοιπόν της παρούσας πτυχιακής εργασίας, σχεδιάστηκε η κάτοψη της κατοικίας στο πρόγραμμα AutoCAD. Στη συνέχεια έγινε χρήση του λογισμικού OpenStudio. Όπου με κατάλληλη εισαγωγή δεδομένων όσον αφορά τα χρησιμοποιηθέντα υλικά, τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου, τις χρήσεις χώρων καθώς και κατάλληλα μετεωρολογικά δεδομένα. Κατέστη δυνατός ο υπολογισμός των απαιτήσεων σε ενέργεια για θέρμανση και ψύξη καθώς και της διακύμανσης της εσωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας κατά τη διάρκεια του έτους.



Abstract

The scope of this thesis is the computational calculation of the energy needs of a modern residence which was built using soil by applying natural construction techniques.

This residence is located at Kato Elati, Trikala and was built with soil bricks which were produced with manual labor on the spot. The load bearing structure of the building is composed of structural wood and is in accordance with the requirements of construction regulations and Eurocode 5. The techniques used in the construction of the building are, on the one hand, ecological, as there is minimal energy impact and gas emissions, and uses raw building materials available at the construction site, and on the other hand it allows for a unique energy behavior, as the soil brickwork ensures natural perspiration and excellent thermal insulation.

Therefore, in the context of this work we modelled the residence by using the AutoCAD software and then, with the help of OpenStudio, by choosing the proper materials, energy usage and appropriate meteorological data, we calculated the energy requirements for heating and cooling as well as the fluctuation of indoor temperature and humidity during the year.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράστασή της όλα αυτά τα χρόνια. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους κυρίους Δρ. Ι. Λεκάκη και Κ. Βασιλόπουλο για την καθοδήγηση, τις χρήσιμες υποδείξεις την πολύτιμη βοήθεια και την αμέριστη συμπαράσταση που μου προσέφεραν κατά την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας καθώς συνέβαλαν καταλυτικά στην διεκπεραίωση της. Επιπροσθέτως ευχαριστώ την μη κυβερνητική οργάνωση μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα Μηχανικοί της Γης (ΜτΓ) για την παροχή τεχνογνωσίας σε θέματα που σχετίζονταν με την ιδιαίτερη φύση της πτυχιακής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές, σύντομα συναδέλφους μα πάνω από όλα φίλους για όσα περάσαμε μαζί αυτά τα χρόνια.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	10
1.1	Το ζήτημα της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτηρίων.....	10
1.2	Δομή της Πτυχιακής	13
2	Ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίων.....	14
2.1	Γενικά.....	14
2.2	Το κέλυφος του κτιρίου	15
2.3	Εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον	16
2.4	Μεταφορά θερμότητας.....	18
2.5	Θερμικές ζώνες κτιρίου	22
2.6	Υαλοπίνακες	22
2.7	Σκίαση.....	23
2.8	Αερισμός.....	25
2.9	Στέγη κτιρίου	26
2.10	Τοιχοποιία από πλίνθους.....	27
2.11	Η οικία που μοντελοποιήθηκε	28
3	Δόμηση με χώμα.....	32
3.1	Εισαγωγή.....	32
3.2	Ωμοπλινθοδομή.....	32
3.3	Ζυμωτός πηλός (Cob)	33
3.4	Τεχνική ρευστής γης	34
3.5	Μπαγδατί ή Τσατμάς	35
3.6	Δόμηση με γαιόσακους.....	35
3.7	Τεχνική συμπιεστού χώματος	36
4	Τεχνικά χαρακτηριστικά ωμόπλινθων	37
4.1	Εισαγωγή.....	37
4.2	Η επίδραση των ανόργανων αδρανών υλικών πρόσθετων	37

4.3	Η επίδραση των οργανικών υλικών πρόσθετων	39
4.4	Θερμικές ιδιότητες των ωμόπλινθων	40
4.5	Μηχανική αντοχή των ωμόπλινθων.....	42
5	Κατασκευή κατοικίας από ωμόπλινθους	44
5.1	Εισαγωγή.....	44
5.2	Η διαδικασία παρασκευής των ωμόπλινθων.....	44
5.3	Ο φέρων οργανισμός και η θεμελίωση	45
5.4	Το στάδιο του κτισίματος του κτιρίου	45
5.5	Συμπεράσματα	46
6	Υπολογιστική Ανάλυση	48
6.1	Εισαγωγή.....	48
6.2	Το λογισμικό OpenStudio	48
6.3	Επιλογή μετεωρολογικών δεδομένων	49
6.4	Μοντελοποίηση κατοικίας.....	50
6.5	Καταγραφή πραγματικών δεδομένων κτίσματος.....	56
6.6	Θερμικό κέρδος χώρου	57
6.7	Αποτελέσματα.....	59
6.8	Σύγκριση πειραματικών και υπολογιστικών δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας για το μήνα Μάρτιο.....	64
6.9	Σύγκριση ωμοπλινθοδομής και οπτοπλινθοδομής ως υλικά τοιχοποιίας	66
7	Επίλογος.....	73
7.1	Συμπεράσματα εργασίας.....	73
7.2	Σημεία περαιτέρω μελέτης.....	74
	Βιβλιογραφία.....	76
	Παράρτημα Α – Φωτογραφίες και renders.....	80

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 1: Κατανάλωση ενέργειας νοικοκυριών στην Ευρώπη	12
Εικόνα 2: Το κέλυφος του κτιρίου.....	15
Εικόνα 3: Τρόποι μετάδοσης θερμότητας.....	18
Εικόνα 4: Μετάδοση θερμότητας σε δομικό στοιχείο	20
Εικόνα 5: Κατασκευή φυσικών συμπαγών πλίνθων.....	28
Εικόνα 6: Απεικόνιση οικισμού μέσω αεροφωτογραφίας	29
Εικόνα 7: Το κτίσμα κατά το στάδιο της κατασκευής.....	30
Εικόνα 8: Πίνακας διαφόρων πρόσθετων και ιδιοτήτων αυτών [39].	40
Εικόνα 9: Θερμική αγωγιμότητα δομικών υλικών και ωμόπλινθων	41
Εικόνα 10: Ειδική θερμοχωρητικότητα συναρτήσει ποσοστού ινών ρυζιού.....	41
Εικόνα 11: Μίγματα ωμόπλινθων και η θλιπτική τους αντοχή [41].....	42
Εικόνα 12: Μετεωρολογικά Δεδομένα στο πρόγραμμα	50
Εικόνα 13: Το κατασκευαστικό σχέδιο	51
Εικόνα 14: Ανοίγματα κτιρίου.....	51
Εικόνα 15: Η κάτοψη στο ενσωματωμένο υποπρόγραμμα floorspace js και το παραχθέν μοντέλο	52
Εικόνα 16: Φωτορεαλιστική απεικόνιση της οικίας.....	52
Εικόνα 17: Το κατασκευαστικό σετ του προγράμματος.....	53
Εικόνα 18: Τομή τοιχοποιίας εξωτερικής και εσωτερικής	54
Εικόνα 19: Το καταγραφικό που χρησιμοποιήθηκε.....	57
Εικόνα 20: Το χρονοδιάγραμμα χρήσης χώρων	59
Εικόνα 21: Θερμοκρασία ξηρής σφαίρας εσωτερικά (μπλε) και Θερμικής ζώνης (κίτρινη) ανά ώρα.....	60
Εικόνα 22: Σχετική υγρασία εξωτερικά (πορτοκαλί) και εσωτερικά (μπλε) ανά ώρα	60
Εικόνα 23: Ποσοστιαίο πρόγραμμα χρήσης θερμικών φορτίων στα αριστερά και ψυκτικών φορτίων στα δεξιά.....	62
Εικόνα 24: Εικονικός θερμοστάτης στη κλίμακα κελσίου με ακραίες τιμές 0-50 °C.....	62
Εικόνα 25: Κατανομή θερμοκρασίας θερμικής ζώνης με ωριαίο βήμα	63
Εικόνα 26: Κατανομή σχετικής υγρασίας θερμικής ζώνης με ωριαίο βήμα	63
Εικόνα 27: Κατανομή καταναλισκόμενης ισχύος ΘΨΚ με ωριαίο βήμα.....	63
Εικόνα 28: Σύγκριση μετρούμενης και υπολογιζόμενης σχετικής υγρασίας για το μήνα Μάρτιο.....	65
Εικόνα 29: Σύγκριση μετρούμενης και υπολογιζόμενης εσωτερικής θερμοκρασίας για το μήνα Μάρτιο	65
Εικόνα 30: Βορειοανατολική πλευρά κατοικίας με τοιχοποιία πλήρωσης από ωμοπλινθοδομή.....	67
Εικόνα 31: Βορειοανατολική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή.....	67
Εικόνα 32: Βορειοδυτική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από ωμοπλινθοδομή.....	68

Εικόνα 33: Βορειοδυτική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή.....	68
Εικόνα 34: Νοτιοανατολική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από ωμοπλινθοδομή.....	69
Εικόνα 35: Νοτιοανατολική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή.....	69
Εικόνα 36: Νοτιοδυτική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από ωμοπλινθοδομή.....	70
Εικόνα 37: Νοτιοδυτική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή.....	70
Εικόνα 38: Σύγκριση στατιστικών μεγεθών πραγματικής και υποθετικής οικίας.....	71
Εικόνα 39: Ποσοστιαία διαφορά θερμοκρασιών σε °C μεταξύ οπτοπλινθοδομής και ωμοπλινθοδομής βήμα λήψης μετρήσεων ανά ώρα.....	71
Εικόνα 40: Η κατοικία που μελετήσαμε στην Κάτω Ελάτη Τρικάλων.....	80
Εικόνα 41: Το παραχθέν μοντέλο σε πρόγραμμα μοντελοποίησης Sketch up.....	81
Εικόνα 42: Λεπτομέρεια της στέγης.....	81

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Δομικά στοιχεία και υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.....	53
Πίνακας 2: Υλικά και ιδιότητες αυτών για τους εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους.....	54
Πίνακας 3: Υλικά και ιδιότητες αυτών στέγης.....	55
Πίνακας 4: Υλικά και ιδιότητες του πατώματος του κτίσματος.....	55
Πίνακας 5: Υλικά και ιδιότητες υαλοπινάκων.....	56
Πίνακας 6: Υλικά και ιδιότητες θυρών.....	56
Πίνακας 7: Τεχνικές προδιαγραφές καταγραφικού.....	57
Πίνακας 8: Συνολικές τιμές διείσδυσης αέρα.....	58
Πίνακας 9: Μέσος όρος τιμών υγρασίας θερμοκρασίας ανά μηνά.....	60
Πίνακας 10: Υλικά και ιδιότητες εξωτερικής τοιχοποιίας.....	66

1

Εισαγωγή

1.1 Το ζήτημα της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτηρίων

Τα τελευταία χρόνια, με εφιαλτήριο την οικονομική κρίση η οποία έπληξε την χώρα μας, το ζήτημα της εξοικονόμησης ενέργειας και των εναλλακτικών μορφών θέρμανσης αποτελεί αντικείμενο συζήτησης και ενασχόλησης από την συντριπτική πλειοψηφία των συμπολιτών μας. Η αλήθεια είναι όμως ότι η Ελλάδα στο συγκεκριμένο πεδίο αποτελούσε, και συνεχίζει να αποτελεί, το μαύρο πρόβατο της Ευρώπης και η κρίση απλώς μας υπενθύμισε τον κομβικό ρόλο που έχει η ενεργειακή συμπεριφορά των κτηρίων που κατοικούμε στη ζωή μας, τόσο άμεσα για εμάς όσο και έμμεσα για το περιβάλλον και το κοινωνικό σύνολο.

Η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων αποτελεί μια «τέχνη» την οποία η ανθρωπότητα εκμεταλλεύεται εμπειρικά από αρχαιοτάτων χρόνων. Ακόμα και σήμερα, που διαθέτουμε υψηλή τεχνογνωσία και τεχνολογικά μέσα, αρκετά παλαιά κτίσματα αποτελούν υπόδειγμα βιοκλιματικού σχεδιασμού. Με τον όρο βιοκλιματικό σχεδιασμό αναφερόμαστε στον σχεδιασμό κτιρίων και χώρων προσαρμοσμένα στο τοπικό κλίμα μιας περιοχής, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια τα φυσικά φαινόμενα και το μικροκλίμα κάθε περιοχής με απώτερο σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης. Έτσι, οι αρχιτέκτονες της εποχής σχεδίαζαν τα κτίρια τους έχοντας υπόψη τους βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού αλλά και γνώσεις συμπεριφοράς των υλικών.

Με την μαζική μετεγκατάσταση των κατοίκων όμως στις πόλεις και την εντατική αστικοποίηση που ακολούθησε, η ανθρωπότητα μετατοπίστηκε από το σχεδιασμό αποδοτικών κτιρίων στον επιπόλαιο σχεδιασμό κτιρίων τα οποία θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν όσο το δυνατόν περισσότερα άτομα στη μικρότερη δυνατή επιφάνεια. Έτσι, για δεκαετίες δημιουργήθηκαν συστηματικά κτίρια που αδιαφορούσαν για κάθε αρχή σχεδιασμού εξοικονόμησης ενέργειας. Τα προβληματικά αυτά από άποψη ενεργειακής συμπεριφοράς κτίρια αποτελούν σήμερα μία βασική πηγή του ενεργειακού προβλήματος.

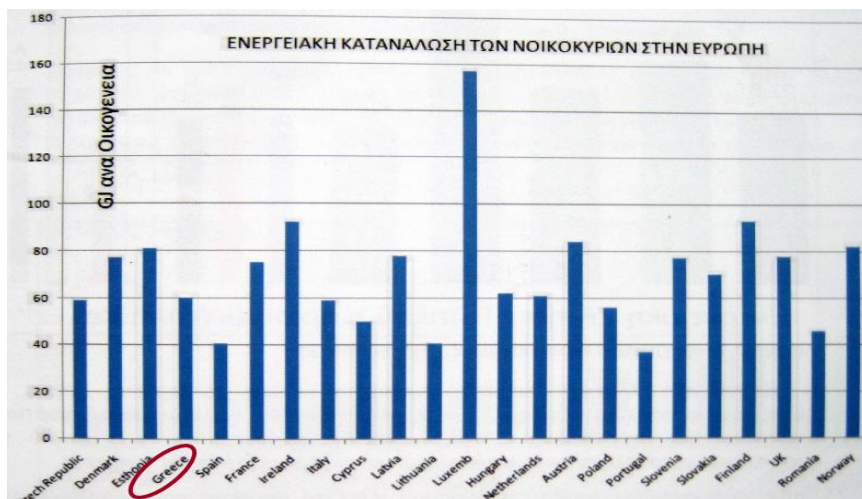
Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 αποτέλεσε ουσιαστικά τον πρώτο κώδωνα κινδύνου, με αποτέλεσμα την αναπροσαρμογή πολλών κρατών ως προς το σκέλος της εθνικής τους νομοθεσίας περί κατασκευής κτιρίων. Στην Ελλάδα, η ανάγκη αυτή μετουσιώθηκε στον «Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων» το 1979, ο οποίος αποτέλεσε το πρώτο βήμα.

Ακολούθησε η διεθνής προσπάθεια περιορισμού του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής και ο προσδιορισμός του στόχου από την Ευρωπαϊκή Ένωση για μείωση των εκπομπών ρύπων κατά 20% έως το 2020. Για το λόγο αυτό, εκδόθηκε η Κοινοτική Οδηγία 2002/91/EC για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Στόχος της οδηγίας είναι η βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων μέσα στην ΕΕ, με οικονομικά αποδοτικά μέτρα και η σύγκλιση των κτιριακών προτύπων προς αυτά των κρατών-μελών που έχουν ήδη υψηλά επίπεδα απαιτήσεων.

Η χώρα μας προσαρμόστηκε στην ως άνω Ευρωπαϊκή Οδηγία εκπρόθεσμα, μέσω του Νόμου 3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις». Την 9^η Απριλίου του 2010 εγκρίθηκε ο «Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων» (KENAK), κατ' εξουσιοδότηση του Νόμου 3661/2008, ο οποίος θεσμοθετεί έναν ολοκληρωμένο ενεργειακό σχεδιασμό στον κτιριακό τομέα με απώτερο σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος μέσω της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων και της εξοικονόμησης ενέργειας.

Παρ' όλα αυτά όμως, το πρόβλημα της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων συνεχίζει να υφίσταται. Οι δυνατότητες εξοικονόμησης είναι σημαντικές διότι τα κτίρια κατοικιών στην Ελλάδα αντιπροσωπεύουν το 73% των κτιρίων και εξ' αυτών μόνο το 5.1% έχουν μόνωση εξωτερικών τοίχων. Η αιτία για το γεγονός αυτό είναι ότι μόνο το 6.7% των κατοικιών κτίσθηκε μετά το 1981, οπότε και άρχισε να ισχύει ο Κανονισμός Θερμομόνωσης. Επιπροσθέτως, μόλις το 2.1% έχουν διπλούς υαλοπίνακες ενώ το 4.2% έχει μόνωση των σωληνώσεων στην εγκατάσταση θέρμανσης. (Α. Γαγλία «Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας – Υπολογιστικές μέθοδοι ενεργειακών επιθεωρήσεων στα κτίρια», ΤΕΕ & Περ. Τμ. ΒΑ. Αιγαίου).

Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα η Ελλάδα να προσομοιάζει σε ενεργειακές απαιτήσεις χώρες με ιδιαίτερο ψυχρό κλίμα όπως η Φινλανδία και η Δανία, χώρες με παρόμοιες ενεργειακές καταναλώσεις ανά νοικοκυριό (εικόνα 1). Παράλληλα, καταναλώνει σημαντικά περισσότερη ενέργεια από άλλες μεσογειακές χώρες όπως η Ισπανία και η Πορτογαλία, ενώ καταναλώνει συγκρίσιμα ποσά με χώρες όπως η Ιταλία και Ολλανδία που έχουν ψυχρότερο κλίμα (πηγή: Eurostat).



Εικόνα 1: Κατανάλωση ενέργειας νοικοκυριών στην Ευρώπη

Με βάση λοιπόν το ανωτέρω γράφημα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στην Ελλάδα υπάρχει αναλογικά μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση, που δεν δικαιολογείται από της κλιματολογικές συνθήκες ή την οικονομικής της δραστηριότητα.

Για την επίτευξη όμως του στόχου αυτού δεν αρκεί μόνο η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων μέσω κατάλληλου σχεδιασμού και χρήσης των αντίστοιχων υλικών. Σημαντικός παράγοντας αποτελεί τόσο η αποδοτικότητα των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε ένα κτίριο, η οποία επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ελλιπή συντήρηση, όσο και η συμπεριφορά των χρηστών του κτιρίου.

Εξάλλου, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που δαπανάται για τη θέρμανση των κτιρίων στην Ελλάδα προέρχεται από συμβατικές πηγές όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας. Επιπλέον, για την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται σε ένα κτίριο, το 50% του καυσίμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της είναι ο λιγνίτης. Η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων συνδέεται άμεσα με την αύξηση των ποσοστών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα την ατμοσφαιρική ρύπανση καθώς και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη ότι στόχος της κείμενης νομοθεσίας είναι η προστασία του περιβάλλοντος, αποτελεί άμεση προτεραιότητα η περαιτέρω διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα η αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας στα κτίρια. Με τον τρόπο αυτό θα μειωθεί ή και θα μηδενιστεί το ενεργειακό αποτύπωμα ενός κτιρίου, το οποίο και θα έπρεπε να αποτελεί το πραγματικό ζητούμενο, σε μια εποχή που οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται μια ώριμη τεχνολογία.

1.2 Δομή της Πτυχιακής

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι δομημένη σε **7** κεφάλαια. Ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των επιμέρους αυτών κεφαλαίων.

- **Κεφάλαιο 1:** Γενική εισαγωγή στο ζήτημα της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων και την σημασία της παρούσας εργασίας.
- **Κεφάλαιο 2:** Παρατίθενται οι βασικές έννοιες που αφορούν την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων και αναλύονται οι εξισώσεις που διέπουν τα φαινόμενα της μεταφοράς ενέργειας.
- **Κεφάλαιο 3:** Γίνεται μια παρουσίαση των τρόπων φυσικής δόμησης με τη χρήση χώματος, τα υπέρ και κατά της κάθε μεθόδου καθώς και τις ιδιαιτερότητες αυτών.
- **Κεφάλαιο 4:** Αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ωμόπλινθων, του βασικού υλικού του κτιρίου μας, ο τρόπος κατασκευής αυτών και η επίδρασή του στις βασικές τους ιδιότητες.
- **Κεφάλαιο 5:** Παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευής της κατοικίας που μελετάμε, τα βασικά στοιχεία και χαρακτηριστικά αυτής καθώς και κάποια σημαντικά συμπεράσματα.
- **Κεφάλαιο 6:** Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών στα πλαίσια της εργασίας αυτής και γίνεται μια αξιολόγηση αυτών.
- **Κεφάλαιο 7:** Έχουμε τη σύνοψη της εργασίας αυτής, τα βασικά συμπεράσματα και στοιχεία καθώς και προτάσεις για περαιτέρω μελέτη με βάση τα όσα προέκυψαν κατά την εκπόνηση της μελέτης μας.

Ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίων

2.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, ποικίλοι παράγοντες έχουν συμβάλει στην ευαισθητοποίηση των πολιτών σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας που οφείλεται στην χρήση του κτιρίου στο οποίο διαβιούν. Το γεγονός αυτό αποτελεί βήμα προς την σωστή κατεύθυνση διότι μεγάλο ποσοστό της ενέργειας καταναλώνεται στον τομέα των κατοικιών. Σύμφωνα με το Αμερικανικό υπουργείο ενέργειας [1] το 20% της συνολικής ενέργειας που καταναλίσκεται σε παγκόσμιο επίπεδο αφορά τα κτίρια. Επίσης, σύμφωνα με έρευνα [2] του υπουργείου ενέργειας και κλιματικής αλλαγής του Ηνωμένου Βασιλείου, το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 24% με 27% στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ομοίως, παρόμοια αποτελέσματα έχουν προκύψει από έρευνα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [3].

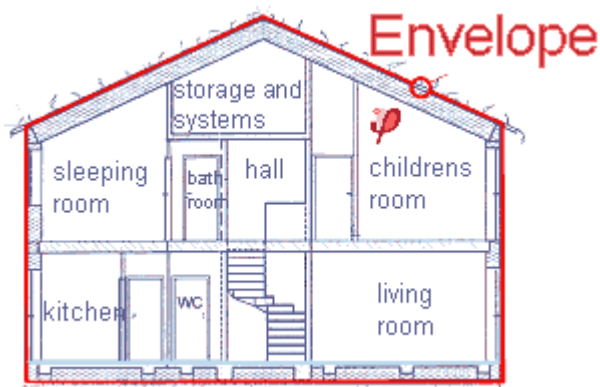
Η κατανάλωση ενέργειας αυτή σχετίζεται με διάφορους παράγοντες, όπως οι θερμό-φυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή, ο τρόπος και η μεθοδολογία κατασκευής του κτιρίου, η κλιματικές συνθήκες στην περιοχή κατασκευής, η απόδοση και η συντήρηση των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης καθώς και οι συνήθειες των διαμενόντων στην οικία [4].

Σημαντικό εργαλείο για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης κάθε κτιρίου και την επίδραση των προαναφερθέντων παραγόντων αποτελεί η διεξαγωγή προσομοιώσεων κατά τη φάση του σχεδιασμού του κτιρίου με κατάλληλα υπολογιστικά προγράμματα BEM (Building Energy Modeling). Στην αγορά υπάρχει πληθώρα τέτοιων εργαλείων που το καθένα παρέχει σημαντικές και ξεχωριστές δυνατότητες στο χρήστη του [5]. Παρ' όλα αυτά, έρευνες [6] έχουν δείξει ότι η πραγματική κατανάλωση ενέργειας μπορεί να διαφέρει σημαντικά από την αναμενόμενη. Η διαφορά αυτή μπορεί να είναι ακόμα και 3 φορές μεγαλύτερη από ότι η πραγματική και οφείλεται κατά κύριο λόγο σε κατασκευαστικές ατέλειες και αδυναμία τήρησης των προτύπων καθώς και η διαφορά στην συμπεριφορά των χρηστών του κτιρίου από αυτήν που

μοντελοποιήθηκε. Το γεγονός όμως αυτό δεν μειώνει την αξία των εργαλείων αυτών για την λήψη καίριων σχεδιαστικών αποφάσεων.

2.2 Το κέλυφος του κτιρίου

Βασικό στοιχείο της συμπεριφοράς, ενός κτιρίου από ενεργειακής άποψης είναι το περίβλημά του, το οποίο είναι γνωστό ως κτιριακό κέλυφος. Αποτελεί ουσιαστικά το διαχωριστικό όριο ανάμεσα στο εξωτερικό περιβάλλον και το εσωτερικό ενεργεί ως ένα θερμικό φράγμα, δηλαδή καθορίζει τη ροή ενέργειας και εν συνεχεία τις συνθήκες που επικρατούν εντός του κτιρίου [7].



Εικόνα 2: Το κέλυφος του κτιρίου

Τα δομικά μέρη του κτιρίου που συνθέτουν το κέλυφος είναι τα θεμέλια, το δάπεδο, η εξωτερική τοιχοποιία, οι πόρτες και τα παράθυρα και η οροφή. Καθοριστικοί παράγοντες που συνθέτουν την συμπεριφορά του κτιριακού κελύφους είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται, οι διαστάσεις των δομικών στοιχείων καθώς και ο τρόπος κατασκευής και σύνδεσης των επιμέρους στοιχείων [8].

Οι βασικές λειτουργίες που επιτελεί το κέλυφος είναι η μεταφορά των μηχανικών φορτίων που αναπτύσσονται, η κάλυψη των αναγκών των ανθρώπων τόσο από λειτουργικής όσο και αισθητικής άποψης αλλά και ο έλεγχος της ροής ενέργειας. Όσον αφορά το τελευταίο, σημαντικός είναι ο έλεγχος της μεταφερόμενης θερμότητας από και προς το περιβάλλον, η κυκλοφορία του αέρα και η προστασία από τα καιρικά φαινόμενα. Η μεταφερόμενη ενέργεια δια μέσω του κελύφους επηρεάζεται από τον προσανατολισμό του κτιρίου, τις συνθήκες εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος αλλά και τη θερμική συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων.

Βασικός στόχος κατά τον ενεργειακό σχεδιασμό ενός κτιρίου είναι η ελαχιστοποίηση της μεταφοράς θερμότητας δια μέσω του κελύφους του κτιρίου. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι ανάγκες σε ψύξη και θέρμανση του κτιρίου κατά τους θερινούς και χειμερινούς μήνες αντίστοιχα.

2.3 Εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον

Όπως αναφέρθηκε, σκοπός κάθε κτιρίου είναι να εξυπηρετεί τις ανάγκες των χρηστών του. Η συνθήκη αυτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και αποτελεί αντικείμενο εκτενούς ανάλυσης, ανάλογα με την κατηγορία του εκάστοτε κτιρίου. Όμως, είναι γενικά αποδεκτό ότι για κατοικίες υπάρχουν ορισμένοι δείκτες και συγκεκριμένα η θερμική, οπτική, ακουστική άνεση και η ποιότητα αέρα [9]. Οι τέσσερις αυτοί δείκτες καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το κέλυφος του κτιρίου αλλά και τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης που χρησιμοποιούνται. Στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας θα ασχοληθούμε με το δείκτη θερμικής άνεσης.

Η επίτευξη θερμικής άνεσης αποτελεί βασικό στόχο κάθε συστήματος θέρμανσης ή κλιματισμού. Όμως, η θερμική άνεση αποτελεί ένα αίσθημα και είναι υποκειμενικό σε μεγάλο βαθμό μέγεθος, διότι εξαρτάται από πολλαπλούς παράγοντες, όπως η ένδυση, ο μεταβολισμός του ατόμου, η ηλικία, το φύλλο, το βάρος, η ικανότητα προσαρμογής στις συνθήκες και η κατάσταση της υγείας του. Εξαρτάται όμως και από μετρήσιμες παραμέτρους, δηλαδή από τη θερμοκρασία αέρα, την θερμοκρασία επιφανειών, την ταχύτητα αέρα και σχετική υγρασία [10]. Οι παράγοντες αυτοί αποτελούν και το αντικείμενο της μελέτης μας.

Ο σημαντικότερος εκ των παραγόντων που αναφέρθηκαν είναι ίσως η θερμοκρασία του αέρα. Σίγουρα, λόγω της υποκειμενικότητας της θερμικής άνεσης, το επιθυμητό επίπεδο αυτής ποικίλει από άτομο σε άτομο. Κατά την ASHRAE, το 80% των ατόμων αισθάνεται θερμική άνεση για θερμοκρασία αέρα μεταξύ 21,5°C και 25°C [10]. Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας και εφόσον δεν συντρέχουν ειδικοί λόγοι, τα όρια αυτά καθορίζονται από τις ισχύουσες τεχνικές οδηγίες για κάθε εποχή. Η θερμοκρασία του αέρα εξαρτάται από τις εξωτερικές συνθήκες, τα υλικά κατασκευής, τον προσανατολισμό του κτιρίου, τις συσκευές που περιέχει, τον αερισμό και τα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού.

Ως σχετική υγρασία ορίζουμε το λόγο της περιεχόμενης υγρασίας του αέρα προς την υγρασία που θα είχε αυτός αν ήταν κορεσμένος, για ίδια θερμοκρασία και πίεση. Η σχετική υγρασία επιδρά σημαντικά στο αίσθημα θερμικής άνεσης αφού το ανθρώπινο σώμα ρυθμίζει τη θερμοκρασία του μέσω του μηχανισμού της εφίδρωσης, δηλαδή της αποβολής νερού και

εξάτμισής του στην επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος [11]. Συνεπώς, ο συνδυασμός υψηλής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας προκαλεί αίσθημα δυσφορίας στο άτομο.

Η θερμοκρασία των επιφανειών σχετίζεται με την μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία των εσωτερικών επιφανειών είναι δυνατό να διαφέρει, ενίοτε σημαντικά όπως για παράδειγμα αν έχουμε δομικό στοιχείο δίχως μόνωση, από την θερμοκρασία του αέρα. Έτσι λοιπόν, αφού ο άνθρωπος πραγματικά αισθάνεται έναν συνδυασμό της θερμοκρασίας αέρα και της θερμοκρασίας εσωτερικών επιφανειών, λόγω των αρχών μεταφοράς θερμότητας, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Η ταχύτητα του αέρα είναι ένα ακόμα σημαντικό μέγεθος. Όπως αναφέρθηκε, ο μηχανισμός της εφίδρωσης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην θερμορύθμιση του ανθρώπινου σώματος. Η ταχύτητα αέρα επιδρά στο ρυθμό εφίδρωσης, είτε θετικά είτε αρνητικά. Όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από αυτή του ανθρώπινου σώματος, τότε δημιουργεί αίσθημα δροσισμού. Αντίστοιχα, αν αυτή είναι μικρότερη, τότε προκαλεί αίσθηση ψύχους και δυσφορίας. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να παραμένει σε προκαθορισμένα όρια, εκτός και αν υπάρχει συγκεκριμένη ανάγκη.

Τέλος, κρίνεται σημαντικό να αναφερθούμε και στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Ο όρος αυτός αναφέρεται στη σχέση του αέρα με την υγεία και την άνεση των ατόμων και επηρεάζεται από αέρια που εκλύονται εντός του χώρου, ουσίες ή μικροοργανισμούς. Για παράδειγμα, η ποιότητα του αέρα υποβαθμίζεται από το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο εκπέμπεται φυσικά από τους χρήστες του χώρου με την εκπνοή. Για το λόγο αυτό υπάρχει πρόβλεψη για ανανέωση του αέρα ενός χώρου.

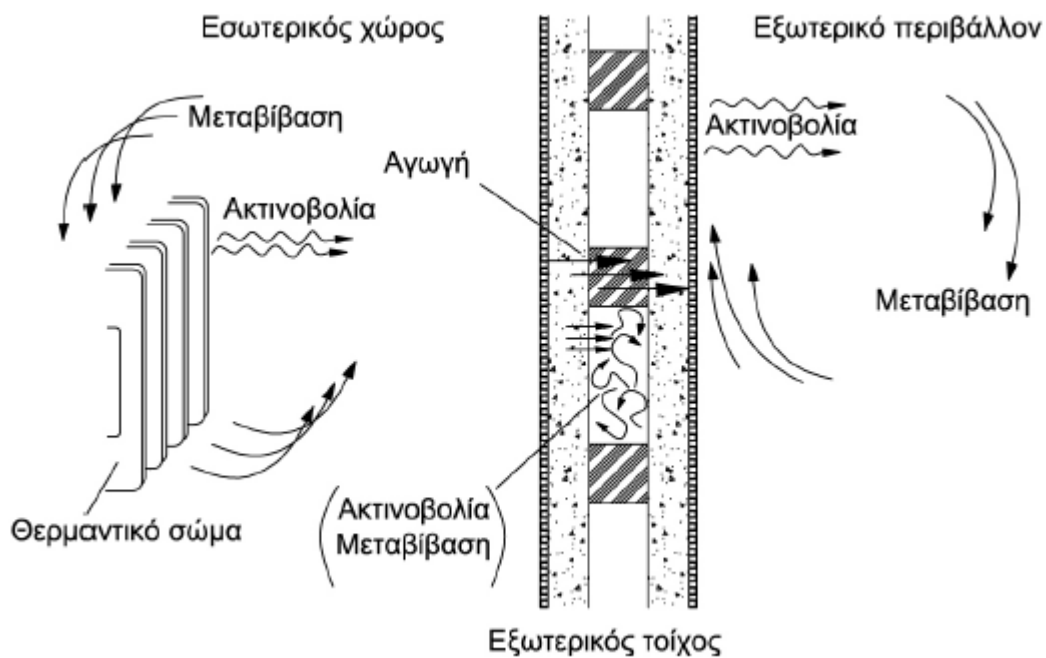
Το εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το εξωτερικό του περιβάλλον. Με τον όρο εξωτερικό περιβάλλον αναφερόμαστε στις συνθήκες που επικρατούν εκτός του κελύφους του κτιρίου. Ο σημαντικότερος λοιπόν παράγοντας που καθορίζει τις συνθήκες αυτές είναι το κλίμα του τόπου και κατ' επέκταση η θέση που είναι κατασκευασμένο το κτίριο.

Κλίμα ονομάζεται το σύνολο των μέσων συνθηκών που επικρατούν σε μια περιοχή και προκύπτει από παρατηρήσεις σε βάθος χρόνου μετεωρολογικών δεδομένων. Από τις συνθήκες αυτές, οι πιο σημαντικές παράμετροι είναι η θερμοκρασία του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία, η κατεύθυνση και ένταση του ανέμου καθώς και η σχετική υγρασία που επικρατεί.

Το κλίμα λοιπόν αποτελεί ουσιαστικά τον καθοριστικό παράγοντα των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου. Για το λόγο αυτό, σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ, για την ενεργειακή μελέτη κτιρίων η Ελλάδα χωρίζεται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες και κάθε νομός κατατάσσεται σε μια εξ' αυτών των ζωνών. Ανάλογα με τη ζώνη στην οποία κατασκευάζεται ένα κτίριο, τότε προκύπτουν και κατασκευαστικοί παράμετροι για το κτίριο αυτό. Συγκεκριμένα, από τον κανονισμό καθορίζεται ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για κάθε δομικό στοιχείο του κτιρίου καθώς και ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας για όλο το κτίριο.

2.4 Μεταφορά θερμότητας

Με τον όρο θερμότητα αναφερόμαστε στην θερμική ενέργεια που μεταδίδεται από ένα σώμα σε ένα άλλο, όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τους. Η ροή αυτή ενέργειας είναι από το θερμό προς το ψυχρότερο σώμα. Η θερμότητα μεταδίδεται με τρεις τρόπους στο χώρο: αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία [12].



Εικόνα 3: Τρόποι μετάδοσης θερμότητας

Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή αφορά την από μόριο σε μόριο μεταφορά θερμότητας. Τα μόρια (ή άτομα) των υλικών χαρακτηρίζονται από την εσωτερική τους ενέργεια, η οποία είναι

συνάρτηση της θερμοκρασίας τους, και λόγω της ενέργειας αυτής εκτελούν κίνηση στο χώρο, είτε άτακτη όπως στα αέρια και υγρά είτε με τη μορφή δονήσεων – ταλαντώσεων στα στερεά. Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή στα στερεά σώματα είναι κατά κανόνα ευκολότερη αφού τα μόρια τους βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, στα μέταλλα η θερμική ενέργεια μεταδίδεται αναμεσά στα μικρά σωματίδια μέσω διάχυσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Στα υγρά και αέρια έχουμε μεταφορά θερμότητας μέσω των κρούσεων που συμβαίνουν αλλά και διάχυσης. Στα κτίρια έχουμε κατά βάση απώλειες μέσω αγωγής τους χειμερινούς μήνες και συγκεκριμένα από αγωγή στα στοιχεία τοιχοποιίας, στους υαλοπίνακες και την οροφή. Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή διέπεται από τον νόμο του Fourier.

$$\dot{q} = -\lambda \nabla T \quad (1)$$

Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή ονομάζεται η μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων μέσω της κίνησης ενός ρευστού ή υγρού. Στην μελέτη των κτιρίων ο τρόπος αυτός εμφανίζεται στα δομικά στοιχεία είτε με τη φυσική κυκλοφορία του αέρα είτε με τον άνεμο που πνέει. Ένα άλλο παράδειγμα αποτελούν τα θερμαντικά σώματα, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό θερμότητας μεταφέρεται με συναγωγή. Η διαφορική εξίσωση του νόμου συναγωγής είναι:

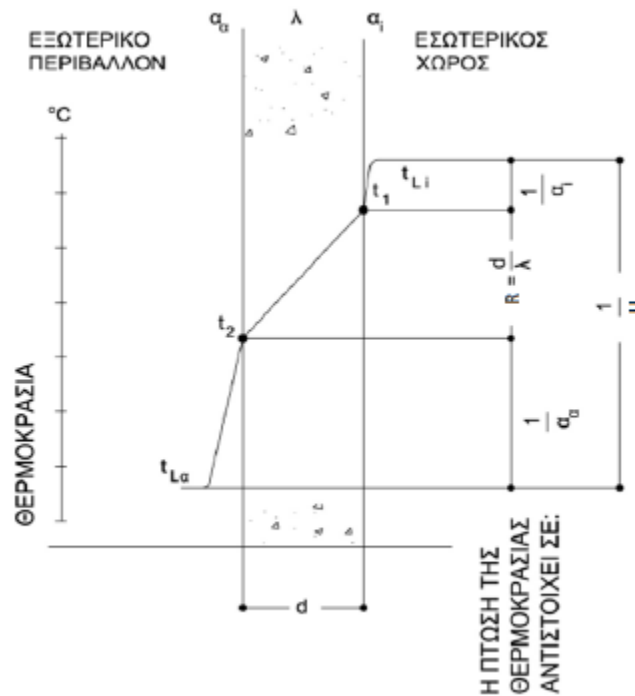
$$\dot{q} = h * A * \Delta T \quad (2)$$

Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία ονομάζεται η μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων τα οποία απέχουν μεταξύ τους μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Όλα τα σώματα με θερμοκρασία μεγαλύτερη του μηδενός ακτινοβολούν. Ο τρόπος αυτός είναι σημαντικός για τις επιφάνειες κτιρίων, όπως για παράδειγμα δομικά στοιχεία τα οποία δεν φέρουν θερμομόνωση, καθώς και για θερμαντικές επιφάνειες.

Χαρακτηριστικό κάθε υλικού αποτελεί ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ , ο οποίος καθορίζει την θερμική ροή δια αγωγής, όπως αυτή διατυπώθηκε από τον νόμο του Fourier. Ο συντελεστής αυτός μας προσδιορίζει την ποσότητα θερμότητας που ρέει μέσα από ένα υλικό για δεδομένο χρόνο, πάχος και επιφάνεια. Έτσι λοιπόν, διαστατικά ορίζεται ως η θερμότητα σε W(watt) που ρέει σε 1 ώρα μέσα από ένα στρώμα υλικού επιφανείας 1 m^2 και πάχους 1 m για διαφορά θερμοκρασίας 1 K . Συνεπώς, ο συντελεστής αυτός έχει (στο σύστημα SI) μονάδες W/mK

[13]. Όπως αναφέρθηκε, ο συντελεστής αυτός είναι χαρακτηριστικός για κάθε υλικό και εξαρτάται από τη φύση του υλικού, την περιεχόμενη του υγρασία, την πυκνότητά του καθώς και από την θερμοκρασία. Τυπικές τιμές για δομικά υλικά είναι από 0,1 έως 2,7 W/mK ενώ για θερμομονωτικά υλικά από 0,02 έως 0,1 W/mK.

Πολλές φορές σε κατασκευαστικά στοιχεία δίδεται, έναντι του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ο συντελεστής θερμοπερατότητας U . Ο συντελεστής αυτός προκύπτει από συνδυασμό των φαινομένων αγωγής και συναγωγής που υφίσταται ένα δομικό στοιχείο. Συγκεκριμένα, για ένα απλό δομικό στοιχείο, στις δύο διεπιφάνειες αέρα-στοιχείου έχουμε συναγωγή με συντελεστές θερμικής μετάβασης α_i και α_a αντίστοιχα, ενώ δια μέσω του στοιχείου έχουμε αγωγή με συντελεστή αγωγής λ και πάχος υλικού d . Επεξηγηματικά, τα ανωτέρω προκύπτουν στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4: Μετάδοση θερμότητας σε δομικό στοιχείο

Έτσι, προκύπτουν οι σχέσεις:

$$Q_1 = \alpha_i * A * (T_{Li} - T_1) \quad (3)$$

$$Q_2 = \frac{\lambda}{d} * A * (T_1 - T_2) \quad (4)$$

$$Q_3 = a_\alpha * A * (T_2 - T_{La}) \quad (5)$$

Με βάση την αρχή διατήρησης ενέργειας θα πρέπει:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q = U * A * (T_{Li} - T_{La}) \quad (6)$$

Συνεπώς ισχύει:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{a_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{a_\alpha} \quad (7)$$

Με παρόμοιο τρόπο ορίζεται και ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας σύνθετων δομικών στοιχείων, για παράδειγμα ενός διπλού δομικού τοίχου με θερμομόνωση και επίχρισμα. Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας ενός δομικού στοιχείου είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος, καθώς μας φανερώνει την ενεργειακή συμπεριφορά του. Είναι χαρακτηριστικό μέγεθος το οποίο καθορίζεται και από την κείμενη νομοθεσία, όσον αφορά τα όρια του, για κάθε κλιματική ζώνη, όπως αναφέραμε.

Τέλος, ένα ακόμα χαρακτηριστικό και πολύ σημαντικό μέγεθος ενός υλικού είναι η θερμοχωρητικότητά του. Ως θερμοχωρητικότητα αναφέρεται η ικανότητα ενός υλικού να αποθηκεύει ενέργεια στη μάζα του και να την αποδίδει με χρονική διαφορά [14]. Η ειδική θερμοχωρητικότητα ενός υλικού c είναι χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε υλικού και εκφράζει την ποσότητα θερμότητας που χρειάζεται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία ανά μονάδα μάζας του υλικού κατά 1 K. Στο σύστημα SI έχει μονάδες J/kgK. Είναι συνεπώς προφανές ότι η θερμοχωρητικότητα ενός υλικού είναι η μάζα του πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή ειδικής θερμοχωρητικότητας.

Η θερμοχωρητικότητα είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος λόγω της περιοδικότητας που εμφανίζει η θερμοκρασία ενός δομικού στοιχείου, λόγω της περιοδικής μεταβολής της εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της προσπίπτουσας σε αυτό ακτινοβολίας. Εξαιτίας της θερμοχωρητικότητας, έχουμε την αποθήκευση της θερμότητας στα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Στόχος αποτελεί η αποθηκευμένη αυτή θερμότητα να αποδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου, όταν η θερμοκρασία του χώρου βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτή της μάζας των δομικών στοιχείων. Έτσι, όταν έχουμε αυξημένη θερμοχωρητικότητα, ο ρυθμός θέρμανσης και ψύξης ενός

κτιρίου είναι μικρός. Όμως, η θερμοχωρητικότητα αυτή εξισορροπεί τις απότομες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Καθοριστικό μέγεθος για τη συμπεριφορά λοιπόν του δομικού στοιχείου είναι η θερμική του αδράνεια, που σχετίζεται με θερμοχωρητικότητά του και τη θερμική του αγωγιμότητα. Το φαινόμενο αυτό έχει σημαντικές πρακτικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η χρήση ειδικών υλικών αλλαγής φάσης (PCM), τα οποία δρουν ως θερμοσυσσωρευτές το χειμώνα αποθηκεύοντας την θερμότητα του ήλιου την ημέρα και αποδίδοντάς την στο εσωτερικό τη νύκτα [15].

2.5 Θερμικές ζώνες κτιρίου

Για την εκτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου, εισάγεται η έννοια των θερμικών ζωνών. Ως θερμική ζώνη ορίζεται ένας χώρος ή σύνολο χώρων τα οποία έχουν παρόμοια χρήση και επίπεδο χρήσης καθώς και ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Κατά κανόνα, η συνήθης προσέγγιση είναι ένα κτίριο να αντιμετωπίζεται ως μία ενιαία θερμική ζώνη, εκτός και αν οι ανάγκες επιτάσσουν διαφορετικά.

Σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ και το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009, διαχωρισμός των θερμικών ζωνών επιβάλλεται όταν: Υπάρχουν χώροι με διαφορετική χρήση, η μεταξύ τους θερμοκρασιακή διαφορά είναι μεγαλύτερη των 4 βαθμών, υπάρχουν ανεξάρτητα συστήματα ψύξης/θέρμανσης ανά χώρο, υπάρχουν χώροι με σημαντικά διαφορετική ενεργειακή συμπεριφορά με άλλα μέρη του κτιρίου καθώς και όταν το σύστημα αερισμού καλύπτει λιγότερο από το 80% της επιφάνειας κάτοψης του χώρου.

2.6 Υαλοπίνακες

Με βάση τα όσα διατυπώθηκαν ανωτέρω, μπορούμε να κρίνουμε την ενεργειακή συμπεριφορά των αδιαφανών στοιχείων του κτιρίου, όπως οι τοίχοι και οι οροφές, με σχετική άνεση. Όμως, ένα κτιριακό κέλυφος αποτελείται και από διαφανή στοιχεία, όπως κατά βάση οι υαλοπίνακες, των οποίων η συμπεριφορά κρίνεται και από επιπλέον παραμέτρους, τις οποίες κρίνεται σκόπιμο να αναλύσουμε.

Κατ' αντιστοιχία με τους τοίχους που παρουσιάζουν κατά βάση τη μεγαλύτερη θερμική αντίσταση συνήθως, οι υαλοπίνακες παρουσιάζουν την μικρότερη και συνεπώς πρέπει να μελετώνται μετά προσοχής. Έκτος όμως του στοιχείου αυτού, οι υαλοπίνακες επιτρέπουν την είσοδο ηλιακών φορτίων υπό τη μορφή ηλιακής ακτινοβολίας, τα οποία πέρα από τη συσχέτισή

τους με τον φωτισμό του κτιρίου, είναι υπεύθυνα για την δημιουργία ενός από τα σημαντικότερα θερμικά φορτία κατά τους θερινούς μήνες. Επίσης, ενώ η μόνωση ενός κτιρίου δυσκολεύει την είσοδο της θερμικής ενέργειας κατά τους χειμερινούς μήνες, ένας υαλοπίνακας επιτρέπει την είσοδό της, αποτέλεσμα επιθυμητό και χρήσιμο, αφού μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη θέρμανση του χώρου, ιδίως σε συνδυασμό με τη θερμοχωρητικότητα.

Είναι λοιπόν φανερό ότι η μελέτη της συμπεριφοράς των υαλοπινάκων παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον ακόμα και από αυτή της θερμικής συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων και της μόνωσης αυτών. Επίσης, αποτελούν στοιχεία αλληλένδετα, αφού σε περίπτωση που ο μηχανικός αποφασίσει να αυξήσει τα ανοίγματα σε έναν τοίχο, τότε θα πρέπει να αυξήσει κατάλληλα και το πάχος του μονωτικού υλικού, προκειμένου να αντισταθμίσει το σύνολο των απωλειών και να βρίσκεται εντός των ορίων της κείμενης νομοθεσίας.

Ο προσανατολισμός των υαλοπινάκων επιδρά σημαντικά στην ενεργειακή συμπεριφορά. Γενικά, προτιμώνται τα μεγάλα νότια ανοίγματα, τα μέτρια ανατολικά και δυτικά και κατά το δυνατόν μικρά ανοίγματα στο βορρά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ανοίγματα νοτίου προσανατολισμού δέχονται μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία κατά τους χειμερινούς μήνες και έτσι προκύπτει ηλιακό θερμικό κέρδος. Αντίθετα, τα βορεινά ανοίγματα δέχονται διάχυτη ακτινοβολία και όχι άμεση, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν ελάχιστα ηλιακά κέρδη το χειμώνα. Έτσι λοιπόν προκύπτει ότι σε περίπτωση υαλοπινάκων βορείου προσανατολισμού, το επιθυμητό είναι να παρουσιάζουν ήτοι δυνατό χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας, ιδιαίτερος δε σε ψυχρά κλίματα [16].

Η αξία των υαλοπινάκων κατά τους χειμερινούς μήνες έχει μελετηθεί εκτενώς. Χαρακτηριστικά, αποτελέσματα μελέτης [17] απέδειξαν ότι υπάρχει οριακή τιμή κάλυψης του κελύφους από υαλοπίνακες πέραν της οποίας η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες είναι ανεξάρτητη του πάχους της μόνωσης του κτιρίου, ενώ σε περίπτωση μικρότερης κάλυψης από την τιμή αυτή η επίδραση της μόνωσης του κτιρίου είναι αρνητική, αφού μειώνει την δια αγωγής θερμική ροή.

2.7 Σκίαση

Ένας διαδεδομένος τρόπος μείωσης του θερμικού κέρδους ενός κτιρίου είναι η σκίασή του. Ο τρόπος αυτός είναι γνωστός από αρχαίων χρόνων και αποσκοπεί στη μείωση της

προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια με τη χρήση φυσικών, όπως είναι η βλάστηση, ή τεχνητών κατασκευών. Η σκίαση των διαφανών αλλά και αδιαφανών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου είναι σημαντικό να επιτυγχάνεται κατά τους θερινούς μήνες, όμως το αντίθετο ισχύει για τους χειμερινούς μήνες, όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι επιθυμητή. Η σκίαση είναι σημαντική τόσο για την θερμική όσο και οπτική άνεση των χρηστών του κτιρίου [18].

Κατά κύριο λόγο, η σκίαση λοιπόν αφορά τα ανοίγματα ενός κτιρίου, αφού αυτά αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή θερμότητας κατά τους θερινούς μήνες. Ο βαθμός και τρόπος σκίασης εξαρτώνται τόσο από τον τύπο του ανοίγματος, τον προσανατολισμό, τη θέση του ήλιου αλλά και την τοποθεσία. Η σκίαση επιτυγχάνεται με τη χρήση σκιάστρων και βλάστησης, είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά, ενώ τα σκίαστρα μπορούν να είναι κινητά ή σταθερά. Επίσης, ως σκίαστρα μπορούν να λειτουργήσουν παρακείμενα κτίρια ή κατασκευές. Ο πιο διαδεδομένος τύπος εσωτερικού σκιάστρου είναι οι κουρτίνες, ενώ εξωτερικού οι τέντες και τα πατζούρια.

Η εξωτερική σκίαση αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό τρόπο μείωσης του θερμικού ηλιακού κέρδους, αφού αποκόπτει την ηλιακή ακτινοβολία πριν αυτή φθάσει στον υαλοπίνακα. Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι πολλές φορές ένα σκίαστρο αποκόπτει μόνο την άμεση και όχι τη διάχυτη ακτινοβολία, όμως ακόμα και σε αυτή την περίπτωση η μείωση μπορεί να ξεπερνά το 80%.

Τα εσωτερικά σκίαστρα είναι λιγότερο αποτελεσματικά αφού η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στο χώρο και σταματά στο σκίαστρο, με αποτέλεσμα ένα μέρος αυτής να ανακλάται προς το εξωτερικό περιβάλλον και το υπόλοιπο να απορροφάται από το σκίαστρο και να το θερμαίνει. Δεδομένου ότι είναι αδύνατο να επιτευχθεί 100% ανάκλαση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, η αποτελεσματικότητά τους είναι περιορισμένη. Για το λόγο αυτό τα εσωτερικά σκίαστρα πρέπει να είναι ανοιχτού χρώματος.

Τα κινητά σκίαστρα διαθέτουν πλεονεκτήματα συγκριτικά με τα σταθερά σκίαστρα, αφού μπορούν να ρυθμιστούν ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες και ανάγκες του χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι τους χειμερινούς μήνες επιτρέπουν αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία, συγκριτικά με τα σταθερά σκίαστρα που δεν επιτρέπουν μεταβολές.

Τέλος, σημαντική περίπτωση αποτελεί η βλάστηση. Κατά κύριο λόγο, όταν αυτή επιλέγεται για σκίαση, είναι επιθυμητή η χρήση φυλλοβόλων δένδρων. Τα δένδρα αυτά παρέχουν ηλιοπροστασία από την άνοιξη έως το φθινόπωρο, ενώ το χειμώνα δεν εμποδίζουν την ηλιακή

ακτινοβολία. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της βλάστησης ως σκίαση είναι η προστασία του κτιρίου από ανέμους με αποτέλεσμα την θερμική του προστασία.

2.8 Αερισμός

Ο αερισμός του κτιρίου αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική παράμετρο για την άνεση των χρηστών του κτιρίου αλλά και για τις ενεργειακές του ανάγκες. Γενικά, ο αερισμός περιλαμβάνει τρεις περιπτώσεις. Πρώτον, τον φυσικό αερισμό, τον μηχανικό αερισμό και τον αερισμό λόγω μη αεροστεγανότητας του κτιρίου με διείσδυση αέρα από χαραμάδες, κουφώματα κτλ. Ο φυσικός και ο μηχανικός αερισμός πραγματοποιούνται σε διακριτές χρονικές στιγμές και με ελεγχόμενο τρόπο, εν αντιθέσει με τον αερισμό λόγω αεροστεγανότητας που είναι συνεχούς φύσης. Ο αερισμός έχει σημαντική επίπτωση στις ανάγκες θέρμανσης του κτιρίου τους χειμερινούς μήνες και ψύξης αυτού κατά τους θερινούς [19].

Ο αερισμός λόγω μη επαρκούς αεροστεγανότητας του κτιρίου οφείλεται σε διείσδυση του αέρα στο κτίριο από χαραμάδες στις συναρμογές των κουφωμάτων και θυρών του κελύφους του κτιρίου, από τους αρμούς των δομικών επιφανειών του κτιρίου καθώς και από διάφορα ανοίγματα όπως η καμινάδες των τζακιών.

Για τον υπολογισμό του αερισμού από την διείσδυση αέρα χρειάζεται να υπολογίσουμε το μήκος των χαραμάδων και την ποιότητα αυτών. Γενικά, ισχύει η σχέση:

$$V_{in} = (\sum[l * a]) * R * H \quad (8)$$

Όπου l το συνολικό μήκος του εκάστοτε ανοίγματος, a ο συντελεστής διείσδυσης το αέρα από της χαραμάδες του ανοίγματος (σε m^3/hm) που σχετίζεται με την ποιότητα του ανοίγματος, R ο συντελεστής διεισδυτικότητας και H ο συντελεστής θέσης του ανοίγματος. Οι συντελεστές a , R , H προκύπτουν συνήθως από πίνακες από την βιβλιογραφία ή από πειραματικές μετρήσεις.

Ο φυσικός αερισμός πραγματοποιείται με την εισαγωγή νωπού αέρα περιβάλλοντος, προκειμένου η ατμόσφαιρα του εσωτερικού χώρου να διατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα από άποψης ποιότητας και σχετίζεται με την υγιεινή και άνεση ενός χώρου. Έχει εφαρμογή κατά βάση στις κατοικίες, αφού σε κτίρια του τριτογενούς τομέα υπάρχουν πολύπλοκα συστήματα μηχανικού αερισμού με αυστηρές προδιαγραφές, αναλόγως της εφαρμογής.

2.9 Στέγη κτιρίου

Κατά γενική ομολογία, η στέγη ενός κτιρίου αποτελεί το πιο εκτεθειμένο σε εξωτερικές επιβαρύνσεις δομικό στοιχείο του κελύφους του. Ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να λάβει μεγάλες τιμές, ιδίως σε στέγες με νότιο προσανατολισμό, με αποτέλεσμα τη σημαντική επιβάρυνση του εσωτερικού χώρου. Ομοίως, κατά τους χειμερινούς μήνες, στέγη βρίσκεται άμεσα εκτεθειμένη στην βροχή και στον άνεμο, με αποτέλεσμα την εντονότερη αποβολή θερμότητας από αυτή, ιδίως έχοντας ως δεδομένο ότι ο θερμός αέρας του εσωτερικού χώρου κινείται φυσικά προς αυτήν. Για τον λόγο αυτό είναι σημαντικό η στέγη να είναι προσεκτικά μελετημένη, καθώς επιδρά σημαντικά στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου [20].

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετάται ξύλινη κεραμοσκεπή, συνεπώς κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά κυρίως στην κατηγορία αυτή. Γενικά, στη χώρα μας συναντώνται κατά κύριο λόγο στέγες αυτού του είδους. Πρόκειται για μη βατές επιστεγάσεις που συντίθεται από ένα ή περισσότερα, διακριτά μεταξύ τους, κεκλιμένα επίπεδα. Ανάλογα με το πλήθος των επιπέδων αυτών από τα οποία συντίθενται, οι στέγες διακρίνονται σε μονόριχτες, δίριχτες, τρίριχτες, τετράριχτες και πολύριχτες.

Οι ξύλινες κεραμοσκεπές αποτελούνται από κεραμίδια επί ξύλινων τεγίδων, μεταξύ των οποίων μπορεί προαιρετικά να παρεμβάλλεται σανίδωμα, μεμβράνη για λόγους στεγανότητας, φύλλο αλουμινίου ή άλλη χαμηλής εκπομπής επιφάνεια καθώς και προαιρετικά μπορεί να υπάρχει εσωτερικό ταβάνι, από ξύλο, γυψοσανίδα ή άλλο υλικό. Επίσης μπορεί να υπάρχει θερμομονωτικό υλικό είτε στους αμείβοντες της στέγης είτε πάνω από το εσωτερικό ταβάνι.

Η κλίση της στέγης αποτελεί ένα μεταβλητό μέγεθος ανά κατασκευή. Γενικά, σε επαρχιακές περιοχές παρατηρούνται στέγες με κλίση μεγαλύτερη των 25° . Για τον υπολογισμό της θερμικής ροής, στέγες με κλίση σχετικά με το οριζόντιο επίπεδο μεγαλύτερη των 30° υπολογίζονται ως κάθετες και η διεύθυνση της ροής θερμότητας θεωρείται οριζόντια ενώ για κλίση μικρότερη των 30° η διεύθυνση θεωρείται κατακόρυφη για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητάς τους.

2.10 Τοιχοποιία από πλίνθους

Οι πλίνθοι αποτελούν τα πρώτα δομικά στοιχεία που κατασκευάστηκαν από τον άνθρωπο. Φέρεται να έχουν κάνει την εμφάνισή τους από το 3000 π.Χ. στην Μεσοποταμία. Αυτό συνέβη διότι η πρώτη ύλη για την κατασκευή τους, ο πυλός, βρίσκεται σε αφθονία σε όλο τον κόσμο. Οι πρώτοι πλίνθοι ήταν κατασκευασμένοι από πυλό και άχυρο και η έψησή τους γινόταν στον ήλιο. Κατά τη ρωμαϊκή εποχή η πλινθοδομές γνώρισαν άνθιση, η οποία συνεχίστηκε και κατά τους βυζαντινούς χρόνους. Ωστόσο, η ευρεία χρήση τους προέκυψε τον 19^ο αιώνα με την βιομηχανική παραγωγή τους σε υψικάμινους [21].

Οι οπτόπλινθοι αποτελούν σήμερα το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό στη δόμησή τους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη χαμηλή τους τιμή, στα καλά τεχνικά χαρακτηριστικά τους και την θερμική τους συμπεριφορά. Για την παρασκευή τους ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται η άμμος, η άργιλος και το νερό, μέσω της διαδικασίας της όπτησης. Η ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται καθώς και από την τεχνική διαδικασία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ποικιλία που συναντάται στην αγορά, όπως για παράδειγμα οι πλίνθοι ποικίλων χρωματισμών και οι ανθεκτικοί πλίνθοι σε υψηλές θερμοκρασίες (πυρότουβλα).

Οι οπτόπλινθοι παράγονται σε ποικίλα μεγέθη και μορφές. Το πιο σύνηθες σχήμα είναι το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με ποικιλία διαστάσεων. Επίσης, συναντώνται συμπαγείς οπτόπλινθοι και διάτρητοι, οι οποίοι και έχουν μικρότερη θερμική αγωγιμότητα, μικρότερο βάρος και προσφέρουν καλύτερη ηχομόνωση. Στην επιφάνεια τους συνήθως φέρουν ραβδώσεις, προκειμένου να είναι ευκολότερη η πρόσφυση άλλων υλικών, όπως για παράδειγμα το επίχρισμα. Ο συντελεστής θερμικής τους αγωγιμότητας κυμαίνεται από 0,46 έως 0,90 W/mK για συνήθης οπτόπλινθους [22].

Παρόλο που δεν υπάρχει συγκεκριμένη τυποποίηση για τους οπτόπλινθους, όσον αφορά τις διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά τους, στην αγορά σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές παρέχουν παραπλήσια προϊόντα, που χαρακτηρίζονται συνήθως από το πλήθος των οπών τους. Πρέπει όμως να τονισθεί ότι αν και οι οπτόπλινθοι είναι αρκετά φθηνά υλικά και διαδεδομένα, η βιομηχανική τους παραγωγή είναι ενεργειακά δαπανηρή και προκαλεί σημαντική επιβάρυνση του περιβάλλοντος, σύμφωνα με έρευνες ανάλυσης κύκλου ζωής στη χώρα μας [23].

Για την δόμηση τοιχοποιιών από οπτόπλινθους χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές. Η συνήθης τεχνική είναι η δρομική, δηλαδή οι πλίνθοι τοποθετούνται ο ένας μετά τον άλλο και η

επιμήκης πλευρά τους παράλληλα με αυτήν της τοιχοποιίας. Άλλες τεχνικές είναι η ορθοδρομική, η οποία είναι η δρομική με την επιμήκη πλευρά κάθετη σε αυτή της τοιχοποιίας, η μπατική και η υπερμπατική. Στην Ελλάδα συνήθως συναντάται η διπλή δρομική τοιχοποιία για εξωτερικούς τοίχους, με θερμομονωτικό υλικό στο ενδιάμεσο ή απλό διάκενο αέρα.



Εικόνα 5: Κατασκευή φυσικών συμπαγών πλίνθων

2.11 Η οικία που μοντελοποιήθηκε

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας, επιλέχθηκε να μελετηθεί η ενεργειακή συμπεριφορά μιας πλινθόκτιστης κατοικίας. Η κατοικία αυτή αποτελεί μια καινοτόμα κατασκευή για τα σύγχρονα δεδομένα, με βάση το γεγονός ότι η συντριπτική πλειονότητα των κτισμάτων σήμερα πραγματοποιείται με τη χρήση οπτόπλινθων και όχι ωμόπλινθων, το ενεργειακό αποτύπωμα των οποίων, όπως αναφέραμε, είναι σαφώς μεγαλύτερο.

Η ως άνω κατοικία βρίσκεται στην Κάτω Ελάτη Τρικάλων (Τοπική Κοινότητα Κάτω Ελάτης - Δημοτική Ενότητα ΚΑΛΛΙΔΕΝΔΡΟΥ), ανήκει στον δήμο ΤΡΙΚΚΑΙΩΝ της Περιφερειακής Ενότητας ΤΡΙΚΑΛΩΝ που βρίσκεται στην Περιφέρεια Θεσσαλίας βρίσκεται σε υψόμετρο 127 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας, σε γεωγραφικό πλάτος 39,5388791697 και γεωγραφικό μήκος 21,6780395904.



Εικόνα 6: Απεικόνιση οικισμού μέσω αεροφωτογραφίας

Η λογική της χρήσης ωμόπλινθων είναι αφενός για λόγους οικολογικούς, αφετέρου και κυριότερα όμως για να προσιδιάζει και να εφαρμοσθεί στις μέρες μας μια τεχνική που χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον στο παρελθόν στην εν λόγω περιοχή. Πολλά από τα κτίσματα αυτά σώζονται και σήμερα και αποτελούν ένα ζωντανό και λειτουργικό στοιχείο της ιστορίας της περιοχής και συνάμα κάτι το ξεχωριστό. Κρίθηκε λοιπόν σκόπιμο να διερευνηθεί εάν και εφόσον είναι τεχνικοοικονομικά εφικτό να κατασκευασθεί μια οικία που θα πληροί όλες τις σύγχρονες κατασκευαστικές αλλά και λειτουργικές απαιτήσεις με βάση αυτή τη μέθοδο.

Σχετικά με τα κατασκευαστικά στοιχεία, το κτίσμα αυτό έχει φέρον οργανισμό από δομική ξυλεία. Το σύγχρονο νομοθετικό πλαίσιο δεν επιτρέπει την κατασκευή κτίσματος με φέρουσα τοιχοποιία από πηλό, συνεπώς η χρήση δομικής ξυλείας ως φέρον οργανισμό με μέσο πλήρωσης ωμοπλινθοδομή αποτελεί μονόδρομο. Η μελέτη του κτίσματος συντάχθηκε σύμφωνα με τον

Ευρωκώδικα 5 και κατά βάση αντιμετωπίστηκε ως ένα ξύλινο κτίσμα, δίχως να υπάρξει κανένα νομικό κώλυμα.



Εικόνα 7: Το κτίσμα κατά το στάδιο της κατασκευής

Η ωμόπλινθοι που χρησιμοποιήθηκαν παρήχθησαν επιτόπου χειρονακτικά. Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιήθηκε χώμα από το γεωτεμάχιο του κτίσματος και άχυρο το οποίο είχε κοπεί σε ίνες μικρού μήκους. Η θεμελίωση του κτίσματος έγινε από οπλισμένο σκυρόδεμα και τα υποστρώματα της στέγης πακτώθηκαν στην θεμελίωση. Η στέγη κατασκευάστηκε από κεραμίδι, υγρομονωτική μεμβράνη και θερμομόνωση από πολυεστέρα. Στη συνέχεια κτίστηκε η τοιχοποιία από πλίνθους, η οποία συνδέθηκε με κονίαμα λάσπης ανάλογο με το μίγμα που χρησιμοποιήθηκε για τους πλίνθους αλλά δίχως τη χρήση άχυρου. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν οριζόντια διαζώματα (ξύλοδεσιές). Το εσωτερικό επίχρισμα έγινε από ασβεστοκονίαμα δίχως την προσθήκη τσιμέντου και με χρήση συνθετικών ινών για αντοχή και διαπνοή. Το δάπεδο κατασκευάστηκε με χρήση περλιτομπετόν για θερμομόνωση και πατητή τσιμεντοκονία ως φινίρισμα. Χρησιμοποιήθηκαν ξύλινα κουφώματα και φυσικά χρώματα.

Σχετικά με την οικία, αυτή έχει εξωτερικές διαστάσεις 8,50m x 5,00m και εσωτερικές 7,50m x 4,00m. Αποτελείται από καθιστικό 12,80 m², λουτρό 3,78 m² και έναν γενικό χώρο ο οποίος έχει πρόσβαση στην κύρια είσοδο εμβαδού 13,42 m². Επίσης, εξωτερικά του κτίσματος και εμπρός της κύριας εισόδου υπάρχει αδιαμόρφωτος χώρος 4,50m x 5,00m. Το κτίσμα διαθέτει 5 ανοίγματα εκ

των οποίων 4 παράθυρα και μία είσοδος. Το εμβαδόν του γεωτεμαχίου είναι περίπου δύο στρέμματα.

Σχετικά με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, δεν μπορεί να υπάρξει κτίσμα με φέρουσα τοιχοποιία από πηλό. Η υφιστάμενη κατάσταση έρχεται σε αντίθεση με τα διεθνώς ισχύοντα δεδομένα. Σύμφωνα με μελέτη που εξετάζει το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο διεθνώς, χώρες όπως το Περού και η Νέα Ζηλανδία, που αποτελούν περιοχές υψηλής σεισμικής διακινδύνευσης, η κατασκευή κτιρίων από ωμόπλινθους είναι εφικτή και ενταγμένη στην κείμενη νομοθεσία της χώρας μέσω των ανάλογων προτύπων [24]. Επιπλέον, όσον αφορά τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, το ισχύον πλαίσιο για τοιχοποιίες από πηλό φαίνεται να μην αντικατοπτρίζει απόλυτα την πραγματικότητα.

3

Δόμηση με χώμα

3.1 Εισαγωγή

Οι κατασκευαστικές τεχνικές φυσικής δόμησης με χώμα είναι πολλές και ποικίλες. Αυτό διότι η δόμηση με χώμα αποτελεί μια αρχιτεκτονική τεχνική η οποία εφαρμόζεται με επιτυχία για περίπου 11.000 χρόνια, αποτελεί μια τεχνική απλή η οποία έχει ως πρώτη της ύλη το ακατέργαστο χώμα και σήμερα υπολογίζεται ότι ο μισός πληθυσμός της γης κατοικεί σε κτίρια φυσικής δόμησης.

Το χώμα αποτελεί ένα άφθονο υλικό δόμησης. Βασικό χαρακτηριστικό της φυσικής δόμησης είναι η απουσία χρήσης βιομηχανικά κατεργασμένων δομικών υλικών, συνεπώς η χρήση του χώματος σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία, όπως για παράδειγμα το άχυρο, αποτελεί μια πολύ σημαντική κατασκευαστική τεχνική. Παρ' όλα αυτά, αν και τα μέσα είναι απλά, δεν αποκλείεται η κατασκευή οικοδομημάτων υψηλού αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Επιπροσθέτως, τα χωμάτινα κτίρια έχουν χαρακτηριστικά τα οποία επιδιώκουμε ενεργά στην δόμηση, ήτοι υψηλή θερμική άνεση, καλή ηχομόνωση καθώς και άκαυστα αλλά και μη αλλεργιογόνα.

Η αρχιτεκτονική δόμησης με χώμα αποτελεί μια πρώτης μορφής αρχέγονη αρχιτεκτονική η οποία περιλαμβάνει διάφορους τύπους κτιρίων, αναλόγως του επιλεγόμενου τρόπου δόμησης. Οι κυριότεροι τύποι στους οποίους θα αναφερθούμε είναι η ωμοπλινθοδομή (adobe brick), η ζυμωτός πηλός (cob), η τεχνική ρευστής γης (poured earth), το μπαγδατί (wattle and daub), η δόμηση με γαιόσακους (earth bag) και τέλος η τεχνική συμπιεστού χώματος (rammed earth) [25].

3.2 Ωμοπλινθοδομή

Η ωμοπλινθοδομή αποτελεί μια από τις παλαιότερες μεθόδους δόμησης κτιρίων και θα αποτελέσει αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας τόσο ως μελέτη περίπτωσης όσο και ως υπολογιστικό θέμα. Αποτελεί μια φιλική προς το περιβάλλον τεχνική η οποία αξιοποιεί το ανόργανο στρώμα του εδάφους (την άργιλο) και όχι το ανώτερο οργανικό στρώμα. Προκειμένου να επιτευχθούν επιθυμητές ιδιότητες, όμως λχ. αυξημένη θερμομονωτική ικανότητα ή καλύτερη

αντοχή, εντός του μίγματος αργίλου και νερού μπορεί να προστεθεί άχυρο ή άλλα υλικά, στα οποία θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο [26].

Κατά την τεχνική αυτή, τα πλινθία κατασκευάζονται σε καλούπια και στη συνέχεια στεγνώνουν στον ήλιο, όπως και παρουσιάστηκε στον τρόπο κατασκευής του κτιρίου που μελετήσαμε. Τα πλινθία αυτά έχουν μικρό ενεργειακό αποτύπωμα κατά την παρασκευή τους και δεν μολύνουν το περιβάλλον. Πρέπει να αναφερθεί ότι η μέθοδος αυτή επιτυγχάνει εξαιρετική σχετική υγρασία στο εσωτερικό του κτιρίου λόγω φυσικής διαπνοής αλλά και καλή ενεργειακή απόδοση λόγω της θερμικής αδράνειας των πλινθίων, ιδιαίτερα λόγω της μεγάλης τους θερμικής μάζας [27].

Προκειμένου να προστατεύονται τα πλινθία από τα φυσικά φαινόμενα, τα κτίρια με ωμοπλινθοδομή κατασκευάζονται με μεγάλο γείσο που προεξέχει πριν τη σκεπή καθώς και λιθόκτιστες βάσεις. Για την επικάλυψη αυτών χρησιμοποιείται φυσικός χωμάτινος σοβάς ή κονιάματα με προσθήκη ασβέστη. Στις περισσότερες περιπτώσεις η απαιτούμενη συντήρηση είναι ελάχιστη. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν συστήνεται επικάλυψη με τσιμεντοκονιάματα, καθώς εμποδίζει την διαπνοή και σε περίπτωση εισχώρησης ύδατος από σχισμή θα οδηγήσει στη φθορά του επιχρίσματος [28].

Έρευνες έχουν αποδείξει ότι τα κτίρια αυτά είναι ιδανικά σε περιοχές με αρκετή ηλιοφάνεια, όπως η Ελλάδα [29]. Στην Ιταλία έχει υπολογισθεί ότι μια δομή πάχους 30 εκατοστών προσφέρει τη βέλτιστη συμπεριφορά. Όμως, αρνητικά στοιχεία της μεθόδου αυτής είναι η απουσία τυποποιημένων κριτηρίων αξιολόγησης των κατασκευών αυτών, η μεγάλη θερμική διαστολή και συστολή, η διάβρωση από το νερό και συνεπώς ακολουθία αυτών η τρωτότητα των κτιρίων αυτών έναντι σεισμικών και πλημμυρικών φαινομένων.

Ζυμωτός πηλός (Cob)

Ο όρος cob (Ζυμωτός πηλός) χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα μονολιθικό σύστημα δόμησης που βασίζεται σε ένα μίγμα από πηλό, άμμο και άχυρο. Πρόκειται για μια τεχνική ιδιαίτερα δημοφιλή στην Αγγλία και ο όρος εμφανίστηκε στην περιοχή αυτή περί το 1600 μ.Χ., αλλά συναντάται σε πολλά μέρη του κόσμου για τουλάχιστον 10.000 χρόνια. Κατά τη δόμηση δε χρησιμοποιούνται διαμορφωμένα πλινθία ή διακριτός σκελετός [30].

Υγρές μάζες χώματος τοποθετούνται με τα χέρια, χωρίς τη χρήση ιδιαίτερων εργαλείων ή καλουπιών, και κατασκευάζεται η επιθυμητή μορφή του κτιρίου, πάνω σε στιβαρό θεμέλιο, όπως

συστοιχία από πέτρες, κατά στρώσεις. Κάθε στρώση πρέπει να στεγνώσει σχετικά και να σταθεροποιηθεί προτού εναποτεθεί η επόμενη. Το πάχος των τοίχων είναι συνήθως μεταξύ 40 και 60 εκατοστών.

Αποτελεί μια πολύ απλή, αν και ενεργοβόρα, τεχνική κτισίματος. Με αυτή την τεχνική επιτυγχάνονται ιδιαίτερες μορφές, όπως έντονες καμπύλες αλλά και ικανοποιητική πλαστικότητα στις κατασκευές τους. Συναντάται συχνά ως τεχνική πλήρωσης σε άλλες τεχνικές, όπως η ωμοπλινθοδομή που αναφέρθηκε.

Τα κτίρια από στοιβαγμένο χώμα έχουν εξαιρετική θερμική συμπεριφορά λόγω της πολύ μεγάλης θερμικής μάζας των στοιχείων τους. Επίσης, είναι εξαιρετικά φιλική προς το περιβάλλον, απαιτώντας ελάχιστη ενέργεια στην κατασκευή. Για τους λόγους αυτούς αναβιώνει ξανά σήμερα σε ανεπτυγμένες περιοχές, όπως οι ΗΠΑ. Όμως, πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στη σύσταση του μίγματος για την ορθή στατική συμπεριφορά του κτιρίου [31].

Τεχνική ρευστής γης

Η τεχνική ρευστής γης θα μπορούσε να ειπωθεί ότι παρουσιάζει αρκετά κοινά με τον τρόπο κατασκευής κτιρίων από σκυρόδεμα. Πρόκειται ουσιαστικά για την δημιουργία μίγματος χώματος και νερού σε κατάλληλη σύσταση ούτως ώστε το μίγμα αυτό να ρέει σε καλούπια και να μην δημιουργούνται κενά [32].

Είναι λοιπόν εμφανές ότι βασικό μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η απαίτηση για ξυλότυπους, που απαιτεί υλικά, εργασία και περιορίζει την δημιουργικότητα κατά την κατασκευή. Επίσης, η μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό που απαιτείται οδηγεί αναπόφευκτα σε πολύ μεγάλες συστολές με αποτέλεσμα να απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και εμπειρία για την αποφυγή διακένων και ρωγμών κατά την ξήρανση του υλικού. Πολλές φορές δημιουργούνται δομές που μοιάζουν με κορυφές κάστρου ή σαν ιδιαίτερα τούβλα μεγάλου μεγέθους και επαναλαμβάνεται η διαδικασία ούτως ώστε να δημιουργούνται ελεγχόμενα πολλές στρώσεις για τον έλεγχο της συμπεριφοράς της δόμησης και την αποφυγή του φαινομένου.

Πολλές φορές, στις σύγχρονες κατασκευές, χρησιμοποιείται ένα μικρό ποσοστό τσιμέντου στο μίγμα, προκειμένου να μειωθεί η παρατηρούμενη συστολή και να αυξηθεί η αντοχή του κτιρίου. Κάτι τέτοιο φυσικά έχει επίπτωση τόσο στην οικολογικότητα της κατασκευής όσο και στο κόστος.

3.5 Μπαγδατί ή Τσατμάς

Η τεχνική μπαγδατί είναι μια τεχνική δύο μερών που χρησιμοποιείται εδώ και 6000 χρόνια και είναι σημαντική ακόμα και στις ημέρες μας σε πολλά μέρη [33]. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, δημιουργείται μια κατασκευή από οργανικό υλικό, όπως είναι το ξύλο, τα κλαδιά ή τα μπαμπού, η οποία είναι σταθερή και έχει χαρακτηριστικά σκελετού, πλην της στατικότητας. Στη συνέχεια, η κατασκευή αυτή επικαλύπτεται από ένα κολλώδες μίγμα υγρού χώματος, άμμου, κοπριάς και αχύρου, με στόχο την ενίσχυση της πλεκτής αρχικής κατασκευής.

Το μίγμα που χρησιμοποιείται προσιδιάζει αρκετά με αυτό που χρησιμοποιείται σε άλλες τεχνικές αλλά υπάρχει και η προσθήκη του οργανικού συνδετικού υλικού, που είναι συνήθως κόπραννα ζώων. Όταν το υλικό στεγνώσει, μπορεί να επικαλυφθεί με επιπλέον στρώση από το υλικό αυτό ή να ασβεστωθεί. Η τεχνική αυτή οδηγεί σε κτίρια που θερμικά δεν έχουν καλή συμπεριφορά, λόγω του μικρού πάχους των τοιχίων από μπαγδατί, αλλά έχουν εξαιρετική συμπεριφορά έναντι σεισμού και αυτό δικαιολογεί το γεγονός ότι συναντάται σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα όπως η Ινδονησία και η Νότιος Αμερική. Πολλοί υποστηρίζουν ότι άλλες τεχνικές όπως η ρευστή γη και η τεχνική στοιβαγμένου χώματος εξελίχθηκαν από αυτή.

Δόμηση με γαιόσακους

Η τεχνική δόμησης με γαιόσακους είναι εύκολα αντιληπτή καθώς παρατηρείται συχνά στις ημέρες μας στα οχυρωματικά έργα το στρατού. Στην περίπτωση αυτή, σάκοι με άμμο τοποθετούνται σε στιβάδες με κατάλληλο τρόπο ούτως ώστε να δημιουργηθούν ισχυρά προστατευτικά φράγματα για στήριξη πρανών, έλεγχο πλημμυρών καθώς και την προστασία προσωπικού και εξοπλισμού. Η ειδοποιός διαφορά των γαιόσακων είναι ότι χρησιμοποιείται άργιλος έναντι άμμου, καθώς και άλλα πρόσθετα (λχ. άχυρο), τα οποία στη συνέχεια συμπιέζονται είτε μηχανικά είτε χειρωνακτικά.

Κατά το παρελθόν χρησιμοποιούνταν υφασμάτινα σακιά αλλά σήμερα χρησιμοποιείται πολυπροπυλένιο πυκνής ύφανσης. Για την προστασία των σάκων από την υπερϊώδη ηλιακή ακτινοβολία, που μπορεί να τα αποδομήσει, απαιτείται κατάλληλη προστασία εφόσον είναι εκτεθειμένα με κάποιου είδους επίχρισμα.

Η τεχνική αυτή είναι εύκολη και γρήγορη και οδηγεί σε κατασκευές με σημαντικές αντοχές σε αντίξοες συνθήκες και φαινόμενα, πλην όμως απαιτεί την κατασκευή ή προμήθεια κατάλληλων σάκων.

Τεχνική συμπίεστου χώματος

Η δομημένη ή συμπίεσμένη γη [34] είναι μια τεχνική αρκετά όμοια με αυτή της ωμοπλινθοδομής και της τεχνικής στοιβαγμένου χώματος. Η διαφορά είναι ότι το υλικό, το οποίο παραμένει ελαφρά υγρό χόμα και άργιλος, με προσθήκη μερικές φορές πρόσθετων όπως ασβέστης ή αίμα ζώων ιστορικά, συμπιέζεται σε κατάλληλα καλούπια και σε στρώσεις και αφήνεται να ξηρανθεί. Όταν γεμίζει κάθε καλούπι, αποσυναρμολογείται και επανατοποθετείται παρακάτω ή από πάνω και με τον τρόπο αυτό το κτίριο χτίζεται κατά μήκος και καθ' ύψος.

Τα λοιπά χαρακτηριστικά της τεχνικής αυτής προσιδιάζουν με την ωμοπλινθοδομή και την τεχνική στοιβαγμένου χώματος. Απαιτείται σταθερό θεμέλιο, κατά προτίμηση από πέτρα, καθώς και ικανό γείσο για την προστασία των τοιχίων. Απαιτείται η καλή συμπίεση του καλουπωμένου χώματος με κατάλληλα εργαλεία. Η τεχνική αυτή απαιτεί ελαφρώς μικρότερη εργασία και χρόνο από την ωμοπλινθοδομή και για αυτό συναντάται συχνά.

Τεχνικά χαρακτηριστικά ωμόπλινθων

4.1 Εισαγωγή

Όπως χαρακτηριστικά αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, για την κατοικία που μελετάται στην παρούσα εργασία, η τοιχοποιία έχει δομηθεί με ωμόπλινθους οι οποίοι και κατασκευάστηκαν με υλικά τα οποία προήλθαν από την περιοχή που δομήθηκε η κατοικία και με παραδοσιακή μέθοδο. Πέραν των οικολογικών και άλλων πλεονεκτημάτων και χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια παρουσίαση των ιδιοτήτων του δομικού αυτού υλικού, λαμβάνοντας υπόψιν και της σπανιότητας με την οποία συναντάται σήμερα.

Κύριο συστατικό των ωμόπλινθων είναι ο πηλός. Πηλός ονομάζεται το μίγμα αργίλου και λεπτής άμμου που αν αναμιχθεί με κατάλληλη ποσότητα νερού σχηματίζει πολύ μεγάλης πλαστικότητας. Η πήξη και εξάτμιση του νερού χαρακτηρίζεται από συστολή που είναι ανάλογη της περιεκτικότητας σε άργιλο. Ο διαποτισμός του πηλού με νερό επαναφέρει το υλικό στην αρχική κατάσταση πλαστικότητας.

Η μεταβλητότητα που παρατηρείται στα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των παραγόμενων ωμόπλινθων οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες. Οι σημαντικότεροι εξ' αυτών είναι η διαδικασία παρασκευής τους, το είδος και ποσοστό των διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα και η ποιότητα του πηλού και ιδιαίτερα το ποσοστό αργίλου σε αυτήν. Στην κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε την επίδραση των πρόσθετων υλικών και της σύνθεσης των ωμόπλινθων στις τελικές τους ιδιότητες.

4.2 Η επίδραση των ανόργανων αδρανών υλικών πρόσθετων

Με τον όρο ανόργανα υλικά αναφερόμαστε σε πρόσθετα υλικά που δεν περιέχουν οργανικά μόρια. Τέτοια υλικά είναι η άμμος, χονδρόκοκκα υλικά όπως το χαλίκι, ποζολάνες (ηφαιστιογενή πετρώματα), η τέφρα, το τσιμέντο, ο γύψος και η πίσσα. Τα υλικά αυτά επιδρούν με διαφορετικό τρόπο στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Αρχικά, η άμμος αποτελεί ένα λεπτόκοκκο ανόργανο υλικό με ιδιαίτερα μεταβλητή σύνθεση, τα σωματίδια του οποίου έχουν διάμετρο έως 2 χιλιοστά και αποτελείται από αλεσμένα

πετρώματα και ίχνη μεταλλικών υλικών. Κατά κύριο λόγο, κυριαρχεί το διοξείδιο του πυριτίου αλλά η σύνθεση μπορεί να διαφέρει από τόπο σε τόπο. Η χρήση άμμου στο μίγμα βελτιώνει το πορώδες και αυξάνει την πυκνότητα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η μηχανική αντοχή ενώ ταυτόχρονα μειώνει το ποσοστό συστολής μετά την ξήρανση [35].

Σημαντικό είναι και το ποσοστό των ποζολάνων, όπως και στις τσιμεντοκονίες. Η ονομασία ποζολάνη προήλθε από την περιοχή Pozzuoli της Ιταλίας, όπου οι Ρωμαίοι είχαν ανακαλύψει ότι το έδαφος παρουσίαζε υδραυλικές ιδιότητες και το χρησιμοποιούσαν στα κονιάματα τους (Ρωμαϊκή κονία). Σήμερα ποζολάνες ονομάζονται οι λεπτότατες κονίες πυριτικής σύστασης με οξείδια του αργίλου, σιδήρου και ασβεστίου σε μικρότερη αναλογία. Αν και χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρή υδραυλικότητα, οι ποζολάνες ενυδατώνονται όπως και τα τσιμέντα όταν αναμιχθούν με κάποιο φυσικό διεγέρτη (πχ. άσβεστος, γύψος, τσιμέντο). Κατά την ενυδάτωσή τους αυτή, που ονομάζεται ποζολανική αντίδραση, αντιδρούν χημικά με σχετικά αργό ρυθμό με το υδροξείδιο του ασβεστίου σχηματίζοντας ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις. Οι φυσικές ποζολάνες είναι ηφαιστιογενείς (πχ. Θηραϊκή και Μηλαϊκή γη) και ιζηματογενείς (πχ. γη διατομών).

Μια ακόμα κατηγορία ποζολάνων είναι οι τεχνητές ποζολάνες που προέρχονται από την θερμική κατεργασία αργού υλικού που περιέχει οξείδιο του ασβεστίου και υδραυλικούς παράγοντες, όπως είναι η ιπτάμενη τέφρα που λαμβάνεται από τα φίλτρα αντιρρυπαντικής τεχνολογίας των εργασιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με λιγνίτη και η σκωρία υψικαμίνου (παραπροϊόν των υψικαμίνων στα χαλυβουργία). Όπως στην περίπτωση προσθήκης φυσικών ποζολάνων, η προθήκη των υλικών αυτών αυξάνει σημαντικά την αντοχή των ωμόπλινθων [36].

Άλλο σημαντικό πρόσθετο που συναντάται στους ωμόπλινθους είναι το τεχνητό τσιμέντο (τσιμέντο Portland). Πρόκειται περί υδραυλικής κονίας. Με τον όρο κονία (binders) αναφερόμαστε σε εκείνα τα υλικά τα οποία όταν αναμιχθούν και υποστούν κατεργασία υπό ορισμένες αναλογίες με ένα ρευστό μέσο (συνήθως νερό) μεταβάλλονται σε εύπλαστο πολτό με συγκολλητικές ιδιότητες. Με τον όρο υδραυλική αναφερόμαστε σε κονία η οποία μετά τη σκλήρυνσή της συντηρείται σε νερό ή σε περιοδικά υγραινόμενο περιβάλλον και άρα είναι αδιάλυτες στο νερό. Με την προσθήκη τσιμέντου αυξάνονται οι θλιπτικές αντοχές τόσο του ξηρού όσο και υγρού ωμόπλινθου. Επίσης, οι ωμόπλινθοι με προσθήκη τσιμέντου καθίστανται ανεκτικοί στη διάβρωση, στις καιρικές συνθήκες (όπως η βροχή) και στην τριβή. Όμως, η προσθήκη

τσιμέντου, εξαιτίας του εξαιρετικά ενεργοβόρου τρόπου παρασκευής του, αφαιρεί πολλά από τα οικολογικά οφέλη των φυσικών ωμόπλινθων [35].

Τέλος, σημαντικό πρόσθετο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η άσβεστος. Η άσβεστος χρησιμοποιείται συχνά σε επιχρίσματα. Η προσθήκη άσβεστου σε ποσοστά 2-16% αυξάνει την πλαστικότητα, την πρόσφυση και την ογκοσταθερότητα του υλικού μίγματος των ωμόπλινθων.

4.3 Η επίδραση των οργανικών υλικών πρόσθετων

Μια άλλη σημαντική κατηγορία υλικών που μπορούμε να προσθέσουμε στους ωμόπλινθους κατά το στάδιο της παρασκευής τους είναι τα οργανικά υλικά. Η μεγαλύτερη ίσως και πιο σημαντική κατηγορία εξ' αυτών είναι οι ίνες. Οι διάφορες ίνες (για παράδειγμα ξύλο, υπολείμματα άχυρου και καλλιέργειας ριζιού καθώς και υπολείμματα άλλων καλλιεργειών κτλ.) αποτελούνται από το κυτταρικό τοίχωμα των φυτικών κυττάρων, δηλαδή κυρίως από υδατάνθρακες, και χρησιμοποιούνται για την αύξηση της εφελκυστικής αντοχής, την μείωση των ρυγματώσεων, μείωση της πυκνότητας και επιτάχυνσης της ξήρανσης των ωμόπλινθων. Το ποσοστό συμμετοχής τους στο μείγμα είναι συνήθως 1 έως 6% κατά βάρος. Σημαντικό μειονέκτημα της χρήσης φυτικών ινών αποτελεί η μείωση των θλιπτικών αντοχών των ωμόπλινθων καθώς και η ευπάθεια των υλικών αυτών σε διάφορα ζώα όπως τα τρωκτικά και οι τερμίτες, που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την δομική ακεραιότητα της κατασκευής [37].

Σε ορισμένες κοινωνίες που χρησιμοποιούν ωμόπλινθους πολλές φορές γίνεται χρήση φυτικών και ζωικών λιπών και ελαίων. Τα υλικά αυτά είναι φυσικώς υδρόφοβα και χάρη σε αυτήν τους την ιδιότητα προσφέρουν προστασία έναντι της υγρασίας. Συνήθως η ποσότητα που προστίθεται μπορεί να φτάσει ιδανικά έως και το 3%, ενώ πολλές φορές αρκεί ακόμα και η εξωτερική επάλειψη ή ο ψεκασμός των ωμόπλινθων [38].

Τέλος, ένα ακόμα φυσικό πρόσθετο που συναντάται σε παραδοσιακές κοινωνίες είναι η προσθήκη στο υλικό μίγμα των ωμόπλινθων περιττωμάτων ζώων. Για παράδειγμα, στην Ινδία είναι συνήθης τακτική η ανάμιξη ενός μέρους κοπράνων αγελάδων στα επτά μέρη μίγματος κατά βάρος, για λόγους αδιαβροχοποίησης και προστασίας από την υγρασία. Επίσης, με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η πλαστικότητα του υλικού και μειώνεται η ανάπτυξη ρωγμών μετά την ξήρανση.

		Μείωση συρρίκνωσης	Σκληρότητα	Προστασία από το νερό	Θλιπτική αντοχή	Εφελκυστική αντοχή	Αντοχή σε διάβρωση	Ταχύτητα ξήρανσης
Αδρανή	Άμμος	✓			✓			
	Ποζολάνες		✓		✓		✓	
	Τέφρα	✓	✓					
Συνθετικά	Τσιμέντο	✓	✓	✓	✓		✓	✓
	Υδραυλικές κονίες		✓					
	Άσβεστος		✓					
	Γύψος				✓			✓
	Σαπούνι			✓				
	Άσφαλτος			✓				
Οργανικά	Φυτικές ίνες		✓			✓		
	Έλαια και λίποι			✓				
	Μολάσες		✓					
	Κόπρανα ζώων	✓	✓					

Εικόνα 8: Πίνακας διαφόρων πρόσθετων και ιδιοτήτων αυτών [39].

4.4 Θερμικές ιδιότητες των ωμόπλινθων

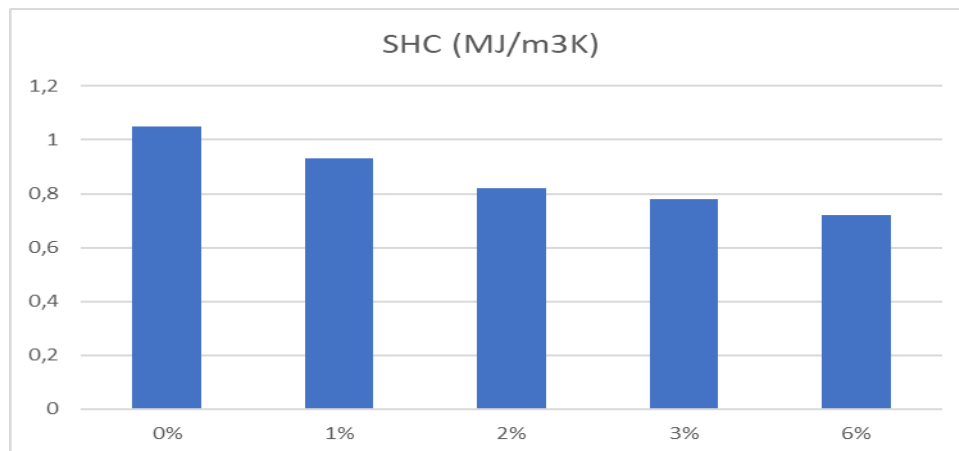
Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, μια σημαντική παράμετρος των σύγχρονων κατοικιών είναι η ενεργειακή τους απόδοση. Οι σύγχρονοι τεχνικοί κανονισμοί όπως ο KENAK θέτουν αυστηρά πρότυπα και όρια για τις θερμομονωτικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές. Εξάλλου, είναι σημαντικό να μελετηθεί η ενεργειακή απόδοση των ωμόπλινθων, καθώς όπως αναφέραμε προσφέρουν σημαντικά οικολογικά πλεονεκτήματα εν συγκρίσει με άλλα δομικά υλικά (όπως τα τούβλα), καθώς απαιτούν σημαντικά μικρότερα ποσά ενέργειας για την παρασκευή τους. Ένα τέτοιο πλεονέκτημα όμως δε θα ήταν σημαντικό αν η ενέργεια που δαπανάται για την ψύξη και θέρμανση της κατοικίας είναι σημαντικά μεγαλύτερη.

Σύμφωνα με πειραματικές μετρήσεις από διάφορες πηγές [40] [41], η θερμική αντίσταση και αντιστοίχως η θερμική αγωγιμότητα που παρουσιάζουν οι ωμόπλινθοι δίχως πρόσθετα είναι περίπου $0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$, τιμή η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ικανοποιητική μεν συγκριτικά με άλλα υλικά (λχ. το σκυρόδεμα παρουσιάζει θερμική αγωγιμότητα περίπου 0.45 έως $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ανάλογα με την πυκνότητα του) αλλά όχι ιδανική. Όμως, με την προσθήκη τέφρας ή ινών σε διάφορα ποσοστά, η θερμική αγωγιμότητα βελτιώνεται αρκετά και ξεπερνά ακόμα και αυτή των κοινών ψημένων οπτόπλινθων που χρησιμοποιούνται κατά κόρον. Αναλυτικότερα δεδομένα σχετικά με την θερμική αγωγιμότητα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

	Θερμική αγωγιμότητα (W/mK)
Ελαφρύ σκυρόδεμα	0.1 - 0.3
Σκυρόδεμα	0.5 - 1.8
Πέτρα	1.7
Τούβλο	0.47
Τούβλο πορομπετόν	0.17
Πολυστερίνη	0.03
Ωμόπλινθος	0.85
Ωμόπλινθος με ίνες (5-10%)	0.59
Ωμόπλινθος με τέφρα 15%	0.69

Εικόνα 9: Θερμική αγωγιμότητα δομικών υλικών και ωμόπλινθων

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι οι ωμόπλινθοι έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα συγκριτικά με τα περισσότερα δομικά υλικά που αναφέρθηκαν. Αυτό σημαίνει ότι παρέχουν μεγαλύτερη υστέρηση απέναντι σε εξωτερικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, λειτουργώντας έτσι σαν ένα φυσικό δοχείο αδρανείας. Μια τέτοια ιδιότητα είναι επιθυμητή για περιοχές που παρατηρούνται μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας ανάμεσα στην ημέρα και την νύκτα (λχ. σε μια ορεινή περιοχή όπου υπάρχει η λεγόμενη αύρα του βουνού), καθώς ο ωμόπλινθος θα δώσει την αποθηκευμένη ενέργεια στον περιβάλλοντα χώρο όταν η θερμοκρασία μειωθεί την νύχτα, συμβάλλοντας έτσι στην επίτευξη ιδανικότερων συνθηκών. Η ιδιότητα αυτή φυσικά επηρεάζεται από την προσθήκη πρόσθετων όπως οι φυτικές ίνες, οι οποίες μεν βελτιώνουν την θερμική αγωγιμότητα όμως μειώνουν της θερμοχωρητικότητα των ωμόπλινθων. Προσθήκη 5% ινών μειώνει τη θερμοχωρητικότητα κατά 20% [42].



Εικόνα 10: Ειδική θερμοχωρητικότητα συναρτήσει ποσοστού ινών ρυζιού

4.5 Μηχανική αντοχή των ωμόπλινθων

Τέλος, αναφορά θα γίνει στις μηχανικές αντοχές των ωμόπλινθων και συγκεκριμένα στην θλιπτική τους αντοχή, συναρτήσει του μίγματος που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή τους καθώς και των φυτικών ινών που χρησιμοποιήθηκαν, ως ποσοστό. Ο λόγος που πρέπει να μελετήσουμε την επίδραση της προσθήκης φυτικών ινών είναι διότι, όπως είδαμε, η προσθήκη τους βελτιώνει σημαντικά την θερμική αγωγιμότητα των ωμόπλινθων, πλην όμως πρέπει να ποσοτικοποιήσουμε την αρνητική τους επίδραση στη δομική ακεραιότητα της κατασκευής μας, ούτως ώστε να επιλεγεί το ιδανικό ποσοστό τους για τη βέλτιστη θερμική αλλά και μηχανική συμπεριφορά της κατασκευής.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα πειραματικής έρευνας που αφορά τη σύσταση του μείγματος για τους ωμόπλινθους και την επίδραση αυτής στην μέγιστη θλιπτική τους αντοχή, παρατηρήθηκε ότι η μέση μέγιστη θλιπτική αντοχή ενός ωμόπλινθου είναι περίπου 2.6 MPa, σαφώς χαμηλότερη από αυτή ενός ψημένου οπτόπλινθου ή ενός τσιμεντόλιθου, παρ' όλα αυτά είναι ικανή για να υποστηρίξει ένα κτήριο 2 ορόφων [41]. Επίσης σημαντική είναι η παρατήρηση ότι η χρήση άχυρου σε μικρό ποσοστό (<1%) είναι σημαντική καθώς μεταβάλλει τον τρόπο αστοχίας του ωμόπλινθου (από ψαθυρό σε ελαφρός ελαστικό) ενώ αυξάνει ελαφρώς την αντοχή αρχικά.

	Σύσταση μίγματος % κατά βάρος						Μέση θλιπτική αντοχή [MPa]
	Πυλός	Λάσπη	Άμμος	Χαλίκι	Άχυρο	Νερό	
Μίγμα 1	26,6	43,6	11,4	9,3	0	10,1	2,88
Μίγμα 2	16,3	27,7	27,1	18,2	0,3	10,4	2,67
Μίγμα 3	16,3	27,8	27,2	18,2	0,6	10	2,46
Μίγμα 4	16,3	27,7	27,1	18,1	0,9	10	2,61
Μίγμα 5	12	20,5	35,5	23	0,2	8,7	2,59
Μίγμα 6	11,9	20,3	35,3	22,8	0,4	9,2	2,41
Μίγμα 7	11,9	20,2	35	22,7	0,6	9,6	2,82
Μίγμα 8	9,7	16,4	40,3	25,8	0,2	7,6	2,14
Μίγμα 9	9,6	16,4	40,3	25,7	0,3	7,6	2,44
Μίγμα 10	9,6	16,3	39,9	25,5	0,5	8,4	2,52

Εικόνα 11: Μίγματα ωμόπλινθων και η θλιπτική τους αντοχή [41].

Σε μια πειραματική έρευνα που μελέτησε την επίδραση των υλικών πρόσθετων στην μηχανική αντοχή των ωμόπλινθων, προέκυψαν πολλά ακόμα χρήσιμα συμπεράσματα που επιβεβαιώνουν και τις προαναφερθείσες θέσεις [43]. Αρχικά, όσον αφορά την προσθήκη άμμου βρέθηκε ότι ο βέλτιστος λόγος άμμου προς λάσπη είναι 0.15 και σχεδόν διπλασιάζει τη δυνατότητα του ωμόπλινθου να φέρει φορτίο. Επίσης, επιβεβαιώθηκε ότι μια μικρή προσθήκη αχύρου (έως 0.5%) βελτιώνει σημαντικά την θλιπτική αντοχή αλλά πέρα από το σημείο αυτό η επίδραση είναι σημαντικά αρνητική, με το φορτίο να μειώνεται ακόμα και κατά 80%. Η προσθήκη τσιμέντου είναι σημαντική, όπως και αναμενόταν και κρίνεται ότι η κατά βάρος προσθήκη 6% τσιμέντου μπορεί να αντισταθμίσει την προσθήκη υψηλότερων ποσοστών αχύρου, δίχως να επιδρά σημαντικώς αρνητικά στις θερμικές ιδιότητες των ωμόπλινθων. Πέραν του ποσοστού αυτού η επίδραση στις θλιπτικές αντοχές γίνεται αρνητική όταν συνυπάρχει με άχυρο. Σε διαφορετική περίπτωση, η προσθήκη τσιμέντου σε μεγαλύτερα ποσοστά επιδρά θετικά. Επιπροσθέτως, η άσβεστος σε ποσοστά έως 6% έχει θετική επίδραση στις θλιπτικές αντοχές, σαφώς σε μικρότερο ποσοστό συγκριτικά με το τσιμέντο, ενώ η συμπεριφορά της είναι παρόμοια με αυτήν του τσιμέντου. Τέλος, η προσθήκη ινών και ρινισμάτων σιδήρου μπορεί να αποτελέσει έναν τρόπο αύξησης των μηχανικών αντοχών των ωμόπλινθων, σε μικρότερο βαθμό συγκριτικά με το άχυρο και με σαφώς αρνητική επίδραση στις θερμικές ιδιότητες αυτών.

5

Κατασκευή κατοικίας από ωμόπλινθους

5.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέραμε στην εισαγωγή της παρούσης εργασίας αλλά και κατά τη διάρκεια της παρουσίας των ιδιοτήτων των ωμόπλινθων στο αντίστοιχο κεφάλαιο, οι κατασκευές από ωμόπλινθο παρουσιάζουν βιοκλιματική συμπεριφορά. Αποτελούν χαμηλού κόστους κατασκευές φιλικές προς το περιβάλλον επίσης ως αρχιτεκτονικές κατασκευές ανατρέχουν στην πολιτιστική μας κληρονομιά. Όμως, οι κατασκευές από ωμόπλινθους έχουν και σημαντικά αρνητικά στοιχεία, όπως η αντισεισμική τους συμπεριφορά και τα προβλήματα υγρασίας που μπορούν να επιφέρουν την τρωτότητα της κατασκευής μας. Στο κεφάλαιο αυτό θα ακολουθήσει μια συνοπτική περιγραφή της κατοικίας που κατασκευάστηκε με τη χρήση ωμόπλινθων και στη συνέχεια μελετήσαμε, με σκοπό να αναδείξουμε τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες που μετριάζουν τα ως άνω αρνητικά στοιχεία και παράλληλα αναδεικνύουν τα θετικά.

5.2 Η διαδικασία παρασκευής των ωμόπλινθων

Για την παρασκευή των ωμόπλινθων που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή μας χρησιμοποιήθηκε χώμα από τον τόπο στον οποίο αυτή θα χτιστεί. Δεν υπήρξε κάποια μελέτη της σύστασης της πρώτης ύλης και προσθήκη άλλου υλικού (πέραν των αχύρων όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια), διότι οι ωμόπλινθοι θα αποτελέσουν μέρος φέρουσας τοιχοποιίας. Έτσι λοιπόν, το χώμα αφού αφαιρέθηκε αναμίχθηκε με μηχανικά μέσα προκειμένου να υπάρξει ομογενοποίηση, εξαιτίας της φυσικής διαστρωμάτωσης της γης.

Στη συνέχεια, στο χώμα αυτό έγινε προσθήκη νερού και αχύρων, τα οποία είχαν κοπεί σε μικρές ίνες. Όπως αναφέρθηκε, το άχυρο προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά τη θερμική αγωγιμότητα καθώς επίσης και ορισμένες μηχανικές ιδιότητες. Δεν έγινε ακριβής υπολογισμός της ποσότητας αχύρου που προστέθηκε, καθώς όπως αναφέραμε ο τοίχος πρόκειται να αποτελέσει μέρος μονόροφης κατοικίας και δεν θα φέρει φορτία, συνεπώς οι μηχανική αντοχή των ωμόπλινθων δεν ήταν τόσο σημαντική προκειμένου να απαιτηθεί ενδελεχής μελέτη.

Το επόμενο βήμα ήταν η προσθήκη του μίγματος αυτού σε καλούπια τα οποία θα δώσουν στη πρώτη ύλη το απαιτούμενο σχήμα. Η διαδικασία αυτή αποτελεί και την πιο χρονοβόρα κατά την κατασκευή ωμόπλινθων, καθώς επίσης απαιτεί και μεγάλες ποσότητες νερού για την επιτυχή διεκπεραίωσή της. Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί ότι για την παρασκευή 8000 πλινθίων για ένα μικρό σπίτι 50 τετραγωνικών μέτρων απαιτείται έκταση ενός στρέμματος και ιδιαίτερα κοπιαστική εργασία. Ο ρυθμός παραγωγής αυτών ήταν περίπου 500 πλινθία ανά ημέρα από ένα έμπειρο συνεργείο τριών ατόμων [24].

5.3 Ο φέρων οργανισμός και η θεμελίωση

Για την διασφάλιση της δομικής ακεραιότητας της κατασκευής, επιλέχθηκε ως λύση ο φέρων οργανισμός να είναι κατασκευασμένος από δομική ξυλεία, αυτό επιτρέπει να αποφορτιστεί η τοιχοποιία από ωμόπλινθους. Η θεμελίωση της κατασκευής είναι επίσης μια πολύ σημαντική παράμετρος [44]. Έτσι λοιπόν, η κατασκευή αυτή θεμελιώθηκε με σκυρόδεμα, στο οποίο και πακτώθηκαν τα υποστυλώματα του ξύλινου σκελετού.

Συνεπώς, το κτίριο το οποίο κατασκευάστηκε, κατά το στάδιο της μελέτης και αδειοδότησης αποτέλεσε κατ' ουσίαν ένα κτίριο κατασκευασμένο από ξύλο και συνεπώς δεν υπήρξε κάποιο κώλυμα σχετικά με την κείμενη νομοθεσία. Για την μελέτη εφαρμόστηκε ο Ευρωκώδικας 5.

Ο ξύλινος αυτός σκελετός συνοδεύεται και από την αντίστοιχη ξύλινη στέγη με κεραμίδια. Η υγραμόνωση αυτής επιτυγχάνεται με τη χρήση διαπνέουσας μεμβράνης ενώ η αντίστοιχη θερμομόνωση από πολυεστερικά φύλλα τα είναι κατασκευασμένα από ανακυκλώσιμο υλικό. Το κόστος της όλης κατασκευής, δηλαδή της φέρουσας τοιχοποιίας μαζί με την στέγη προέκυψε αυξημένο μόνο κατά 5% συγκριτικά με την κατασκευή απλής στέγης. Συνεπώς, η χρήση φέροντος οργανισμού από ξύλο δεν επιδρά αρνητικά στο σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης ωμόπλινθων, που είναι το χαμηλό τους κόστος, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζει τις σημαντικές τους δομικές αδυναμίες [24].

5.4 Το στάδιο του κτισίματος του κτιρίου

Το στάδιο του κτισίματος δεν διαφέρει σημαντικά από ότι αυτού ενός κτιρίου από τούβλα. Για την σύνδεση των ωμόπλινθων χρησιμοποιήθηκε κονίαμα από λάσπη, όπως ακριβώς και η λάσπη των ωμόπλινθων, δίχως όμως την προσθήκη αχύρου.

Σημαντικό στοιχείο για την βελτίωση της ωμοπλινθοδομής είναι η χρήση οριζόντιων διαζωμάτων (ξυλοδεσιές). Οι ξυλοδεσιές που λειτουργούν ως ενισχυτικά στοιχεία. Πρόκειται για μια κατασκευή από δύο ξύλινα στοιχεία, ένα στην εξωτερική και ένα εσωτερική παρεία, που τρεχούν κατά μήκος του τοίχου και ενώνονται μεταξύ τους με κλάπες. Η κατασκευή αυτή συναντάται συνήθως στο ύψος του πατώματος, της στέγης και ενίοτε στο ύψος του πρεκιού και της ποδιάς του παράθυρου, ή του πρεκιού της πόρτας. Με την χρήση των ξυλοδεσιών δημιουργούνται οριζόντια διαζώματα ξύλινων πλαισίων τα οποία ενισχύουν την συνεργασία των δύο παρειών των τοίχων [45].

Για την προστασία των ωμόπλινθων από την υγρασία, που είναι ένα σημαντικό πρόβλημα, απαιτείται η χρήση επιχρισμάτων, αφού δεν χρησιμοποιήθηκαν πρόσθετα στη λάσπη. Για τα εσωτερικά και εξωτερικά επιχρίσματα χρησιμοποιήθηκε ασβεστοκονίαμα από ασβέστη άμμο και συνθετικές ίνες για την βελτίωση της αντοχής, δίχως την προσθήκη τσιμέντου για να επιτρέπεται η διαπνοή των τοίχων.

Όσον αφορά το δάπεδο της κατασκευής, για την επίτευξη της απαραίτητης θερμομόνωσης χρησιμοποιήθηκε περλιτομπετόν, δηλαδή ελαφρύ σκυρόδεμα με διογκωμένο περλίτη. Πάνω από το περλιτομπετόν εφαρμόστηκε μια παραλλαγή της πατητής τσιμεντοκονίας, η οποία αποτελεί αρχιτεκτονικό στοιχείων των οικιών της περιοχής μεταπολεμικά.

Τέλος, όσον αφορά τον χρωματισμό της οικίας, χρησιμοποιήθηκαν φυσικά χρώματα τα οποία επιτρέπουν την διαπνοή της ωμοπλινθοδομής. Τα κουφώματα είναι παραδοσιακά κουφώματα από ξύλο με διπλούς υαλοπίνακες και φυσικά βερνίκια, ενώ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την ενεργειακή αυτονομία της κατοικίας στην στέγη τοποθετήθηκαν φωτοβολταϊκά πάνελ [24].

5.5 Συμπεράσματα

Καταρχάς, είναι σημαντικό να γίνει αναφορά στο κόστος της κατασκευής της κατοικίας από ωμόπλινθους. Παρά το γεγονός ότι πρόκειται για μια ιδιαίτερη κατασκευή, στην οποία επιπροσθέτως γίνεται χρήση ενός μη βιομηχανικού υλικού, εν τούτοις η χρήση του ξύλινου φορέα συνέβαλε σημαντικά στη μείωση του κόστους, τόσο όσον αφορά στην ανάγκη για εκτενέστερη μελέτη όσο και συγκριτικά με την χρήση φέροντος οργανισμού από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Επίσης, η αρκετά καλή θερμική συμπεριφορά των ωμόπλινθων, που επιτρέπει ικανοποιητικές συνθήκες διαβίωσης, αποτρέπει την ανάγκη χρήσης επιπλέον μονωτικού υλικού, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του κόστους. Έτσι λοιπόν, το κόστος της κατασκευής ήταν μειωμένο κατά 10% συγκριτικά με μία όμοια συμβατική κατασκευή, κόστος το οποίο θα μπορούσε να μειωθεί περαιτέρω με τυποποίηση της διαδικασίας παρασκευής πλινθίων, του κτισίματός τους και κατάλληλης εξειδίκευσης των εργατών στο δομικό υλικό αυτό.

Επιπροσθέτως, ένα ακόμα σημαντικό συμπέρασμα της μελέτης είναι η απουσία κατάλληλου θεσμικού πλαισίου για την δόμηση από πηλό, εξ' ου άλλωστε και η χρήση του ξύλινου φέροντος οργανισμού. Όπως εξάλλου προέκυψε και από τα αποτελέσματα ερευνών που παρουσιάστηκαν στο αντίστοιχο κεφάλαιο, οι θερμικές και μηχανικές ιδιότητες των ωμόπλινθων είναι ιδιαίτερα ευμετάβλητες και συνεπώς υπάρχει μια εμφανής αδυναμία εφαρμογής του KENAK, καθότι είναι εμφανές ότι το υλικό αυτό υποεκτιμάται και δεν υπάρχει κατάλληλη πρόβλεψη για τις ιδιαιτερότητες αυτές. Έτσι, μια άκαμπτη εφαρμογή του ισχύοντος νομοθετικού πλαισίου όχι απλώς δυσχεραίνει την κατασκευή κατοικιών από ωμόπλινθους, αλλά μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε αρνητικά φαινόμενα, αφού όπως προκύπτει, ακόμα και τοιχοποιίες πάχους 50 cm απαιτούν επιπλέον θερμομόνωση, το οποίο προκαλεί τεχνικές δυσκολίες, προβλήματα στατικότητας, και μείωση της διαπνοής του υλικού.

Τέλος, ένα στοιχείο στο οποίο απαιτείται να γίνει ιδιαίτερη μνεία είναι οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάστηκαν κατά το στάδιο της κατασκευής. Όπως αναφέρθηκε, η μη ύπαρξη τυποποιημένων ή και ακόμα καλύτερα αυτοματοποιημένων μεθόδων κατασκευής ωμόπλινθων επιφέρει μεγάλες ανάγκες σε χρόνο, χώρο, πρώτες ύλες και προσωπικό. Παράλληλα, πρόκειται για μια μέθοδο ιδιαίτερα ευαίσθητη στις καιρικές συνθήκες κατά τη διαδικασία της παραγωγής και δόμησης, γεγονός που εντείνει περαιτέρω τα ως άνω παρατιθέμενα προβλήματα. Συνεπώς, κρίνεται ότι νέες μέθοδοι, όπως για παράδειγμα η παραγωγή συμπιεσμένων ωμόπλινθων, θα αμβλύνει σημαντικά τα ζητήματα αυτά και θα καταστήσει τους ωμόπλινθους ένα προσβάσιμο δομικό υλικό [24].

Υπολογιστική Ανάλυση

6.1 Εισαγωγή

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η καταγραφή της μεθοδολογίας της υπολογιστικής ανάλυσης της οικίας η οποία μελετάται στην εν λόγω πτυχιακή. Όπως αναφέρθηκε, έχει επιλεγεί μια πλίνθινη κατοικία στην περιοχή των Τρικάλων και αποφασίσθηκε να μελετηθεί η ενεργειακή της συμπεριφορά, με τις μετρούμενες παραμέτρους να αποτελούν την θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία στην θερμική ζώνη . Επιπροσθέτως, θα μελετηθεί η ενεργειακή απαίτηση σε θερμικά και ψυκτικά φορτία υποθετικού συστήματος θέρμανσης και ψύξης με συντελεστή απόδοσης 1μεταβλητου αέρα προσαγωγής.

Η αξία των υπολογιστικών εργαλείων σε μια τέτοια μελέτη είναι πολύ μεγάλη. Οι παράγοντες που επιδρούν στον υπολογισμό των φορτίων είναι πολλοί, αλληλοσυνδεόμενοι και συχνά ο ακριβής προσδιορισμός τους είναι δύσκολος. Πολλές από τις συνιστώσες των φορτίων μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του 24ώρου και μάλιστα με διαφορά φάσης έτσι ώστε ο υπολογισμός της συνισταμένης τιμής για τη θερμική ζώνη και για ολόκληρο το κτήριο να απαιτεί ειδική μεθοδολογία. Η υπολογιστική ανάλυση με συστήματα προσομοίωσης , επιταχύνει την διαδικασία και συγχρόνως αυξάνει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτή, επιλέχθηκε η χρήση του προγράμματος EnergyPlus, ένα διεθνώς αναγνωρισμένο εργαλείο το οποίο παρέχει απεριόριστες δυνατότητες στο χρήστη. Για τη διευκόλυνσή μας, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα OpenStudio, το οποίο ουσιαστικά αποτελεί μια γραφική διεπαφή ανάμεσα στο χρήστη και στο πρόγραμμα προσομοίωσης.

Το λογισμικό OpenStudio

Το λογισμικό OpenStudio είναι ένα δωρεάν λογισμικό ανοικτού κώδικα λογισμικό, διαθέσιμο για όλες τις δημοφιλείς πλατφόρμες, το οποίο συνδυάζει μια πληθώρα από υποπρογράμματα και επιτρέπει την ενεργειακή ανάλυση ενός κτιρίου. Η πρώτη του έκδοση αναρτήθηκε τον Απρίλιο του 2008 από το εργαστήριο NREL (εργαστήριο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ [46] με σκοπό να αποτελέσει ένα εργαλείο

γρήγορης ανάλυσης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου από τους αρχιτέκτονες μηχανικούς κατά το σχεδιασμό.

Το λογισμικό αυτό αποτελεί ένα εργαλείο Ενεργειακής Μοντελοποίησης Κτιρίων (BEM – Building Energy Modeling), πραγματοποιεί προσομοίωση με βάση μοντέλα και εξισώσεις φυσικής μέσω της περιγραφής του κτιρίου (υλικά, δόμηση, περιεχόμενο), τα πρότυπα χρήσης του (τρόπος χρήσης, χρόνος διεργασιών, φωτισμός, θέρμανση και ψύξη, συσκευές κ.α.) καθώς και τις μετεωρολογικές συνθήκες του τόπου κατασκευής. Όπως αναφέρθηκε, επειδή το OpenStudio αποτελεί κατ' ουσίαν το συνδυασμό μικρότερων συνεργαζόμενων προγραμμάτων που επιτελούν διάφορες λειτουργίες, το πρόγραμμα που διενεργεί την ενεργειακή αυτή προσομοίωση είναι το EnergyPlus [47].

Το εργαλείο EnergyPlus είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης ολόκληρου κτιρίου που χρησιμοποιείται ευρέως από μηχανικούς και ερευνητές για τη μοντελοποίηση κατανάλωσης ενέργειας και χρήσης νερού ενός κτιρίου και του οποίου η ανάπτυξη χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα γραμμής εντολών το οποίο διαβάζει δεδομένα από αρχεία εισόδου κειμένου και εξάγει τα αποτελέσματα σε αρχεία εξόδου κειμένου. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να λειτουργήσει και αυτόνομα, αλλά μέσω του OpenStudio η εισαγωγή δεδομένων αλλά και η ανάγνωση των αποτελεσμάτων γίνεται γρήγορα και εύκολα με χρήση ενός γραφικού περιβάλλοντος GUI.

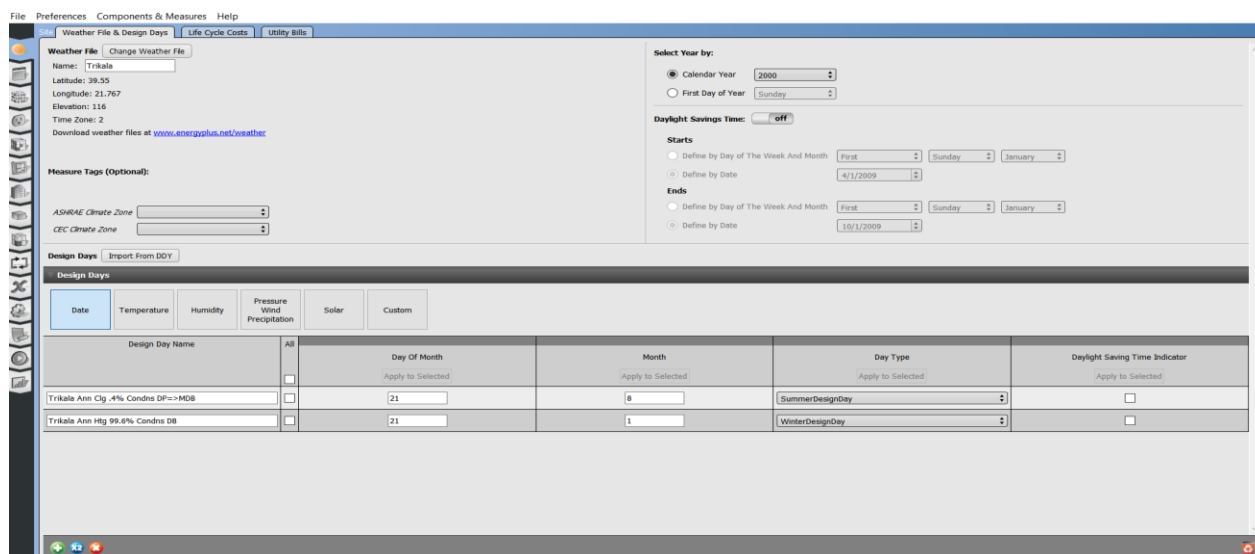
Η χρήση προγραμμάτων μοντελοποίησης κτιρίων είναι εξαιρετικά σημαντική για την ενεργειακή βελτιστοποίησή τους. Εντούτοις, στις ΗΠΑ τα δεδομένα δείχνουν ότι μόνο το 43% των κτιρίων που ανεγέρθηκαν το 2017 έχουν μελετηθεί κατά τέτοιο τρόπο και πιθανώς ο πραγματικός αριθμός να είναι μικρότερος, αφού πρόκειται για εθελοντικά στοιχεία [47]. Η τάση χρήσης όμως τα τελευταία χρόνια είναι αυξητική, καθώς τα οφέλη είναι σημαντικά και οι πλατφόρμες λογισμικού ωριμάζουν, ταυτόχρονα με την ευρεία διάθεση ολοένα και γρηγορότερων υπολογιστών.

6.3 Επιλογή μετεωρολογικών δεδομένων

Μια θεμελιώδεις συνθήκη σε κάθε υπολογιστική διαδικασία είναι η ορθή επιλογή των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν σε έναν αλγόριθμο ως είσοδος, μια αρχή που είναι γνωστή στη διεθνή βιβλιογραφία ως “garbage in, garbage out”. Οι επιλογές μας ήταν πολλές, καθώς

υπάρχει πληθώρα δεδομένων στο διαδίκτυο, όσον αφορά το σκέλος των μετεωρολογικών δεδομένων. Υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής δεδομένων από συναρτήσεις της ελληνικής βιβλιογραφίας, που έχουν προκύψει από στατιστική επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων της EMY και με κατάλληλους συντελεστές μας δίνουν αποτελέσματα για την περιοχή που μας ενδιαφέρει. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης μετεωρολογικών δεδομένων από σταθμούς ή στατιστικής επεξεργασίας αυτών σε βάθος χρόνου και εξαγωγής μέσω τιμών. Ακόμα, το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα χρήσης των κλιματικών ζωνών της ASHRAE και την αυτόματη χρησιμοποίηση δεδομένων (αντιπροσωπευτικές πόλεις) με βάση τη ζώνη αυτή. Τέλος, υπάρχει η βάση δεδομένων του προγράμματος από όπου μπορεί κάποιος να κατεβάσει κατάλληλα δεδομένα για πολλές πόλεις [48]. Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας, επιλέχθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα της πόλης των Τρικάλων από την ιστοσελίδα των δημιουργών του EnergyPlus Weather (το τμήμα του EnergyPlus το οποίο εισάγει και επεξεργάζεται τα μετεωρολογικά δεδομένα) και είναι διαθέσιμα στον παρακατω σύνδεσμο:

http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/GRC_Greece/index.html με κωδικό 303 K.

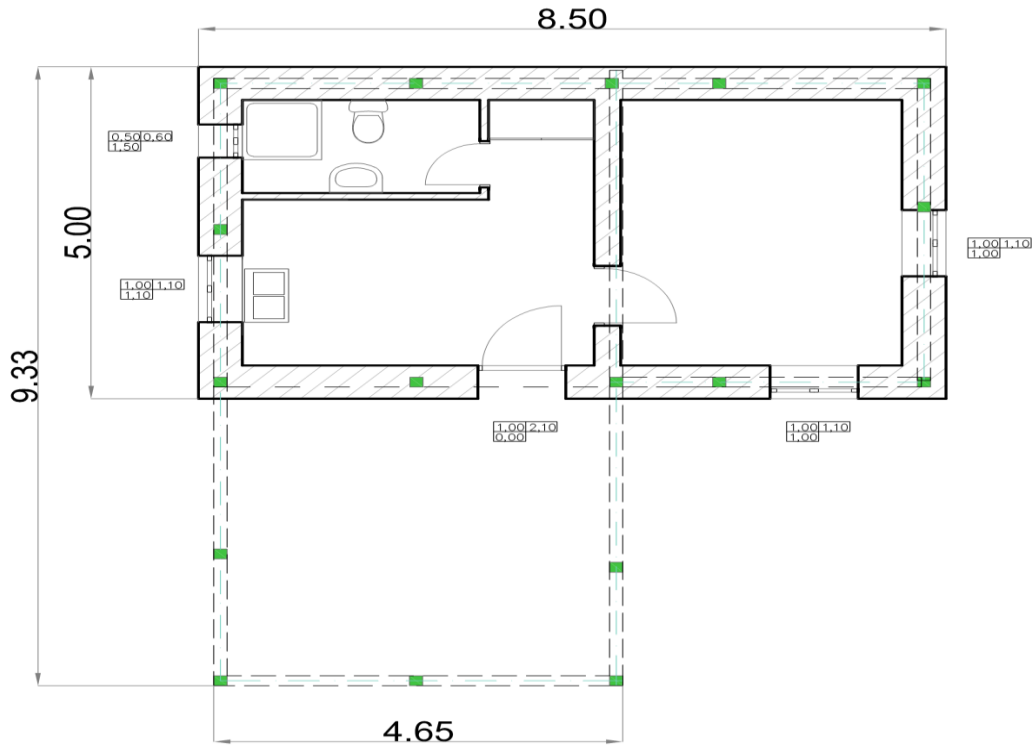


Εικόνα 12: Μετεωρολογικά Δεδομένα στο πρόγραμμα

6.4 Μοντελοποίηση κατοικίας

Η σχεδίαση της κάτοψης του κτιρίου έγινε σε διδιάστατο πρόγραμμα σχεδίασης (AutoCAD), που αποτελεί ένα επαγγελματικό ισχυρό εργαλείο σχεδίασης κατόπιν η κάτοψη αντιγράφηκε σε ενσωματωμένο υποπρόγραμμα μοντελοποίησης (floorSpace js) στο περιβάλλον

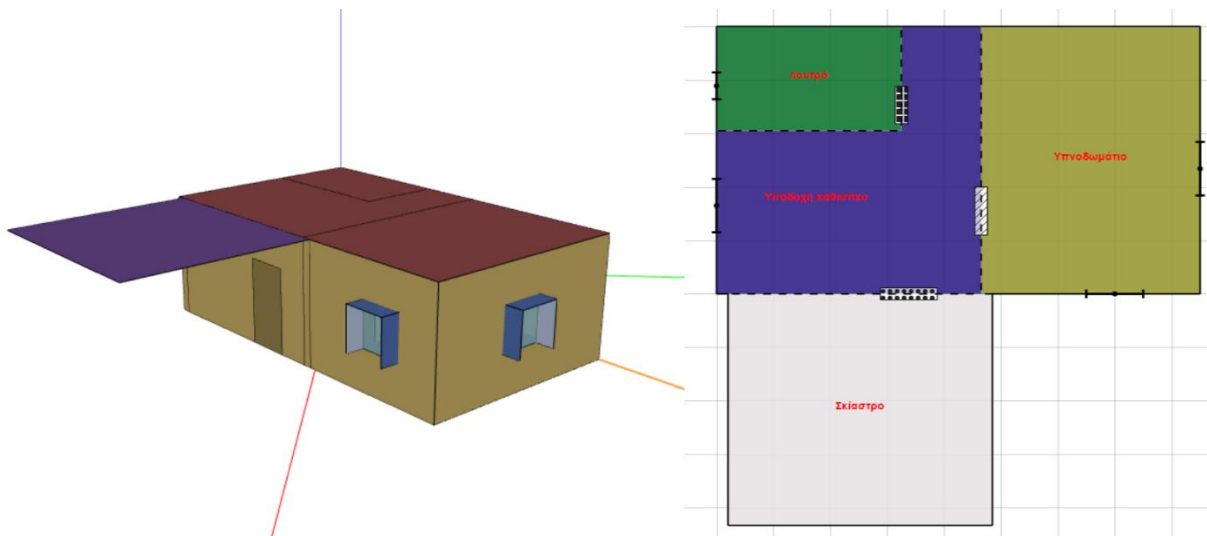
του προγράμματος OpenStudio. Ως βάση χρησιμοποιήθηκαν κατασκευαστικά σχέδια της κατοικίας (εικόνα 13). Ο εσωτερικός χώρος αν και διαμορφώθηκε, θα μελετηθεί ως μία ενιαία θερμική ζώνη, οριστήκαν τρία είδη χωρών ανάλογα με τη χρήση αυτών (υπνοδωμάτιο, υποδοχή - καθιστικό, λουτρό). Στην εμπρόσθια όψη του κτηρίου υπάρχει προεξοχή της τετράριχτης στέγης η οποία μοντελοποιήθηκε ως σκίαστρο.



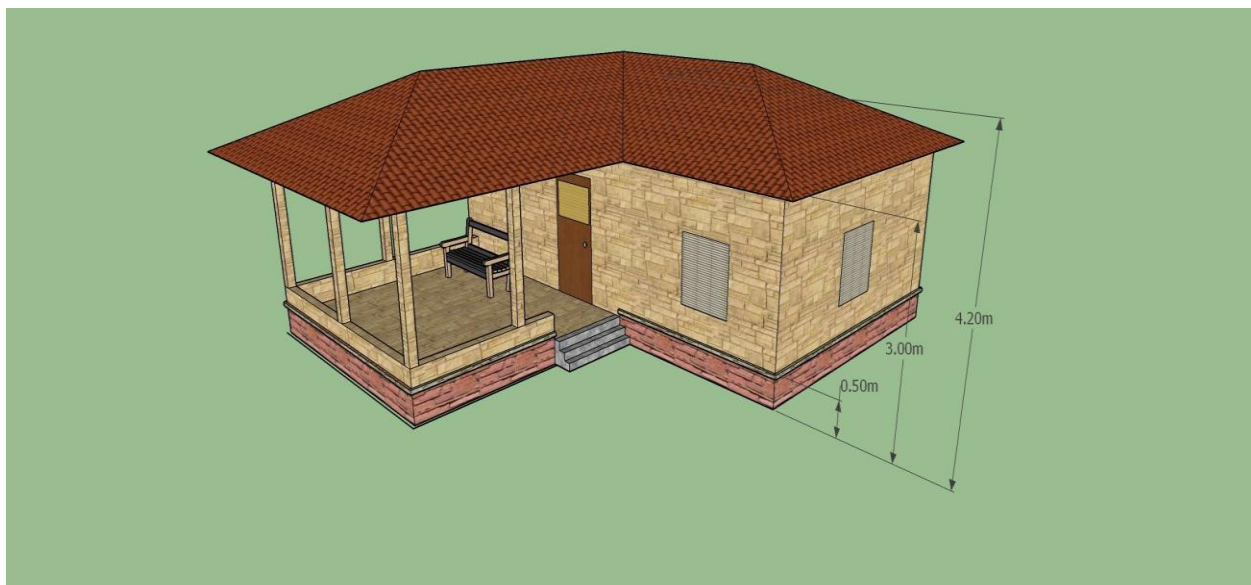
Εικόνα 13: Το κατασκευαστικό σχέδιο

Θερμογέφυρες οικίας	πλάτος (m)	ύψος (m)	ποδιά ανοίγματος (m)
Παράθυρο νοτιοανατολικά	1	1.1	1
Παράθυρο βορειοανατολικά	1	1.1	1
Παράθυρο 1 νοτιοδυτικά	1	1.1	1.1
Παράθυρο 2 νοτιοδυτικά	0.5	0.6	1.5
Εξωτερική θύρα	1	2.1	0
Εσωτερική θύρα 1	0.9	2.1	0
Εσωτερική θύρα 2	0.7	2.1	0

Εικόνα 14: Ανοίγματα κτηρίου



Εικόνα 15: Η κάτοψη στο ενσωματωμένο υποπρόγραμμα floorspace js και το παραχθέν μοντέλο



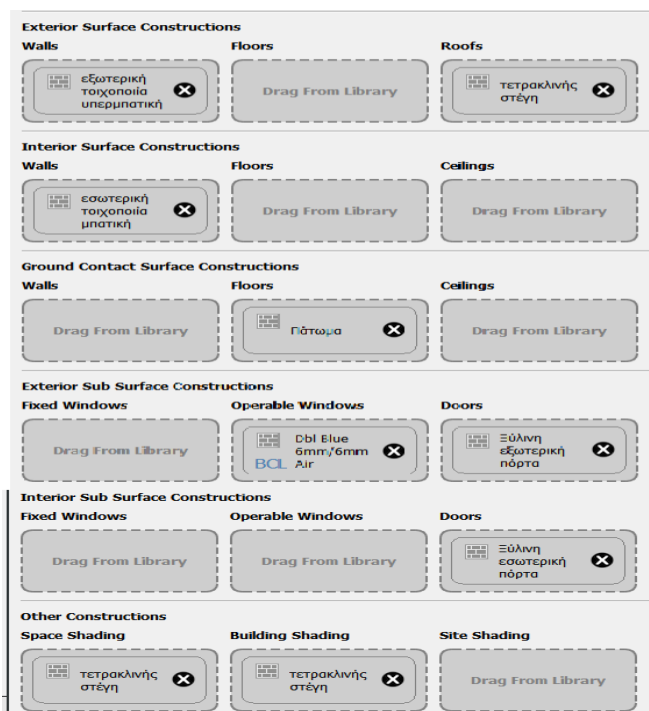
Εικόνα 16: Φωτορεαλιστική απεικόνιση της οικίας

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην επιλογή των υλικών από τα οποία αποτελείται η κατοικία, καθώς η συνεισφορά τους θεωρείται καθοριστική στο τελικό αποτέλεσμα. Το πρόγραμμα OpenStudio περιλαμβάνει πληθώρα υλικών κα συνδυασμό συνόλου κατασκευών, προσαρμοσμένων στην Αμερικανική πραγματικότητα. Για λόγους εξοικείωσης με το πρόγραμμα αλλά και για την χρήση υλικών που συναντώνται σε ελληνικές κατασκευές, επιλέχθηκε η εισαγωγή νέων υλικών και δομικών στοιχείων. Στοιχεία για τα υλικά αυτά προέκυψαν από τη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία [16] και κατά βάση από την τεχνική οδηγία TOTEE-20701-2.

Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 1 που ακολουθεί. Η παρουσίαση του κατασκευαστικού σετ όπως φαίνεται στο πρόγραμμα παρουσιάζεται στην εικόνα 17.

Δομικό στοιχείο	Υλικά
Εξωτερικός τοίχος	Επίχρισμα
	Ωμοπλινθοδομή
	Επίχρισμα
Εσωτερικός τοίχος	Επίχρισμα
	Ωμοπλινθοδομή
	Επίχρισμα
Στέγη	Κεραμιδί
	Πέτσωμα από ράμποτε
	Μονωση σε πλάκα
	Πέτσωμα από ράμποτε
Πάτωμα	Τσιμεντοκονία
	Περλιτομπετον
	Γκρο μπετον
	Κροκαλα
Παράθυρα	Διπλός συνήθεις υαλοπίνακας ξύλινο πλαίσιο
Εξωτερικές πόρτες	Ξύλο
Εσωτερικές πόρτες	Ξύλο

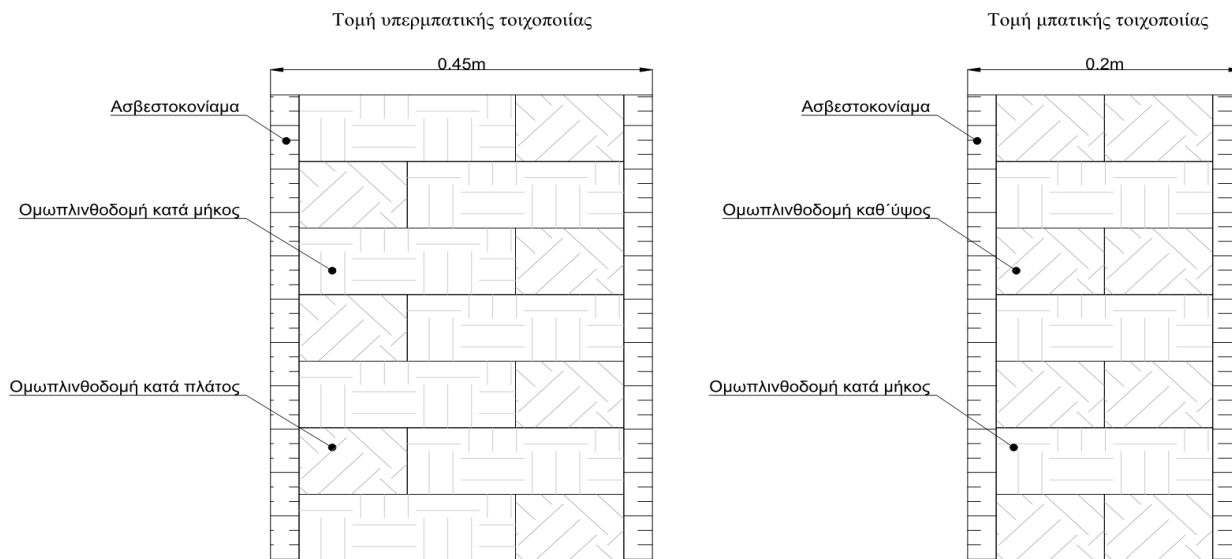
Πίνακας 1: Δομικά στοιχεία και υλικά που χρησιμοποιήθηκαν



Εικόνα 17: Το κατασκευαστικό σετ του προγράμματος

Στις παραγράφους που ακολουθούν θα παρουσιάσουμε αναλυτικότερα τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήσαμε κατά την δημιουργία δομικών στοιχείων καθώς και τις ιδιότητες αυτών.

Αρχικά, η εξωτερική τοιχοποιία είναι υπερμπατική αποτελείται από ωμολιθοδομή συνολικού πάχους 39 εκατοστών με εσωτερική και εξωτερική τελική επίστρωση από ασβεστοκονίαμα πάχους 3 εκατοστών. Οι ιδιότητες των υλικών είναι διαθέσιμες στον πίνακα 2 που ακολουθεί.



Εικόνα 18: Τομή τοιχοποιίας εξωτερικής και εσωτερικής

Υλικό	ρ [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]	C_p [J/(kg·K)]
Ασβεστοκονίαμα	1800	0,87	1000
Ωμόπλινθοι με πρόσμειξη άχυρου	1400	0,70	1000
Ασβεστοκονίαμα	1800	0,87	1000

Πίνακας 2: Υλικά και ιδιότητες αυτών για τους εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους

Η δομή της εσωτερικής τοιχοποιίας είναι μπατική, με διαφορά το πάχος του τοίχου, το οποίο είναι 20 εκατοστά συμπεριλαμβανομένου του πάχους ασβεστοκονιάματος.

Όσον αφορά την στέγη, αυτή αποτελείται εξωτερικά από κεραμίδι αργιλικής σύστασης πάχους 1.3 εκατοστών, πέτσωμα από ραμποτέ πάχους 2 εκατοστών, μόνωση aritherm τύπου

πλάκας πάχους 5 εκατοστών και τέλος πέτσωμα από ραμποτέ πάχους 2 εκατοστών με ιδιότητες όπως αυτές αναγράφονται στον πίνακα 3.

Υλικό	ρ [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]	C_p [J/(kg·K)]
Αργιλικά πλακίδια επιστέγασης (Κεραμίδι)	2000	1,000	800
Κατεργασμένη και ακατέργαστη ξυλεία, γενικώς (Πέτσωμα από ράμποτε)	700	0,180	1600
Μόνωση aritherm πλάκα	30	0,031	1450
Κατεργασμένη και ακατέργαστη ξυλεία, γενικώς (Πέτσωμα από ράμποτε)	700	0,180	1600

Πίνακας 3: Υλικά και ιδιότητες αυτών στέγης

Σχετικά με το πάτωμα του κτίσματος, αυτό αποτελείται στο ανώτερο στρώμα αυτού από τσιμεντοκονία πάχους 3 εκατοστών και ακολουθούν διαδοχικά περλιτομπετόν πάχους 3 εκατοστών, γκρο μπετόν πάχους 10 εκατοστών, κρόκαλα, δηλαδή ψηφίδες διαμέτρου κόκκου 10 έως 50 χιλιοστών συλλεκτές και θραυστές, στρωματικού πάχους 10 εκατοστών και τέλος συμπαγές χώμα πάχους 14 εκατοστών. Οι ιδιότητες αυτών αναγράφονται στον πίνακα 4.

Υλικό	ρ [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]	C_p [J/(kg·K)]
Τσιμεντοκονίαμα, επίστρωση τσιμέντου (Τσιμεντοκονία)	2000	1,400	1100
Περλιτόδεμα με τη χρήση αφροποιητικού παράγοντα (Περλιτομπετόν)	600	0,200	-
Σκυρόδεμα άοπλο ή ελαφρώς οπλισμένο (Γκρο- μπετόν)	1800	1,150	1000
Ψηφίδες διαμέτρου κόκκου 50 - 10 mm, συλλεκτές και θραυστές (Κρόκαλα)	-	0,810	
Χώμα συμπαγές	1800	2,000	100

Πίνακας 4: Υλικά και ιδιότητες του πατώματος του κτίσματος

Σημαντικές επίσης για την υπολογιστική ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου μας είναι και οι ιδιότητες των υαλοπινάκων του κτιρίου. Οι υαλοπίνακες που

χρησιμοποιήθηκαν είναι διπλοί, πάχους 4 χιλιοστών έκαστος και ενδιάμεσα παρεμβάλλεται διάκενο αέρα 6 χιλιοστών.

Υλικό	ρ [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]	C_p [J/(kg·K)]
Υαλοπίνακας	2500	1,000	750
Διάκενο αέρα	1,225	0,025	1000
Υαλοπίνακας	2500	1,000	750

Πίνακας 5: Υλικά και ιδιότητες υαλοπινάκων

Τέλος, όσον αφορά τις πόρτες των ανοιγμάτων, αυτές είναι κατασκευασμένες από μασίφ ξύλο οξιάς πάχους 12 εκατοστών για την εξωτερική και 8 εκατοστών για της εσωτερικές πόρτες. Οι ιδιότητες αυτών ακολουθούν στον πίνακα 6.

Υλικό	ρ [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]	C_p [J/(kg·K)]
Οξιά	800	0,17	1600

Πίνακας 6: Υλικά και ιδιότητες θυρών

6.5 Καταγραφή πραγματικών δεδομένων κτίσματος

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, έγινε καταγραφή των δεδομένων της θερμοκρασίας του αέρα και σχετικής υγρασίας του χώρου εντός της κατοικίας για διάρκεια ενός μηνός με στόχο τη σύγκριση των δεδομένων αυτών με την υπολογιστική ανάλυση που θα πραγματοποιήσουμε.

Για το σκοπό αυτό λοιπόν, χρησιμοποιήθηκε ένα αυτόνομο καταγραφικό σύστημα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας της εταιρίας Lascar με τύπο EL-USB-2. Πρόκειται για ένα εύχρηστο, μικρού μεγέθους (ελαφρώς μεγαλύτερο από ένα δίσκο USB) καταγραφικό με αυτόνομη πηγή τροφοδοσίας (μπαταρία τύπου AA) με δυνατότητα τοποθέτησης σε τοίχο, το οποίο μπορεί να κρατήσει στη μνήμη του περισσότερες από 16000 μετρήσεις. Το διάστημα καταγραφής ορίζεται από το χρήστη (μεταξύ 10 δευτερολέπτων και 12 ωρών) και σύνδεση μέσω θύρας USB με έναν προσωπικό υπολογιστή για τη μεταφορά των μετρήσεων. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τις τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος.



Εικόνα 19: Το καταγραφικό που χρησιμοποιήθηκε

Εύρος θερμοκρασίας T	-35°C έως 80°C
Ανάλυση T	0.5°C
Ακρίβεια T	0.55°C για T 5 έως 60°C
Σταθερότητα T	<0.02°C/έτος
Εύρος υγρασίας RH	0 έως 100%
Ανάλυση RH	0.5%
Ακρίβεια RH	2.25% για RH 20 έως 80%
Σταθερότητα RH	<0.25%/έτος
Ρυθμός καταγραφής	10 δευτερόλεπτα έως 12 ώρες
Διάρκεια μπαταρίας	3 έτη

Πίνακας 7: Τεχνικές προδιαγραφές καταγραφικού

6.6 Θερμικό κέρδος χώρου

Θερμικό κέρδος χώρου είναι ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα εισέρχεται ή παράγεται μέσα στο χώρο σε μια ορισμένη χρονική στιγμή. Το θερμικό κέρδος προέρχεται από:

- Ηλιακή ακτινοβολία μέσω διάφανων επιφανειών
- Αγωγή θερμότητας δια των εξωτερικών τοίχων και οροφών
- Αγωγή θερμότητας δια εσωτερικών χωρισμάτων (τοίχοι, δάπεδα, οροφές)
- Παραγωγή θερμότητας μέσα στο χώρο (άνθρωποι, φωτισμός, συσκευές)
- Ανανέωση και διείσδυση εξωτερικού αέρα

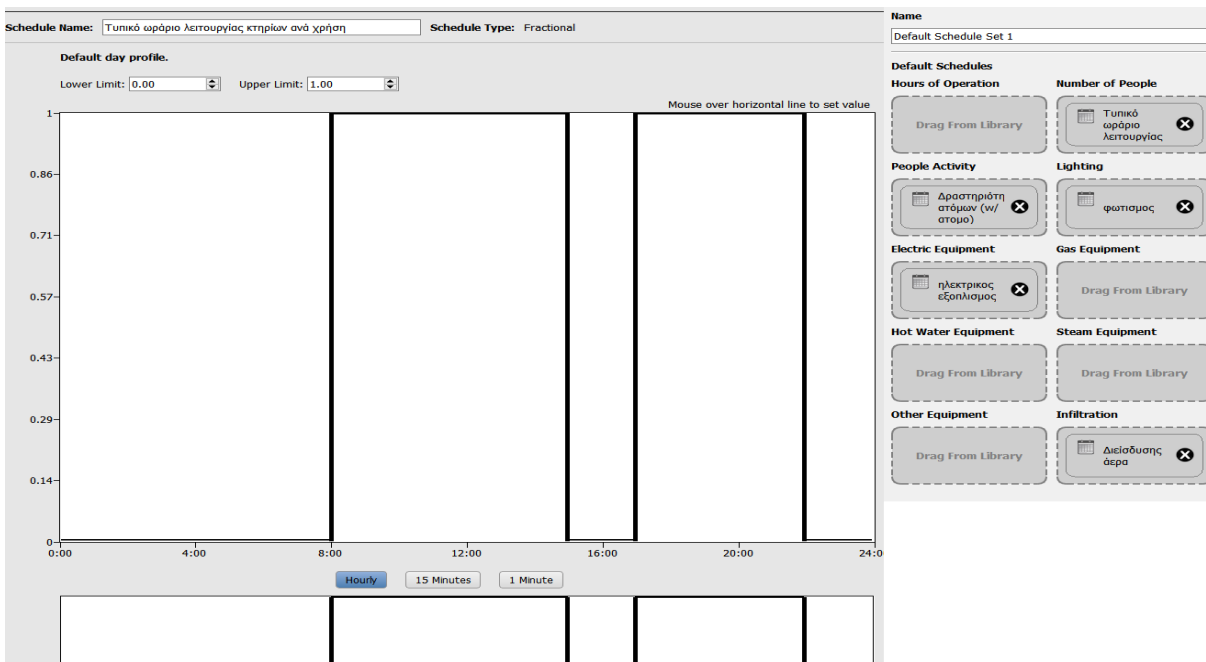
Για όλες τις περιπτώσεις, το λογισμικό θα επιληφθεί μέσω των κατάλληλων υπολογιστικών μοντέλων και των παραμέτρων που θέσαμε. Όσον αφορά την ανανέωση εξωτερικού αέρα, κρίθηκε ότι δεν αποτελεί σημαντική παράμετρο στην παρούσα εφαρμογή. Η σημασία του συγκεκριμένου παράγοντα γίνεται αντιληπτή σε συστήματα κλιματισμού τα οποία ανανεώνουν τον εσωτερικό

αέρα (κτίρια γραφείων, γυμναστήρια, μαγειρεία) σε ένα ποσοστό και συνεπώς αποβάλουν θερμότητα στο περιβάλλον. Σε μια σύγχρονη κατοικία, ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα είναι μικρός, τόσο για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας, όσο και για πρακτικούς λόγους, αφού ο αριθμός των ατόμων που συναντάται και οι δραστηριότητες που συντελούνται δεν επιβαρύνουν αρκετά τον περιβάλλοντα χώρο. Στην παράγραφο αυτή θα ασχοληθούμε με την παραγωγή θερμότητας μέσα στο χώρο.

Για τον ορισμό των ακόλουθων παραμέτρων, θεωρήσαμε ότι υπάρχουν 3 άτομα στην κατοικία με θερμική ισχύς 80 Watt ανά άτομο. Υπόψη ελήφθη τόσο ο φωτισμός εσωτερικά και εξωτερικά της οικίας όσο και ένα τυπικό φορτίο ηλεκτρικών συσκευών στο χώρο. Επίσης λήφθηκαν υπόψιν οι τιμές παροχής αέρα λόγω διείσδυσης εξαιτίας των κουφωμάτων αλλά και της καμινάδας της οικίας. Οι τιμές για τις θερμογέφυρες υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη τεχνική οδηγία Τ.Ε.Ε 2070-1 συγκεκριμένα τιμές για την διείσδυση αέρα λόγω της καμινάδας τζακιού από τον πίνακα 3.23 ενώ για τα ανοίγματα από τον πίνακα 3.24. Στον πίνακα 8 παρατίθενται οι αθροιστικές τιμές σε m³/s ανά χώρο χρήσης. Για τον εξορθολογισμό της υπολογιστικής ανάλυσης ορίστηκε κατάλληλο χρονοδιάγραμμα δραστηριοτήτων χρήσης χώρων (εικόνα 20), το οποίο και καθορίζει την χρονική κατανομή των φορτίων στη διάρκεια της ημέρας με ακραίες τιμές μηδέν έως ένα.

Διείσδυση αέρα (m ³ /s)	
Υπνοδωμάτιο	0,007638
Υποδοχή καθιστικό	0,009188
Λουτρό	0,001041

Πίνακας 8: Συνολικές τιμές διείσδυσης αέρα



Εικόνα 20: Το χρονοδιάγραμμα χρήσης χώρων

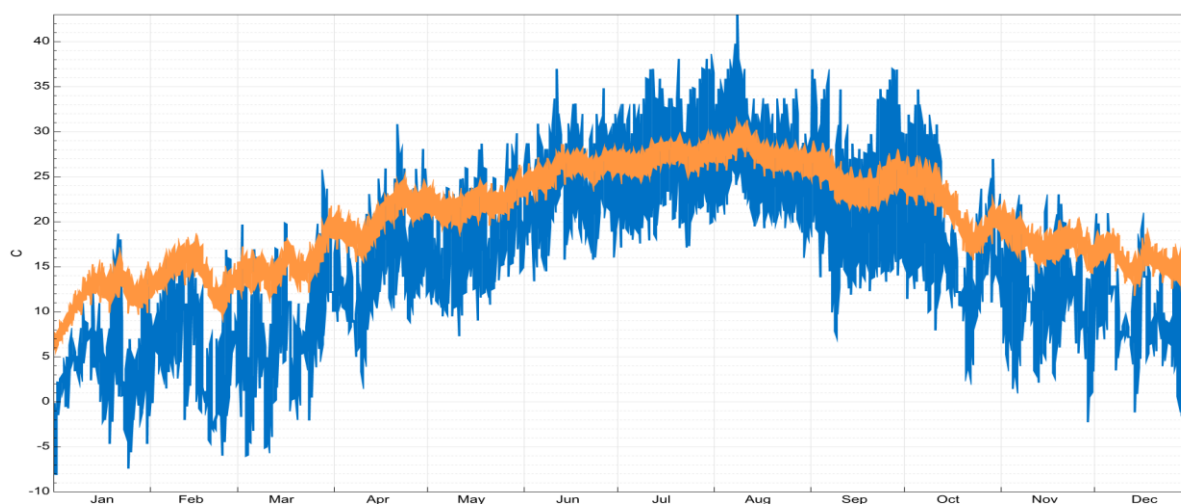
6.7 Αποτελέσματα

Ακολουθούν τα αποτελέσματα, διαγράμματα θερμοκρασίας και υγρασίας σε όλη τη διάρκεια του έτους. Οι μετρήσεις λήφθηκαν χωρίς τη χρήση ψυκτικών και θερμικών φορτίων προκειμένου να διαπιστωθεί επακριβώς η θερμική απόδοση της ωμοπλινθοδομής.

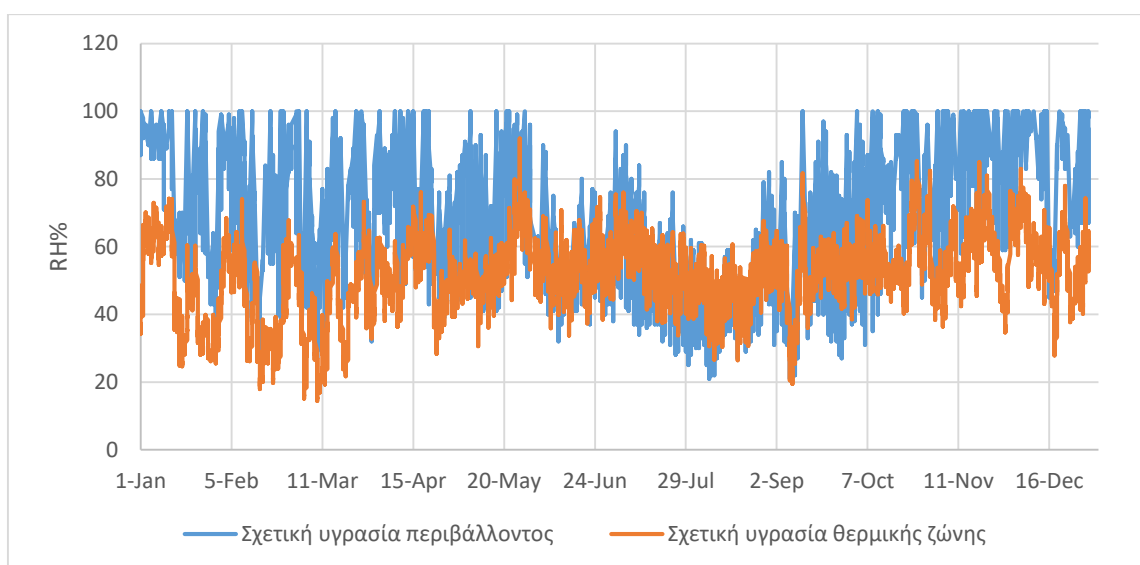
Στο διάγραμμα θερμοκρασίας συγκρίνεται η θερμοκρασία θερμικής ζώνης με την εξωτερική θερμοκρασία ξηράς ατμοσφαιράς. Στην καμπύλη εσωτερικής θερμοκρασίας παρατηρείται μια σαφώς μικρότερη και ομαλή διακύμανση των τιμών. Επίσης κατά τους θερινούς μήνες εντοπίζονται σχετικά υψηλές τιμές θερμοκρασίας αλλά χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν ο τακτικός εξαερισμός και η ανανέωση του νοπού αέρα της οικίας. Κατά τους χειμερινούς μήνες δεν συναντώνται ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες λαμβάνοντας υπόψη πάντα την απουσία θερμικών φορτίων. Όσον αφορά την σχετική υγρασία στο εσωτερικό της οικίας παρατηρούνται τιμές που σε κάποιες περιπτώσεις αποκλίνουν από τα αποδεκτά όρια που ορίζονται από την τεχνική οδηγία TEE_20701-1_2017. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται σε ελλαττωματική εισαγωγή δεδομένων στο αρχείο καιρού. Σε κάθε περίπτωση όμως εμφανίζουν μια ομαλή διακύμανση τιμών οι οποίες δεν θα μπορούσαν να προκαλέσουν στους χρήστες της οικίας δυσφορία. Παρακάτω παρατίθενται (πίνακας 9) οι μέσες τιμές ανά μηνά των υπολογιζόμενων τιμών υγρασίας και θερμοκρασίας προς ευκολία ανάγνωσης των διαγραμμάτων.

	°C	RH%		°C	RH%
ΙΑΝ	11.4423	46.9899	ΙΟΥΛ	27.4169	55.2348
ΦΕΒ	13.9302	43.3601	ΑΥΓ	27.9053	47.2645
ΜΑΡ	15.1763	41.0436	ΣΕΠ	24.6809	51.2491
ΑΠΡ	20.4032	52.5432	ΟΚΤ	21.6893	57.2764
ΜΑΙ	22.2304	55.5391	ΝΟΕ	17.7811	55.3714
ΙΟΥΝ	25.9949	53.8133	ΔΕΚ	15.6674	57.1139

Πίνακας 9: Μέσος όρος τιμών υγρασίας θερμοκρασίας ανά μηνά



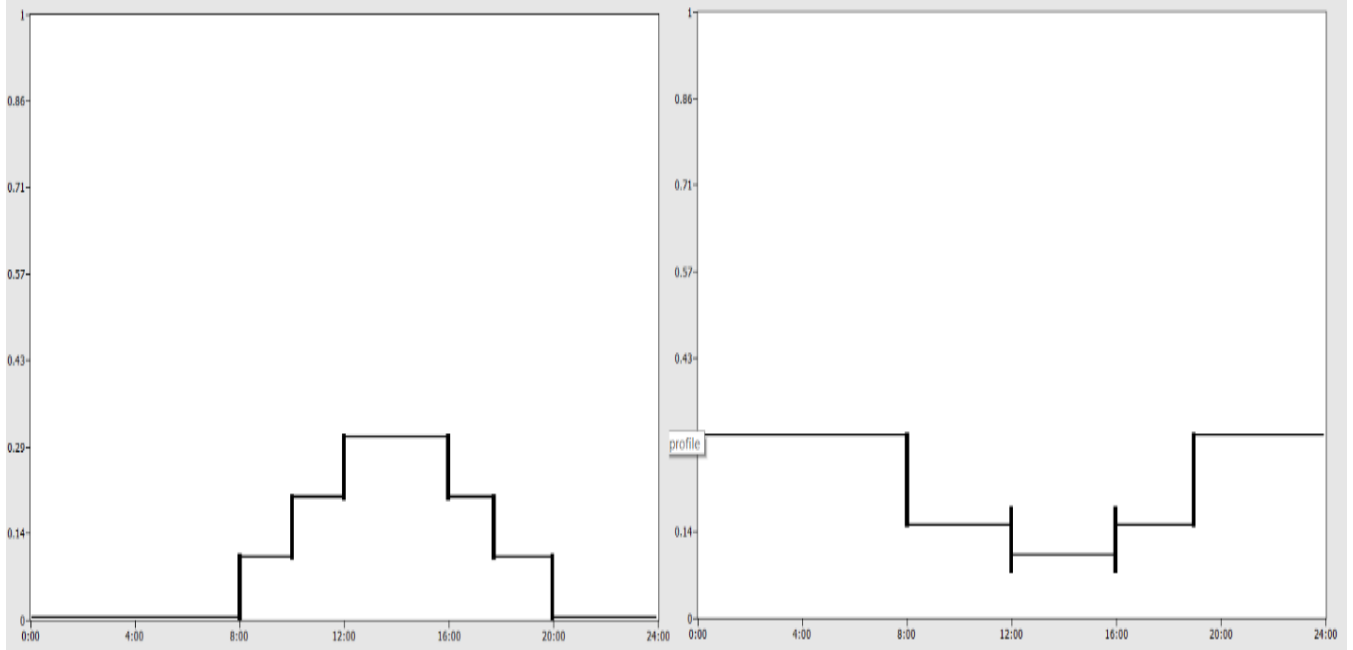
Εικόνα 21: Θερμοκρασία ξηρής σφαίρας εσωτερικά (μπλε) και Θερμικής ζώνης (κίτρινη) ανά ώρα



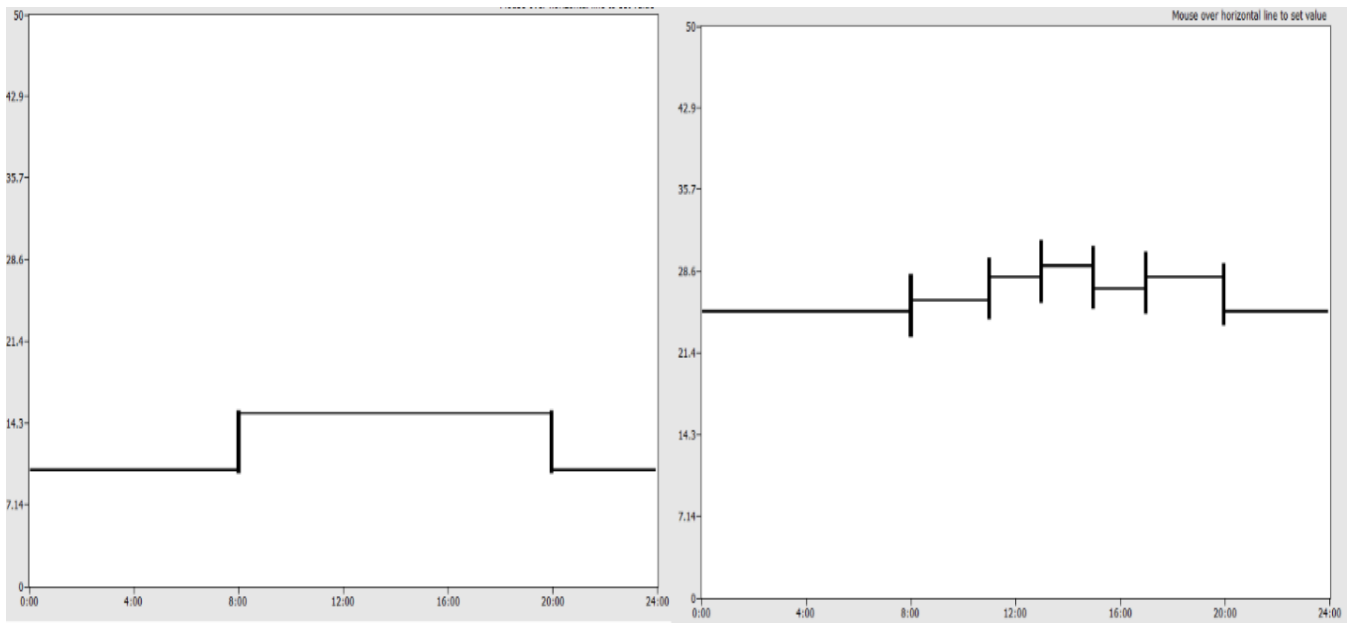
Εικόνα 22: Σχετική υγρασία εξωτερικά (πορτοκαλί) και εσωτερικά (μπλε) ανά ώρα

Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για τη συμπεριφορά της οικίας για συγκεκριμένο σενάριο χρήσης ψυκτικών και θερμικών φορτίων χρησιμοποιήθηκε αυτοματοποιημένη επιλογή του προγράμματος προσομοίωσης. Η επεξεργασία των δεδομένων υλοποιήθηκε μέσω του προγράμματος Energy plus καθώς το πρόγραμμα OpenStudio στερείται επίλογων προσαρμογής του συστήματος σε χρονοδιάγραμμα χρήσης. Θα χρησιμοποιηθεί ιδανικό σύστημα θέρμανσης και ψύξης το οποίο θα μας επιτρέψει να υπολογίσουμε ενδεικτικά τις ενεργειακές απαιτήσεις προκειμένου η θερμοκρασία και η υγρασία της θερμικής ζώνης να κυμαίνεται σε καθορισμένες τιμές. Ουσιαστικά πρόκειται για υποθετικό σύστημα ΘΨΚ με συντελεστή απόδοσης 1 το οποίο είναι μεταβλητού αέρα προσαγωγής. Παρακάτω παρατίθενται ποσοστιαίο πρόγραμμα χρήσης θερμικών φορτίων στα αριστερά και ψυκτικών φορτίων στα δεξιά για κάθε μέρα του μετεωρολογικού έτους (εικόνα 23). Στην εικόνα 24 απεικονίζεται ο εικονικός θερμοστάτης στη κλίμακα κελσίου με ακραίες τιμές 0-50 C° αριστερά για τη θέρμανση και δεξιά για την ψύξη σε όλη τη διάρκεια του μετεωρολογικού έτους. Στην εικόνα 25 και 26 απεικονίζονται οι κλιματολογικές συνθήκες εντός της οικίας καθώς επίσης η καταναλισκόμενη ισχύς σε Watt (εικόνα 27) που απαιτείται σύμφωνα με τις μεταβλητές που έχουμε θέσει.

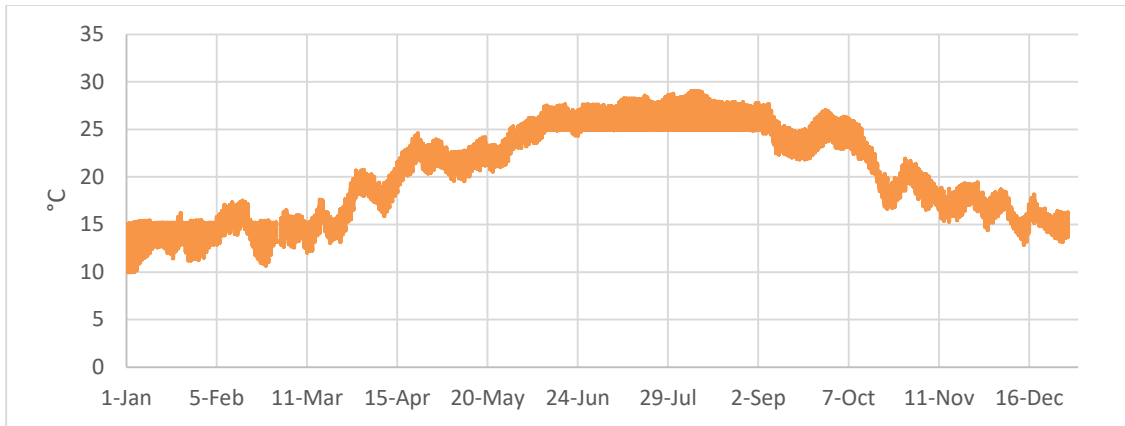
Για τη χρονοσειρά της θερμοκρασίας (εικόνα 25) παρατηρείται μια ομαλή διακύμανση σε όλη τη διάρκεια της κατανομής όπου επικρατούν ανεκτές συνθήκες για τους διαμένοντες το ίδιο ισχύει και για τη κατανομή της σχετικής υγρασίας όπου η πλειοψηφία των τιμών κυμαίνεται μεταξύ 35-65% Rh (εικόνα 26). Το ενδεικτικό διάγραμμα ισχύος απεικονίζει χαμηλές τιμές συνολικής ισχύος καθώς ενεργοποιείται λίγες φορές στη διάρκεια του έτους εμφανίζοντας βέβαια κάποιες εξάρσεις τους μήνες με έντονα κλιματολογικά φαινόμενα. Επομένως η τοιχοποιία αποθηκεύει την θερμότητα που παράγεται κατά την λειτουργία του συστήματος θέρμανσης και την αποδίδει στο χώρο σε μεταγενέστερο χρόνο εξασφαλίζοντας καλύτερες θερμοκρασιακές συνθήκες όταν στο χώρο δεν προσδίδουμε θερμικά φορτία αρά οδηγούμαστε σε μια οικονομική μη ενεργοβόρα λειτουργία του κτιρίου. Επιπροσθέτως στο διάγραμμα σχετικής υγρασίας παρατηρούνται μικρές διάφορες πριν και μετά την εφαρμογή των θερμικών και ψυκτικών φορτίων.



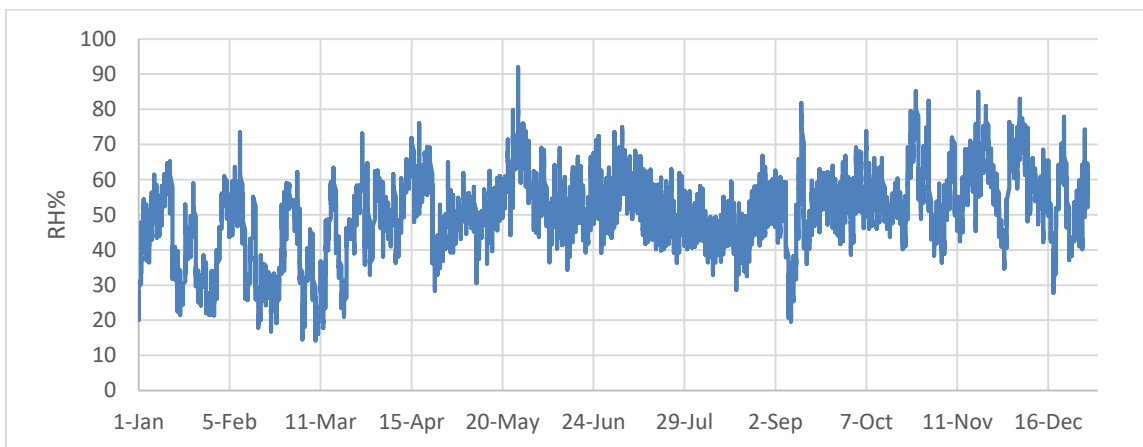
Εικόνα 23: Ποσοστιαίο πρόγραμμα χρήσης θερμικών φορτίων στα αριστερά και ψυκτικών φορτίων στα δεξιά.



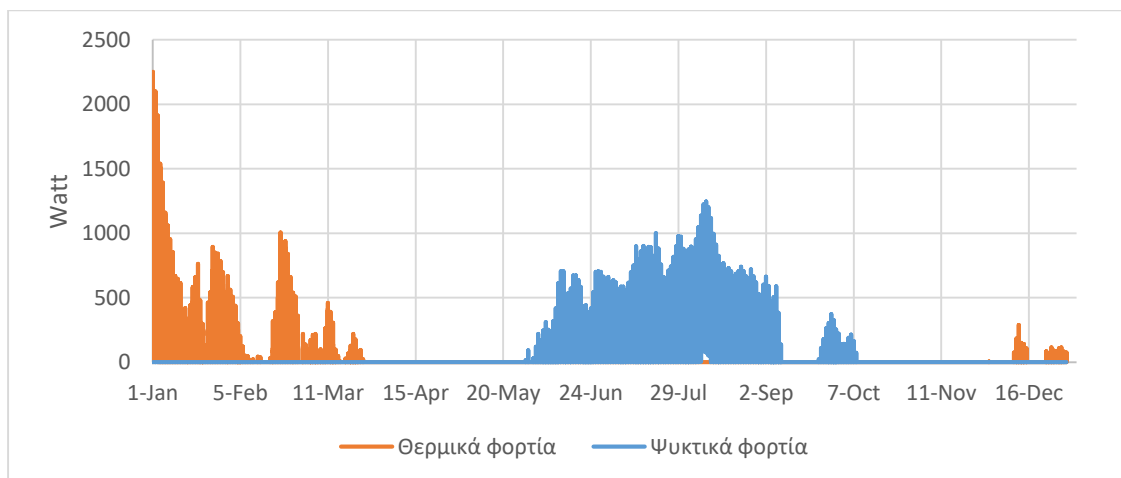
Εικόνα 24: Εικονικός θερμοστάτης στη κλίμακα κελσίου με ακραίες τιμές 0-50 °C



Εικόνα 25: Κατανομή θερμοκρασίας θερμικής ζώνης με ωριαίο βήμα



Εικόνα 26: Κατανομή σχετικής υγρασίας θερμικής ζώνης με ωριαίο βήμα

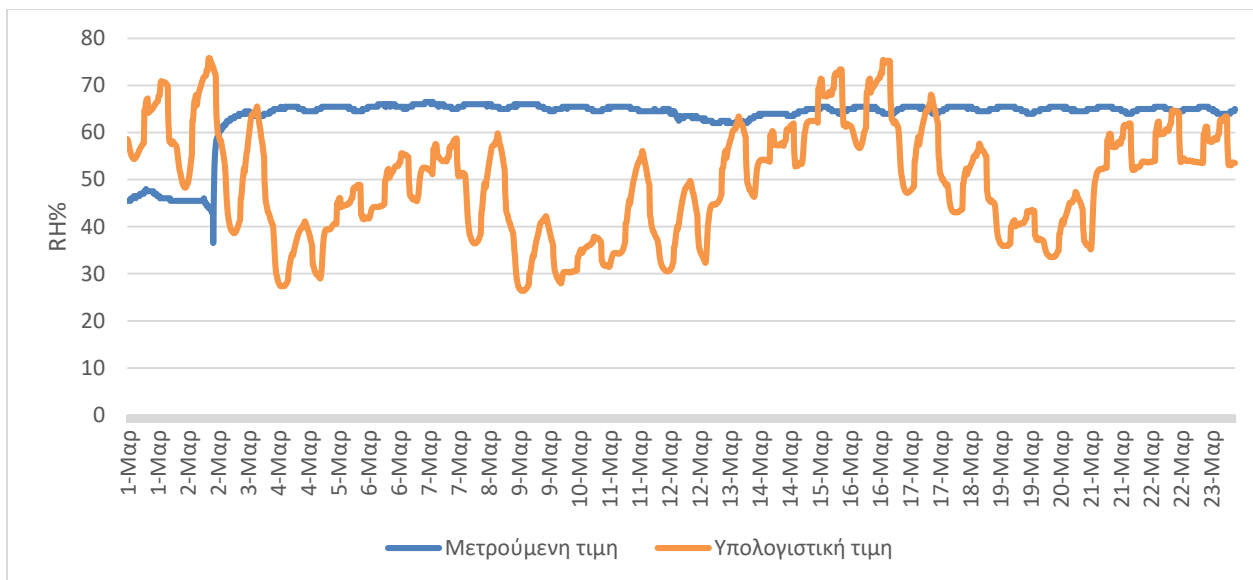


Εικόνα 27: Κατανομή καταναλισκομένης ισχύος ΘΨΚ με ωριαίο βήμα

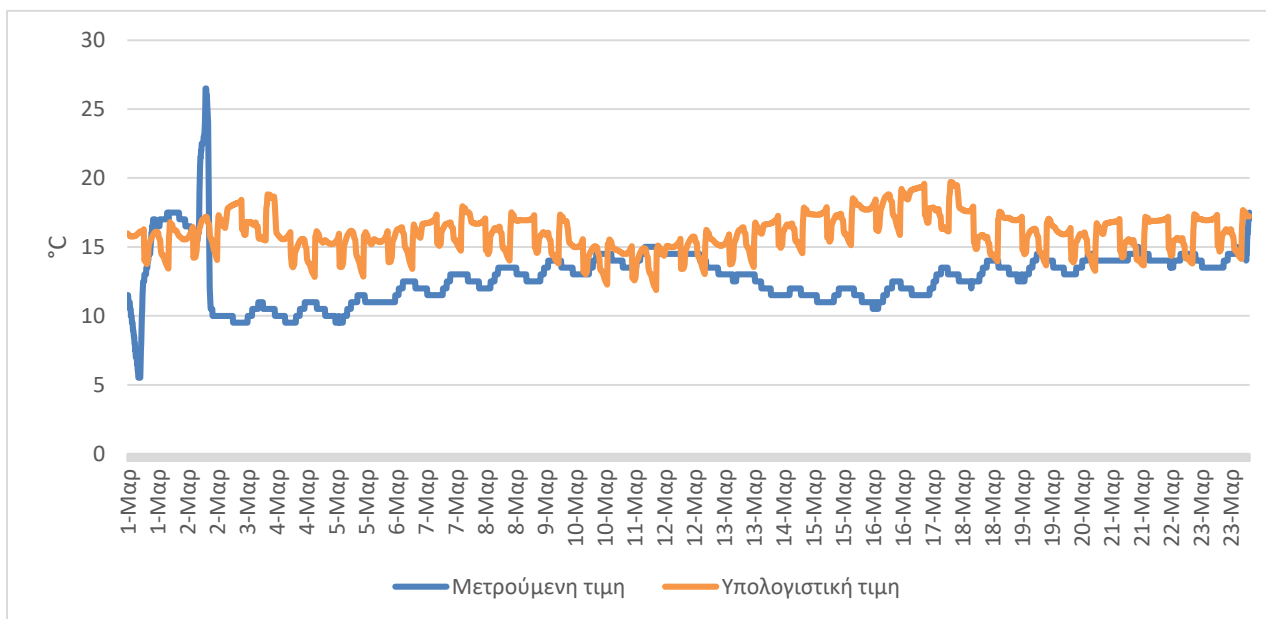
6.8 Σύγκριση πειραματικών και υπολογιστικών δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας για το μήνα Μάρτιο

Προκειμένου να διαπιστώσουμε την ακρίβεια των υπολογιστικών δεδομένων και να προκύψουν ανάλογα συμπεράσματα, θα συγκρίνουμε μέσω διαγραμμάτων τα αποτελέσματα σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου με τα αντίστοιχα πραγματικά μετρούμενα μεγέθη για τον μήνα Μάρτιο (1^η-23^η).

Σύμφωνα με τις καμπύλες του διαγράμματος σχετικής υγρασίας (εικόνα 28), αρχικά παρατηρούμε μια διακύμανση κατά την 2^η ημέρα των μετρήσεων, την οποία και θα αγνοήσουμε καθώς πρόκειται για μοναδικό γεγονός και οφείλεται πιθανότητα σε εξωγενείς παράγοντες. Έτσι, έχουμε μια μικρή διαφορά στις παρατηρούμενες και υπολογιζόμενες μετρήσεις της τάξεως περίπου του 10% κατά μέσο όρο η οποία οφείλεται σε απόκλιση των υπολογιζόμενων μέσων μετεωρολογικών συνθηκών εξαιτίας του αρχείου καιρού με αυτές που παρατηρήθηκαν κατά τη μετρούμενη περίοδο. Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψιν την ευαισθησία και την ακρίβεια του οργάνου μέτρησης όσον αναφορά τουλάχιστον την σχετική υγρασία. Αντίστοιχα παρατηρούμε όμοια απόκλιση και συμπεριφορά κατά τις 3 πρώτες ημέρες και ιδίως την 2^η ημέρα και στο αντίστοιχο διάγραμμα εσωτερικής θερμοκρασίας για τον μήνα Μάρτιο (εικόνα 29). Σε κάθε περίπτωση όμως, η κατανομή των μετρήσεων με αυτή που προέκυψε από τους υπολογισμούς είναι παρόμοια. Συνεπώς είναι ένα ιδιαίτερο θετικό αποτέλεσμα για την ακεραιότητα των υπολογισθέντων μεγεθών.



Εικόνα 28: Σύγκριση μετρούμενης και υπολογιζόμενης σχετικής υγρασίας για το μήνα Μάρτιο



Εικόνα 29: Σύγκριση μετρούμενης και υπολογιζόμενης εσωτερικής θερμοκρασίας για το μήνα Μάρτιο

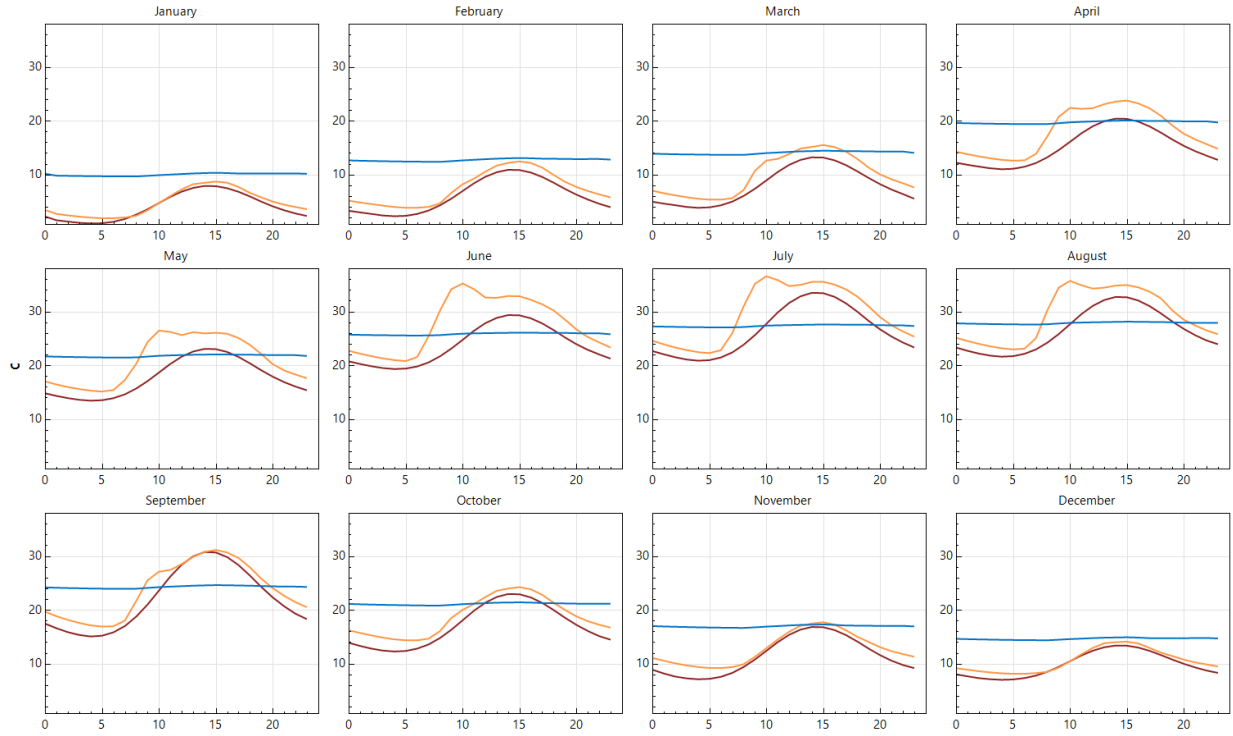
Σύγκριση ωμοπλινθοδομής και οπτοπλινθοδομής ως υλικά τοιχοποιίας

Στην παράγραφο αυτή θα κάνουμε σύγκριση των υπολογιστικών αποτελεσμάτων της εξεταζόμενης κατοικίας από ωμοπλινθοδομή με μια όμοια οπτοπλινθοδομή. Ουσιαστικά αντικαθιστούμε την υπερματική και την μπατική τοιχοποιία με τυπική διατομή κατά τον κανονισμό θερμομόνωσης. Στο πίνακα 10 παρουσιάζεται η κατάταξη των υλικών της υπερματικής τοιχοποιίας. Στην περίπτωση της εσωτερικής μπατικής τοιχοποιίας αφαιρείται η εξηλασμένη πολυστερίνη οπότε μεταβάλλεται το πάχος της τοιχοποιίας και η διάταξη των οπτόπλινθων.

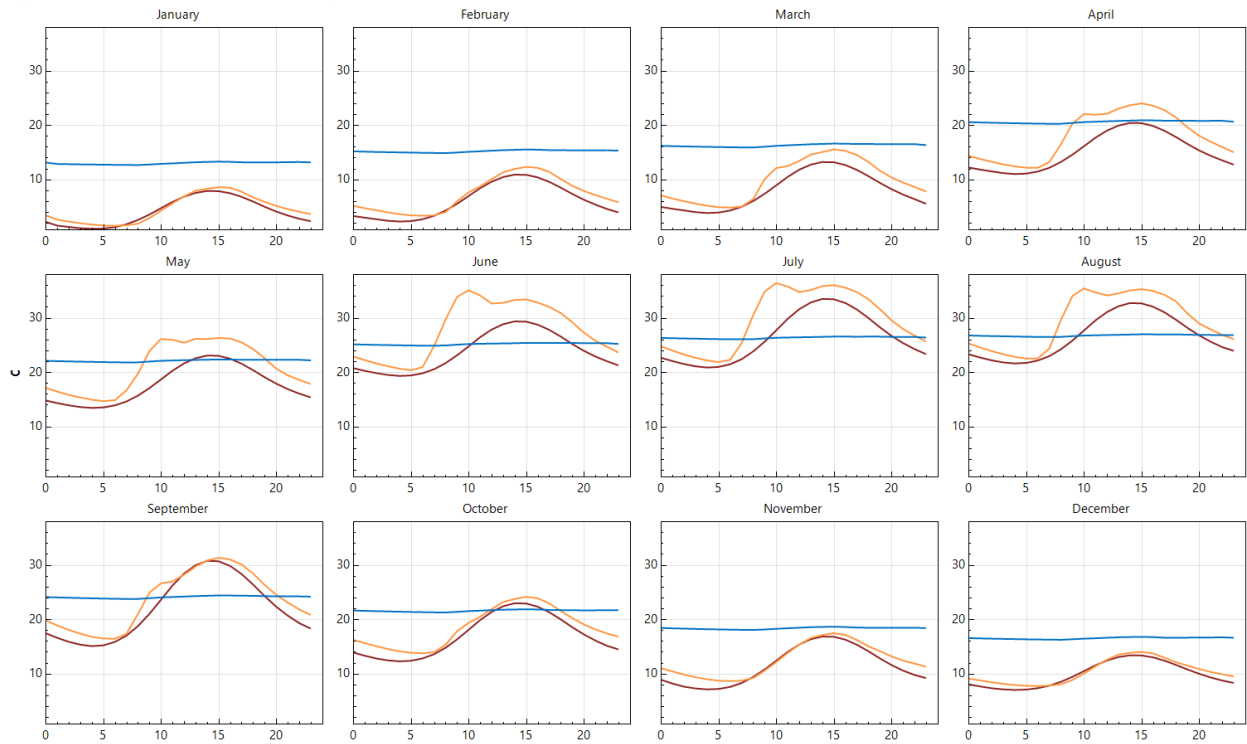
Υλικά	ρ (kg/m ³)	λ [W/(m·K)]	C_p J/[(kg · K)]
Ασβεστοκονίαμα	1800	0,870	1000
Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους	1700	0,680	1000
Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες	30	0,031	1450
Οπτοπλινθοδομή με διάτρητες οπτοπλίνθους	1700	0,680	1000
Ασβεστοκονίαμα	1800	0,870	1000

Πίνακας 10: Υλικά και ιδιότητες εξωτερικής τοιχοποιίας

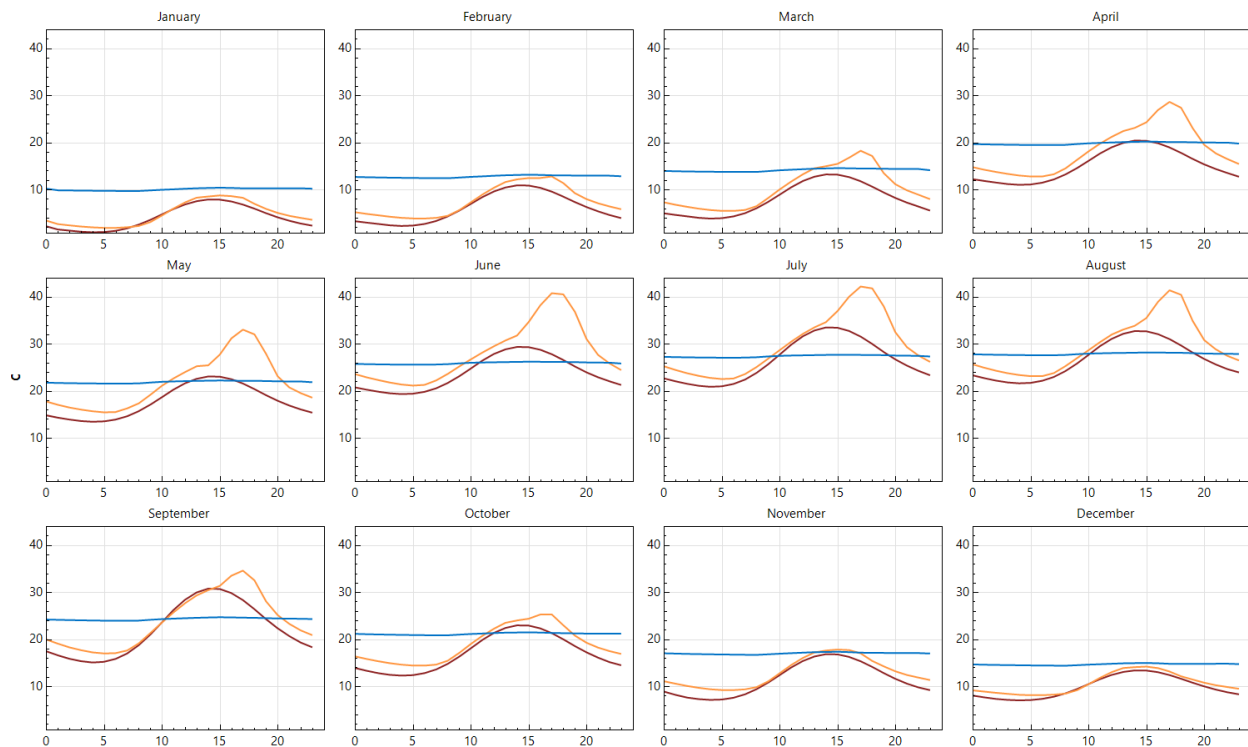
Προκειμένου να συγκριθούν οι δυο τοιχοποιίες πλήρωσης παρουσιάζονται διαγράμματα για κάθε μήνα του έτους ανά επιφάνεια περιμετρικά της κατοικίας. Αποτυπώνονται η εσωτερική θερμοκρασία του τοίχου (καμπύλη μπλε χρώματος), η εξωτερική (καμπύλη κίτρινου χρώματος) και η εξωτερική θερμοκρασία ξηράς ατμόσφαιρας (καμπύλη κόκκινου χρώματος). Επίσης αποτυπώνονται στατιστικά μεγέθη θερμοκρασίας θερμικής ζώνης ανά μήνα της κατοικίας και του υποθετικού σεναρίου καθώς και ποσοστιαία διαφορά θερμοκρασιών θερμικής ζώνης με ωριαίο βήμα για όλη τη διάρκεια του έτους.



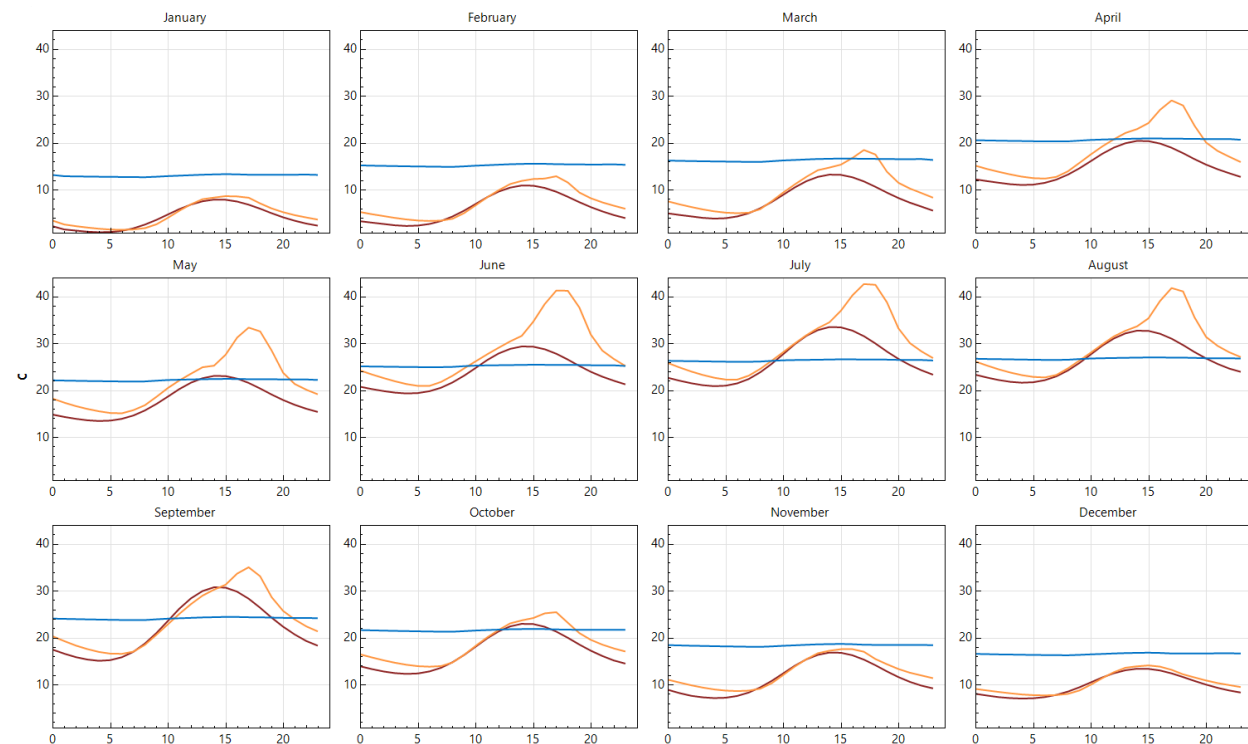
Εικόνα 30: Βορειοανατολική πλευρά κατοικίας με τοιχοποιία πλήρωσης από βομοπλινθοδομή



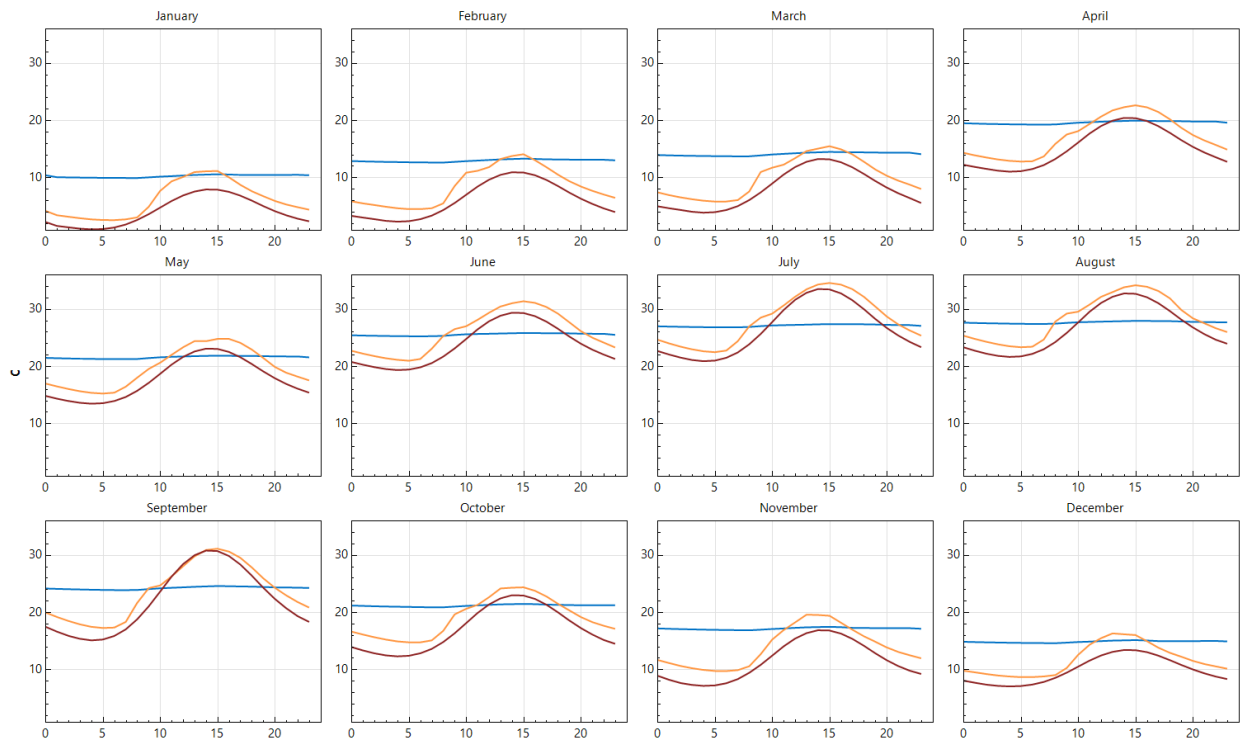
Εικόνα 31: Βορειοανατολική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή



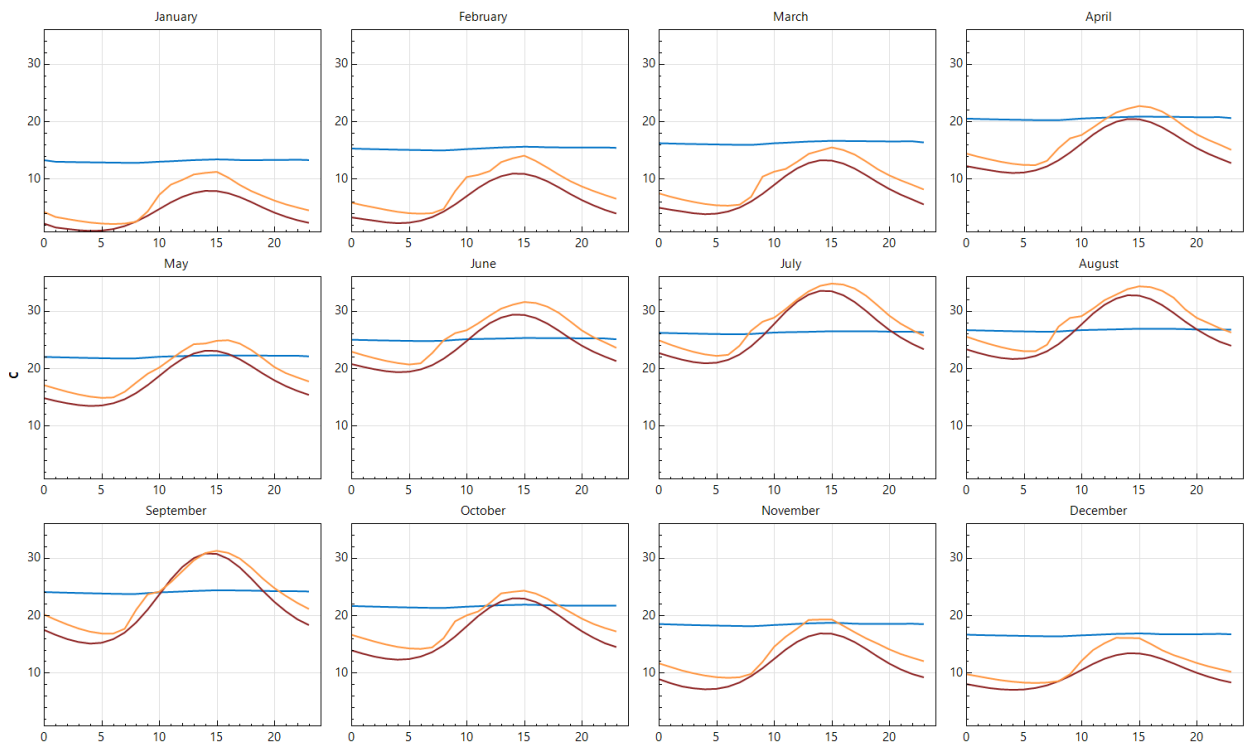
Εικόνα 32: Βορειοδυτική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από ομοπλινθοδομή



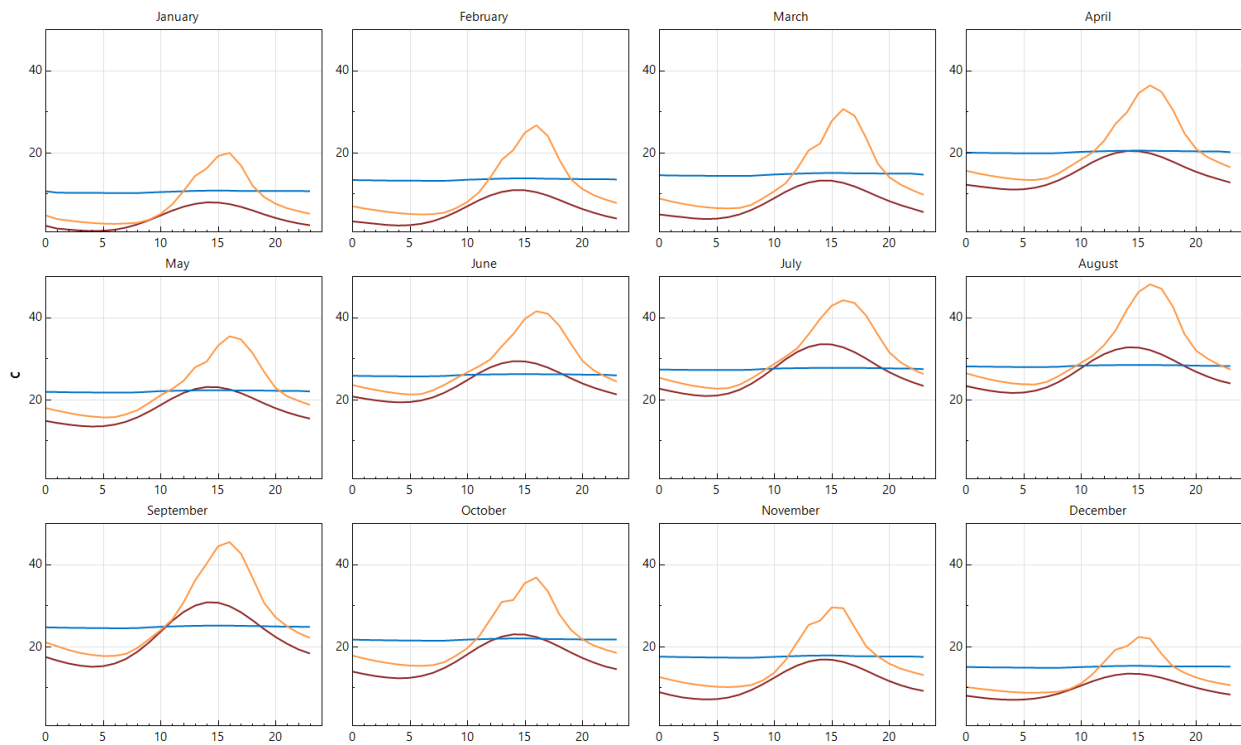
Εικόνα 33: Βορειοδυτική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή



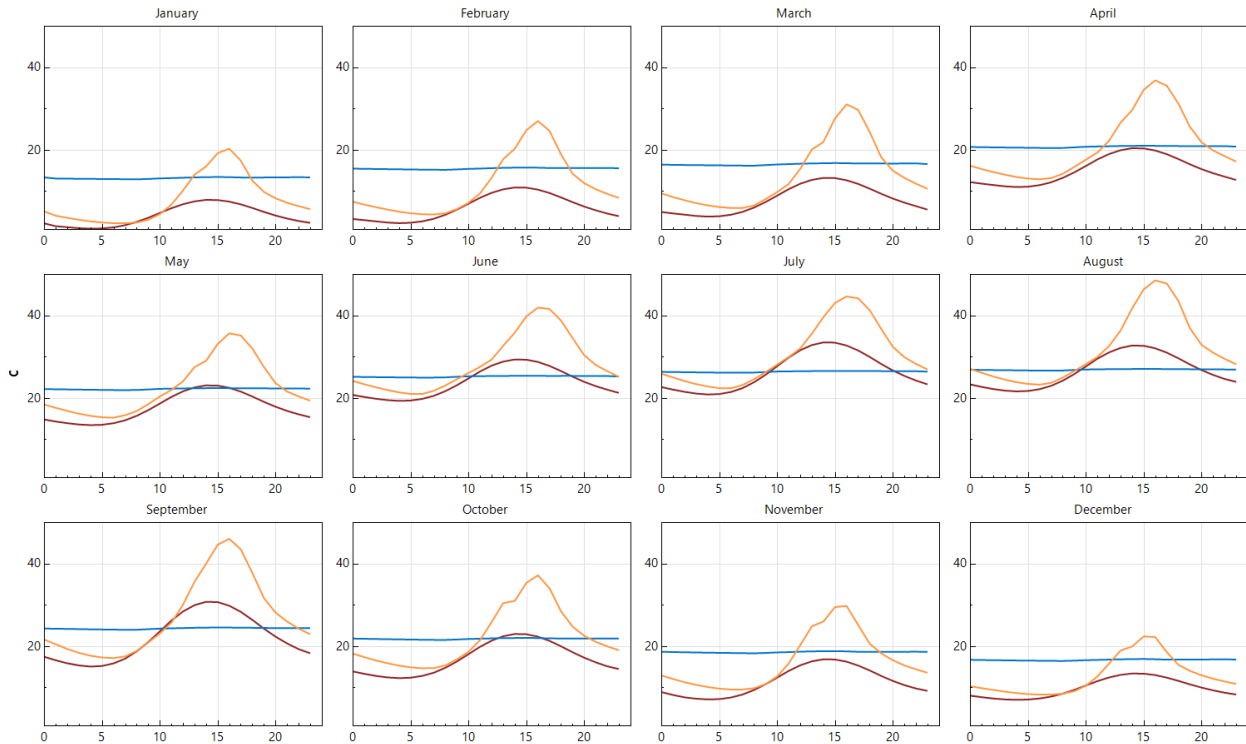
Εικόνα 34: Νοτιοανατολική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από ομοπλινθοδομή



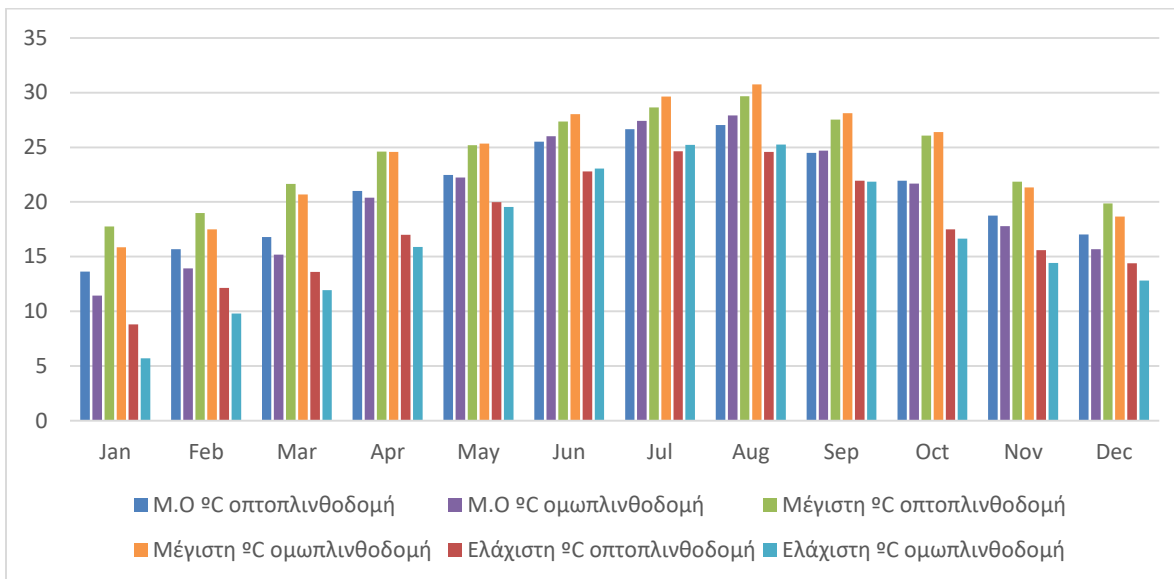
Εικόνα 35: Νοτιοανατολική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή



Εικόνα 36: Νοτιοδυτική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από βμοπλινθοδομή



Εικόνα 37: Νοτιοδυτική πλευρά με τοιχοποιία πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή



Εικόνα 38: Σύγκριση στατιστικών μεγεθών πραγματικής και υποθετικής οικίας



Εικόνα 39: Ποσοστιαία διαφορά θερμοκρασιών σε °C μεταξύ οπτοπλινθοδομής και ομωπλινθοδομής βήμα λήψης μετρήσεων ανά ώρα

Από την σύγκριση των ανωτέρω διαγραμμάτων παρατηρούμε ορισμένα σημαντικά στοιχεία. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δυο υλικά παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές στα μεγέθη θερμικής αγωγιμότητας και θερμοχωρητικότητας (πίνακας 10 και 2). Αρχικά, σε όλες τις εποχές

πλην του θέρους και ιδίως κατά την χειμερινή περίοδο ο τοίχος από ωμοπλινθοδομή παρουσιάζει ελαφρώς μικρότερη εσωτερική θερμοκρασία. Κατά τη διάρκεια των μηνών Ιούλιο έως μέσα Σεπτεμβρίου παρατηρείται καλύτερη θερμοκρασιακή συμπεριφορά της κατοικίας μας αυτό διαφαίνεται στις αρνητικές ποσοστιαίες τιμές διαφοράς εσωτερικής θερμοκρασίας (εικόνα 39). Σε όλη την υπόλοιπη διάρκεια του έτους το σενάριο της οπτοπλινθοδομής υπερτερεί αλλά ακολουθώντας φθίνουσα πορεία πριν και αύξουσα πορεία μετά του διαστήματος μηνών που αναφέραμε. Στη σύγκριση στατιστικών μεγεθών (Μέσος όρος θερμοκρασιών, μέγιστη ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας) παρατηρούνται μικρές διαφορές στα εξεταζόμενα μεγέθη κάτι το οποίο χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα θετικό (εικόνα 38). Στη νοτιοδυτική πλευρά του κτιρίου παρατηρείται η μεγαλύτερη διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τη θερμοκρασία εξωτερικής τοιχοποιίας επομένως αποτελεί ασφαλές συμπέρασμα ότι αυτή η πλευρά δέχεται τη μεγαλύτερη ένταση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (εικόνα 36, 37). Στη βορειοδυτική και βορειοανατολική πλευρά παρατηρείται ότι τους θερινούς μήνες εντοπίζεται στη καμπύλη θερμοκρασίας εξωτερικής τοιχοποιίας μια διακύμανση προς υψηλές τιμές βαθμών °C επομένως κατά τους θερινούς μήνες η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη. Σε όλες τις πλευρές (εικόνα 30 έως 37) παρατηρείται ότι η εξωτερική θερμοκρασία της τοιχοποιίας οπτοπλινθοδομής παρουσιάζει ταύτιση σε περισσότερα σημεία με την καμπύλη εξωτερικής θερμοκρασίας ξηράς ατμόσφαιρας εν αντίθεση με την τοιχοποιία της κατοικίας μας η διακύμανση αυτή εντοπίζεται κυρίως τους χειμερινούς μήνες. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στην πολύ μεγαλύτερη μάζα της ωμοπλινθοδομής έναντι της οπτοπλινθοδομής με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Αυτό το συμπέρασμα όμως χρήζει περισσότερης διερεύνησης με χρήση διαφορετικών δεδομένων μετρήσεων θερμοκρασίας σε συνδυασμό με μετρήσεων ηλιακής ακτινοβολίας.

Η τοιχοποιία από ωμοπλινθοδομή παρουσιάζει σαφώς μικρότερη διακύμανση, επιτυγχάνοντας ηπιότερες μεταβολές σε μεγαλύτερο χρονικό εύρος και ταυτόχρονα μια διαφορά ανάμεσα σε εξωτερική θερμοκρασία ξηράς ατμοσφαιρας και εξωτερική θερμοκρασία επιφανείας, εν αντιθέσει με την οπτοπλινθοδομή που παρουσιάζει πιο έντονες και γρήγορες μεταβολές καθώς και ταύτιση σε πολλά σημεία της θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας με την εξωτερική θερμοκρασία ξηράς ατμοσφαιρας, πράγμα που δεν παρατηρείται στην ωμοπλινθοδομή. Σε κάθε περίπτωση παρατηρείται μια παρόμοια θερμική συμπεριφορά των δυο κατασκευαστικών υλικών

Επίλογος

7.1 Συμπεράσματα εργασίας

Σκοπός της πτυχιακής αποτέλεσε η μελέτη νεόδμητης οικίας με τοίχο πλήρωσης από ωμοπλινθοδομή προκειμένου να καθοριστεί η θερμική συμπεριφορά της και ο βαθμός που συμβάλλει η ωμοπλινθοδομή στα εσωτερικά θερμικά της κέρδη.

Για την εξυπηρέτηση του σκοπού αυτού πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση της οικίας σε λογισμικό υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίου. Εξετάστηκαν οι εσωτερικές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν και συγκεκριμένα αξιολογήθηκαν οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Τα υπολογιστικά αποτελέσματα μας κατέδειξαν ότι την εξεταζόμενη περίοδο η θερμοκρασία εμφανίζει μια ομαλή διακύμανση χωρίς ακραίες μεταβολές. Η διακύμανση της σχετικής υγρασίας δεν θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ιδανική μολονότι δεν θεωρείται ότι θα δημιουργούσε πρόβλημα στην θερμική άνεση καθώς οι τιμές χαρακτηρίζονται φυσιολογικές. Σε υποθετικό σενάριο εφαρμογής συστήματος ΘΨΚ προέκυψαν χαμηλές τιμές δαπανώμενης ισχύος προκειμένου να ικανοποιηθεί η θερμοκρασία στόχος. Αυτό σημαίνει ότι επιβεβαιώνονται τα στοιχεία της βιβλιογραφίας που μελετήσαμε δηλαδή ότι οι ωμόπλινθοι παρέχουν μεγαλύτερη υστέρηση απέναντι σε εξωτερικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, λειτουργώντας έτσι σαν ένα φυσικό δοχείο αδρανείας.

Επίσης προβήκαμε στην λήψη πειραματικών μετρήσεων στο εσωτερικό της οικίας για το μήνα Μάρτιο προκειμένου να διαπιστωθεί η εγκυρότητα των υπολογιστικών αποτελεσμάτων. Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων θερμοκρασίας και υγρασίας παρατηρούμε μια σχετικά καλή προσέγγιση, ιδίως στο διάγραμμα της θερμοκρασίας. Σχετικά με τις διαφορές υγρασίας, αυτές πιθανότατα οφείλονται σε παράγοντες που αφορούν τις περιβαλλοντικές συνθήκες την ακρίβεια και την ευαισθησία του αισθητήρα του οργάνου μέτρησης.

Τέλος πραγματοποιήθηκε σύγκριση με υποθετικό σενάριο όπου οι τοίχοι πλήρωσης αντικαταστάθηκαν από τοιχοποιία οπτοπλινθοδομής. Στην σύγκριση με τοίχο πλήρωσης από οπτόπλινθους παρατηρούνται διαφορές με μέγιστη της τάξεως του 30% που εντοπίζεται κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Κατά τη διάρκεια των θερινών παρατηρείται καλύτερη θερμική

συμπεριφορά του τοίχου πλήρωσης με ωμοπλινθοδομή. Σε σύγκριση στατιστικών μεγεθών διαπιστώθηκαν μικρές διαφορές μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών. Επίσης σε σύγκριση θερμοκρασιών περιμετρικά του κτιρίου με εξεταζόμενες τις εξωτερικές θερμοκρασίες τοιχοποιίας επιφάνειας την θερμοκρασία εσωτερικά της τοιχοποιίας και τη θερμοκρασία ξηράς ατμοσφαιράς διαπιστώθηκε ξανά παρόμοια συμπεριφορά.

Θεωρούμε ότι οι τεχνικές φυσικής δόμησης χρήζουν περαιτέρω πειραματικής και βιβλιογραφικής μελέτης προκειμένου να ελεγχθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Συνολικά επιβεβαιώνονται τα συμπεράσματα της τρέχουσας βιβλιογραφίας. Η τεχνική δόμησης με ωμοπλινθοδομή αποτελεί μια μη τοξική επιλογή για το περιβάλλον, χρησιμοποιώντας πλήρως ανακυκλώσιμα υλικά, με χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα τόσο από πλευράς ενεργειακών πόρων, όσο και από την άνεση και τη θερμική απόδοση του τελικού κτιρίου. Επιπλέον η εξεταζόμενη περίπτωση έχει την αρχιτεκτονική αισθητική μιας σύγχρονης εξοχικής οικίας από φυσικό υλικό που παράλληλα είναι εξαιρετικά λειτουργικό

7.2 Σημεία περαιτέρω μελέτης

Μελλοντικό αντικείμενο προς περαιτέρω μελέτη προκειμένου να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα θα μπορούσε να αποτελέσει η εγκατάσταση μετεωρολογικού σταθμού στο περιβάλλοντα χώρο της υπό μελέτη οικίας. Η εγκατάσταση μετεωρολογικού σταθμού αποτελούμενου από υγρασιόμετρο, πυρανόμετρο, ανεμόμετρο και θερμομέτρο θα επιτρέψει τη λήψη μετρήσεων θερμοκρασίας, υγρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας και ταχύτητας ανέμου που θα καθορίσουν με ακρίβεια το μικροκλίμα του οικισμού. Αυτό θα μας επέτρεπε να εισάγουμε στο πρόγραμμα προσομοίωσης ένα αξιόπιστο αρχείο καιρού μορφής erw. Εντοπίζοντας τις ακραίες διακυμάνσεις κατά το στάδιο επεξεργασίας των μετρήσεως και αξιολογώντας ορθότερα τα τυχόν ακραία κλιματολογικά φαινόμενα της περιοχής. Θα βρισκόμασταν σε θέση να διαστασιολογήσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια ένα σύστημα ΘΨΚ αλλά και να χρησιμοποιήσουμε ένα επικαιροποιημένο αρχείο καιρού. Η συλλογή ετήσιων μετεωρολογικών δεδομένων θα κρινόταν ικανοποιητική, σε συνδυασμό με μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας σε όλους τους εσωτερικούς χώρους της οικίας. Επιπροσθέτως η πυκνότητα των ωμόπλινθων στην περίπτωση μας έχει διαφορετική πυκνότητα από αυτήν που εισαγάγαμε μέσω της τεχνικής οδηγίας TEE 20701-2/2010. Η μετρούμενη τιμή ήταν 2000 kg/m^3 όμως η τεχνική οδηγία μας έδινε τιμές

σχεδιασμού θερμικής αγωγιμότητας και ειδικής θερμοχωρητικότητας μέχρι την πυκνότητα των 1400 kg/m³. Αυτή η παραδοχή θα μπορούσε να αποφευχθεί στην περίπτωση που είχαν θεσπιστεί κανονισμοί δόμησης με φυσικές τεχνικές και είχαν πραγματοποιηθεί περαιτέρω μελέτες ικανοποιώντας όλα τα πιθανά σενάρια. Επομένως θα ήταν αναγκαία η πειραματική ανάλυση και επικαιροποίηση των τιμών της τεχνικής οδηγίας.

Ιδιαίτερως χρήσιμη θεωρείται η πραγματοποίηση οικονομοτεχνικής μελέτης για ορίζοντα αξιοποίησης 20 χρόνων μεταξύ της υπό μελέτη κατοικίας και του υποθετικού σεναρίου με τοίχο πλήρωσης οπτοπλινθοδομής έτσι ώστε να διαπιστωθούν επακριβώς τα οφέλη αξιοποίησης της τεχνικής αυτής. Προκειμένου να εξακριβωθεί πλήρως η ενεργειακή συμπεριφορά του ωμόπλινθου και τα οφέλη της αναβίωσης της τεχνικής αυτής στον ελληνικό χώρο θα κρινόταν σκόπιμη και η περαιτέρω βιβλιογραφική έρευνα σε κατοικίες ανά το κόσμο. Χώρες της μέσης Ανατολής της Λατινικής Αμερικής διαθέτουν μακρά παράδοση σε τέτοιου τύπου κατασκευές διαθέτοντας πρότυπα και κανονισμούς. Επίσης θα είχε μεγάλο ενδιαφέρον η σύγκριση της ωμοπλινθοδομής με άλλη η οποία θα είχε αλλά προσθετά στοιχεία (ανόργανα ή οργανικά) όπως υπολείμματα από σακχαροκάλαμο καθώς τα εκάστοτε προσθετά στοιχεία προσδίδουν όχι μόνο επιπλέον μηχανικές ιδιότητες αλλά και θερμικές.

Στην παρούσα πτυχιακή έγινε λόγος για την ωμοπλινθοδομή σε σύγκριση με την οπτοπλινθοδομή θα μπορούσε να γίνει σύγκριση με άλλες κατασκευές όπως λιθοδομές ή ξύλινες κατασκευές προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα συνολικά για τους τρόπους και τα οφέλη αντικατάστασης ορισμένων τεχνικών δόμησης από φυσικές τεχνικές.

Βιβλιογραφία

- [1] eia, «International Energy Outlook,» U.S. Energy Information Administration, 2016.
- [2] Wilkes E, Goodright V, «Energy consumption in the UK,» Department of Energy & Climate Change, London, 2015.
- [3] EEA, «Final energy consumption by sector and fuel,» European Environment Agency, 2015.
- [4] Chen S, Yang W, Yoshino H, Levine MD, Newhouse K, Hinge A., «Definition of occupant behavior in residential buildings and its application to behavior analysis in case studies,» *Energy and Buildings*, τόμ. 104, p. 113, 2015.
- [5] Drury B. Crawleya, Jon W. Handb, Michael Kummertc, Brent T. Griffith, «Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs,» *Building and Environment*, αρ. 43, pp. 661-673, 2008.
- [6] Fabi V, Andersen RV, Corgnati SP, Olesen BW., «A methodology for modelling energy-related human behaviour: Application to window opening behaviour in residential buildings,» *Building Simulation*, τόμ. 6, αρ. 4, pp. 415-427, 2013.
- [7] Ανδρουτσόπουλος Α., «Τεχνολογίες κτιριακού κελύφους,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://library.tee.gr/digital/m2414/m2414_androutsopoulos.pdf. [Πρόσβαση 16 03 2019].
- [8] «Wikipedia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Building_envelope. [Πρόσβαση 16 03 2019].
- [9] Ε. Δασκαλάκη, Κ. Δρούτσα, Κ.Α. Μπαλαράς, Σ. Κοντογιαννίδης, *Τυπολογία ελληνικών κτιρίων κατοικίας*, 2011.
- [10] Κλειώ Ν. Αζαρλή, *Ενεργειακός σχεδιασμός και ενεργειακή απόδοση κτιρίων - Γενικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού*.
- [11] «Wikipedia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort. [Πρόσβαση 16 03 2019].
- [12] Αιμ.Γ. Κορωνάιος, Γ.Ι.Πουλάκος, *Τεχνικά υλικά*, 2005.
- [13] Ξ. Κακάτσιος, *Αρχές μεταφοράς θερμότητας και μάζης*, Αθήνα, 2006.

- [14] ΚΑΠΕ, Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας μέσω θερμομόνωσης, 1999.
- [15] «Bioclima,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.bioclima.com.gr/media/pdf/bioclima_technical.pdf. [Πρόσβαση 16 03 2019].
- [16] Α. Κ., ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ, Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ, 2015.
- [17] Χ. Τζιβανίδης, Φ. Γιώτη, Κ.Α. Αντωνόπουλος, «Επίδραση του συνδυασμού μόνωσης και υαλοπινάκων στη μεταβατική κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων,» 2010.
- [18] Χ. Τζιβανίδης, Θερμική συμπεριφορά κτιρίων.
- [19] Δ. Αραβαντινός,, Θερμομόνωση και στεγανοποίηση των κτιρίων: διάγνωση, ευαισθητα σημεία, επιλογή λύσης, υλικά, εφαρμογή, 2005.
- [20] Δ. Μπίκας, Ξύλινη στέγη, 2007.
- [21] Δ. Αραβαντινός, «Εξωτερικές τοιχοποιίες,» 2008.
- [22] Α. Μοροπούλου, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CHEMENG114/Building%20materials%20and%20energy%20efficiency%20of%20buildings.pdf>. [Πρόσβαση 16 03 2019].
- [23] Α. D. Christopher Koroneos, «Environmental assessment of brick production in Greece,» *Building and Environment*, αρ. 42, pp. 2114-2123, 2007.
- [24] Καταβούτσας Κ., *Χτίζοντας με πηλό*, Θεσσαλονίκη: Goethe Institut, 2013.
- [25] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.apenantiOXthi.com/2014/09/teXnikes-fisikis-domisis.html>. [Πρόσβαση 22 04 2020].
- [26] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.escholar.manchester.ac.uk/jrul/item/?Pid=uk-ac-man-scw:179799>. [Πρόσβαση 22 04 2020].
- [27] Hashemi, H. Cruickshank, A. Cheshmehzangi, «Environmental impacts and em-bodied energy of construction methods and materials in low-income tropicalhousing,» *Sustainability* 7, p. 7866–7883, 2015.
- [28] Wessling, «Transient Thermal Response of Adobe,» Adobe News 6, Albuquerque N.M, 1975.
- [29] Snell, Clarke; Callahan, Tim, *Building Green: A Complete How-to Guide to Alternative Building Methods : Earth Plaster, Straw Bale, Cordwood, Cob, Living Roofs*, Sterling Publishing Company, Inc., 2013.

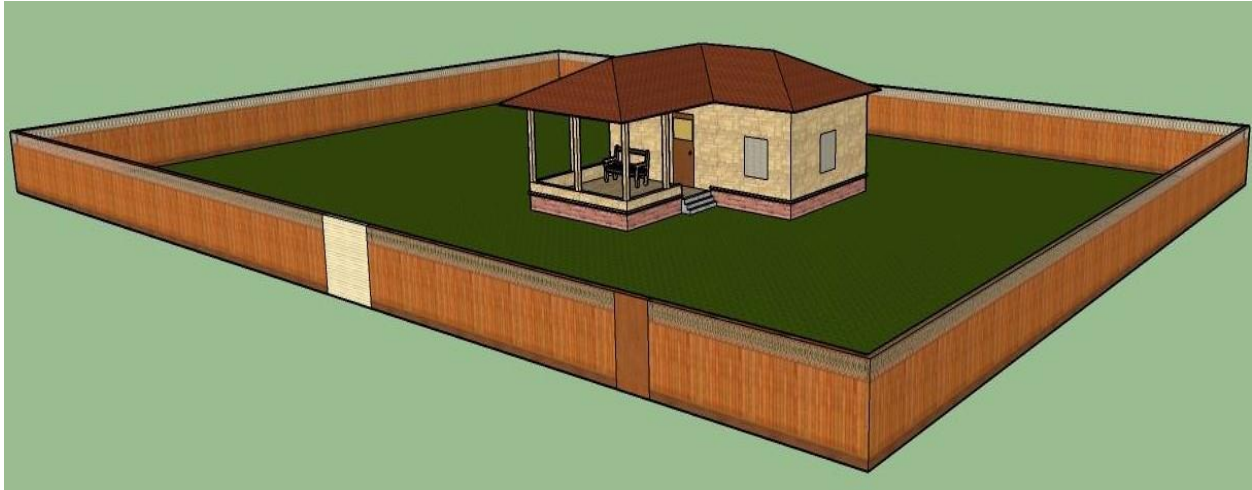
- [30] Md. Akhter Jamil, «Various Types of Earth Buildings,» *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, τόμ. 89, pp. 226-230.
- [31] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.earthbuilding.org.nz/poured-earth/>. [Πρόσβαση 22 04 2020].
- [32] Shaffer, Gary D., «An Archaeomagnetic Study of a Wattle and Daub Building Collapse,» *Journal of Field Archaeology*, τόμ. 20, p. 59–75, 1993.
- [33] [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.earthstructures.com.au/rammed-earth-construction/>. [Πρόσβαση 22 04 2020].
- [34] Κολοβός Κ., *Τεχνολογία Δομικών Υλικών*, Αθήνα: ΣΣΕ, 2018.
- [35] Fatih, T., Umit, A., «Utilization of Fly Ash in Manufacturing of Building,» σε *International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky*, 2001.
- [36] Abdu, M. A., «Developing A Modern Technique for Clayey Construction,» σε *Conference on: Technology & Sustainability in the Built Environment, College of Arch. & Planning, King Saud University, Riyadh*, 2010.
- [37] Browne, G., «Stabilized Interlocking Rammed Earth Block: Alternatives to cement Stabilization,» σε *Southampton Solent University, Proceedings of the 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies*, Bath, UK, 2009.
- [38] M. A. Bahobail, «THE MUD ADDITIVES AND THEIR EFFECT ON THERMAL,» *Journal of Engineering Sciences, Assiut University*, τόμ. 40, αρ. 1, pp. 21-34, 2012.
- [39] F. Pacheco-Torgal, *Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks: Design, Properties and Durability*, UK: Oxford, 2015.
- [40] S. Gubasheva, «Bachelor Thesis,» Czech Technical University in Prague Faculty of Civil Engineering, Prague, 2017.
- [41] J. C. Pusit Lertwattanak, «The Physical and Thermal Properties of Adobe Brick Containing Bagasse for Earth Construction,» Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani.
- [42] Farraj Al-Ajmi, Hany Abdalla, Magdi Abdelghaffar, Jamal Almatawah, «Strength Behavior of Mud Brick in Building Construction,» *Open Journal of Civil Engineering*, pp. 482-494, 2016.
- [43] Γ. Ε. Μπέη, «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟ ΩΜΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ,» *ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ*, pp. 23-38, 2010.

- [44] Σ. Α. Μ. ΕΜΠ. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://5a.arch.ntua.gr/project/4247/4708>. [Πρόσβαση 20 08 2019].
- [45] OpenStudio Github, «OpenStudio Project README,» 2020.
- [46] L. Brackney, A. Parker, D. Macumber και K. Benne, Building Energy Modeling with OpenStudio, Springer, 2018.
- [47] [Ηλεκτρονικό]. Available: www.energyplus.net/weather. [Πρόσβαση 27 01 2019].
- [48] Desogus, S. Di Benedetto, W. Grassi, D. Testi, «Environmental monitoring of a Sardinian earthen dwelling during the summer season,» σε *J. Phys. Conf. Ser.* 547, 2015.
- [49] Τ.Ε.Ε., «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017 - Θερμοφυσικές ιδιότητες δομών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων,» Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 2017.

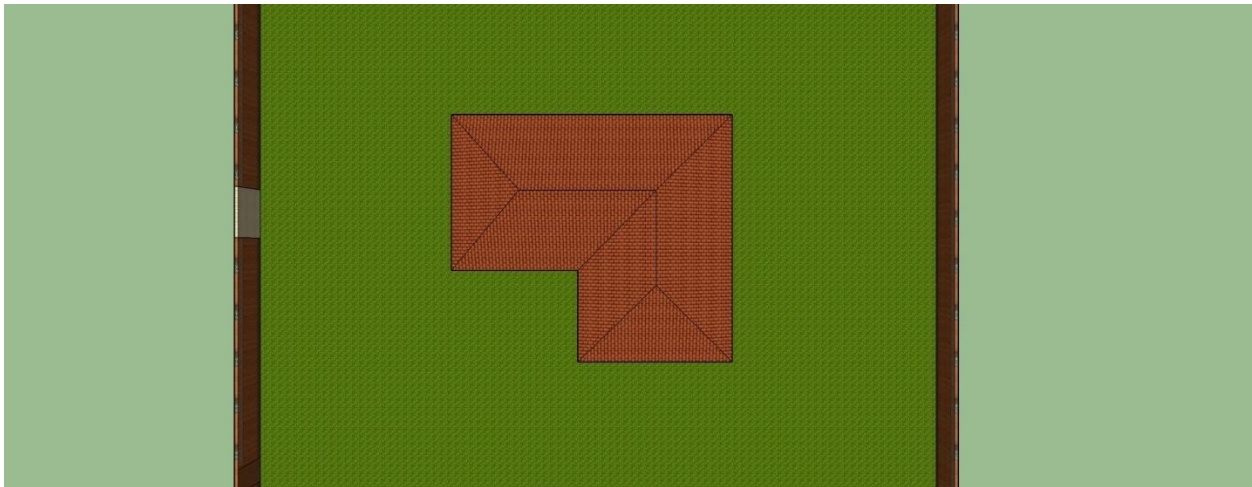
Παράρτημα Α – Φωτογραφίες και renders



Εικόνα 40: Η κατοικία που μελετήσαμε στην Κάτω Ελάτη Τρικάλων



Εικόνα 41: Το παραχθέν μοντέλο σε πρόγραμμα μοντελοποίησης Sketch up



Εικόνα 42: Λεπτομέρεια της στέγης