



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΣΑΒΒΑΚΗ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Αναπ.Καθηγητής ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Επ.Καθηγητής ΠΕΤΡΟΣ ΓΚΙΚΑΣ

Επ.Καθηγήτρια ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2010



ΝΙΚΟΛΑΟΣ Γ.ΣΑΒΒΑΚΗΣ
Διπλωματούχος Μηχανικός Περιβάλλοντος,
Πολυτεχνείου Κρήτης.
© 2010 – All rights reserved

Ευχαριστίες,

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης των προπτυχιακών μου σπουδών στο Πολυτεχνείο Κρήτης για την απόκτηση του πτυχίου Μηχανικού Περιβάλλοντος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή, Αναπληρωτή Καθηγητή Θεοχάρη Τσούτσο, για τη στήριξή του σε επιστημονικό και φιλικό επίπεδο, σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να εκφράσω στον υποψήφιο Διδάκτορα Άρη Γκούσκο για την πολύτιμη βοήθειά και την καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ το Γεώργιο Λημναίο για την καθοδήγηση του σε θέματα σχετικά με το λογισμικό TRNSYS που χρησιμοποιήθηκε.

Επίσης, ευχαριστώ τους Καθηγητές της επιτροπής εξέτασης της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Κολοκοτσά, κ. Γκίκα και κ. Λαζαρίδη (αναπληρωματικός).

Δεν μπορώ να μην ευχαριστήσω τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υπομονή και την αμέριστη συμπαράσταση τους όλα αυτά τα χρόνια για την απόκτηση του πτυχίου μου.

Νικόλαος Γ. Σαββάκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας, το σύγχρονο ενεργειακό πρόβλημα εμφανίζεται εντονότερο από ποτέ και καθίσταται αναγκαία η στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και σε εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια διερεύνηση των υλικών αλλαγής φάσης (ΥΑΦ), καθώς αποτελούν μία καινοτομία και έναν σημαντικό τρόπο μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων με ταυτόχρονη διασφάλιση των συνθηκών θερμικής άνεσης. Συγκεκριμένα, η εργασία αυτή αποτελείται από δύο βασικά μέρη, με το πρώτο να είναι βιβλιογραφικού χαρακτήρα και το δεύτερο κυρίως υπολογιστικό.

Στο πρώτο μέρος γίνεται μια γενική αναφορά στο πρόβλημα, στη σημασία του ορθολογικού ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων και της εξασφάλισης συνθηκών θερμικής άνεσης. Παρουσιάζονται τα συστήματα που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια, με το ενδιαφέρον να επικεντρώνεται στα συστήματα με ΥΑΦ. Στη συνέχεια του εν λόγω μέρους, παρατίθενται το Ευρωπαϊκό και Ελληνικό νομοθετικό σχετικά με το ζήτημα της ενεργειακής απόδοσής του κτιριακού τομέα.

Επιπλέον περιέχει θεωρητικά στοιχεία γύρω από τα ΥΑΦ. Ειδικότερα, γίνεται μία περιεκτική κατηγοριοποίηση των υλικών αυτών βασισμένη στη φύση τους, με παρουσίαση των επιμέρους υποκατηγοριών. Ακόμη, παρέχονται πληροφορίες γύρω από τα βασικά χαρακτηριστικά, τις ιδιότητες, τα προβλήματα, την εμπορική διαθεσιμότητα και τις εφαρμογές των υλικών αυτών.

Το δεύτερο μέρος της εργασίας επικεντρώνεται στο στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ο οποίος είναι η μελέτη της βελτίωσης που μπορεί να επιτευχθεί στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων με την χρήση ΥΑΦ στα δομικά τους στοιχεία. Η χρήση των ανωτέρω υλικών τόσο στη φάση της επιλογής όσο και στον τρόπο εφαρμογής τους, απαιτεί ρεαλιστική προσομοίωση της ενεργειακής απόκρισης του κτιρίου. Οι προσομοιώσεις έγιναν με το υπολογιστικό πακέτο TRNSYS και το λογισμικό PCM express για τις κλιματικές ζώνες που διαχωρίζεται η Ελλάδα βάσει του νόμου 3661/08 περί «Μέτρων για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλων διατάξεων » που εναρμονίζει την ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2002/91/EK.

Αναλυτικά στο δεύτερο μέρος της εργασίας, παρουσιάζεται η διεθνής επιστημονική εμπειρία σε θέματα προσομοίωσης της θερμικής συμπεριφοράς κτιρίων με ΥΑΦ, περιγράφονται τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη του προαναφερθέντος στόχου, καθώς επίσης και τα βασικά στοιχεία του κτιρίου που ελήφθησαν υπόψη κατά τις προσομοιώσεις της υπό μελέτη περίπτωσης.

Τέλος, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται υπό μορφή διαγραμμάτων και πινάκων, γίνεται ανάλυση και αξιολόγηση τους και προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα. Επιπλέον γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένες προτάσεις για περαιτέρω αξιοποίηση της παρούσας μελέτης, καθώς οι εφαρμογές ΥΑΦ βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο.

ABSTRACT

Nowadays , the contemporary energy problem appears more acute than ever and a bend to renewable resources of energy and energy saving applications at the section of buildings is considered as necessary. At this diploma essay an investigation of phase changing materials is done, as they constitute an innovation and a significant way of reducing buildings energy consumption and at the same time they guarantee conditions of thermal comfort. Concretely this essay is constituted from two basic parts, the first is characterized as bibliographical and the second as calculating.

At the first part a general report to the problem takes place, especially at the meaning of buildings rational energy projecting and the ensuring of conditions of thermic comfort. Systems that take value of solar energy are presented and the interest is drawn to the systems with PCM. Continuously to this part the European and the Greek legislation about the buildings section of energy efficiency issue is laid.

Moreover it includes theoretical data about PCM. Specifically, a substantial categorisation of these materials is done, based to their nature, with presentation of their subdivision classes. Also information about their basic characteristics, their properties, their problems , their commercial availability and the applications of those materials are provided.

The second part of this issue is focused at the main objective of this diplomatic essay which is the study of improvement that can be achieved in the energy attribution of buildings with use PCM in their structural elements. The use of the mentioned materials requires realistic simulation of energy response of the building to the phase of choice as well as to the way of application. The stimulations were done with the calculating parcel of TRNSYS and computational PCM express for the climatic areas that Greece is separated by law 3661/08 about “Metres for reducing the energy consumption of buildings and other provisions” that combines the Greek legislation with the Directive 2002/91/EK.

Analytically at the second part of this essay the international scientific experience on issues of simulation of thermal behaviour of buildings with PCM is presented, the software that was used for the achievement of the already mentioned objective is described as well as the basic elements of the building that were taken into consideration at the simulations of the under study case.

Finally the results are presented formed as diagrams and tables, they are analyzed and evaluated and important conclusions come as a result. Moreover a report in concrete proposals on further exploitation of present study is done, while applications of PCM are found in premature stage.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

Κεφάλαιο 1° : Εισαγωγή

1.1 Προσέγγιση του προβλήματος	17
1.2 Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια και εξασφάλιση θερμικής άνεσης	18
1.2.1 Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων	19
1.2.2 Θερμική άνεση	19
1.3 Χρήση της ηλιακής ενέργειας στα κτίρια	20
1.3.1 Παθητικά και ενεργητικά συστήματα	21
1.3.1.1 Βασικές αρχές λειτουργίας των παθητικών συστημάτων	21
1.3.1.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	21
1.3.2 Συστήματα θερμικής αποθήκευσης	22

Κεφάλαιο 2° : Νομοθεσία

2.1 Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο	23
2.2 Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο	24

Κεφάλαιο 3° : Υλικά αλλαγής φάσης (ΥΑΦ)

3.1 Ορισμός υλικών αλλαγής φάσης (ΥΑΦ)	26
3.2 Βασικές αρχές θερμοδυναμικής	26
3.2.1 Αποθήκευση θερμότητας ως αισθητή θερμότητα	26
3.2.2 Αποθήκευση θερμότητας ως λανθάνουσα θερμότητα	27
3.3 Ιδιότητες των ΥΑΦ	28
3.4 Κατηγοριοποίηση των ΥΑΦ	29
3.4.1 Οργανικά υλικά	30
3.4.1.1 Παραφίνες	31
3.4.1.2 Λιπαρά οξέα	32
3.4.2 Ανόργανα υλικά	33
3.4.3 Εύτηκτα μίγματα	35
3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατηγοριών ΥΑΦ	36
3.6 Χαρακτηριστικά των ΥΑΦ	37
3.7 Προβλήματα των ΥΑΦ και τρόποι αντιμετώπισης τους	38
3.7.1 Διαχωρισμός φάσεων	38
3.7.2 Το φαινόμενο της υπέρψυξης-υπόψυξης (supercooling-subcooling)	40
3.7.3 Μικρή τιμή της θερμικής αγωγιμότητας	42
3.7.4 Τοποθέτηση ΥΑΦ σε κάψουλες και σύνθετα υλικά	42
3.7.5 Συμβατότητα των ΥΑΦ με άλλα υλικά	43
3.7.6 Σταθερότητα θερμικών ιδιοτήτων των ΥΑΦ σε κυκλική φόρτιση	44
3.8 Εφαρμογές ΥΑΦ	45
3.8.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια	45
3.8.2 Συστήματα κλιματισμού	45

3.8.3	Ηλιακά συστήματα	45
3.8.4	Ηλεκτρονικά εξαρτήματα	46
3.8.4.1	Χρήση σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές	47
3.8.4.2	Τηλεπικοινωνίες	47
3.8.5	Οχήματα	48
3.8.6	Μεταφορές αγαθών	49
3.8.7	Μεταφορές ιατρικών προϊόντων	49
3.8.8	Θερμική ένδυση	50
3.9	Εφαρμογές ΥΑΦ σε κτίρια	52
3.9.1	Εφαρμογές ΥΑΦ σε δομικά υλικά	52
3.9.1.1	ΥΑΦ στη τοιχοποιία	53
3.9.1.2	Γυψοσανίδα με ΥΑΦ	56
3.9.1.3	Σοβάς με ΥΑΦ	57
3.9.1.4	Σκυρόδεμα με ΥΑΦ	58
3.9.1.5	Πάνελ με ΥΑΦ	60
3.9.2	Εφαρμογές ΥΑΦ σε δομικά στοιχεία του κτιρίου	61
3.9.2.1	Οροφή με ΥΑΦ	61
3.9.2.2	Εφαρμογή ΥΑΦ στο δάπεδο	62
3.9.3	Σκίαστρα και περσίδες με ΥΑΦ	64
3.10	Διαθεσιμότητα ΥΑΦ στην αγορά	65

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Κεφάλαιο 4° : Προσομοίωση κτιρίου με εφαρμογές ΥΑΦ

4.1	Προσπάθειες προσομοίωσης θερμικής συμπεριφοράς κτιρίων με εφαρμογές ΥΑΦ	67
4.2	Επιλογή μοντέλων και περιβάλλοντος προσομοίωσης	72
4.3	Περιγραφή του υπολογιστικού πακέτου PCM express	73
4.3.1	Θεωρητικό υπόβαθρο	74
4.3.2	Λειτουργίες και βάσεις δεδομένων	75
4.3.3	Αποτελέσματα	76
4.4	Περιγραφή του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS	77
4.4.1	Γενικά	77
4.4.2	Στούντιο προσομοίωσης	77
4.4.2.1	Γενική περιγραφή	77
4.4.2.2	Ρύθμιση των επιλεγμένων μοντέλων της προσομοίωσης	78
4.4.2.3	Συνδέσεις	79
4.4.2.4	Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων	79
4.4.2.5	Ανάλυση σφαλμάτων κατά την προσομοίωση	80
4.4.3	Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτιρίου (TRNBuild)	81
4.4.3.1	Γενική περιγραφή	81
4.4.3.2	Επεξεργασία των στοιχείων του κτιρίου	81
4.4.3.3	Κεντρικό παράθυρο του προγράμματος TRNBuild	91
4.5	Προσομοίωση υλικών ΥΑΦ με το υπολογιστικό πακέτο TRNSYS	94

Κεφάλαιο 5° : Προσομοίωση της θερμικής και ενεργειακής συμπεριφοράς κτιριακού κελύφους με εφαρμογές ΥΑΦ

5.1	Γενικά	98
5.2	Περιγραφή της μεθοδολογίας	99
5.3	Περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου	101
5.3.1	Δεδομένα προσομοίωσης με το λογισμικό PCM express	101
5.3.2	Δεδομένα προσομοίωσης με το λογισμικό TRNSYS	103

Κεφάλαιο 6° : Αποτελέσματα προσομοίωσης (PCM express)

6.1	Προσομοίωση σύγχρονων κατασκευών με το λογισμικό PCM express	105
6.1.2	Αποτελέσματα για την κλιματική ζώνη Α' (Χανιά)	105
6.1.2.1	Ανάλυση αποτελεσμάτων της θερμικής συμπεριφοράς των δύο ζωνών	105
6.1.2.2	Ανάλυση αποτελεσμάτων της ενεργειακής συμπεριφοράς των δύο ζωνών	107
6.1.3	Αποτελέσματα για την κλιματική ζώνη Β' (Αθήνα)	109
6.1.3.1	Ανάλυση αποτελεσμάτων της θερμικής συμπεριφοράς των δύο ζωνών	109
6.1.3.2	Ανάλυση αποτελεσμάτων της ενεργειακής συμπεριφοράς των δύο ζωνών	111
6.1.4	Αποτελέσματα για την κλιματική ζώνη Γ' (Θεσσαλονίκη)	113
6.1.4.1	Ανάλυση αποτελεσμάτων της θερμικής συμπεριφοράς των δύο ζωνών	113
6.1.4.2	Ανάλυση αποτελεσμάτων της ενεργειακής συμπεριφοράς των δύο ζωνών	115

Κεφάλαιο 7° : Αποτελέσματα προσομοίωσης (TRNSYS)

7.1	Προσομοίωση κατασκευών με το λογισμικό TRNSYS	118
7.2	Αποτελέσματα προσομοιώσεων	118
7.2.1	Αποτελέσματα για την κλιματική ζώνη Α' (Χανιά)	118
7.2.1.1	Προσομοίωση σύγχρονων κατασκευών	119
7.2.1.2	Προσομοίωση κτιρίου παλαιάς και σύγχρονης συμβατικής κατασκευής	122
7.2.1.3	Προσομοίωση κτιρίου παλαιάς κατασκευής και σύγχρονης κατασκευής με ΥΑΦ	125
7.2.2	Αποτελέσματα για την κλιματική ζώνη Β' (Αθήνα)	128
7.2.2.1	Προσομοίωση σύγχρονων κατασκευών	128
7.2.2.2	Προσομοίωση κτιρίου παλαιάς και σύγχρονης συμβατικής κατασκευής	131
7.2.2.3	Προσομοίωση κτιρίου παλαιάς κατασκευής και σύγχρονης κατασκευής με ΥΑΦ	134
7.2.3	Αποτελέσματα για την κλιματική ζώνη Γ' (Θεσσαλονίκη)	136
7.2.3.1	Προσομοίωση σύγχρονων κατασκευών	136

7.2.3.2 Προσομοίωση κτιρίου παλαιάς και σύγχρονης συμβατικής κατασκευής	140
7.2.3.3 Προσομοίωση κτιρίου παλαιάς κατασκευής και σύγχρονης κατασκευής με ΥΑΦ	142
7.2.4 Αποτελέσματα για την κλιματική ζώνη Δ' (Καστοριά)	144
7.2.4.1 Προσομοίωση σύγχρονων κατασκευών	144
7.2.4.2 Προσομοίωση κτιρίου παλαιάς και σύγχρονης συμβατικής κατασκευής	148
7.2.4.3 Προσομοίωση κτιρίου παλαιάς κατασκευής και σύγχρονης κατασκευής με ΥΑΦ	150
 Κεφάλαιο 8° : Συζήτηση –Συμπεράσματα	
8.1 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του λογισμικού PCM express	153
8.1.1 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της θερμικής συμπεριφοράς των δύο ζωνών	153
8.1.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ενεργειακής συμπεριφοράς των δύο ζωνών	154
8.1.3 Αξιολόγηση της οικονομικής αποδοτικότητας της εφαρμογής ΥΑΦ	156
8.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων TRNSYS	159
8.2.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων ενεργειακής συμπεριφοράς της συμβατικής ζώνης και της ζώνης με ΥΑΦ	160
8.2.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων για βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς της ζώνης παλαιάς κατασκευής	162
8.3 Σύγκριση του λογισμικού TRNSYS με το λογισμικό PCM express	164
8.4 Προτάσεις για περαιτέρω αξιοποίηση της μελέτης	165
 Βιβλιογραφία	 167
Internet sites	170
Παράρτημα	172

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1.1 : Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση.....	20
Πίνακας 3.1 : Παραδείγματα των παραφινών που έχουν διερευνηθεί ως ΥΑΦ.....	32
Πίνακας 3.2 : Παραδείγματα των λιπαρών οξέων που έχουν ερευνηθεί ως ΥΑΦ.....	33
Πίνακας 3.3 : Παραδείγματα των ένυδρων αλάτων που έχουν ερευνηθεί ως ΥΑΦ.....	34
Πίνακας 3.4 : Εύτηκτα υλικά που χρησιμοποιούνται κυρίως σε κτιριακές εφαρμογές.....	36
Πίνακας 3.5 : Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των βασικών κατηγοριών ΥΑΦ.....	36
Πίνακας 3.6 : μείωση της εμφάνισης του φαινομένου του subcooling με την εφαρμογή κατάλληλων παραγόντων πυρηνοποίησης.....	42
Πίνακας 3.8 : Εμπορικά ΥΑΦ που διατίθενται στην αγορά.....	66
Πίνακας 3.9 : Εμπορικά ΥΑΦ που διατίθεται στην διεθνή αγορά.....	66
Πίνακας 4.1 : Συντελεστής ένδυσης για συνήθεις τύπους ένδυσης.....	90
Πίνακας 4.2 : Μεταβολικός ρυθμός για συνήθεις δραστηριότητες.....	90
Πίνακας 5.1 : Νομοί της Ελλάδος ανά κλιματική ζώνη.....	99
Πίνακας 5.2 : Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των ζωνών (PCM express)	102
Πίνακας 5.3 : Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των ζωνών (TRNSYS).....	104
Πίνακας 6.1 : Συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης (21-26 °C) στις δύο ζώνες(Χανιά).....	106
Πίνακας 6.2 : Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση των δύο ζωνών(Χανιά).....	107
Πίνακας 6.3 : Οικονομική αποδοτικότητα της εφαρμογής ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο. (Χανιά).....	108
Πίνακας 6.4 : Συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης (21-26 °C) στις δύο ζώνες. (Αθήνα)	110
Πίνακας 6.5 : Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση των δύο ζωνών. (Αθήνα).....	111
Πίνακας 6.6 : Οικονομική αποδοτικότητα της εφαρμογής ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο. (Αθήνα).....	112
Πίνακας 6.7 : Συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης (21-26 °C) στις δύο ζώνες(Θεσσαλονίκη).....	114
Πίνακας 6.8 : Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση των δύο ζωνών(Θεσσαλονίκη).....	115
Πίνακας 6.9 : Οικονομική αποδοτικότητα της εφαρμογής ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο. (Θεσσαλονίκη).....	116
Πίνακας 7.1 : ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου (Χανιά).....	119
Πίνακας 7.2 : ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ (Χανιά).....	120
Πίνακας 7.3 : ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου παλαιότερης κατασκευής (Χανιά).....	123
Πίνακας 7.4 : ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου (Αθήνα).....	128
Πίνακας 7.5 : ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ (Αθήνα).....	129

Πίνακας 7.6 : ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου παλαιότερης κατασκευής (Αθήνα).....	132
Πίνακας 7.7 : ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου (Θεσσαλονίκη).....	137
Πίνακας 7.8 : ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ (Θεσσαλονίκη).....	137
Πίνακας 7.9 : ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου παλαιότερης κατασκευής (Θεσσαλονίκη).....	140
Πίνακας 7.10 : ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου (Καστοριά).....	145
Πίνακας 7.11 : ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ (Καστοριά).....	145
Πίνακας 7.12 : ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου παλαιότερης κατασκευής (Καστοριά).....	148
Πίνακας 8.1 : Επίδραση της τοποθέτησης ΥΑΦ στο εύρος θερμοκρασιακής διακύμανσης.....	153
Πίνακας 8.2 : Επίδραση της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στη συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης (21-26 °C).....	154
Πίνακας 8.3 : Επίδραση της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση.....	155
Πίνακας 8.4 : Επίδραση της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στην απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη.....	155
Πίνακας 8.5 : Επίδραση πάχους εφαρμοζόμενου ΥΑΦ σε απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία (για παρομοίωση κτιρίου στην Αθήνα μέσω TRNSYS).....	156
Πίνακας 8.6 : Οικονομική αποδοτικότητα εφαρμογής ΥΑΦ στα κτίρια.....	157
Πίνακας 8.7 : Οικονομική αποδοτικότητα της εφαρμογής ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο. (Θεσσαλονίκη).....	157
Πίνακας 8.8 : Οικονομική ανάλυση της απόδοσης της εφαρμογής ΥΑΦ στον υπό μελέτη κτίριο. (Θεσσαλονίκη).....	158
Πίνακας 8.9 : Επίδραση της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση.....	159
Πίνακας 8.10 : Επίδραση της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση.....	159
Πίνακας 8.11 : Επίδραση της τοποθέτησης ΥΑΦ σε κτίριο συμβατικής κατασκευής στα απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία καθώς επίσης και στη διαστασιολόγηση των συστημάτων ψύξης-θέρμανσης.....	160
Πίνακας 8.12 : Επίδραση της τοποθέτησης απλής μόνωσης σε κτίριο παλαιάς κατασκευής στα απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία καθώς επίσης και στη διαστασιολόγηση των συστημάτων ψύξης-θέρμανσης.....	162
Πίνακας 8.13 : Επίδραση της τοποθέτησης ΥΑΦ και απλής μόνωσης σε κτίριο παλαιάς κατασκευής στα απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία καθώς επίσης και στη διαστασιολόγηση των συστημάτων ψύξης-θέρμανσης.....	162

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 3.1 : Αποθήκευση θερμότητας ως Αισθητή θερμότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας.....	27
Σχήμα 3.2 : Αποθήκευση θερμότητας ως Λανθάνουσα θερμότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας.....	28
Σχήμα 3.3 : Τύποι υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ΥΑΦ , ανάλογα με την ενθαλπία και θερμοκρασία τήξης τους.....	30
Σχήμα 4.1 : Διάγραμμα ροής πληροφοριών TRNSYS για την προσομοίωση κτιρίου με ΥΑΦ.....	72
Σχήμα 4.2 : Διάταξη κόμβων στο χώρο στο μοντέλο ΥΑΦ Type 204.....	95
Σχήμα 5.1 : Μοντέλο των τριών ζωνών με ενσωματωμένο το μοντέλο ΥΑΦ Type 204.....	100

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 3.1 : Παράδειγμα ένυδρου άλατος που έχει υποστεί διαχωρισμό φάσης.....	40
Εικόνα 3.2 : 1) Macroencapsulation σε παραφίνες, 2) Microencapsulation σε παραφίνες, 3) Macroencapsulation, κάψουλα ένυδρου άλατος.....	43
Εικόνα 3.3 : Προϊόντα για ψύξη επεξεργαστών ηλεκτρονικών πλακετών.....	47
Εικόνα 3.4 : Συσσκευασίες ΥΑΦ (πλάκες και κύλινδροι) που χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακά κουβούκλια.....	48
Εικόνα 3.5 : Τυπικές συσκευασίες με ΥΑΦ για ενίσχυση συσκευασιών μεταφοράς προϊόντων.....	49
Εικόνα 3.6 : Εφαρμογές ειδικών κυψέλων με ΥΑΦ για μεταφορά αίματος.....	50
Εικόνα 3.7 : Ηλεκτρονικές μικρογραφίες υλικών ένδυσης ενισχυμένων με μικροκάψουλες ΥΑΦ.....	51
Εικόνα 3.8 : Χρήση ΥΑΦ σε στρώματα και λευκά είδη.....	51
Εικόνα 3.9 : Απεικόνιση της συμπεριφοράς κτιρίου με ενσωματωμένα ΥΑΦ στα δομικά στοιχεία .Η θερμότητα αποθηκεύεται στο οικοδομικό υλικό την ημέρα και τη νύχτα, η αποθηκευμένη θερμότητα εκλύεται από τον εξαερισμό.....	53
Εικόνα 3.10 : Τούβλα με ενσωματωμένα ΥΑΦ.....	55
Εικόνα 3.11 : α) είδος παραφίνης ,β)Γυψοσανίδα με ενσωματωμένα κεριά παραφίνης (ΥΑΦ).....	56
Εικόνα 3.12 : Εμπορική γυψοσανίδα με ΥΑΦ.....	57
Εικόνα 3.13 : Επικονίαμα (Σοβάς) με ΥΑΦ (Maxit Clima).....	57
Εικόνα 3.14 : Αριστερά: κτίρια δοκιμής, το ένα εκ των οποίων με τοίχους από σκυρόδεμα και το άλλο με τοίχους από σκυρόδεμα με ΥΑΦ . Δεξιά: τα ίδια κτίρια δοκιμής με επιπλέον τοίχους trombe.....	58
Εικόνα 3.15 : Αριστερά: τοποθέτηση της DuPont TM Energain πάνελ ®. Δεξιά: κτίριο δοκιμών πραγματικής κλίμακας.....	60

Εικόνα 3.16 : Ψύξη με ΥΑΦ ενσωματωμένα στην οροφή. Η πλεονάζουσα θερμότητα από το δωμάτιο αποθηκεύεται στο ΥΑΦ κατά τη διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και απομακρύνεται τη νύχτα (δεξιά) μέσω της ροής κρύο βραδινού αέρα.....	61
Εικόνα 3.17 : Οροφή με ΥΑΦ και ανεμιστήρα σε Climators "CoolDeck".....	62
Εικόνα 3.18 : Εφαρμογή συστήματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης με ΥΑΦ.....	63
Εικόνα 3.19 : διάταξη ΥΑΦ για αντικατάσταση σε εγκατάσταση ενδοδαπέδιας θέρμανσης με νερό.....	63
Εικόνα 3.20 : α) Ενδοδαπέδιο σύστημα με σωλήνες νερού για αποφόρτιση θερμότητας πάνω από στρώμα ένυδρου άλατος, β) Ενδοδαπέδιο σύστημα με σωλήνες νερού για αποφόρτιση θερμότητας πάνω από κόκκους παραφίνης, γ) Ενδοδαπέδιο σύστημα με ηλεκτρικούς αγωγούς για φόρτιση θερμότητας.....	64
Εικόνα 3.21 : Περίσδες με ΥΑΦ και πειραματικά αποτελέσματα προσομοίωσης.....	65
Εικόνα 4.1 : Το δωμάτιο για το οποίο έγινε η προσομοίωση με το λογισμικό Bsim.....	67
Εικόνα 4.2 : Διαχωρισμός σε θερμικές ζώνες του υπό μελέτη δωματίου από το λογισμικό BSim.....	68
Εικόνα 4.3 : Το μοντέλο τριών ζωνών του κτιρίου με ΥΑΦ.....	69
Εικόνα 4.4 : Μέσος μηνιαίος βαθμός ψύξης.....	70
Εικόνα 4.5 : Ώρες του μήνα όπου δεν επικρατούν συνθήκες θερμικής άνεσης.....	70
Εικόνα 4.6 : Η κάτοψη και η βόρεια πλευρά των δυο δωματίων δοκιμών.....	71
Εικόνα 4.7 : Επιλογή του στόχου χρήσης ΥΑΦ και της περιοχής μελέτης.....	74
Εικόνα 4.8 : Επιλογές μονάδων ψύξης ,θέρμανσης και αερισμού που μπορούν να προστεθούν στο συνολικό σύστημα.....	75
Εικόνα 4.9 : Διαμόρφωση της γεωμετρίας του κτιρίου.....	75
Εικόνα 4.10 : Επιλογή του εμπορικού ΥΑΦ που θα ενσωματωθεί στη δομής τοίχου.....	76
Εικόνα 4.11 : Στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS.....	78
Εικόνα 4.12 : Παράδειγμα παραθύρου συνδέσεων.....	79
Εικόνα 4.13 : Διάγραμμα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και μεγέθυνση μέρους του διαγράμματος.....	80
Εικόνα 4.14 : Ο διαχειριστής σφαλμάτων.....	81
Εικόνα 4.15 : Το παράθυρο "Project" στο πρόγραμμα TRNBuild.....	82
Εικόνα 4.16 : Παράθυρο επιλογής εξόδων του TRNBuild.....	83
Εικόνα 4.17 : Το παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης.....	84
Εικόνα 4.18 : Παράθυρο καθορισμού νέας μεθόδου θέρμανσης της ζώνης.....	86
Εικόνα 4.19 : Παράθυρο καθορισμού νέας μεθόδου ψύξης.....	87
Εικόνα 4.20 : Παράθυρο διείσδυσης αέρα.....	87
Εικόνα 4.21 : Παράθυρο ορισμού μεθόδου αερισμού της ζώνης.....	88
Εικόνα 4.22 : Παράθυρο ορισμού εσωτερικών φορτίων της ζώνης.....	89
Εικόνα 4.23 : Παράθυρο ορισμού παραμέτρων για τον συνυπολογισμό της θερμικής άνεσης στη ζώνη.....	89
Εικόνα 4.24 : Παράδειγμα ορισμού του ρυθμού εναλλαγής αέρα σε μία ζώνη με χρήση χρονοδιαγράμματος.....	91
Εικόνα 4.25 : Καθορισμός α) ημερήσιου και β) Εβδομαδιαίου χρονοδιαγράμματος.....	92

Εικόνα 4.26 : Παράθυρο του διαχειριστή τοίχων.....	92
Εικόνα 4.27 : Παράθυρο διαχειριστή υλικών των τοίχων.....	93
Εικόνα 4.28 : Παράθυρο του διαχειριστή παραθύρων.....	94

Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3.1 : Αλλαγές φάσης του νερού.....	38
Διάγραμμα 3.2 : Επέκταση του διαγράμματος φάσης όταν προστίθεται ένα δεύτερο συστατικό, στη συγκεκριμένη περίπτωση προστίθεται ένα άλας στο νερό.....	39
Διάγραμμα 3.3 : Επίδραση στην αποθήκευση θερμότητας. Αριστερά: με εμφάνιση υπόψυξης σε μικρό βαθμό και δημιουργίας κρυσταλλικής δομής μέσω πυρήνα, Δεξιά: υπόψυξη χωρίς δημιουργία κρυσταλλικής δομής.....	41
Διάγραμμα 3.4 : Διάγραμμα θερμοκρασίας – χρόνου στερεοποίησης και τήξης ιδανικού και τυπικού ΥΑΦ, φαινόμενο subcooling.....	41
Διάγραμμα 3.5 : Θερμοκρασιακή εξέλιξη στην εσωτερική πλευρά του τούβλου με και χωρίς ΥΑΦ συναρτήσει του χρόνου.....	55
Διάγραμμα 3.6 : Θερμοκρασίες του νότιου τοίχου με και χωρίς ΥΑΦ τον Ιούνιο του 2005.....	59
Διάγραμμα 3.7 : Σύγκριση θερμοκρασιών του τοίχου με διαφορετικές υποθέσεις. Περίπτωση 1: κλειστά παράθυρα (9-12.10.2006) .Περίπτωση 2 ανοιχτά παράθυρα (27-29/10/2006), με τοίχο trombe.....	59
Διάγραμμα 3.8 : θερμοκρασίες που καταγράφονται στα δωμάτια με και χωρίς πάνελ κατά τη διάρκεια του Αυγούστου και Σεπτεμβρίου του 2006.....	60
Διάγραμμα 4.1 : Διακύμανση εύρους θερμοκρασιών στο εσωτερικό του απλού και του δωματίου με ΥΑΦ για τα μετεωρολογικά δεδομένα της 2 ^{ης} εβδομάδας του Ιανουαρίου του 2005.....	71
Διάγραμμα 4.2 : Πειραματική καμπύλη μεταβολής θερμικής χωρητικότητας υλικού ΥΑΦ ως συνάρτηση της θερμοκρασίας.....	96
Διάγραμμα 4.3 : Καμπύλη μεταβολής θερμικής χωρητικότητας υλικού ΥΑΦ ως συνάρτηση της θερμοκρασίας στο μοντέλο Type 204.....	96
Διάγραμμα 6.1 : Διακύμανση εσωτερικής θερμοκρασίας της ζώνης με ΥΑΦ και της συμβατικής ζώνης σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία(Χανιά).....	106
Διάγραμμα 6.2 : Κατανομή τιμών θερμοκρασίας για κάθε ζώνη(Χανιά).....	107
Διάγραμμα 6.3 : Μηνιαίες απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη και θέρμανση στις δύο ζώνες. (Χανιά).....	108
Διάγραμμα 6.4 : Αποδοτικότητα κεφαλαίου συναρτήσει του χρόνου αποπληρωμής(Χανιά).....	109
Διάγραμμα 6.5 : Διακύμανση εσωτερικής θερμοκρασίας της ζώνης με ΥΑΦ και της συμβατικής ζώνης σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασίας (Αθήνα).....	110
Διάγραμμα 6.6 : Κατανομή τιμών θερμοκρασίας για κάθε ζώνη(Αθήνα).....	111
Διάγραμμα 6.7 : Μηνιαίες απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη και θέρμανση στις δύο ζώνες (Αθήνα).....	112
Διάγραμμα 6.8 : Αποδοτικότητα κεφαλαίου συναρτήσει του χρόνου αποπληρωμής(Αθήνα).....	113

Διάγραμμα 6.9 : Διακύμανση εσωτερικής θερμοκρασίας της ζώνης με ΥΑΦ και της συμβατικής ζώνης σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία (Θεσσαλονίκη)	114
Διάγραμμα 6.10 : Κατανομή τιμών θερμοκρασίας για κάθε ζώνη (Θεσσαλονίκη)	115
Διάγραμμα 6.11 : Μηνιαίες απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη και θέρμανση στις δύο ζώνες (Θεσσαλονίκη)	116
Διάγραμμα 6.12 : Αποδοτικότητα κεφαλαίου συναρτήσει του χρόνου αποπληρωμής (Θεσσαλονίκη)	117
Διάγραμμα 7.1 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία - Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]	121
Διάγραμμα 7.2 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία - Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]	121
Διάγραμμα 7.3 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία - Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]	122
Διάγραμμα 7.4 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]	124
Διάγραμμα 7.5 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]	124
Διάγραμμα 7.6 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]	125
Διάγραμμα 7.7 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]	126
Διάγραμμα 7.8 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία- Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]	127
Διάγραμμα 7.9 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και οικιακά εσωτερικά φορτία - Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]	127
Διάγραμμα 7.10 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα]	130

Διάγραμμα 7.11 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα].....	130
Διάγραμμα 7.12 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα].....	131
Διάγραμμα 7.13 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα].....	133
Διάγραμμα 7.14 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα].....	133
Διάγραμμα 7.15 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα].....	134
Διάγραμμα 7.16 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα].....	135
Διάγραμμα 7.17 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα].....	135
Διάγραμμα 7.18 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα].....	136
Διάγραμμα 7.19 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη].....	138
Διάγραμμα 7.20 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη].....	139
Διάγραμμα 7.21 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη].....	139
Διάγραμμα 7.22 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη].....	141
Διάγραμμα 7.23 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου	

(ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη].....	141
Διάγραμμα 7.24 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη].....	142
Διάγραμμα 7.25 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη].....	143
Διάγραμμα 7.26 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη].....	143
Διάγραμμα 7.27 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη].....	144
Διάγραμμα 7.28 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm).[Καστοριά]	146
Διάγραμμα 7.29 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά].....	147
Διάγραμμα 7.30 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά].....	147
Διάγραμμα 7.31 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά].....	149
Διάγραμμα 7.32 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά].....	149
Διάγραμμα 7.33 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά].....	150
Διάγραμμα 7.34 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά].....	151
Διάγραμμα 7.35 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά].....	151

Διάγραμμα 7.36 : Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά].....152

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η εξέλιξη της σύγχρονης κοινωνίας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την κατανάλωση ενέργειας. Η κοινωνική ευημερία συνδέθηκε με την ικανοποίηση των διαρκώς αυξανόμενων αναγκών μέσα από μια διαδικασία συνεχούς και αδιάκοπης κατανάλωσης ενεργειακών πόρων, κυρίως ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, οι πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του 1970 και η συνεπαγόμενη αύξηση του κόστους της ενέργειας, οδήγησαν στη συνειδητοποίηση της σημασίας της ορθολογικής χρήσης και της εξοικονόμησης της ενέργειας.

Τα αστικά κέντρα συγκεντρώνουν περίπου το 80% του πληθυσμού και σε αυτά καταναλώνεται το 75% της παραγόμενης ενέργειας, με κύριους φορείς κατανάλωσης τον κτιριακό τομέα και τις μεταφορές. Ο κτιριακός τομέας, ένας σημαντικός τομέας οικονομικής δραστηριότητας, είναι άμεσα συνδεδεμένος με την κατανάλωση ενέργειας και κατ'επέκταση με πολιτικά, οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια και επιλογές. Η αναγκαιότητα της εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα σήμερα οφείλεται σε δύο βασικούς παράγοντες:

αφενός στην παγκόσμια ενεργειακή και τη συνεπαγόμενη οικονομική κρίση που δημιούργησε η υπερκατανάλωση πρώτων υλών (ειδικότερα του πετρελαίου), και αφετέρου στη ρύπανση της ατμόσφαιρας και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει η χρήση αυτών των πρώτων υλών, κυρίως στους ανθρώπους που ζουν στις μεγάλες πόλεις.

Εκτός από τους περιβαλλοντικούς λόγους και άλλοι λόγοι συνηγορούν στην ορθολογικότερη κατανάλωση ενέργειας. Η μείωση των λειτουργικών δαπανών, που ανάγονται στη χρήση ενέργειας εξακολουθεί να είναι ένα καίριο οικονομικό ζήτημα.

Επίσης, η αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε συνδυασμό με τη χρήση δομικών υλικών και προϊόντων καθημερινής χρήσης που επιβαρύνουν το περιβάλλον έχουν συντελέσει στην αύξηση της συγκέντρωσης ειδικών χημικών ρυπαντών και βιολογικών παραμέτρων στο εσωτερικό των κτιρίων, προκαλώντας μια σειρά από προβλήματα υγείας και αδιαθεσίας στους χρήστες τους.

Στην κατεύθυνση της αντιμετώπισης του ενεργειακού προβλήματος, η αναγνώριση της συμμετοχής των κτιρίων στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο ώθησε τις προσπάθειες του κατασκευαστικού κλάδου σε έναν πιο ορθολογικό ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων, αλλά και στη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και της τεχνογνωσίας και την ωρίμανση της επιστήμης οδηγηθήκαμε στην υιοθέτηση του ορθολογικού ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων. Απώτερος σκοπός αυτού του νέου τρόπου δόμησης είναι ο συνδυασμός των βασικών αρχιτεκτονικών αρχών (βιοκλιματική αρχιτεκτονική) κατασκευής και λειτουργίας ενός κτιρίου με το κλίμα και το περιβάλλον, έτσι ώστε να διασφαλίζονται αποδεκτές συνθήκες θερμικής άνεσης και ταυτόχρονα να περιορίζεται η κατανάλωση ενέργειας.

Ζητούμενο συνεπώς είναι η συνολικά βέλτιστη αντιμετώπιση του πολύπλοκου συστήματος που λέγεται κτίριο, ενεργειακά, χρηστικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά. Στη παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται, στα πλαίσια του ορθολογικού ενεργειακού σχεδιασμού, οι δυνατότητες των Υλικών Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ) σε εφαρμογές κτιρίων για τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα.

1.2 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΙ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο) είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, εκτός της σημαντικής οικονομικής επιβάρυνσης λόγω του υψηλού κόστους της ενέργειας, τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Στην Ελλάδα οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο αντιστοιχούν στο 35,5% του συνόλου.

Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο, 12% ηλεκτρισμό και 18% καυσόξυλα.

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Η χρήση των κλιματιστικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής στη χώρα, με τεράστιες οικονομικές συνέπειες και σημαντική επιβάρυνση του καταναλωτή.

Επιπλέον τα κλιματιστικά επιδεινώνουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των αστικών κέντρων και τις συνεπαγόμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν το καλοκαίρι.

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο εξασφαλίζεται εν μέρει με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων και εν μέρει μέσω της υψηλής αποδοτικότητας των εγκατεστημένων ενεργειακών συστημάτων η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν.

Άλλος ένας καθοριστικός παράγοντας εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ενεργειακή διαχείριση του κτιρίου, μία συστηματική, οργανωμένη και συνεχής δραστηριότητα που αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών, τεχνικών και οικονομικών δράσεων.

Οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο μπορεί να αφορούν:

- Το κτιριακό κέλυφος (π.χ. θερμομόνωση, κατάλληλα συστήματα ανοιγμάτων, παθητικά ηλιακά συστήματα).
- Τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου (π.χ. χρήση βλάστησης).

- Τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές.
- Την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων(π.χ. ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός, αξιοποίηση της θερμικής μάζας).

[ΚΑΠΕ,2009]

1.2.1 Ο ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Η φάση του σχεδιασμού ενός κτιρίου είναι κρίσιμη γιατί καθορίζει την μετέπειτα ενεργειακή συμπεριφορά του. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός έχει σαν στόχο την ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας, με ταυτόχρονη διατήρηση των συνθηκών άνεσης ή ακόμη και με βελτίωση τους. Λαμβάνει υπόψη μια σύνθεση δεδομένων που αφορούν τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής, την τοποθεσία, την θερμική και οπτική άνεση των ενοίκων, για το σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων και χώρων αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός που έχει ως βασικά στοιχεία τα ηλιακά παθητικά συστήματα, συμβάλλει στον περιορισμό της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων και στην ανάδειξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακής ενέργειας).Στοχεύει, δηλαδή, στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προσαρμογή των κτιρίων στο περιβάλλον τους.

Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού συνοψίζονται στα εξής:

- Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση τον χειμώνα. Η ηλιακή ενέργεια εισέρχεται στο κτίριο μέσω των διαφανών ανοιγμάτων και αποθηκεύεται στη μάζα του, η οποία την επανεκπέμπει με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας, που δεν μπορεί πλέον να διαφύγει από το κτίριο (φαινόμενο θερμοκηπίου). Με αυτή τη διαδικασία βελτιώνεται το θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου και μειώνονται οι ενεργειακές ανάγκες του για θέρμανση.
- Αξιοποίηση των δροσερών ανέμων για τον αερισμό και την ψύξη του κτιρίου το καλοκαίρι.
- Αξιοποίηση του φυσικού φωτός για το φωτισμό του κτιρίου.
- Αξιοποίηση της βλάστησης για το σκιασμό του κτιρίου το καλοκαίρι.
- Μείωση των θερμικών απωλειών του κτιρίου. Εξασφαλίζεται με τη θερμομόνωση του κελύφους και με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας, οι οποίοι περιορίζουν δραστικά τις απώλειες μέσω αερισμού

Κατά συνέπεια ο βιοκλιματικός σχεδιασμός εξοικονομεί ενέργεια και συμβάλλει στη βελτίωση της ατμόσφαιρας και στην ισορροπία των οικοσυστημάτων του πλανήτη.
[ΚΑΠΕ,2002]

1.2.2 ΘΕΡΜΙΚΉ ΆΝΕΣΗ

Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός ενός κτιρίου θα πρέπει να έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση των περιβαλλοντολογικών παραμέτρων στο εσωτερικό του. Οι παράμετροι που θα μας απασχολήσουν σε αυτή την εισήγηση οριοθετούν τη θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου. Σύμφωνα με την Αμερικανική Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE, American Society of Heating,

Refrigerating and Air Conditioning), ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες.

Όπως είναι προφανές η κατάσταση στην οποία ένα άτομο αισθάνεται θερμικά άνετα έχει υποκειμενικό χαρακτήρα. Έτσι στον ίδιο χώρο είναι δυνατόν κάποιο άτομο να εκφράζει την ικανοποίησή του για τις θερμικές συνθήκες, ενώ κάποιο άλλο άτομο τη δυσαρέσκειά του. Ο όρος «άνεση» εμπεριέχει ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων που την ορίζουν κάθε φορά για κάθε άτομο. Πέρα από τους παράγοντες που συνδέονται με την κοινωνική και ψυχολογική κατάσταση του ατόμου, προκειμένου να αξιολογηθεί επιστημονικά η θερμική άνεση και επομένως να αποκτήσει και αντικειμενικό χαρακτήρα, ορίστηκαν οι φυσικές παράμετροι οι οποίες και την επηρεάζουν (Πίνακας 1.1).

[Παπαδόπουλος,2006]

1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ
• Θερμοκρασία του αέρα [$^{\circ}\text{C}$]
• Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών [$^{\circ}\text{C}$]
• Η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα [Pa]
• Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα [m/s]
• Χωροταξική κατανομή των παραπάνω μεγεθών
2. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ
• Το φύλλο των χρηστών του χώρου
• Η ηλικία των χρηστών του χώρου
• Οι συνήθειες των χρηστών του χώρου
3. ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.
• Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου [met] (1 met = 58,15 W/m ²)
• Ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου [clo] (1 clo = 0,155 m ² $^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

Πίνακας 1.1. Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση.

[Παπαδόπουλος,2006]

Όλες οι παραπάνω παράμετροι, και κυρίως οι φυσικές, επηρεάζουν τη ροή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας από τον άνθρωπο προς το περιβάλλον. Ο άνθρωπος διαθέτει μηχανισμούς οι οποίοι ως στόχο έχουν να διατηρούν τη θερμική κατάσταση του σώματος σταθερή και να την προσαρμόζουν στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Εξισορροπώντας τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες θερμότητας (αυτοθερμότητα των καύσεων, εφίδρωση), το σώμα μας καθορίζει την αναφερθείσα ροή θερμότητας. [Παπαδόπουλος,2006]

1.3 Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή πηγή ενέργειας, χωρίς εκπομπές ρύπων, και φυσικά δωρεάν, άφθονη και ανανεώσιμη. Ωστόσο υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί στη χρήση της εφόσον είναι απρόβλεπτη πηγή ενέργειας, από την άποψη της ηλιοφάνειας, είναι διακοπτόμενη και πολλές φορές για μεγάλα χρονικά διαστήματα (συννεφιά, χιόνι, βροχή). Εξ' αιτίας αυτών καθώς επίσης και λόγω του γεγονότος ότι από τις 8.760 h

του έτους οι μισές περίπου είναι νύχτα για οποιοδήποτε μέρος στον πλανήτη, γίνεται προφανής η ανάγκη δημιουργίας ενός συστήματος ικανού να παράγει τέτοια χρονική καθυστέρηση στο φαινόμενο, ώστε η παροχή ενέργειας να μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση ανά πάσα στιγμή. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας στα κτίρια μπορεί να γίνει με δύο είδη συστημάτων: τα ενεργητικά και τα παθητικά ηλιακά συστήματα. [Τζιβανίδης,2006]

1.3.1 ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Έχουν αναπτυχθεί δύο κυρίως τεχνολογικά συστήματα για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων: τα ενεργητικά και τα παθητικά συστήματα. Ανάμεσά τους υπάρχει και ένα τρίτο: τα υβριδικά.

- Τα **παθητικά συστήματα** είναι εκείνα που για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας δεν κάνουν χρήση υψηλής τεχνολογίας και μηχανικών μέσων. Βασίζονται στη φυσική ροή της θερμικής ενέργειας, εκμεταλλεύονται τις φυσικές ιδιότητες των υλικών του κτιρίου και χρησιμοποιούν για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και την αποθήκευση της θερμότητας, τα δομικά στοιχεία του κελύφους (τοίχους, δάπεδα, οροφές, δώμα).
- Τα **ενεργητικά συστήματα** απαιτούν τη χρησιμοποίηση μηχανικών μέσων – απλών μέχρι υψηλής τεχνολογίας (αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας, ανεμιστήρες, κλπ) και προϋποθέτουν σύνθετους μηχανισμούς συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης της θερμότητας που έχει προέλθει από την ηλιακή ακτινοβολία που δεσμεύτηκε.
- Τα **υβριδικά** είναι συστήματα που συνδυάζουν τη φυσική και τη μηχανική θερμική ροή. Για παράδειγμα, η προσθήκη σε ένα παθητικό σύστημα ενός ανεμιστήρα για να υποβοηθήσει τη μεταφορά θερμότητας στους πίσω χώρους του κτιρίου ή ενός θερμοστάτη για να υπάρχει έλεγχος της θερμότητας που αποδίδεται, μετατρέπουν ένα παθητικό σύστημα σε υβριδικό.

[Αξαρχή,2009]

1.3.1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η αρχή λειτουργίας των παθητικών συστημάτων για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προϋποθέτει ένα σωστά ενεργειακά σχεδιασμένο κτίριο, σύμφωνα με τις αρχές που ήδη αναπτύχθηκαν. Ιδιαίτερα, η διαμόρφωση του κελύφους του κτιρίου πρέπει να είναι τέτοια, που να επιτρέπει τη μέγιστη συλλογή της ηλιακής ενέργειας, τη μέγιστη δυνατότητα για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας και τις ελάχιστες θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Η λειτουργία των παθητικών συστημάτων στηρίζεται στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, στη θερμοχωρητικότητα των υλικών για την αποθήκευση της θερμότητας και στους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής για τη μεταφορά της θερμότητας από τη συλλογή στην αποθήκη και στο χώρο που θα θερμανθεί. [Τσούτσος,2008]

1.3.1.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αναφέρεται στη δέσμευση της θερμότητας που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία που διαπερνά μια γυάλινη επιφάνεια. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου στηρίζεται στην ιδιότητα που έχει το γυαλί να είναι διαπερατό στη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία (0,4-2,5 μm), ενώ είναι αδιαπέραστο στη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα σώματα και που συνήθως έχει μήκος κύματος γύρω στα 10 μm .

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε μια γυάλινη επιφάνεια, ένα ποσοστό αντανακλάται, ένα ποσοστό απορροφάται από το γυαλί, από το οποίο ένα μέρος επαναακτινοβολείται προς το εξωτερικό, και το μεγαλύτερο ποσοστό (ανάλογα με τη διαπερατότητα του γυαλιού), που είναι η φωτεινή ακτινοβολία (0,4-0,8 μm), περνά μέσα από το γυαλί στον εσωτερικό χώρο. Αυτό το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που πέρασε μέσα από το γυαλί, απορροφάται από τα δομικά στοιχεία και τα λοιπά αντικείμενα του εσωτερικού χώρου και αλλάζοντας μήκος κύματος μετατρέπεται σε θερμική ακτινοβολία για την οποία το γυαλί είναι σχεδόν αδιαπέραστο. Η θερμότητα παγιδεύεται στο εσωτερικό του κτιρίου και αποθηκεύεται στα στοιχεία με μορφή θερμοχωρητικότητας.

Στη συνέχεια η θερμότητα μπορεί να μεταδοθεί :

- με αγωγιμότητα
- με μεταφορά (με τη βοήθεια κάποιου ρευστού, αερίου ή υγρού)
- με ακτινοβολία

και να συνεισφέρει στη διαμόρφωση του θερμικού ισοζυγίου του χώρου.

[Αξαρχή,2009]

1.3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων θερμικής αποθήκευσης: τα συστήματα αποθήκευσης αισθητής θερμότητας και τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας.

Αισθητή ονομάζεται η θερμότητα που προκαλεί αλλαγές στη θερμοκρασία ενός αντικειμένου, ενώ λανθάνουσα είναι η θερμότητα που επιφέρει αλλαγή στην κατάσταση (στερεή-υγρή-αέρια) αλλά δεν επιφέρει καμία αλλαγή στη θερμοκρασία. Για παράδειγμα το νερό παραμένει στους 100 °C ενώ βράζει. Η θερμότητα που προστίθεται για να συνεχίσει η εξάτμιση του νερού είναι λανθάνουσα θερμότητα.

Εκτενής έρευνα έχει διενεργηθεί πάνω στα υλικά και τα συστήματα αποθήκευσης αισθητής θερμότητας και η τεχνολογία για τη χρήση τους είναι αρκετά ανεπτυγμένη. Ωστόσο, παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα όπως η περιορισμένη ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας ανά μονάδα όγκου του μέσου αποθήκευσης και η μη ισοθερμική συμπεριφορά κατά την αποθήκευση και την απόδοση της θερμότητας, δηλαδή κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση του συστήματος.

Τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας έτυχαν μεγάλης αποδοχής κυρίως λόγω της ικανότητας τους να αποθηκεύουν μεγάλα ποσά ενέργειας σε σχετικά μικρό χώρο και του χαρακτηριστικού τους να αποθηκεύουν τη θερμότητα σε μια συγκεκριμένη σταθερή θερμοκρασία που αντιστοιχεί στην θερμοκρασία αλλαγής φάσης της αποθηκευτικής ουσίας.

Τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας τα οποία συνδυάζουν τη χρήση *Υλικών Αλλαγής Φάσης*¹ (ή Phase change materials, PCM), θεωρούνται

¹ Ο ορισμός δίδεται στην παράγραφο 3.1

ιδιαιτέρως σημαντικά για την έρευνα λόγω της μεγάλης αποθηκευτικής από ενεργειακή άποψη ικανότητάς τους.
[Τζιβανίδης,2006]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

2.1 ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, αναγνωρίζοντας ότι υπάρχει μεγάλο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα που μπορεί να συμβάλλει στην επίτευξη των στόχων του Πρωτοκόλλου του Κιότο για τη μείωση των εκπομπών CO₂, έχει εξελίξει από το 1970 διάφορα μέτρα και πρωτοβουλίες για την Ενεργειακή Απόδοση.

Με το πρόγραμμα THERMIE, το 1989, έθεσε την Ενεργειακή Αποδοτικότητα ως υψηλή προτεραιότητα. Με Ψήφισμα του Συμβουλίου «για την Ενεργειακή Απόδοση στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα», το 1998, τέθηκε στόχος η κατά 1% ετησίως βελτίωση της ενεργειακής έντασης τελικής χρήσης και με την Πράσινη Βίβλο «Προς μια Ευρωπαϊκή Στρατηγική για τον Ενεργειακό Ανεφοδιασμό») ο στόχος αυτός έγινε 2%, που για τον τομέα των κτιρίων σημαίνει μείωση κατανάλωσης ενέργειας πλέον των 55 Mtoe, και αντίστοιχη μείωση εκπομπών CO₂ κατά περίπου 100 Mt/έτος.

Ακολούθησε το «Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για την Κλιματική Αλλαγή - 2000» που υλοποιείται με σειρά νομοθετημάτων για βελτίωση της Ενεργειακής Απόδοσης στη βιομηχανία, στις μεταφορές και στον κτιριακό τομέα, όπως: για την Ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ, τα βιοκαύσιμα, τα πρότυπα Ενεργειακής Απόδοσης, την ενεργειακή επισήμανση των ηλεκτρικών συσκευών, τα συστήματα ΣΗΘ, την απόδοση τελικής χρήσης και Ενεργειακών Υπηρεσιών, την αποδοτικότητα των λεβητών (Οδηγία Λεβητών 92/42/EC), τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ μέσω βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (Οδηγία SAVE 93/76/EC), την ποιότητα των δομικών υλικών (Οδηγία 89/106/EC), τον οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων, την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (Οδηγία 2002/91/EC), την βελτίωση των προτύπων Ενεργειακής Αποδοτικότητας για τα κτίρια, τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, τους λέβητες, τα κλιματιστικά και άλλα προϊόντα, την προώθηση βιώσιμων δημόσιων συμβάσεων για ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες, τη διενέργεια ενεργειακών λογιστικών ελέγχων, κλπ..

Η Οδηγία 2002/91/EK προωθεί την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματολογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής, τις απαιτήσεις ποιότητας των εσωτερικών χώρων και χρησιμοποιώντας οικονομικά αποδοτικά μέτρα. Τα βασικά σημεία στα οποία εστιάζει η Οδηγία είναι:

- Η θέσπιση μιας κοινής μεθοδολογίας υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων
- Ο καθορισμός των απαιτήσεων της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων
- Ο καθορισμός ελάχιστων απαιτήσεων για τα νέα κτίρια και τα υφιστάμενα κτίρια

- Η Ενεργειακή Πιστοποίηση όλων των κτιρίων που θα είναι υποχρεωτική σε όλες τις διαδικασίες δικαιοπραξίας των ακινήτων (κατασκευή, πώληση, ενοικίαση).
- Η Επιθεώρηση και Αξιολόγηση των εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού των κτιρίων

Καταληκτική προθεσμία εφαρμογής της Οδηγίας ήταν η 4η Ιανουαρίου 2006 με δυνατότητα χρήσης πρόσθετης περιόδου 3 ετών για την πλήρη εφαρμογή των άρθρων 7 (έκδοση πιστοποιητικών), 8 (επιθεώρηση λεβήτων) και 9 (επιθεώρηση συστημάτων κλιματισμού), όταν δεν διατίθενται ειδικευμένοι ή/και διαπιστευμένοι εμπειρογνώμονες.

Η εφαρμογή της Οδηγίας αναμένεται να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στις εθνικές πολιτικές για την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Απαιτούνται όμως αρκετά χρήματα, ανθρώπινο δυναμικό, διοικητικός συντονισμός, προσαρμογή του νομοθετικού πλαισίου, υιοθέτηση οικονομικών κινήτρων, παροχή τεχνικών εργαλείων, προβολή κλπ, προκειμένου να επιτευχθούν τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Η Οδηγία αναμένεται να δώσει μεγάλη ώθηση στην κατασκευαστική αγορά, δημιουργώντας ταυτόχρονα νέες θέσεις εργασίας για εξειδικευμένους μηχανικούς και τεχνίτες.

Οι εθνικές προσπάθειες για την ενσωμάτωση της Οδηγίας ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των Κρατών-Μελών της ΕΕ. [Αθανασίου,2006]

2.2 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΪΣΙΟ

Στην Ελλάδα η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, η σημαντική αύξηση του αριθμού των κατοικιών και της επιφάνειάς τους, οι ολοένα και μεγαλύτερες εμπορικές εγκαταστάσεις, η αύξηση χρήσης ηλεκτρικών συσκευών και εξοπλισμού και ιδιαίτερα η εντυπωσιακή διείσδυση των κλιματιστικών οδήγησαν στο διπλασιασμό της καταναλισκόμενης ενέργειας στον τομέα των κτιρίων και των υπηρεσιών (αύξηση 93,5%) σε σχέση με τα επίπεδα του 1974, όταν στο ίδιο διάστημα στις χώρες της ΕΕ-15 παρατηρήθηκε μέση αύξηση της τάξης μόλις του 13%. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η μέση ετήσια τελική κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια του τριτογενή τομέα κυμαίνεται μεταξύ 200 (κτίρια γραφείων) και 450 (νοσοκομεία) Kw/m² ανά έτος.

Το νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με το ζήτημα της Ενεργειακής Απόδοσης του κτιριακού τομέα, καλύπτεται από δέσμη μέτρων (κτιριοδομικούς και άλλους κανονισμούς) που εξελίχθηκαν από το 1975 έως σήμερα, ως παρακάτω:

- 1975: Νόμος-Πλαίσιο 40/75 «περί λήψεως μέτρων για την Εξοικονόμηση Ενέργειας».
- 1979: ΠΔ 01.06/04.07.79 «Κανονισμός για τη Θερμομόνωση των Κτιρίων» (ΚΘΚ), που έθεσε την υποχρέωση τοποθέτησης θερμομόνωσης σε όλα τα νέα κτίρια.
- 1985: Άρθρο 26 του Ν. 1577/85 «Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός» (ΓΟΚ).
- 1985: Άρθρο 6 Ν. 1512/85 «Κίνητρα για Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Κτίρια».
- 1986: ΚΥΑ 54678/86, που αναθεωρήθηκε με την ΚΥΑ 10315/93, που θέτει απαιτήσεις για τακτικές επιθεωρήσεις των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης, των λεβητοστασίων και των καυστήρων για τον έλεγχο των εκπομπών τους.
- 1989: ΥΑ 3046/304 «Κτιριοδομικός Κανονισμός» (ΦΕΚ 59Δ/3.2.1989 - αναθεώρηση με την ΥΑ 49977/3068).
- 1989: ΠΔ 334/94, εναρμόνιση με την Κοινοτική Οδηγία 89/106/ΕΟΚ για «την προσέγγιση νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των

Κρατών-Μελών για τα προϊόντα του τομέα δομικών κατασκευών», όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία 93/68/ΕΟΚ, που εναρμονίστηκε με το ΠΔ 59/95.

- 1992: Ν. 2052/92 περί «Μέτρων για την καταπολέμηση του αστικού νέφους».
- 1992: Σύμβαση-Πλαίσιο ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή (Ρίο).
- 1993: ΚΥΑ 11294/93 σχετικά με απαιτήσεις τακτικών επιθεωρήσεων συστημάτων θέρμανσης στα βιομηχανικά κτίρια, θέσπιση επιπέδων εκπομπών και ενεργειακής απόδοσης λεβήτων σε ετήσια βάση, και καθορισμός επιβαλλόμενων προστίμων σε περίπτωση μη συμμόρφωσης.
- 1993: ΠΔ 335/93 περί «Απαιτήσεων απόδοσης των νέων λεβητών» (αναθεωρήθηκε με το ΠΔ 59/95), εναρμόνιση με την Κοινοτική Οδηγία 92/42/ΕΚ (η οποία αναθεωρήθηκε με την Οδηγία 93/68/ΕΚ) σχετικά με ελέγχους αποδοτικότητας στους νέους λέβητες ονομαστικής ισχύος 4-400 kW, καθώς και ενεργειακό χαρακτηρισμό και πιστοποίηση (εφαρμόζεται από 1/1/1998).
- 1994: ΠΔ 180/1994 για «τον Ενεργειακό χαρακτηρισμό των συσκευών», σε συμμόρφωση με την Κοινοτική Οδηγία 92/75/ΕΕΚ.
- 1995: Εκπόνηση από ΥΠΕΧΩΔΕ και ΚΑΠΕ Σχεδίου Δράσης «Ενέργεια 2001» σχετικά με «Πολιτική Εξοικονόμησης Ενέργειας και χρήση ΑΠΕ στον Οικιστικό τομέα, ενσωματώνοντας την Οδηγία SAVE 93/76/ΕΚ και προαναγγέλλοντας την ΚΥΑ 21475/4707/98.
- 1997: Σχεδιασμός Προγράμματος από το ΥΠΕΣΔΔΑ για Εξοικονόμηση Ενέργειας και Ενεργειακή Διαχείριση στα δημόσια κτίρια.
- 1998: ΚΥΑ 21475/4707 για «τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ με τον καθορισμό μέτρων και όρων για τη βελτίωση της Ενεργειακής Απόδοσης των κτιρίων» - δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 880/Β στις 19/8/1998 για τη συμμόρφωση με την Κοινοτική Οδηγία SAVE 93/76/ΕΚ).

Η Κοινή Υπουργική Απόφαση ΚΥΑ 21475/4707 σηματοδότησε μια ιδιαίτερα σημαντική στιγμή για τα ενεργειακά ζητήματα που αφορούν στην οικοδομή, καθώς, μεταξύ άλλων, προέβλεπε την αντικατάσταση του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων με έναν σύγχρονο ενεργειακό κανονισμό για την ορθολογική χρήση και την εξοικονόμηση ενέργειας (ΚΟΧΕΕ), την εφαρμογή ορίων ενεργειακής κατανάλωσης, την ενεργειακή πιστοποίηση και βαθμονόμηση των κτιρίων, κλπ.

- 1999: Πρόταση οργάνωσης Κεντρικού Γραφείου Ενεργειακής Διαχείρισης
- 1999: ΚΥΑ 11038 «Κανονισμός Ενεργειακών Επιθεωρήσεων»
- 2000: Ν. 2831/00 - Τροποποίηση ΓΟΚ (Ν.1577/85) (ΦΕΚ 140/13-06-2000) με σκοπό την ενσωμάτωση διατάξεων για την εγκατάσταση θερμομόνωσης, την προσάρτηση παθητικών ηλιακών και άλλων συστημάτων σε υφιστάμενα κτίρια, την κατασκευή βιοκλιματικών κτιρίων και άλλων συστημάτων ΑΠΕ.
- 2002 : Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων»
- 2002: Ν.3017/2002 Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο
- 2003 : Σχέδιο νέου κανονισμού - ΚΟΧΕΕ (σε διαδικασία έγκρισης).
- 2003: ΠΥΣ 5/2003 - Έγκριση Εθνικού Προγράμματος Μείωσης Εκπομπών Αερίων Φαινόμενου Θερμοκηπίου (2000-2010)
- 2008:Ν. 3661/2008 περί «Μέτρων για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλων διατάξεων »
- 2008:ΚΥΑ Δ6/Β/14286 για τη «Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και εξοικονόμησης στον δημόσιο και ευρύτερα δημόσιο τομέα».

Ο Ν. 3661/2008 περί «Μέτρων για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλων διατάξεων » εναρμονίζει την ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ.[ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.,2010]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

Όλα τα υλικά που είναι γνωστά ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν μπορούν να βρίσκονται σε μία από τις τρεις φάσεις στερεή, υγρή ή αέρια. Αν χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο ταξινόμησης ο μηχανισμός αποθήκευσης ενέργειας μέσα στο υλικό (χαρακτηρίζει σε μεγάλο βαθμό τη γενικότερη θερμική συμπεριφορά του υλικού) τότε θα μπορούσαν να δημιουργηθούν δύο κατηγορίες :

- Τα υλικά που αποθηκεύουν θερμότητα σε μορφή αισθητής θερμότητας σε ολόκληρο το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης τους.
- Τα υλικά που αποθηκεύουν θερμότητα σε μορφή λανθάνουσας θερμότητας σε ένα τμήμα του θερμοκρασιακού εύρους χρήσης τους ενώ στο υπόλοιπο τμήμα συναλλάσσουν θερμότητα με τη μορφή αισθητής θερμότητας.

Για την πρώτη κατηγορία χαρακτηριστικό μέγεθος για τη θερμική συμπεριφορά τους αποτελεί η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση ή όγκο, ενώ για τη δεύτερη κατηγορία χαρακτηριστικό μέγεθος αποτελεί η λανθάνουσα θερμότητα που απαιτείται για την αλλαγή φάσης.

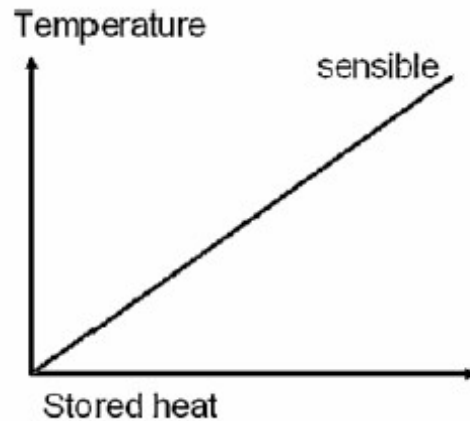
Τα υλικά που αλλάζουν φάση στο εύρος των θερμοκρασιών της εφαρμογής που χρησιμοποιούνται ονομάζονται Υλικά Αλλαγής Φάσης (P.C.M. s, δηλ. Phase Change Materials). Τα ΥΑΦ είναι υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας, χρησιμοποιώντας χημικούς δεσμούς για να αποθηκεύσουν και να απελευθερώσουν θερμότητα. Η αποθήκευση ή η απελευθέρωση της θερμότητας πραγματοποιείται όταν το υλικό μεταπίπτει από στερεό σε υγρό και αντίστροφα.

3.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

3.2.1 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΑΙΣΘΗΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Ο τρόπος αποθήκευσης ζέστης ή κρύου είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας διάφορες φυσικές ή χημικές διαδικασίες, οι οποίες παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος αποθήκευσης θερμότητας είναι υπό τη μορφή της αισθητής θερμότητας. Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνεται ότι καθώς αποθηκεύεται θερμότητα υπό τη μορφή αισθητής θερμότητας, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας όταν υφίσταται αποθήκευση θερμότητας.



Σχήμα 3.1 : Αποθήκευση θερμότητας ως Αισθητή θερμότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας. [Mehling et al, 2008]

Η αύξηση θερμοκρασίας μπορεί να ανιχνευθεί από έναν αισθητήρα και η θερμότητα που αποθηκεύεται ονομάζεται αισθητή θερμότητα. Η αποθήκευση θερμότητας υπό μορφή αισθητής γίνεται κατά κύριο λόγο σε στερεά δομικά στοιχεία, όπως τούβλο, πέτρα κλπ. καθώς επίσης και σε υγρά, όπως το νερό. Τα αέρια λόγω της χαμηλής θερμοχωρητικότητάς τους δε χρησιμοποιούνται για αποθήκευση αισθητής θερμότητας.

3.2.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

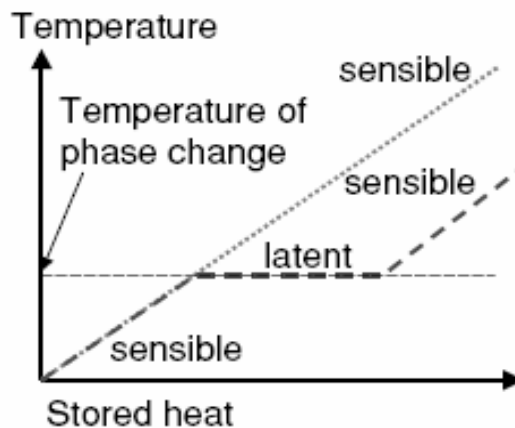
Αν η θερμότητα αποθηκεύεται ως λανθάνουσα θερμότητα, τότε έχουμε μια αλλαγής φάσης του υλικού στο οποίο αποθηκεύεται η θερμότητα. Επομένως διακρίνουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Εξάτμιση του υλικού που αποθηκεύεται η θερμότητα : Η εξάτμιση είναι μια αλλαγή φάσης με μεγάλη μεταβολή του ενθαλπικού περιεχομένου του υπό εξάτμιση υλικού, ωστόσο η διαδικασία της εξάτμισης είναι αναγκαίο να γίνεται σε καθορισμένες συνθήκες, οι οποίες είναι :
 - Σταθερός όγκος : η εξάτμιση συνοδεύεται από αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης στον όγκο που εξατμίζεται, κάτι που τεχνικά δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί.
 - Σταθερή πίεση σε κλειστά Θ/Δ συστήματα : που προκαλεί αύξηση του όγκου, γεγονός που επίσης δεν είναι τεχνολογικά επιτεύξιμο.
 - Σταθερή πίεση σε ανοιχτά Θ/Δ συστήματα : καθώς το υλικό φορτίζεται θερμικά προκειμένου να εξατμιστεί, εξατμίζεται και διαφεύγει στο περιβάλλον. Ο μόνος τρόπος για να αποφορτιστεί το υλικό είναι να επανασυλλεγεί από το περιβάλλον. Το μόνο υλικό που είναι δυνατόν να συλλεχθεί από το περιβάλλον είναι το νερό.
- Αλλαγές φάσης μεταξύ στερεού και υγρού (τήξη) . Η τήξη είναι επίσης μια αλλαγή φάσης με μεγάλη μεταβολή του ενθαλπικού περιεχομένου του υπό τήξη υλικού. Η τήξη χαρακτηρίζεται από μικρή αλλαγή του όγκου του υλικού, που συνήθως υπολογίζεται στο 10 % του αρχικού όγκου. Αν το υλικό το οποίο

τήκεται τοποθετηθεί σε ένα χώρο, τότε λόγω της τήξης η αλλαγή της πίεσης του υγρού δεν αλλάζει σημαντικά. Έτσι η στερεοποίηση και η τήξη γίνονται υπό σταθερή θερμοκρασία. Οι αλλαγές φάσεων μεταξύ υγρού και στερεού έχουν πολλές τεχνικές εφαρμογές.

- Αλλαγές φάσης μεταξύ στερεού και στερεού. Οι αλλαγές φάσης στερεού – στερεού παρουσιάζουν ομοιότητες σε σχέση με αυτές των στερεών και υγρών, αλλά συνήθως δεν συνοδεύονται από αλλαγές της ενθαλπίας του υλικού.

Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνεται η αποθήκευση θερμότητας ως λανθάνουσα θερμότητα για την περίπτωση αλλαγής φάσης μεταξύ στερεού – υγρού.



Σχήμα 3.2 : Αποθήκευση θερμότητας ως Λανθάνουσα θερμότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας .[Mehling et al, 2008]

Κατά τη διάρκεια της τήξης, θερμότητα μεταφέρεται στο υλικό και η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στη θερμοκρασία τήξης. Αν η ενθαλπία τήξης έχει μεταφερθεί στο υλικό, τότε η τήξη έχει ολοκληρωθεί και περαιτέρω μεταφορά θερμότητας εκλαμβάνεται πλέον σαν ποσό αισθητής θερμότητας. Το ποσό της θερμότητας που απορροφάται κατά την τήξη δεν είναι δυνατόν να ανιχνευθεί μέσω της θερμοκρασίας και η θερμότητα που αποθηκεύεται λέγεται λανθάνουσα θερμότητα. Τα υλικά τα οποία αλλάζουν φάση στερεού – υγρού και χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ζέστης ή κρύου, λέγονται ΥΑΦ.[Mehling et al ,2008]

3.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

Η κατάλληλη θερμοκρασία αλλαγής φάσης και η μεγάλη ενθαλπία τήξης είναι οι βασικές απαιτήσεις που πρέπει να καλυφθούν από ένα ΥΑΦ. Εντούτοις, υπάρχουν απαιτήσεις που πρέπει να καλυφθούν για τις περισσότερες, αλλά όχι όλες τις εφαρμογές. Οι βασικότερες από αυτές είναι οι ακόλουθες :

Φυσικές ιδιότητες :

1. Κατάλληλη θερμοκρασία αλλαγής φάσης, ώστε να εξασφαλισθεί η αποθήκευση και στη συνέχεια η απελευθέρωση της θερμότητας σε μια εφαρμογή, με σταθερό θερμοκρασιακό εύρος.

2. Μεγάλο ποσό ενθαλπίας αλλαγής φάσης (ΔH), για να επιτευχθεί υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης θερμότητας σε σχέση με την αποθήκευση που θα γινόταν αν είχαμε αποθήκευση ενέργειας με αισθητή θερμότητα.
3. Μεγάλη τιμή της θερμικής αγωγιμότητας, ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή της αποθηκευμένης θέρμανσης ή ψύξης με ικανοποιητικό ποσό θερμοροής.
4. Δυνατότητα αναστρεψιμότητας των αλλαγών φάσεων, ώστε το υλικό να είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές. Η σταθερότητα των κύκλων φόρτισης του υλικού στη διεθνή βιβλιογραφία καλείται « cycling stability ».
5. Μικρό ποσό υπέρψυξης (*supercooling*)², ώστε να βεβαιωθούμε ότι το υλικό τήκεται και στερεοποιείται στις ίδιες θερμοκρασίες.

Τεχνικές ιδιότητες :

1. Μικρή τιμή της πίεσης ατμών, για να μειωθούν οι απαιτήσεις μηχανικής αντοχής στο δοχείο που θα βρίσκεται το ΥΑΦ.
2. Μικρή μεταβολή του όγκου κατά την αλλαγή φάσης, επίσης για να μειωθούν οι απαιτήσεις μηχανικής αντοχής στο δοχείο που θα φέρει το ΥΑΦ.
3. Φυσική και χημική σταθερότητα του υλικού για να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.
4. Συμβατότητα με άλλα υλικά, ώστε να εξασφαλίζεται η μακροχρόνια διάρκεια ζωής του στο δοχείο, χωρίς να επηρεάζεται η δομή και η σύστασή του από τα υλικά των τοιχωμάτων του δοχείου.

Οικονομικές ιδιότητες :

1. Χαμηλή τιμή πώλησης, ώστε να είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με άλλα προϊόντα τα οποία προσφέρουν αποθήκευση θερμότητας για θέρμανση και ψύξη.
2. Μη τοξικά, για περιβαλλοντικούς λόγους και λόγους ασφάλειας .
3. Ανακυκλώσιμα, επίσης για περιβαλλοντικούς και οικονομικούς λόγους.

Συνήθως η επιλογή της χρήσης ενός υλικού αλλαγής φάσης γίνεται με κριτήριο τη θερμοκρασία αλλαγής φάσης, την ενθαλπία και την δυνατότητα αντιστρεψιμότητας του κύκλου ψύξης – τήξης. Όμως στην πλειονότητα των περιπτώσεων ένα υλικό δεν είναι δυνατόν να καλύψει όλες τις παραπάνω απαιτήσεις, διότι για παράδειγμα όταν η θερμική αγωγιμότητα είναι μικρή, τότε απαιτείται η τοποθέτηση του υλικού σε κάψουλες (*encapsulation*), ώστε να διευκολυνθεί η μετάδοση της αποθηκευμένης θερμότητας. Επομένως έχουν αναπτυχθεί στρατηγικές και προσεγγίσεις οι οποίες έχουν στόχο να αντιμετωπίσουν αυτά τα προβλήματα.

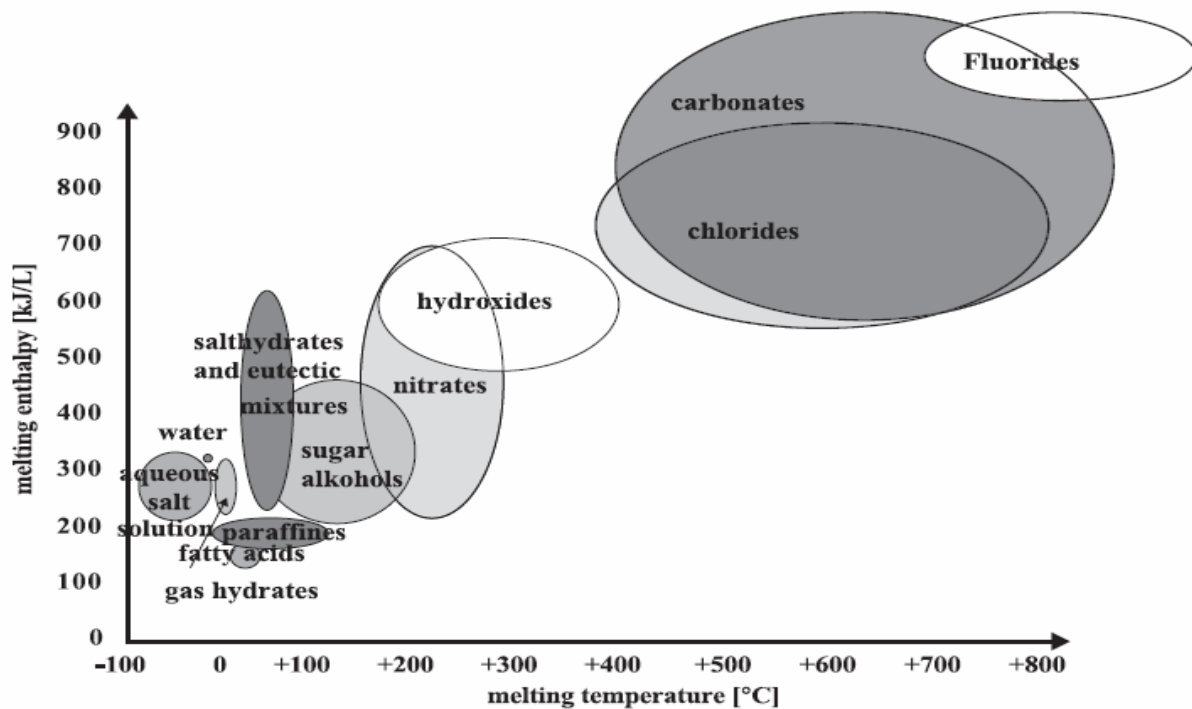
[Lane et al, 1983]

3.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

Το πιο γνωστό ΥΑΦ είναι το νερό. Έχει χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ψύξης για πάνω από 2000 χρόνια. Ακόμα και σήμερα η αποθήκευση ψύξης με νερό χρησιμοποιείται ενώ ψύξη με πάγο και χιόνι εξακολουθεί να βρίσκει εφαρμογές.

² Η έννοια ορίζεται στην παράγραφο 3.7.2

Ωστόσο για εφαρμογές όπου το σημείο τήξης είναι μικρότερο του σημείου πήξης του νερού (0 °C), έχουν χρησιμοποιηθεί άλλα υλικά. Στο σχήμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται το τυπικό εύρος της ενθαλπίας τήξης πάνω από τη θερμοκρασία τήξης, για διάφορα υλικά.



Σχήμα 3.3 :Τύποι υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ΥΑΦ , ανάλογα με την ενθαλπία και θερμοκρασία τήξης τους [Mehling et al,2008]

Τα ΥΑΦ και ειδικότερα αυτά που από στερεή κατάσταση μεταπίπτουν σε υγρή χωρίζονται σε κατηγορίες βάσει της σύστασή τους σε οργανικά και ανόργανα υλικά. Η κατηγορία των οργανικών υλικών αντιπροσωπεύεται κυρίως από τις παραφίνες και τα μικροκρυσταλλικά κεριά (μίγματα παραφινών με αριθμό ατόμων άνθρακα από 19 έως και 25) καθώς και από τα λιπαρά οξέα, εστέρες και αλκοόλες λιπαρών οξέων ή και μίγματα αυτών, ενώ των ανόργανων υλικών κυρίως από τα διαλύματα των ένυδρων αλάτων. [Lindner,1984]

3.4.1. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Τα οργανικά υλικά αποτελούνται , όπως προαναφέρθηκε, κυρίως από παραφίνες και μικροκρυσταλλικά κεριά, τα οποία είναι μίγματα παραφινών με αριθμό ατόμων άνθρακα από 19 έως 25. Επίσης, σημαντικές κατηγορίες οργανικών υλικών είναι τα λιπαρά οξέα, εστέρες και αλκοόλες λιπαρών οξέων ή και μίγματα αυτών. Τα εμπορικά προϊόντα οργανικών υλικών είναι αρκετά φθηνότερα από τα ένυδρα άλατα με μέτριες όμως τιμές λανθάνουσας θερμότητας (περίπου 150 kJ/kg) και δυνατότητα παραγωγής για σχεδόν όλο το εύρος των θερμοκρασιών. Η εμφάνιση supercooling είναι αμελητέα, είναι χημικά αδρανή και σταθερά, χωρίς να παρουσιάζεται διαχωρισμός φάσεων ή εκφυλισμός των ιδιοτήτων τους. Η χαμηλή τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας (περίπου 0,2 W/m*K) που παρουσιάζουν, αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα αφού περιορίζει τις εφαρμογές τους. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος έχουν εξεταστεί πολλές περιπτώσεις εμπλουτισμού του υλικού με μεταλλικά στοιχεία

διαφόρων σχημάτων ή χρήση δοχείων και σωλήνων με πτερύγια με σκοπό την αύξηση της ροής θερμότητας μέσα στο υλικό.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στα οργανικά υλικά επηρεάζεται αρκετά η πυκνότητα του υλικού από τη φάση, ώστε είναι δυνατόν όταν το υλικό στερεοποιηθεί και αυξηθεί η πυκνότητά του, να αποκολληθεί από τα τοιχώματα του δοχείου, γεγονός που θα επηρεάσει αρκετά το φαινόμενο της αγωγής θερμότητας. Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι η πιθανή αναφλεξιμότητα τους, παρά την θεώρηση των ερευνητών, ότι η χαμηλή τάση ατμών της παραφίνης, δεν εγκυμονεί κινδύνους ανάφλεξης.

[Lane,1983]

3.4.1.1. ΠΑΡΑΦΪΝΕΣ

Παραφίνη είναι το σύννηθες όνομα για μια ομάδα αλκανικών υδρογονανθράκων μεγάλου μοριακού βάρους, με γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n+2} , με $n > 20$.

Οι παραφίνες είναι ιδανικά υλικά για χρήση ως ΥΑΦ. Έχουν μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος τήξης και μπορούν να δημιουργηθούν, μέσω μιγμάτων, υλικά κατάλληλα να καλύψουν οποιοδήποτε εύρος θερμοκρασιών, ανάλογα με την εκάστοτε εγκατάσταση. Είναι οργανικές ουσίες, επομένως είναι φτηνές και άφθονες. Έχουν αρκετά καλή αποθηκευτική ικανότητα σε σχέση με άλλα υλικά, όπως επίσης έχουν το πλεονέκτημα να μην υπερψύχονται, δηλαδή όλο το υλικό στερεοποιείται, χωρίς εμφάνιση υπέρψυξης, άρα το υλικό αποδίδει τη μέγιστη αποθηκευτική ικανότητά του.

Επίσης, σαν οργανικές ουσίες, δεν εμφανίζουν στη διάρκεια ζωής τους το *φαινόμενο του διαχωρισμού των φάσεων*³, πράγμα που από μόνο του σημαίνει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που εμφανίζουν οι παραφίνες έναντι άλλων υλικών για εφαρμογές θέρμανσης σε κτίρια, είναι πως υπάρχει πλήθος παραφινών με σημεία τήξης από 20-26 °C, στα πλαίσια δηλαδή που κυμαίνονται οι απαιτήσεις των εν λόγω συστημάτων.

Οι παραφίνες παρουσιάζουν χαμηλή πίεση ατμοποίησης, γεγονός που ερμηνεύει τις ελάχιστες απώλειες υλικού σε ένα μεγάλο βάθος χρόνου χρήσης. Το πλεονέκτημα αυτό κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό για τις εφαρμογές όπου απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός κυκλικών φορτίσεων του υλικού. Για παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την εφαρμογή στην τοιχοποιία, όπου απαιτούμε περισσότερα από 25 γ ζωής. Επιπλέον δεν παρουσιάζουν προβλήματα διάβρωσης με κανένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μέταλλο. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ότι οι παραφίνες πραγματοποιούν ολοκληρωμένα την αλλαγή φάσης σε θερμοκρασιακό εύρος περίπου 10 Kelvin (περίπου 9K πριν το Σημείο Τήξης και 1K μετά από αυτό). Ένα τέτοιο φαινόμενο αν δεν ληφθεί υπ' όψη μπορεί να οδηγήσει σε μη σωστή εκλογή υλικού με αποτέλεσμα μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές. Η ύπαρξη πληθώρας ουσιών λύνει τα χέρια των μελετητών και δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού και ανάπτυξης αποδοτικότερων και οικονομικότερων συστημάτων.

Υπάρχει ακόμα χώρος για μελέτη και βελτίωση αυτών των συστημάτων, λόγω του υπαρκτού κινδύνου ανάφλεξης της υγρής φάσης της παραφίνης, καθώς επίσης και για την ανάπτυξη μεθόδων ακόμη καλύτερης ενσωμάτωσης της παραφίνης στα υλικά για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου διαφυγής ΥΑΦ, όταν αυτό βρίσκεται στην υγρή φάση.[Boese et al,1999]

³ Το φαινόμενο περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 3.7.1

Material	Melting temperature (°C)	Melting enthalpy (kJ/kg)	Thermal conductivity (W/m·K)	Density (kg/m ³)
n-Tetradecane C ₁₄ H ₃₀	6	230	- 0.21 (solid)	760 (liquid, 20 °C) -
n-Pentadecane C ₁₅ H ₃₂	10	212	- -	770 (liquid, 20 °C) -
n-Hexadecane C ₁₆ H ₃₄	18	210, 238	- 0.21 (solid)	760 (liquid, 20 °C) -
n-Heptadecane C ₁₇ H ₃₆	19	240	- -	776 (liquid, 20 °C) -
n-Octadecane C ₁₈ H ₃₈	28	200, 245	0.148 (liquid, 40 °C) 0.358 (solid, 25 °C)	774 (liquid, 70 °C) 814 (solid, 20 °C)
n-Eicosane C ₂₀ H ₄₂	38	283	- -	779 -
n-Triacontane C ₃₀ H ₆₂	66	-	- -	775 -
n-Tetracontane C ₄₀ H ₈₂	82	-	- -	- -
n-Pentacontane C ₅₀ H ₁₀₂	95	-	-	779 -
Polyethylene	110-135	200	-	-
C _n H _{2n+2} n up to 100000			-	870-940 (solid, 20 °C)

Πίνακας 3.1 :Παραδείγματα των παραφινών που έχουν διερευνηθεί ως ΥΑΦ.
[Mehling et al,2008]

3.4.1.2. ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ

Τα λιπαρά οξέα χαρακτηρίζονται από τον γενικό μοριακό τύπο CH₃(CH₂)_{2n}COOH. Εμφανίζουν σημεία τήξης και λανθάνουσα θερμότητα παρόμοια με αυτά των παραφινών. Τα λιπαρά οξέα είναι σταθερά στην διαδικασία της κυκλικής φόρτισης. Επίσης, παρουσιάζεται ελάχιστα ή καθόλου το φαινόμενο του supercooling και έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Το βουτυρικό οξύ (CH₃[CH₂]₂COOH) για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κτιριακές εφαρμογές και έχει χρησιμοποιηθεί σε πειράματα, όμως το κόστος του είναι τουλάχιστον 2 με 2,5 φορές μεγαλύτερο από την παραφίνη με αντίστοιχες θερμικές ιδιότητες. Αντίστοιχα, υπάρχουν λίγα λιπαρά οξέα τα οποία να είναι κατάλληλα για κτιριακές εφαρμογές, πράγμα που γίνεται εύκολα κατανοητό ότι είναι σημαντικό μειονέκτημα έναντι των παραφινών.

Ένα ακόμη μειονέκτημα αυτής της ομάδας υλικών είναι η κακοσμία, γεγονός που όπως γίνεται κατανοητό περιορίζει δραματικά τη χρήση του χώρου στον οποίο αυτά

εγκαθίστανται. Τα παραπάνω προβλήματα θα μπορούσαν να ξεπεραστούν κάνοντας χρήση κάποιου είδους συσκευασία, δίνοντας έτσι ένα ΥΑΦ φτηνό, χημικά σταθερό, ιδανικό για κτιριακές εφαρμογές. [Sari et al,2003]

Material	Melting temperature (°C)	Melting enthalpy (kJ/kg)	Thermal conductivity (W/m·K)	Density (kg/m ³)
Caprylic acid	16	149	0.149 (liquid, 38 °C)	901 (liquid, 30 °C)
CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH			-	981 (solid, 13 °C)
Capric acid	32	153	0.149 (liquid, 40 °C)	886 (liquid, 40 °C),
CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH			-	1004 (solid, 24 °C)
Lauric acid	42-44	178	0.147 (liquid, 50 °C)	870 (liquid, 50 °C),
CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH			-	1007 (solid, 24 °C)
Myristic acid	58	186, 204	-	861 (liquid, 55 °C),
CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH			0.17 (solid)	990 (solid, 24 °C)
Palmitic acid	61, 64	185, 203	-	850 (liquid, 65 °C)
CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH			-	989 (solid, 24 °C)

Πίνακας 3.2 : Παραδείγματα των λιπαρών οξέων που έχουν ερευνηθεί ως ΥΑΦ. [Mehling et al, 2008]

3.4.2. ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΥΛΙΚΑ

Τα ένυδρα άλατα είναι ο κύριος εκπρόσωπος ανόργανων υλικών και παρουσιάζουν αρκετά καλές ιδιότητες (τιμή λανθάνουσας θερμότητας περίπου 250 kJ/kg και αγωγιμότητας 0,6 W/m·K περίπου), μέτριο κόστος παραγωγής σε σχέση με τις παραφίνες αλλά υψηλό κόστος πώλησης σε σχέση με τις τιμές πώλησης των παραφινών λόγω της επιβεβλημένης ενσωμάτωσής τους σε προστατευτικό κάλυμμα και χρήση πρόσθετων ουσιών σταθεροποίησης των ιδιοτήτων τους.

Τα ένυδρα άλατα μελετήθηκαν σε αρκετές έρευνες σχετικά με τη δυνατότητα χρησιμοποίησής τους σαν ΥΑΦ. Ο κύριος λόγος είναι το σχετικά μεγάλο εύρος σημείων τήξης που διαθέτουν, σχεδόν από 0 έως 120°C, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για θερμικές εφαρμογές πολλών ειδών και όχι μόνο για κτίρια. Ο γενικός χημικός τύπος είναι M.nH₂O, όπου M είναι μία ανόργανη ουσία, ενυδατωμένη με n μόρια νερού, και σχηματίζει μία σύνθετη ουσία ικανή να αποθηκεύσει μεγάλο ποσό θερμότητας υπό μορφή λανθάνουσας.

Η αρχή λειτουργίας των ένυδρων αλάτων, βασίζεται στην απομάκρυνση του κρυσταλλικού νερού, το οποίο αποβάλλεται όταν προσδοθεί θερμότητα στο άλας σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Με τον τρόπο αυτό, αποθηκεύεται θερμότητα στο ΥΑΦ, η οποία αποβάλλεται με επανακρυστάλλωση του νερού του άλατος.

Βασικά μειονεκτήματα των ανόργανων ΥΑΦ είναι - κυρίως για τα ένυδρα άλατα - η ασυμβατότητα του ΥΑΦ με τα υλικά συσκευασίας, γεγονός που οδηγεί σε διαβρωτικά φαινόμενα στο δοχείο, καθώς τα ένυδρα άλατα είναι ιδιαίτερα διαβρωτικά. [Lane,1983]

Material	Melting temperature (°C)	Melting enthalpy (kJ/kg)	Thermal conductivity (W/m·K)	Density (kg/m ³)
LiClO ₃ ·3H ₂ O	8	155	-	1530 (liquid)
			-	1720 (solid)
KF·3H ₂ O	18.5	231	-	1447 (liquid, 20 °C)
			-	1455 (solid, 18 °C)
CaCl ₂ ·6H ₂ O	29, 30	171, 190	0.540 (liquid, 39 °C)	1562 (liquid, 32 °C)
			1.088 (solid, 23 °C)	1710 (solid, 25 °C)
LiNO ₃ ·3H ₂ O	30	296	-	-
			-	-
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	32	254	-	-
			0.554	1485 (solid)
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	35-44	280	0.476 (liquid)	1442 (liquid)
			0.514 (solid)	1522 (solid)
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	48-55	187, 209	-	1670 (liquid)
			-	1750 (solid)
Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O	58	226, 264	-	1280 (liquid)
			-	1450 (solid)
Ba(OH) ₂ ·8H ₂ O	78	265, 280	0.653 (liquid, 86 °C)	1937 (liquid, 84 °C)
			1.255 (solid, 23 °C)	2180 (solid)
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	89, 90	149, 163	0.490 (liquid, 95 °C)	1550 (liquid, 94 °C)
			0.669 (solid, 56 °C)	1636 (solid, 25 °C)
MgCl ₂ ·6H ₂ O	117	165, 169	0.570 (liquid, 120 °C)	1450 (liquid, 120 °C)
			0.704 (solid, 110 °C)	1569 (solid, 20 °C)

Πίνακας 3.3 . Παραδείγματα των ένυδρων αλάτων που έχουν ερευνηθεί ως ΥΑΦ. [Mehling et al, 2008]

Επίσης στα ένυδρα άλατα παρουσιάζεται το φαινόμενο διαχωρισμού φάσεων, κυρίως λόγω της πίεσης των ατμών του νερού, το οποίο αντιμετωπίζεται με τη χρήση αεροστεγών δοχείων αποθήκευσης. Το φαινόμενο της αποσύνθεσης του ΥΑΦ, αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα και συμβαίνει λόγω της ανομοιομορφίας στη τήξη του υλικού, διαδικασία η οποία είναι μη αντιστρεπτή.

Το άλας του Glauber (Na₂SO₄·10H₂O), με τυπική κατά βάρος σύσταση 44% Na₂SO₄ και 56% H₂O είναι ένα από τα πλέον μελετημένα υλικά με θερμοκρασία τήξης 32,4°C και λανθάνουσα θερμότητα 254 kJ/kg. Αν και είναι ένα από τα φθηνότερα υλικά που κυκλοφορούν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση ενέργειας, τα προβλήματα διαχωρισμού των φάσεων, ο σχηματισμός ιζήματος και το φαινόμενο supercooling περιορίζουν το εύρος των εφαρμογών. Ερευνητές προτείνουν την προσθήκη επιπλέον ύδατος, για την αποφυγή δημιουργίας ιζήματος, όμως κάτι τέτοιο θα μείωνε την αποθηκευτική ικανότητα του υλικού. Αντί αυτού έχει χρησιμοποιηθεί πληθώρα υλικών για τη σταθεροποίηση του ΥΑΦ, προσπαθώντας παράλληλα να αυξηθεί η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας.

Συμπερασματικά, τα κυριότερα προβλήματα που εμφανίζει η χρήση των ένυδρων αλάτων δημιουργούνται λόγω της ανεπάρκειας σταθερότητας της χημικής σύνθεσης τους και του φαινομένου διάβρωσης μεταξύ αυτών και των υλικών συσκευασίας. Προφανώς, βασικό πλεονέκτημα των ένυδρων αλάτων έναντι των παραφινών όσον αφορά στις κτιριακές κυρίως εγκαταστάσεις είναι η μη αναφλεξιμότητα τους.

Στο πλαίσιο αναφοράς των ιδιοτήτων δεν θα πρέπει να παραλειφθεί ο ρόλος της πυκνότητας των υλικών, σημαντικός παράγοντας όταν τα υλικά χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις ή εφαρμογές που από τη φύση τους απαιτούν οικονομία χώρου.

Σε γενικές γραμμές τα ένυδρα άλατα είναι πυκνότερα υλικά από τα υπόλοιπα ΥΑΦ και παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές αποθήκευσης ενέργειας ανά μονάδα όγκου υλικού.

Ενδεικτικές τιμές πυκνότητας των βασικών κατηγοριών ΥΑΦ:

- Ένυδρα άλατα περίπου 1500 kg/m^3
- Λιπαρά οξέα περίπου 900 kg/m^3
- Παραφίνες περίπου 800 kg/m^3

[Lane, 1983]

3.4.3. ΕΥΤΗΚΤΑ ΜΙΓΜΑΤΑ

Εύτηκτα ονομάζονται τα μίγματα ΥΑΦ, τα οποία μπορεί να είναι είτε οργανικά, είτε ανόργανα ή ακόμα και μίγμα ανόργανων με οργανικά ΥΑΦ. Προφανές είναι πως τα εύτηκτα ΥΑΦ αναπτύχθηκαν λόγω των δυνατοτήτων που παρέχουν στους σχεδιαστές ώστε να επιτύχουν τα επιθυμητά σημεία τήξης για την κάθε εφαρμογή. Θεωρείται δε ότι συμπεριφέρονται και αντιμετωπίζονται σαν ένυδρα άλατα. Βασικό πλεονέκτημα με τα εύτηκτα ΥΑΦ είναι ότι εμφανίζουν την τάση να συγκεντρώνουν τα πλεονεκτήματα και των δύο ομάδων, ενώ παράλληλα δεν έχουν την τάση να κάνουν το ίδιο με τα μειονεκτήματα. Το βασικό τους μειονέκτημα όμως είναι το κόστος παραγωγής, το οποίο είναι διπλάσιο έως τριπλάσιο απ' ότι των οργανικών και ανόργανων ΥΑΦ.

[Mehling et al, 2008]

Compound	Melting temperature (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)
66.6% $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + 33.3% $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	25	127
48% CaCl_2 + 4.3% NaCl + 0.4% KCl + 47.3% H_2O	26.8	188
47% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ + 53% $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	30	136
60% $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ + 40% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	30	200.5

Πίνακας 3.4 : Εύτηκτα υλικά που χρησιμοποιούνται κυρίως σε κτιριακές εφαρμογές. [Buddhi et al, 2005]

3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΥΑΦ

Συγκεντρωτικά για τις δύο βασικές κατηγορίες ΥΑΦ παρατίθενται τα σημαντικότερα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα της κάθε κατηγορίας. Σημειώνεται εδώ ότι κάθε εφαρμογή στην οποία επιχειρείται η εισαγωγή ΥΑΦ, έχει ξεχωριστές παραμέτρους και ιδιαιτερότητες, οπότε τα ακόλουθα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έχουν διαφορετική βαρύτητα ανάλογα την εφαρμογή.

ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΑΦ
Πλεονεκτήματα:
• Μη διαβρωτικά με τα περισσότερα υλικά
• Μικρός κίνδυνος ρύπανσης του νερού
• Μικρής τάξης ή καθόλου εμφάνιση του φαινομένου supercooling
• Χημική και θερμική σταθερότητα
• Χαμηλό κόστος αγοράς σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες ΥΑΦ
• Παραγωγή υλικών σε διάφορες εμπορικές εφαρμογές (σκόνη, κόκκοι, πλάκες)
Μειονεκτήματα:
• Λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης μικρότερη από τα ανόργανα
• Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μικρότερος από τα ανόργανα
• Αναφλέξιμα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (200 °C)
• Πυκνότητα χαμηλότερη από τα ανόργανα
ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΥΑΦ
Πλεονεκτήματα:
• Μεγαλύτερη τιμή λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης (σε σύγκριση με τα οργανικά)
• Μη αναφλέξιμα
• Πυκνότητα υψηλότερη από τα οργανικά
Μειονεκτήματα:
• Διαβρωτικά (απαραίτητη αποθήκευση υλικών σε ενισχυμένη συσκευασία)
• Εμφάνιση supercooling
• Διαχωρισμός των φάσεων (μεταβλητή τιμή διαλυτότητας με τη θερμοκρασία), δυνατή δημιουργία ιζήματος
• Αβέβαιη θερμική σταθερότητα σε κυκλική φόρτιση
• Αρκετά μεγαλύτερο κόστος αγοράς από τα οργανικά
• Εκφυλισμός των ιδιοτήτων τους σε βάθος χρόνου αν μείνουν εκτεθειμένα σε περιβάλλον με υγρασία

Πίνακας 3.5: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των βασικών κατηγοριών ΥΑΦ.

3.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΑΦ

Μια σύντομη παράθεση των βασικών χαρακτηριστικών θερμικών ιδιοτήτων των ΥΑΦ, οι οποίες καθορίζουν τη συμπεριφορά του θερμικού συστήματος του κάθε υλικού, κρίνεται αναγκαία σε αυτό το σημείο.

Η θερμοχωρητικότητα (C_p) για όλα τα ΥΑΦ, ανεξαρτήτως αν πρόκειται για οργανικά ή ανόργανα, είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Ωστόσο δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα κάποιος νόμος που να περιγράφει τη μεταβολή της θερμοχωρητικότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας και να καλύπτει ένα μεγάλο εύρος υλικών. Επί του παρόντος χρησιμοποιείται η σύμβαση με την οποία οι δύο φάσεις (στερεή και υγρή) του υλικού αντιμετωπίζονται με δύο αντίστοιχες τιμές για τη θερμοχωρητικότητα, τιμές που θεωρούνται πρακτικά σταθερές για το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής στην οποία χρησιμοποιείται το υλικό.

Ακόμα όμως δεν υπάρχει σαφής απάντηση για την τιμή της θερμοχωρητικότητας στη διφασική περιοχή. Πρακτικά, δίνονται πολυωνυμικές και εκθετικές συναρτήσεις για το κάθε ΥΑΦ, χωρίς να έχει εξαχθεί σήμερα μια οικουμενική συνάρτηση που θα αντιπροσωπεύει μια μεγάλη ομάδα από αυτά. Το μοναδικό κοινό σημείο για τη θερμοχωρητικότητα, είναι ότι κατά κανόνα αποτελεί μια αύξουσα συνάρτηση της θερμοκρασίας του υλικού. Η τιμή της μέγιστης λανθάνουσας θερμότητας που μπορούν να αποθηκεύσουν τα ΥΑΦ ανά μονάδα μάζας, είναι δείκτης αποδοτικότητας για κάθε εφαρμογή, καθώς είναι επιθυμητή η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη αποθήκευση ανά μονάδα μάζας υλικού. Τον ίδιο ρόλο (ποιοτικά κατά τις εφαρμογές) παίζει και η πυκνότητα του ΥΑΦ.

Για να υπάρχει αποδοτική μεταφορά θερμότητας πρέπει το υπεύθυνο υλικό να έχει μεγάλη θερμική αγωγιμότητα (k). Τα ΥΑΦ έχουν εν γένει μικρή τιμή θερμικής αγωγιμότητας, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα των ΥΑΦ στις διάφορες εφαρμογές τους. Η τιμή θεωρείται πρακτικά σταθερή σε ολόκληρο το θερμοκρασιακό φάσμα εφαρμογής. Λόγω της μικρής τιμής του k , ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας στα ΥΑΦ θεωρείται μη αποδοτικός, καθώς απαιτούνται για γρήγορη και αποτελεσματική χρήση των εφαρμογών των ΥΑΦ, υψηλές θερμοκρασιακές διαφορές. Το μειονέκτημα αυτό, ανάλογα πάντα με την εφαρμογή, μπορεί σε κάποιο βαθμό να αντιμετωπιστεί με αντίστοιχα μεγάλες επιφάνειες μετάδοσης θερμότητας. Υπάρχουν βέβαια κάποιες εφαρμογές όπως η μεταφορά τροφίμων, στις οποίες τα παραπάνω δεν είναι ζωτικής σημασίας.

Ως γνωστό η πυκνότητα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, οπότε κάθε υλικό που αλλάζει φάση, υπόκειται σε ογκομετρικές αλλαγές. Σε περίπτωση λοιπόν που υπάρχει ΥΑΦ σε κλειστή συσκευασία, πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της ογκομετρικής αλλαγής και της συνεπαγόμενης μεταβολής της πίεσης στο εσωτερικό της συσκευασίας.

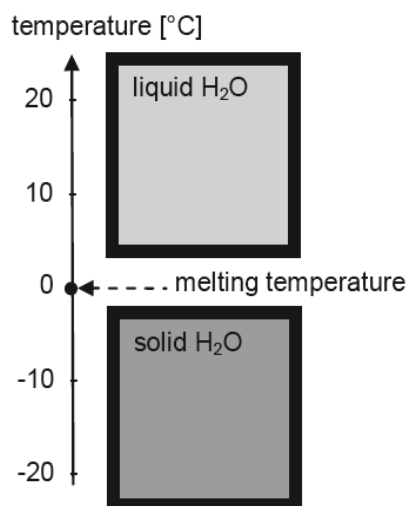
3.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΑΦ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥΣ

Συνήθως, κατά την επιλογή ενός υλικού, ώστε να χρησιμοποιηθεί ως ΥΑΦ, δεν πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις για την ενδεχόμενη χρήση του. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί διάφορες στρατηγικές προκειμένου να επιλυθούν τέτοιου είδους προβλήματα. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα από τα βασικότερα προβλήματα που εμφανίζονται σε αυτού του είδους τα υλικά.

[Mehling et al, 2008]

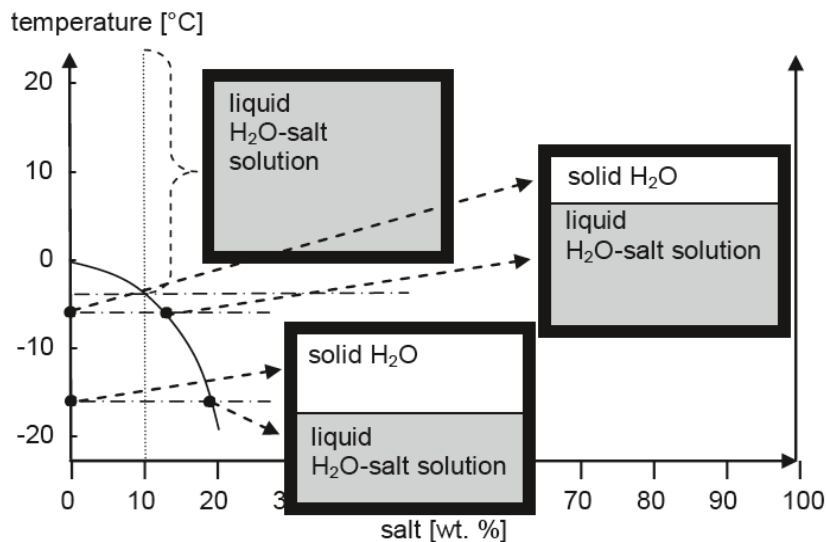
3.7.1 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΦΑΣΕΩΝ

Όταν μια καθαρή ουσία η οποία αποτελείται από ένα συστατικό, για παράδειγμα ο πάγος, θερμαίνεται πάνω από το σημείο τήξης του ,μεταβαίνει από τη στερεή φάση στην υγρή με ομοιόμορφο τρόπο και δεν παρατηρείται ανομοιογένεια στη σύσταση του. Όταν το υλικό ψυχθεί κάτω από το σημείο τήξης του θα στερεοποιηθεί και επίσης θα εμφανίζει ομοιογένεια στη σύσταση του. Άρα αν έχουμε μια καθαρή ουσία η οποία μεταβαίνει από μία φάση σε κάποια άλλη ομοιόμορφα δεν παρατηρείται ανομοιογένεια στη σύσταση της δηλαδή δεν παρατηρείται το φαινόμενο διαχωρισμού φάσεων.



Διάγραμμα 3.1 : Αλλαγές φάσης του νερού [Mehling et al, 2008]

Όταν όμως μια ουσία αποτελείται από δύο ή και περισσότερα συστατικά το διάγραμμα φάσης πρέπει να επεκταθεί. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα με διάλυμα άλατος. Το σύστημα που αποτελείται από δύο συστατικά συμπεριφέρεται πολύ διαφορετικά σε σχέση με τη περίπτωση μιας καθαρής ουσίας που αναφέρεται παραπάνω. Το διάλυμα άλατος με σύσταση 10% κ.β. άλας και 90% κ.β. νερό είναι ένα ομοιογενές υγρό πάνω από τους -4 °C. Όταν ψυχθεί σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από τους -4 °C το νερό του διαλύματος στερεοποιείται και κατά συνέπεια στο διάλυμα να συναντάται υψηλότερη συγκέντρωση άλατος. Αυτό σημαίνει ότι η ένωση χωρίζεται σε δυο διαφορετικές φάσεις. Λόγω της βαρύτητας η φάση με την υψηλότερη πυκνότητα θα βρεθεί στον πυθμένα του δοχείου αποθήκευσης και η φάση με τη μικρότερη πυκνότητα θα ανέλθει στην κορυφή του δοχείου. Το φαινόμενο αυτό λέγεται διαχωρισμός φάσεων ή αποσύνθεση του υλικού, επειδή η αρχική σύνθεση υφίσταται αλλαγές . [Πηγή :Lane,1983]



Διάγραμμα 3.2 : Επέκταση του διαγράμματος φάσης όταν προστίθεται ένα δεύτερο συστατικό, στη συγκεκριμένη περίπτωση προστίθεται ένα άλας στο νερό.
[Mehling et al, 2008]

Το φαινόμενο του διαχωρισμού φάσης, στη διεθνή βιβλιογραφία καλείται « phase separation » ή « semi congruent melting ». Είναι ένα από τα βασικότερα προβλήματα που εμφανίζονται στα ΥΑΦ, ιδιαίτερα μάλιστα σε αυτά που αποτελούνται από παραπάνω από δύο συστατικά.

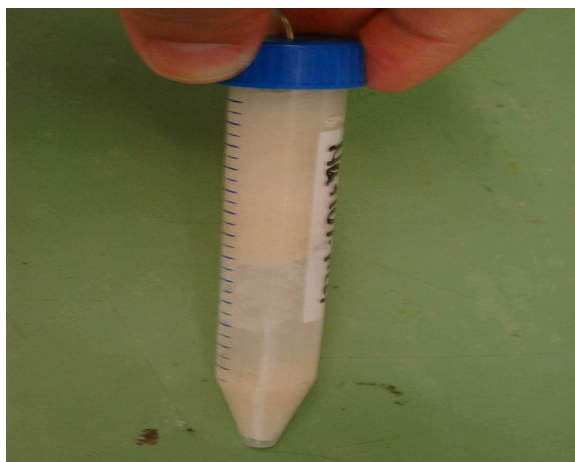
Το φαινόμενο διαχωρισμού των φάσεων οφείλεται στη μεγάλη ικανότητα θερμικής αποθήκευσης των ένυδρων αλάτων, η οποία είναι δύσκολο να διατηρηθεί και συνήθως μειώνεται με το πέρασμα των κύκλων φόρτισης του υλικού. Θεωρείται, μαζί με τη διαδικασία σχηματισμού άνυδρων αλάτων με δημιουργία ιζήματος, υπεύθυνο για τον εκφυλισμό των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών. Το φαινόμενο λαμβάνει χώρα λόγω του ότι τα ένυδρα άλατα τήκονται σύμφωνα με το κατώτερο συστατικό του μίγματος (ανομοιόμορφη τήξη), δημιουργώντας μη αναστρέψιμη διαδικασία που οδηγεί σε συχνή εξασθένηση των ιδιοτήτων τους.

Για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων διαχωρισμού φάσεων τρεις διαφορετικές τεχνικές. Ένας τρόπος αποφυγής του φαινομένου είναι η χρησιμοποίηση κολλοειδών προσθετικών (gelling additives), τα οποία δημιουργούν μια δομή γύρω από τις φάσεις των συστατικών του υλικού και δεν επιτρέπουν τη διέλευση φάσεων με διαφορετικές πυκνότητες διαμέσου της δομής τους.

Ένας δεύτερος τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου είναι η τεχνητή μίξη (artificial mixing). Δηλαδή αν αναθερμάνουμε το μίγμα, με μοριακή διάχυση θα επανέλθει στην αρχική του κατάσταση.

Εναλλακτικά ένας τρόπος ώστε να μειωθεί η απόσταση που οι φάσεις μπορούν να διαχωριστούν είναι προσθέτοντας στο ΥΑΦ κάποιο υλικό ώστε να προκληθεί τεχνητή αύξηση της πυκνότητας του (thickening), μέσω της αύξησης του ιξώδους του. Λόγω του υψηλού ιξώδους, οι διαφορετικές φάσεις δεν μπορούν να διαχωριστούν μακριά με αποτέλεσμα ολόκληρο το ΥΑΦ να παραμένει σε στερεή κατάσταση .

[Lane 1986, Farid et al 2004]



Εικόνα 3.1 : Παράδειγμα ένυδρου άλατος που έχει υποστεί διαχωρισμό φάσης [Cabeza et al,2007]

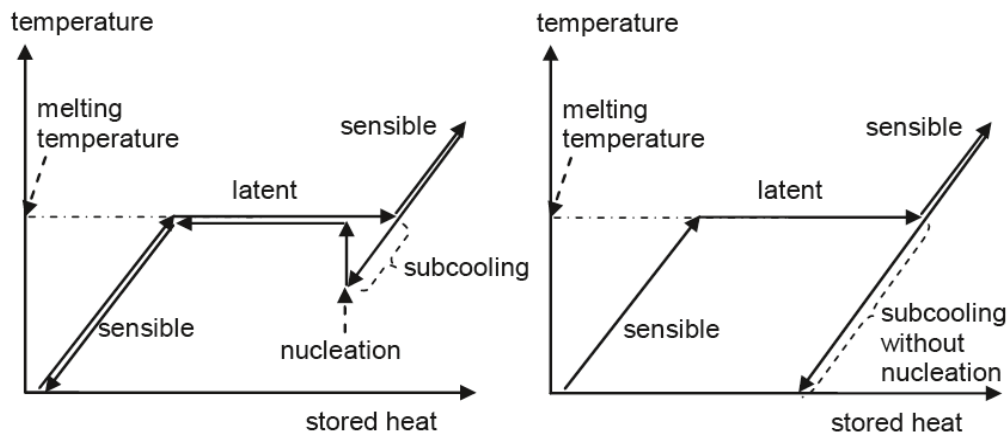
3.7.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΠΕΡΨΥΞΗΣ – ΥΠΟΨΥΞΗΣ (SUPERCOOLING -SUBCOOLING)

Ένα βασικό πρόβλημα που εμφανίζεται κυρίως στα ανόργανα ένυδρα άλατα είναι το φαινόμενο της υπέρψυξης ή υπόψυξης (supercooling or subcooling). Ένα ιδανικό υλικό αλλαγής φάσης θα έπρεπε να στερεοποιείται και να τήκεται στην ίδια θερμοκρασία, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Κάποια υλικά δε στερεοποιούνται αμέσως, εάν η θερμοκρασία του υλικού είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης, το φαινόμενο αυτό ονομάζεται υπόψυξη ή υπέρψυξη. Κατά τη διάρκεια της υπόψυξης το υλικό βρίσκεται σε μια μετασταθή κατάσταση. Το φαινόμενο της υπέρψυξης και τα προβλήματα τα οποία αυτό συνεπάγεται μπορούν να αντιμετωπιστούν με την προσθήκη στο υλικό τεχνητών παραγόντων πυρηνοποίησης, οι οποίοι είναι ουσίες με κρυσταλλική δομή παρόμοια, αν όχι ίδια με αυτή του υλικού στο οποίο προστίθενται. Υλικά που προέκυψαν από αυτή τη διαδικασία αποδείχθηκαν άκρως αποδοτικά για διάφορες εφαρμογές.

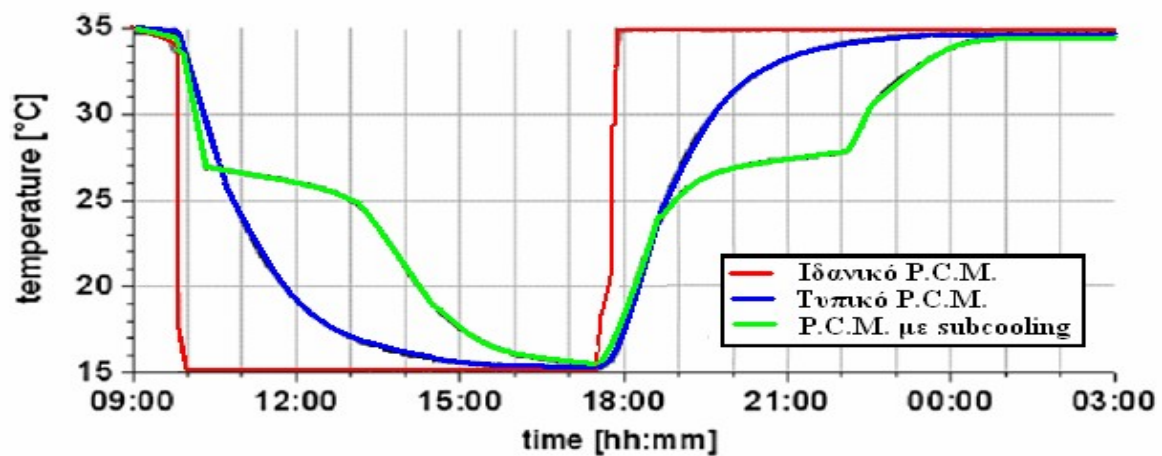
Τα είδη των πυρήνων που μπορούν να προστεθούν είναι τα ακόλουθα :

- «Εγγενής» Πυρήνες (Intrinsic nucleators) : πρόκειται για ίδια συστατικά του ΥΑΦ, πρέπει να φυλάσσονται ξεχωριστά από το ΥΑΦ, διότι αλλιώς υπάρχει κίνδυνος να τήξουν μαζί με αυτό και κατόπιν να είναι ανενεργά.
- «Συμβατοί» Πυρήνες (Extrinsic nucleators) : πρόκειται για χημικά τα οποία παρουσιάζουν όμοια δομή με αυτή των ΥΑΦ, αυτό σημαίνει ότι έχουν παρόμοιες θερμοκρασίες τήξης με το ΥΑΦ που χρησιμοποιούμε. Επίσης θα πρέπει να φυλάσσονται ξεχωριστά από το ΥΑΦ, διότι αλλιώς υπάρχει κίνδυνος να τήξουν μαζί με αυτό και κατόπιν να είναι ανενεργά .

[Lane 1983,Farid et al 2004]



Διάγραμμα 3.3 : Επίδραση στην αποθήκευση θερμότητας. Αριστερά: με εμφάνιση υπόψυξης σε μικρό βαθμό και δημιουργία κρυσταλλικής δομής μέσω πυρήνα, Δεξιά: υπόψυξη χωρίς δημιουργία κρυσταλλικής δομής [Mehling et al, 2008]



Διάγραμμα 3.4 : Διάγραμμα θερμοκρασίας – χρόνου στερεοποίησης και τήξης ιδανικού και τυπικού ΥΑΦ, φαινόμενο subcooling [Ρίζος,2007]

PCM	Thickener	T_m (°C)	Nucleating agent (size, μm)	Subcooling (°C)	
				w/o nucleator	w/nucleator
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	SAP	32	Borax (20×50 – 200×250)	15–18	3–4
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	SAP	36	Borax (20×50 – 200×250)	20	6–9
			Carbon (1.5–6.7)		0–1
			TiO_2 (2–200)		0–1
			Copper (1.5–2.5)		0.5–1
			Aluminum (8.5–20)		3–10
$\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	CMC	46	Na_2SO_4	20	4–6
			SrSO_4		0–2
			Carbon (1.5–6.7)		4–7
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	CMC	57	K_2SO_4	30	0–3
			$\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$		0–2

Πίνακας 3.6 : Μείωση της εμφάνισης του φαινομένου του subcooling με την εφαρμογή κατάλληλων παραγόντων πυρηνοποίησης[Lane,1991]

3.7.3 ΜΙΚΡΉ ΤΙΜΉ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΉΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Όλα τα μη μεταλλικά υγρά συμπεριλαμβανομένων και των ΥΑΦ έχουν χαμηλή τιμή θερμικής αγωγιμότητας. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι το ΥΑΦ, αποθηκεύει ένα μεγάλο ποσό θερμότητας σε μικρό όγκο και αυτή η θερμότητα πρέπει να μεταφερθεί μέσω της επιφάνειας αυτού του όγκου στο εξωτερικό περιβάλλον ώστε να χρησιμοποιηθεί από το σύστημα. Στην υγρή φάση εμφανίζεται ο μηχανισμός της μεταφοράς θερμότητας και ενεργεί μόνο όταν θερμότητα μεταφέρεται στο ΥΑΦ.

Στη στερεά φάση, δε λαμβάνει χώρα μεταφορά θερμότητας. Όταν είναι απαραίτητη η άμεση μεταφορά θερμότητας, μια δυνατότητα για να αυξηθεί η θερμική αγωγιμότητα του ΥΑΦ είναι η προσθήκη υλικών με μεγαλύτερη τιμή θερμικής αγωγιμότητας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί παραδείγματος χάριν με την προσθήκη των μεταλλικών στοιχείων.[Πηγές:Velraj et al 1999, Cabeza et al 2002, και Hafner και Schwarzer 1999] Παρουσιάζονται και άλλες παρόμοιες έρευνες όπως για παράδειγμα η διερεύνηση της δυνατότητας αύξησης της θερμικής αγωγιμότητας παραφινών και ένυδρων αλάτων που θεωρούνται ως ΥΑΦ με τη χρήση γραφίτη.

[Mehling et al,1999]

3.7.4 ΤΟΠΟΘΈΤΗΣΗ ΥΑΦ ΣΕ ΚΆΨΟΥΛΕΣ ΚΑΙ ΣΎΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΆ

Στις περισσότερες περιπτώσεις τα ΥΑΦ πρέπει να τοποθετούνται σε κάψουλα. Οι δυο κυριότεροι λόγοι τοποθέτησης του σε κάψουλες είναι:

- να αποφεύγεται πιθανή διαρροή, όταν το ΥΑΦ βρίσκεται στην υγρή του φάση, από το χώρο στον οποίο αυτό τοποθετείται.
- να επιτυγχάνεται η προστασία του ΥΑΦ από περιβαλλοντικές συνθήκες που το βλάπτουν(π.χ. υγρασία).

Το υλικό που συνήθως χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των ΥΑΦ σε προστατευτικό κέλυφος είναι πλαστικό ή συνθετικές ρητίνες. Η τοποθέτηση σε κάψουλες, επιφέρει την επιθυμητή μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής που βελτιώνει τις συνθήκες μεταφοράς θερμότητας. Επίσης, οι κάψουλες βελτιώνουν τη θερμική συμπεριφορά του συστήματος με τα ΥΑΦ, καθώς εμποδίζει την ανάπτυξη του στέρεου τοιχώματος στην εσωτερική επιφάνεια μεταφοράς, φαινόμενο το οποίο είναι υπεύθυνο

για την ανεπιθύμητη μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας σαν στοιχείο της κατασκευής, που σημαίνει ότι προσθέτει μηχανική σταθερότητα.
Διακρίνουμε δύο είδη ενσωμάτωσης των ΥΑΦ σε κάψουλες :

- **Macroencapsulation**

Σε αυτή την περίπτωση γίνεται τοποθέτηση του ΥΑΦ σε κάψουλες με διάμετρο μεγαλύτερη του 1 cm. Εκτός από το ότι αυτή η μέθοδος διατηρεί το υλικό του ΥΑΦ σε πεπερασμένο χώρο και εμποδίζει την επαφή του με άλλα συστατικά, η μέθοδος παρουσιάζει και τα ακόλουθα προτερήματα :

- ▶ Βελτιώνει τη συμβατότητα του υλικού με το περιβάλλον, καθώς λειτουργεί σαν φράγμα μεταξύ του ΥΑΦ και του χώρου που αυτό ευρίσκεται.
- ▶ Βελτιώνει τη διακίνηση του ΥΑΦ κατά την παραγωγή του.
- ▶ Μειώνει ουσιαστικά τις μεταβολές του όγκου, που συνήθως αποτελούν ένα πλεονέκτημα για τις περισσότερες εφαρμογές, ιδίως σε μικροεφαρμογές.

- **Microencapsulation**

Σε αυτή την περίπτωση γίνεται τοποθέτηση του ΥΑΦ σε κάψουλες με διάμετρο μικρότερη του 1 mm. Η μέθοδος έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτή της macroencapsulation , αλλά έχει τα εξής επιπρόσθετα πλεονεκτήματα :

- ▶ Βελτιώνει τη μετάδοση θερμότητας στον περιβάλλοντα χώρο λόγω της μεγάλης επιφάνειας συναλλαγής.
- ▶ Βελτιώνει ουσιαστικά την σταθερότητα της κυκλικής φόρτισης καθώς ο διαχωρισμός των φάσεων είναι ιδιαίτερα περιορισμένος λόγω των μικροσκοπικών διαστάσεων της κάψουλας που εμπεριέχει το ΥΑΦ

[Mehling et al, 2008]



Εικόνα 3.2 : 1) Macroencapsulation σε παραφίνες, 2) Microencapsulation σε παραφίνες, 3) Macroencapsulation, κάψουλα ένυδρου άλατος.
[Mehling et al, 2008]

3.7.5 ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΑΦ ΜΕ ΆΛΛΑ ΥΛΙΚΑ

Η συμβατότητα των ΥΑΦ με άλλα υλικά είναι σημαντική τόσο για τη διάρκεια ζωής του δοχείου ή της κάψουλας που φέρει το ΥΑΦ, όσο και για μία πιθανή διαρροή του τήγματος προς τον περιβάλλοντα χώρο όπου μπορεί να προξενήσει προβλήματα. Τα πιο συνήθη προβλήματα αναφορικά με τη συμβατότητα των υλικών και τα ΥΑΦ είναι τα ακόλουθα :

-
- Διάβρωση των μετάλλων όταν έρθουν σε επαφή με ανόργανα ΥΑΦ
 - Απώλεια σταθερότητας δομής των πλαστικών όταν έρχονται σε επαφή με οργανικά ΥΑΦ
 - Μετακίνηση υγρών ή αερίων διαμέσου πλαστικών δοχείων, τα οποία επηρεάζουν τη δομή του περιεχόμενου ανόργανου ή οργανικού ΥΑΦ
- [Cabeza et al,2007]

3.7.6 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΥΑΦ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Τα ΥΑΦ όπως όλα τα υλικά έχουν συγκεκριμένο κύκλο ζωής στα χρονικά πλαίσια του οποίου φορτίζονται και αποφορτίζονται κυκλικά χωρίς να απολέσουν τις ιδιότητες τους. Συνεπώς το σοβαρότερο κριτήριο για την αξιοποίηση των ΥΑΦ σε οποιοσδήποτε εφαρμογές είναι ο ωφέλιμος χρόνος ζωής των υλικών, χωρίς εκφυλισμό των ιδιοτήτων τους, ο οποίος μετριέται καλύτερα σε κύκλους φόρτισης και αποφόρτισης του υλικού παρά σε πραγματικό χρόνο. Η πιθανή ανεπάρκεια της σταθερότητας των υλικών οφείλεται σε δύο λόγους :

- Στη μικρή σταθερότητα της χημικής σύνθεσης του υλικού ή των υλικών που αποτελούν το ΥΑΦ.
- Στο φαινόμενο της διάβρωσης που πιθανόν να συμβεί μεταξύ του ΥΑΦ και των υλικών που έρχεται σε επαφή.

Το μεγαλύτερο μέρος των ερευνών, που σχετίζονται με την διατήρηση των ιδιοτήτων των ΥΑΦ κατά την περιοδική φόρτιση και αποφόρτισή τους ή τη διαβρωτική τους ικανότητα, αφορούν τα ένυδρα άλατα. Για τις παραφίνες και τα παράγωγα τους έχει βρεθεί ότι έχουν άριστη σταθερότητα στις θερμικές τους ιδιότητες καθώς επίσης και καμία επίδραση όταν έρχονται σε επαφή με τα περισσότερα υλικά (μέταλλα αλλά και δομικά υλικά). Αντιθέτως τα ένυδρα άλατα παρουσιάζουν διαβρωτικές τάσεις όταν έρχονται σε άμεση επαφή με τα περισσότερα διαδεδομένα μέταλλα.

[Mehling et al, 2008]

3.8 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΑΦ

3.8.1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΪΣΙΑ

Έχει παρατηρηθεί, ότι λόγω των υψηλών θερμοκρασιών σε κτίρια, όπου γίνεται χρήση φωτοβολταϊκών, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται με αρκετές απώλειες. Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί υπό κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία = 25°C). Όταν η θερμοκρασία στην επιφάνεια του στοιχείου ξεπεράσει αυτή την τιμή, η απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μειώνεται περίπου $0,5\% \cdot K^{-1}$. Για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα είναι δυνατή η εισαγωγή των ΥΑΦ σε φωτοβολταϊκά. Το ΥΑΦ τοποθετημένο σε αδιαβατικό προς το περιβάλλον πλαίσιο, απορροφά την εξέχουσα θερμότητα, διατηρώντας το φωτοβολταϊκό στοιχείο σε σταθερή θερμοκρασία ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτική λειτουργία του. [M. Huang et al,2006]

3.8.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

Τα παραδοσιακά συστήματα κλιματισμού λειτουργούν σπάνια στο μέγιστο φορτίο, γεγονός που αναδεικνύει την υπερδιαστασιολόγηση των συστημάτων αυτών, καθώς έχουν επιλεγεί για να καλύψουν το μέγιστο φορτίο. Με άλλα λόγια, η λειτουργία τους περιορίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας για να καλύψουν τις μέγιστες απαιτήσεις, ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας παραμένουν απενεργοποιημένα.

Επιπρόσθετα, οι βιομηχανικές ψυκτικές διατάξεις διαστασιολογούνται για να ικανοποιήσουν τη μέγιστη στιγμιαία ζήτηση ψύξης, η οποία εμφανίζεται σε λίγες μόνο μέρες το χρόνο. Τα βιομηχανικά συστήματα ψύξης, παρέχουν την ψύξη για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, εκ των οποίων αρκετές απαιτούν μεγάλα ψυκτικά φορτία σε μικρό χρονικό διάστημα.

Ένα σύστημα αποθήκευσης ψύξης, είναι ικανό να μειώσει το μέγιστο φορτίο (το φορτίο για το οποίο διαστασιολογείται η εγκατάσταση) μέχρι και 70%. Αν ληφθεί υπ' όψη και το χαμηλό κοστολόγιο του ηλεκτροπαραγωγού κατά τις νυχτερινές ώρες, γίνεται αντιληπτό το ότι τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα φιλικά προς τους οικονομικούς επενδυτές. [Zalba et al,2005]

3.8.3. ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Αν ληφθεί υπ' όψη η περιοδικότητα που εμφανίζουν οι πηγές ενέργειας στη φύση, τότε πρέπει να γίνει πρόβλεψη για την αποθήκευση της ενέργειας που δε χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ιδιαίτερα τις ώρες με έντονη ηλιοφάνεια, κατά τις οποίες η ενέργεια που απορροφάται είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για κατανάλωση. Συνεπώς θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας και η αντίστοιχη δυνατότητα ανάκτησής της προς ικανοποίηση των θερμικών αναγκών του συστήματος.

Η λειτουργία του συστήματος που περιλαμβάνει τα ΥΑΦ, διαφέρει από τις συνήθεις ηλιακές εφαρμογές, μόνο στο δοχείο αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Στις ηλιακές εφαρμογές, χρησιμοποιούνται σήμερα κυρίως ένυδρα άλατα. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος, στηρίζεται στη θέρμανση του εργαζόμενου μέσου (το οποίο μπορεί να είναι υγρή σιλικόνη ή ορυκτέλαιο) από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία που παίρνει ο συλλέκτης. Το εργαζόμενο μέσο, αφού θερμανθεί, οδηγείται στο δοχείο

θερμικής αποθήκευσης, όπου βρίσκεται και το ΥΑΦ. Η θερμότητα που μεταφέρει το εργαζόμενο μέσο, διαβιβάζεται στο ένυδρο άλας και απελευθερώνει το κρυσταλλικό νερό. Με τη διαδικασία αυτή, σχηματίζεται κορεσμένο υδατικό διάλυμα του άλατος, στερεό υπόλειμμα του αδιάλυτου άλατος και επίπλευση του εργαζόμενου μέσου σε αυτό. Το εργαζόμενο μέσο οδηγείται κατά ένα μέρος στο συλλέκτη και κατά ένα άλλο μέρος στο δοχείο ανάδευσης, όπου αναδεύεται με το υπόλοιπο μέσο και παραλαμβάνει θερμότητα από μια ηλεκτρική αντίσταση, αν κριθεί σκόπιμο.

Για την ανάκτηση της αποθηκευμένης ενέργειας, το εργαζόμενο μέσο οδηγείται στον εναλλάκτη, όπου μεταφέρει θερμότητα σε ένα άλλο μέσο (συνήθως νερό), για τη χρήση της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας. Αφού το εργαζόμενο μέσο ψυχθεί στον εναλλάκτη, διαβιβάζεται στο κορεσμένο διάλυμα για να προσλάβει θερμότητα. Καθώς το κορεσμένο διάλυμα ψύχεται, επανακρυσταλλώνεται και αποδίδει την αποθηκευμένη θερμική ενέργεια.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται οργανικό ΥΑΦ, η λειτουργία του συστήματος είναι πανομοιότυπη, με μοναδική διαφορά εκείνη της λειτουργίας των οργανικών ΥΑΦ, καθώς αυτά όταν φορτίζονται λειώνουν και μεταβαίνουν από τη στερεή στην υγρή φάση και όταν αποφορτίζονται το αντίστροφο. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί η αποδοτική χρήση αυτών των συστημάτων, σε εφαρμογές με μικρές θερμοκρασιακές διαφορές, αλλά και μικρό αποθηκευτικό όγκο.

Η ηλιακή ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη κάθε στιγμή, οπότε οι ηλιακές εγκαταστάσεις απαιτούν μία ενδιάμεση αποθηκευτική μονάδα για την παρεχόμενη από τον ήλιο ενέργεια, ρόλο τον οποίο συνήθως παίζει το νερό σε συστήματα θέρμανσης. Ένα σύστημα βασισμένο σε ΥΑΦ προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα. Μικρότερο όγκο σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα νερού και μεγαλύτερη αποδοτικότητα χάρη στην μικρότερη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ φόρτισης και αποφόρτισης της ενέργειας. Συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας μπορούν επίσης να συνδυαστούν με συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Ένα «ενισχυμένο» με ΥΑΦ σύστημα ζεστού νερού, παρέχει καλύτερο έλεγχο της θερμοκρασίας του νερού.[Λύκος,2007]

3.8.4. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα είναι ιδιαίτερως ευαίσθητα στη υπερθέρμανση, επηρεάζοντας αρνητικά τόσο τη διάρκεια ζωής, όσο και την αξιοπιστία του εξαρτήματος. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις που συναντά το ρεύμα καθώς διαπερνά τα καλώδια, τα επίπεδα πυριτίου, τα transistor των επιμέρους ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, αυξάνουν τη θερμοκρασία τους με αποτέλεσμα να υπάρχει εμφανής κίνδυνος φθοράς ή ακόμα και καταστροφής. Ζητούμενο είναι να διατηρηθεί η θερμοκρασία όλων αυτών των εξαρτημάτων εντός ορίων ασφαλούς λειτουργίας του εκάστοτε συστήματος, χωρίς να αυξηθεί το συνολικό του μέγεθος.

Σήμερα, τα συμβατικά συστήματα ψύξης αποτελούνται από συστήματα εξαναγκασμένης μεταφοράς θερμότητας με ανεμιστήρες καταλλήλου μεγέθους. Αντιθέτως η χρησιμοποίηση ΥΑΦ σε αυτά τα συστήματα για την απομάκρυνση των σημείων αιχμής που παρουσιάζει η χρονική κατανομή της θερμοκρασίας του εξαρτήματος, είναι αξιόπιστη, αφού το ΥΑΦ αυτοανανεώνεται και επανέρχεται στην αρχική κατάσταση, μεταξύ δυο διαδοχικών σημείων αιχμής της θερμοκρασίας και δεν είναι απαραίτητος κανενός είδους κινητήρας ή διάταξη μέτρησης θερμοκρασίας.

[Tan et al,2007]

3.8.4.1. ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ

Οι εφαρμογές των ΥΑΦ στην ψύξη των επεξεργαστών των ηλεκτρονικών υπολογιστών, περιλαμβάνουν προϊόντα όπως τα παραπάνω, αν και πλέον έχουν αναπτυχθεί προϊόντα τα οποία αντικαθιστούν πλήρως τα μεταλλικά πτερύγια ψύξης του επεξεργαστή. Παρόλο που το κόστος τους είναι αυξημένο, κυρίως λόγω του μικρού μεγέθους τους, η λειτουργία τους είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική και συμφέρουσα από οικονομικής άποψης, ιδίως όσο αυξάνεται ο αριθμός των επεξεργαστών και η αντίστοιχη επεξεργαστική ισχύς, οπότε και η αντίστοιχη κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα.



Εικόνα 3.3 : Προϊόντα για ψύξη επεξεργαστών ηλεκτρονικών πλακετών. [PCMenenergy,2009]

Στα πλαίσια της έρευνας για τη αποφυγή της υπερθέρμανσης στους φορητούς υπολογιστές αναπτύχθηκε μια αρκετά πρωτότυπη και έξυπνη ιδέα, καθώς δημιουργώντας μία εύκαμπτη επιφάνεια πάχους 8-10 mm, η οποία περιέχει ΥΑΦ στο εσωτερικό της απορροφάται μεγάλο μέρος των θερμικών φορτίων που αναπτύσσονται στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας του Η/Υ. Στο σύνολό τους αυτά τα προϊόντα είναι αποτελεσματικά και συντελούν σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. (heatmanagement,2009)

3.8.4.2. ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Τα συστήματα των τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών, περιέχουν μηχανήματα και ηλεκτρονικά εξαρτήματα τα οποία είναι υπεύθυνα για την εύρυθμη λειτουργία του αντίστοιχου δικτύου. Τέτοιου είδους εξαρτήματα περιλαμβάνουν εξεζητημένα ηλεκτρονικά κυκλώματα, ιδιαιτέρως ακριβά και ενεργοβόρα, όπως επίσης και πολύ ευαίσθητα στις υψηλές θερμοκρασίες. Τα συστήματα αυτά είναι συνήθως τοποθετημένα σε προσβάσιμες μεν περιοχές, αλλά μακριά από κατοικημένους χώρους, συνεπώς είναι δύσκολη η συνεχής επιτήρηση της θερμοκρασιακής κατάστασης τους. Τα ΥΑΦ έχουν βρει εφαρμογή και σε αυτού του είδους τα συστήματα.

Τα τηλεπικοινωνιακά κουβούκλια είναι μονωμένα, και κλιματιζόμενα φυλάκια, τα οποία προστατεύουν τον πομποδέκτη βάσης (Base Station Subsystem (BSS)), κομμάτι που αποτελεί τον διαχειριστή ενός κλασσικού δικτύου κινητής τηλεφωνίας.

Ο πομποδέκτης βάσης, καθώς επίσης και η μπαταρία του είναι ιδιαιτέρως ευαίσθητα στη θερμοκρασία και ο περιβάλλων χώρος τους πρέπει να διατηρείται διαρκώς κάτω από τους 35°C. Σε περιπτώσεις που συμβαίνει το φαινόμενο της διακοπής του ρεύματος, είναι αναγκαία η υποστήριξη του συστήματος κλιματισμού με τη βοήθεια γεννητριών. Τα ΥΑΦ που εγκαθίστανται σε αυτά τα κουβούκλια απορροφούν θερμότητα από το εσωτερικό (θερμότητα η οποία παράγεται από τη λειτουργία του πομποδέκτη ελαχιστοποιώντας ή ακόμα και εξαλείφοντας την ανάγκη χρήσης της γεννήτριας για κλιματισμό, επομένως έχοντας οικονομικό όφελος λόγω της μικρότερης ποσότητας καυσίμου που καταναλώνει η γεννήτρια. Το ΥΑΦ θα επαναφορτιστεί όποτε είναι διαθέσιμη η πηγή ενέργειας, οπότε θα δουλεύει το κανονικό σύστημα κλιματισμού, και θα αποβάλλει επομένως την αποθηκευμένη θερμότητα. [PCMenergy,2009]



Εικόνα 3.4 : Συσκευασίες ΥΑΦ (πλάκες και κύλινδροι) που χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακά κουβούκλια. [PCMenergy,2009]

3.8.5. ΟΧΗΜΑΤΑ

Ενδιαφέροντα στοιχεία προκύπτουν από την αυτοκινητοβιομηχανία, στα πλαίσια της οποίας έχουν δοκιμαστεί ΥΑΦ σε πληθώρα εφαρμογών. Τα πλέον ενδιαφέροντα και επιτυχημένα παραδείγματα περιγράφονται παρακάτω.

Τα ΥΑΦ χρησιμοποιούνται ήδη σήμερα σε μία μπαταρία λανθάνουσας θερμότητας, την οποία προσφέρει γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία σαν προαιρετικό εξοπλισμό στα μοντέλα της. Η αρχή λειτουργίας είναι: αρχικά το υλικό αποθήκευσης ενέργειας συνδέεται με το ψυγείο του αυτοκινήτου και αποθηκεύει την πλεονάζουσα θερμότητα όταν ο κινητήρας λειτουργεί στα θερμοκρασιακά όρια σχεδίασης. Αυτή η θερμότητα είναι μετά διαθέσιμη στο επόμενο ξεκίνημα του οχήματος με κρύο κινητήρα, ώστε να θερμανθεί ο κινητήρας γρηγορότερα, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται ο συνολικός συντελεστής κατανάλωσης καυσίμου (km/lit καυσίμου). [tearpcm,2010]

Μία ακόμη εφαρμογή των ΥΑΦ είναι στο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων του οχήματος. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας ΥΑΦ διατηρείται ο καταλύτης στη θερμοκρασία σχεδιασμού, ελαττώνοντας τις «αναγκαστικά» αυξημένες εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων κατά το ξεκίνημα του κρύου κινητήρα. Σε οχήματα που εφαρμόστηκε το εν λόγω σύστημα τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά, αφού διαπιστώθηκε ότι οι εκπομπές υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα ήταν μειωμένες κατά 84% και 91% αντίστοιχα, συγκρινόμενες με τις εκπομπές κινητήρων με συμβατικό καταλύτη. [Vasiliev et al,2000]

3.8.6. ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΑΓΑΘΩΝ

Ο τομέας των μεταφορών σε πολλές περιπτώσεις περιλαμβάνει τη μεταφορά προϊόντων τα οποία είναι ευαίσθητα στις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και απαιτούν πολύ συγκεκριμένα και στενά θερμοκρασιακά πλαίσια κατά τη μεταφορά τους. Είτε τα μεταφερόμενα αγαθά απαιτούν χαμηλές είτε υψηλές θερμοκρασίες, στο συνολικό κόστος μεταφοράς, προστίθεται ένα ιδιαίτερα αυξημένο κόστος το οποίο έχει να κάνει με τη διατήρηση της θερμοκρασίας, είτε πρόκειται για όχημα- ψυγείο, είτε για όχημα με κάποια θερμαντική διάταξη.

Η μεταφορά ευαίσθητων νωπών τροφίμων, ευαίσθητων στις θερμοκρασιακές αλλαγές φαρμακευτικών ειδών, διάφορων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, χημικών, εκρηκτικών, απαιτεί κλιματιζόμενα οχήματα. Τέτοια οχήματα καθιστούν απαγορευτική από πλευράς κόστους τη λειτουργία τους, καθώς χρησιμοποιούν σαν καύσιμο ντίζελ. Το κόστος της ενέργειας η οποία παράγεται από ντίζελ είναι 6 φορές μεγαλύτερη από το αντίστοιχο κόστος της συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας. Το τεράστιο πλεονέκτημα που έχει η εφαρμογή των ΥΑΦ σε τέτοιες υπηρεσίες είναι ότι μπορούν να απορροφήσουν ή να αποδώσουν σεβαστά ποσά θερμότητας σχεδόν ισοθερμοκρασιακά. Είναι προφανές ότι ανάλογα με τις θερμοκρασιακές απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής επιλέγεται και υλικό με αντίστοιχο σημείο τήξης.



Εικόνα 3.5 : Τυπικές συσκευασίες με ΥΑΦ για ενίσχυση συσκευασιών μεταφοράς προϊόντων [Mehling et al, 2008]

Σε γενικές γραμμές, πριν από τη μεταφορά φορτίζονται τα ΥΑΦ είτε σε ψυγείο, είτε σε φούρνο, ώστε να είναι έτοιμα για χρήση. Το θετικό εδώ είναι ότι το ΥΑΦ παρέχει τη δυνατότητα φόρτισής του καταναλώνοντας ηλεκτρική ενέργεια μη αιχμής, που ως γνωστό, είναι φθηνότερη.[Mehling et al,2008]

3.8.7. ΙΑΤΡΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Πολλά ιατρικά “υλικά” είναι ζωτικής σημασίας για τον άνθρωπο και συχνά η ποιότητα τους είναι εξαρτημένη από τη θερμοκρασία αποθήκευσης και μεταφοράς. Μερικά προϊόντα πρέπει να μεταφερθούν σε εύρος θερμοκρασιών μεταξύ 20 και 24 °C, άλλα μεταξύ 2 και 6 °C, και άλλα μεταξύ -30 και -26 °C. Συνήθως τα οχήματα μεταφορών τέτοιου υλικού είναι σχεδιασμένα ώστε να επιτυγχάνουν τις επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας. Παρόλα αυτά κατά τη διαδικασία μεταφοράς από το όχημα προς το νοσοκομείο εξακολουθεί να υπάρχει πρόβλημα. Στην περίπτωση των φιαλών αίματος παραδείγματος χάριν, πρέπει η μεταφορά να γίνεται έχοντας εξασφαλίσει ένα

συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών καθώς υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης του αίματος με αρνητική συνέπεια να καθίσταται ακατάλληλο για χρήση. Η συμβατική μέθοδος διατήρησης της θερμοκρασίας μέσα στο εύρος των επιθυμητών συνθηκών θερμοκρασίας είναι η χρησιμοποίηση σύνθετων και ακριβών συστημάτων ψύξης. Η χρήση ΥΑΦ στα κουτιά μεταφοράς αγαθών όπως το αίμα αποτελεί μια απλή και χαμηλότερου κόστους λύση διασφαλίζοντας τις επιθυμητές συνθήκες μιας τέτοιας μεταφοράς.

[Setterwall,2005]

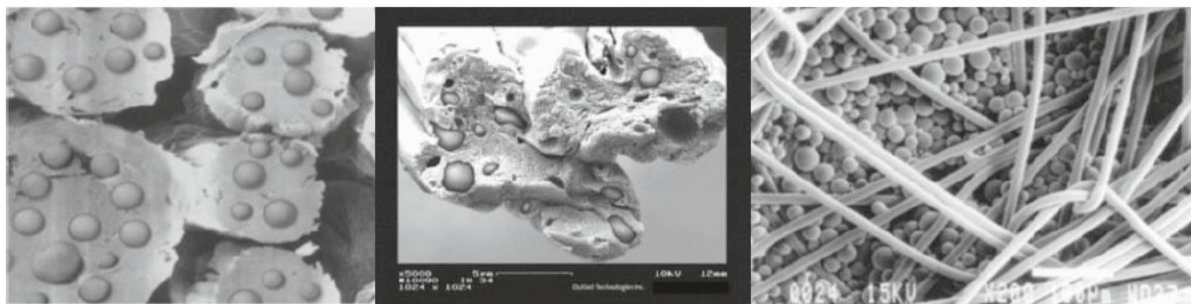


Εικόνα 3.6 :Εφαρμογές ειδικών κυψέλων με ΥΑΦ για μεταφορά αίματος[Mehling et al,2008]

3.8.8. ΘΕΡΜΙΚΉ ΕΝΔΥΣΗ

Η εισαγωγή υλικών αλλαγής φάσης στα ενδύματα έχει ως στόχο να παρέχουν θερμική άνεση, ομοιόμορφα κατανομημένη θερμοκρασία και λιγότερο ιδρώτα. Η εισαγωγή των ΥΑΦ σε ρούχα ξεκίνησε από διαστημικές εφαρμογές, αφού τοποθετήθηκαν ΥΑΦ στις στολές των αστροναυτών, ώστε να προστατευτούν από τις απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές. Σήμερα οι εφαρμογές των υλικών αλλαγής φάσης στα ρούχα και γενικότερα στα υφάσματα έχουν εξελιχθεί, καθώς βρίσκουν εφαρμογές σε στολές που εκτίθενται σε ακραίες θερμοκρασίες, όπως για παράδειγμα σε πυροσβεστικές, ορειβατικές και αγωνιστικές (F1) στολές. Εκτός των παραπάνω εφαρμογών η ενσωμάτωση των ΥΑΦ έχει επεκταθεί σε ενδύματα της καθημερινότητας και άλλα υφάσματα, όπως κουβέρτες, κάλτσες, παπούτσια κλπ.

Στα ενδύματα τα ΥΑΦ ενσωματώνονται σε μικροκάψουλες, για να μην εμφανίζονται διαρροές κατά τη μετάβαση στην υγρή φάση. Τα ΥΑΦ σε μικροκάψουλες όταν προστίθενται στις υφασμάτινες ίνες ή ανάμεσα στα στρώματα των ενδυμάτων, έχουν τη δυνατότητα να ελαττώσουν το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας και μπορούν να αυξήσουν τη θερμοχωρητικότητα (του ενδύματος) περίπου 10 φορές. Αυτά τα ανεπτυγμένα θερμικά χαρακτηριστικά μπορούν να εμφανιστούν στα σύγχρονα ρούχα με εμποτισμό των ινών του υφάσματος σε διάλυμα που περιέχει μικροσκοπικές μονάδες ΥΑΦ (μικροκάψουλες ΥΑΦ) ή με την προσθήκη των μικροκαψουλών ΥΑΦ σε πολυμερή, τα οποία μετά οδηγούνται σε εξολκείς για σχηματισμό πολυμερών ινών. Συνήθως οι μικροκάψουλες με τα ΥΑΦ , τοποθετούνται κατά στρώματα και σε σχετικά πειράματα έχει αποδειχθεί η αποδοτικότερη χρήση δύο στρωμάτων με ΥΑΦ. Επειδή τα ΥΑΦ παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερη πυκνότητα από τα συμβατικά υλικά των ενδυμάτων λόγω του υψηλού κόστους των ΥΑΦ, χρησιμοποιείται ΥΑΦ κατά 20 - 35% επί του ολικού βάρους του ενδύματος.



Εικόνα 3.7 : Ηλεκτρονικές μικρογραφίες υλικών ένδυσης ενισχυμένων με μικροκάψουλες ΥΑΦ .[Mehling et al ,2008]

Τα παραφινούχα ΥΑΦ που χρησιμοποιούνται συνήθως εμφανίζουν το φαινόμενο της τήξης στους 28-30 °C. Οπότε για θερμοκρασίες χαμηλότερες από το σημείο τήξης, το υλικό βρίσκεται εξ ολοκλήρου σε στερεή του φάση, αν και επειδή το ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε συνθήκες συνθήκες στους 36°C, προσφέρει συνήθως ένα ποσό θερμότητας στο ΥΑΦ, το οποίο ανακτάται στην περίπτωση που η θερμοκρασία του ελαττωθεί. Αν η θερμοκρασία τείνει να αυξηθεί, τότε το ΥΑΦ απορροφά θερμότητα και δεν επιτρέπει την υπερθέρμανση του ανθρώπινου σώματος.

Με αυτή τη μέθοδο προσθήκης ΥΑΦ στα ενδύματα, είναι δυνατός ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των λεγόμενων έξυπνων ενδυμάτων. Οι εφαρμογές που αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι πολλές όπως βαριά ένδυση, μπουφάν, αδιάβροχα, κουβέρτες, προστατευτικά φωτιάς για πυροσβέστες, στολές κατάδυσης και άλλα.

Χάρη στα ΥΑΦ, η θερμότητα που απορροφάται οδηγεί το υλικό να αλλάξει φάση (από στερεό σε υγρό) σε μοριακό επίπεδο, αποθηκεύοντας ή απελευθερώνοντας ενέργεια, ανάλογα με τη θερμοκρασία του δέρματος, γεγονός που ουσιαστικά προσδίδει στο ένδυμα τη δυνατότητα να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις θερμικής άνεσης του εκάστοτε χρήστη του. Η θερμότητα αυτή διατηρείται στο ΥΑΦ και όταν έρθει η ώρα ελευθερώνεται ομοιόμορφα και σταδιακά, δημιουργώντας ένα πολύ πιο αποτελεσματικό θερμομονωτικό στρώμα σταθερής θερμοκρασίας μεταξύ του δέρματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Τα ΥΑΦ χρησιμοποιούνται ακόμα και για να βελτιώσουν τις συνθήκες του μικροκλίματος που περιβάλλει τον άνθρωπο κατά τη διάρκεια του ύπνου, με τη χρήση των ΥΑΦ σε σεντόνια, παπλώματα και μαξιλάρια, αλλά και στρώματα. Η θερμική συμπεριφορά των ΥΑΦ εξασφαλίζει τις κατάλληλες συνθήκες ύπνου με τη θερμοκρασία να κυμαίνεται απόλυτα στα όρια της θερμικής άνεσης, χωρίς ζέστη αλλά και χωρίς κρύο.



Εικόνα 3.8: Χρήση ΥΑΦ σε στρώματα και λευκά είδη[Outlast,2009]

3.9 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΑΦ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Οι εφαρμογές των ΥΑΦ στον κτιριακό τομέα ως μέσα θέρμανσης και ψύξης έχουν ήδη μια μακροχρόνια ιστορία. Από τη δεκαετία του 1930 η Telkes ερεύνησε τη χρήση των ΥΑΦ για αποθήκευση ηλιακής ενέργειας και τη θέρμανση χώρου, προχώρησε μάλιστα στην πειραματική διερεύνηση της εφαρμογής τους τη δεκαετία του 1970 με αρκετή επιτυχία, ωστόσο αποκαλυφτήκαν αρκετά προβλήματα των ΥΑΦ όπως το φαινόμενο υπέρψυξης (supercooling) και η αστάθεια σε πολλούς κύκλους φόρτισης του ΥΑΦ. [Lane, 1983]

Η εφαρμογή τους μπορεί να γίνει είτε παθητικά, με την ενσωμάτωση δηλαδή του ΥΑΦ στη δομή του κτιρίου και την φόρτιση και αποφόρτιση του να γίνεται χωρίς τη βοήθεια μηχανολογικού εξοπλισμού, είτε ενεργά όταν η φόρτιση και αποφόρτιση απαιτεί τη χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού. Σε κάθε περίπτωση, τα ΥΑΦ μπορούν να ενσωματωθούν στους τοίχους του κτιρίου, σε άλλα δομικά στοιχεία ή σε ξεχωριστές δεξαμενές ως τμήμα των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

Στις δύο πρώτες περιπτώσεις η θερμότητα ή η ψύξη που αποθηκεύεται στα ΥΑΦ, απελευθερώνεται αυτόματα όταν η θερμοκρασία αυξάνεται ή μειώνεται πέρα από το σημείο τήξης των ΥΑΦ. Η τρίτη περίπτωση αποτελεί ένα ενεργό σύστημα, στο οποίο η αποθηκευμένη θερμότητα ή ψύξη παραμένει σε δεξαμενή θερμικά μονωμένη και χωρισμένη από το κτίριο και αποδίδεται στο χώρο μόνο με ενεργοποίηση του συστήματος έπειτα από απαίτηση των χρηστών. [Buddhi et al, 2005]

3.9.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΑΦ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Τα δομικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα στα κτίρια παραμένουν στη στερεή κατάσταση σε ολόκληρο το εύρος θερμοκρασιών χρήσης τους. Ομοίως συμπεριφέρονται και τα κλασσικά δομικά υλικά τα οποία ως χαρακτηριστικό έχουν την αντίσταση που προβάλλουν στη διαμέσου τους ροή της θερμότητας. Αντίθετα με αυτή την προσέγγιση μόνωσης των κτιρίων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν υλικά που αποθηκεύουν τη θερμότητα που εισέρχεται στο κτιριακό κέλυφος κατά την θερινή περίοδο, ώστε να μην αυξάνεται η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων και να αποθηκεύουν τη θερμότητα που προσπίπτει στο κτίριο υπό τη μορφή ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να μην υπάρχουν θερμικές απώλειες κατά το χειμώνα. Τα ΥΑΦ που δύναται να χρησιμοποιηθούν στις κατασκευές πρέπει να έχουν σημείο τήξης λίγο μεγαλύτερο της θερμοκρασίας δωματίου, ώστε σε συνήθεις συνθήκες δωματίου το υλικό να βρίσκεται σε στερεά κατάσταση. Κάθε μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί τήξη του υλικού, οπότε και απορρόφηση θερμότητας από το περιβάλλον. Πτώση της θερμοκρασίας θα έχει ως αποτέλεσμα απελευθέρωση ενέργειας ξανά προς τον περιβάλλοντα αέρα.

Η βασική ιδέα των συστημάτων αποθήκευσης ως μέσα εξοικονόμησης ενέργειας είναι η μετατόπιση των μέγιστων της ενεργειακής ζήτησης της εγκατάστασης σε ώρες μη αιχμής, ή η εξομάλυνση της καμπύλης ενεργειακής ζήτησης της εγκατάστασης ώστε να μην παρουσιάζονται σημεία αιχμής κατά την 24ωρή λειτουργία της, άρα μικρότερες απαιτήσεις θερμικών και ψυκτικών φορτίων.

Έρευνες και εφαρμογές αποδεικνύουν ότι δομικά υλικά τα οποία έχουν εμπλουτιστεί με ΥΑΦ καθώς επίσης και εγκαταστάσεις που περικλείουν ΥΑΦ μπορούν να αποθηκεύσουν 5-14 φορές περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου από τα συμβατικά δομικά υλικά. [Mehling et al, 2008]

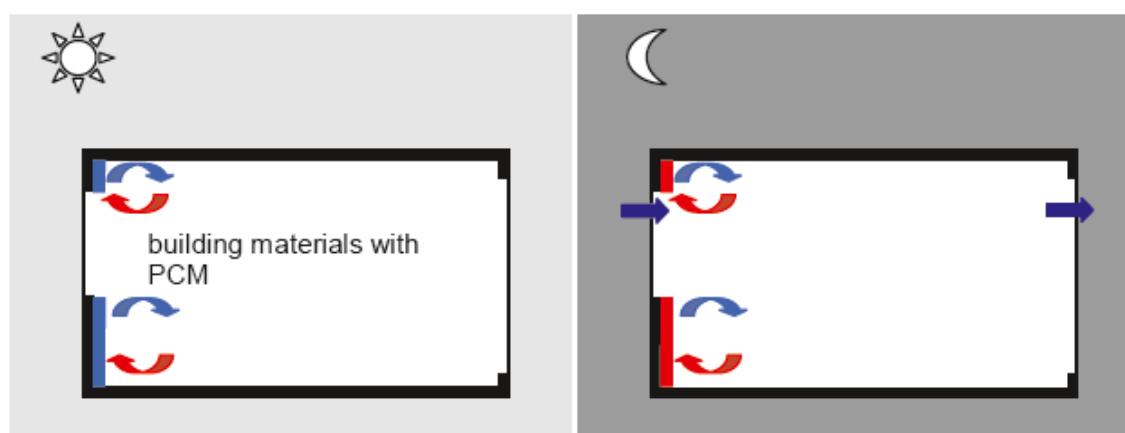
material	c_p per mass [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	c_p per volume [MJ/m ³ K]	Q/V for $\Delta T = 4$ K [MJ/m ³]
EPS	1.2	16	0.02	0.08
mineral wool	0.8	200	0.16	0.64
cork	1.8	150	0.27	1.08
gypsum	0.8	800	0.64	2.56
wood	1.5	700	1.05	4.20
concrete	0.84	1600	1.34	5.38
sandstone	0.7	2300	1.61	6.44
brick	1	1800	1.80	7.20
PCM: peak values	≥ 75	800	≥ 60	
PCM: 22 °C to 26 °C				130

Πίνακας 3.7 : Θερμοχωρητικότητα και θερμότητα που αποθηκεύεται ανά όγκο για $\Delta T=4$ K για διάφορα οικοδομικά υλικά και για ΥΑΦ. [Mehling et al ,2008]

Η εφαρμογή των ΥΑΦ στα δομικά υλικά μπορεί να γίνει είτε με χρήση των ΥΑΦ αυτούσιων(σαν στρώμα υλικού μέσα στα υλικά του τοίχου), ή σαν συστατικό σύνθετων υλικών με βάση το τσιμέντο ή το γύψο (γυψοσανίδες ή σοβάς με ΥΑΦ). [Mehling et al ,2008]

3.9.1.1 ΥΑΦ ΣΤΗΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

Έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες για τη χρήση ΥΑΦ σε διάφορους τύπους τοίχων. Η λογική της κατασκευής ενός τοίχου τέτοιου είδους είναι να αποθηκεύεται τη θερινή περίοδο η εισερχόμενη μέσω του κτιριακού κελύφους, θερμότητα στο ΥΑΦ. Στη χειμερινή περίοδο, ο αέρας του εσωτερικού χώρου έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον. Αντίστοιχα λοιπόν, το ΥΑΦ αποθηκεύει όση θερμότητα τείνει να διαφύγει μέσω του κτιριακού κελύφους. [Buddhi et al,2005]



Εικόνα 3.9: Απεικόνιση της συμπεριφοράς κτιρίου με ενσωματωμένα ΥΑΦ στα δομικά στοιχεία. Η θερμότητα αποθηκεύεται στο οικοδομικό υλικό την ημέρα και τη νύχτα, η αποθηκευμένη θερμότητα εκλύεται από τον εξαερισμό. [Mehling et al ,2008]

Σημαντική παράμετρος η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε τέτοιες εφαρμογές είναι η θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ που θα χρησιμοποιηθεί στον τοίχο. Η θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ καθορίζει τη βέλτιστη ικανότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας του τοίχου, κατά τη διάρκεια μίας ημέρας. Σύμφωνα με ερευνητικά αποτελέσματα αποδεικνύεται πως ο αποδοτικότερος τρόπος ρύθμισης του τοίχου, επιτυγχάνεται με επιλογή ΥΑΦ του οποίου η θερμοκρασία τήξης είναι πολύ κοντά με τη μέση ημερήσια θερμοκρασία του τοίχου και όχι του περιβάλλοντος.

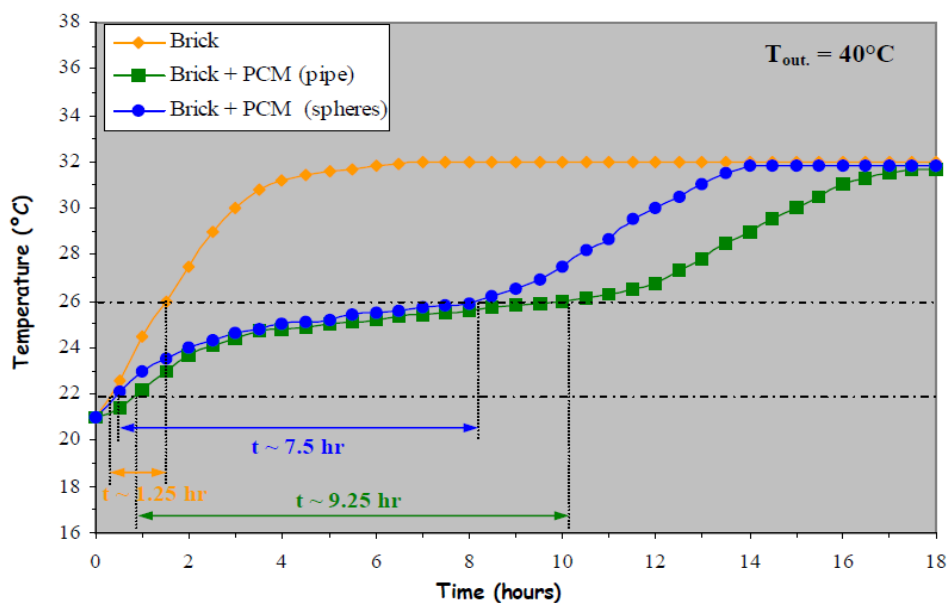
Εξισώνοντας τη θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ με τη μέση ημερήσια του τοίχου μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το μεγαλύτερο μέρος της αποθηκευτικής ικανότητας του ΥΑΦ, καθώς και να πετύχουμε την εξομάλυνση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων στον εσωτερικό χώρο. Αφού λοιπόν δύναται να υιοθετηθεί μία μόνο θερμοκρασία αλλαγής φάσης (χρήση ενός μόνο ΥΑΦ) αποδεικνύεται πως αυτή η θερμοκρασία θα πρέπει να κυμαίνεται γύρω από τη συνολική μέση θερμοκρασία του τοίχου, δηλαδή τη μέση τιμή της ημερήσιας θερμοκρασίας και τη μέση τιμή της συνάρτησης της θερμοκρασίας του τοίχου σε σχέση με το πάχος του.

Η εύρεση του κατάλληλου σημείου τήξης είναι μία πρόκληση για κάθε τέτοια εφαρμογή. Προτείνεται γενικά ότι η ημερήσια αποθηκευόμενη ενέργεια από ένα ΥΑΦ μεγιστοποιείται όταν το σημείο τήξης του είναι κοντά στη μέση ημερήσια θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο χώρο.

Επίσης σημαντικοί παράγοντες ώστε η εφαρμογή ΥΑΦ στην τοιχοποιία να είναι αποτελεσματική είναι οι κλιματολογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής, τα χαρακτηριστικά του φορτίου του εξεταζόμενου χώρου και οι θερμοδυναμικές ιδιότητες του επιλεγμένου ΥΑΦ.[Ghonein,1991]

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τοίχου με ΥΑΦ

Οι τοίχοι με μόνωση που περιέχει ΥΑΦ έχουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους και τα αντίστοιχα υλικά μόνωσης στα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Επειδή η επιφάνεια που εκτίθεται είναι μεγάλη και το ΥΑΦ απορροφά θερμότητα σε ένα μικρό μόλις θερμοκρασιακό εύρος, πρέπει το τμήμα που περιέχει το ΥΑΦ να μην έρχεται σε άμεση επαφή με την ηλιακή ακτινοβολία. Η μόνωση με ΥΑΦ έχει πολύ μεγαλύτερη δυνατότητα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά είδη μόνωσης και προσφέρει εξαιρετική μετάδοση θερμότητας. Δεν έχει ιδιαιτερότητες ως προς την εγκατάστασή του, οπότε και το όποιο επιπλέον κόστος εγκατάστασης είναι πολύ μικρό.



Διάγραμμα 3.5 : Θερμοκρασιακή εξέλιξη στην εσωτερική πλευρά του τούβλου με και χωρίς ΥΑΦ συναρτήσει του χρόνου. [Metivaud et al,2005]

Υπάρχουν βέβαια και μερικά μειονεκτήματα, όπως η ιδιαιτερότητα σχεδιασμού για κάθε ξεχωριστό κλίμα, ένα σημείο τήξης μπορεί να εξυπηρετεί άριστα ένα κλίμα, αλλά το πιθανότερο είναι ότι δεν εξυπηρετεί καθόλου όλα τα άλλα.

Όπως είναι εύκολα κατανοητό, η εύρεση της κατάλληλης θερμοκρασίας είναι διπλά δύσκολο πρόβλημα όταν μιλάμε για κλίματα με ανάγκη και για ψυκτικές και για θερμαντικές συσκευές. Οι κατασκευαστές δεν είναι διατεθειμένοι να περιπλέξουν την παραγωγική τους διαδικασία, ώστε να λάβουν υπόψη τις κλιματολογικές ιδιαιτερότητες.[Tomlinson,1992]



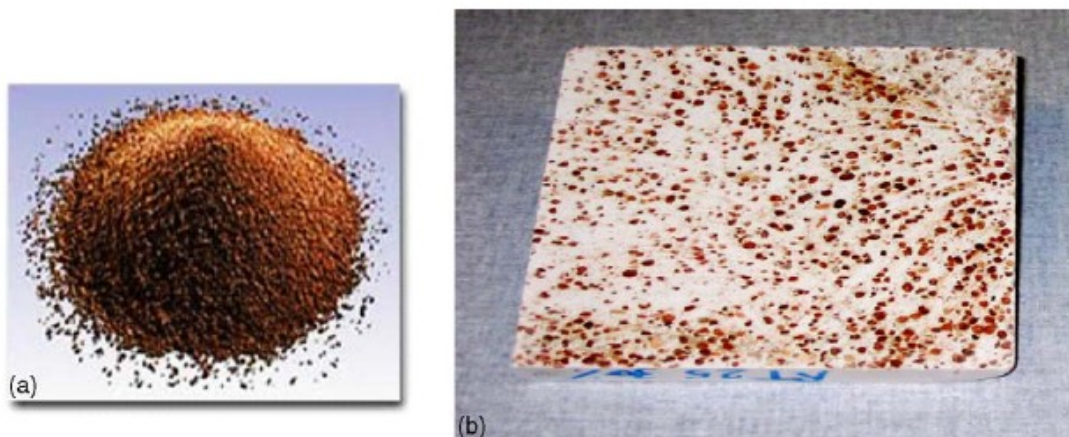
Εικόνα 3.10 : Τούβλα με ενσωματωμένα ΥΑΦ[Metivaud et al,2005]

3.9.1.2 ΓΥΨΟΣΑΝΪΔΑ ΜΕ ΥΑΦ

Οι γυψοσανίδες γενικά αποτελούν φθηνά δομικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Η ιδέα ενσωμάτωσης ΥΑΦ στις γυψοσανίδες οδήγησε στη δημιουργία ενός νέου είδους δομικού υλικού που λειτουργεί σαν υλικό αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. [Shapiro et al.,1987]

Στις γυψοσανίδες αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως κάποια κεριά παραφίνης τα οποία μπορούν να προστεθούν επίσης σε σοβά ή κάποιο άλλο επενδυτικό υλικό τοιχοποιίας. Το ΥΑΦ στερεοποιείται ελευθερώνοντας θερμότητα όταν είναι διαθέσιμες ψυκτικές πηγές, και υγροποιείται απορροφώντας θερμότητα όταν απαιτείται ψύξη. Τα ΥΑΦ προσφέρουν σημαντική αλλαγή στη θερμοχωρητικότητα μιας εγκατάστασης και για καθαρές ουσίες ελευθερώνουν την αποθηκευμένη θερμότητα με σχεδόν μηδενική αλλαγή στη θερμοκρασία τους.

Τα ΥΑΦ επιτρέπουν σημαντική αποθήκευση θερμότητας στο κτίριο χωρίς αλλαγή συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας του δωματίου. Η αυξημένη αποθηκευτική ικανότητα της ενισχυμένης με ΥΑΦ γυψοσανίδας, μπορεί να διατηρήσει τη θερμοκρασία δωματίου κοντά στο ανώτατο όριο θερμικής άνεσης, χωρίς να γίνει χρήση συμβατικού μηχανικού συστήματος ψύξης - θέρμανσης. Ειδικότερα σε περιοχές όπου λόγω κλίματος, κατά τη διάρκεια της ημέρας έχουμε μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύστημα εξαερισμού κατά τη διάρκεια της νύχτας για να απομακρύνει την αποθηκευμένη θερμότητα από τη γυψοσανίδα.



Εικόνα 3.11 : α) είδος παραφίνης ,β)γυψοσανίδα με ενσωματωμένα κεριά παραφίνης (ΥΑΦ)[Ahmad et al,2006]

Οι προοπτικές εφαρμογής της μεθόδου καθώς επίσης και τα εκτιμώμενα οφέλη από αυτήν αναγνωρίστηκαν άμεσα ,συμπέρασμα που προκύπτει καθώς πλέον γνώστες εταιρείες κατασκευής γυψοσανίδων όπως η Knauf και η BASF έχουν αναπτύξει ήδη μια κατάλληλη διαδικασία παραγωγής τέτοιου είδους γυψοσανίδες.

Σήμερα υπάρχουν στην αγορά δομικών υλικών τέτοιου είδους γυψοσανίδες με την εμπορική ονομασία Micronal ® PCM SmartBoard ™. Το τυποποιημένο μέγεθος αυτής της γυψοσανίδας έχει διαστάσεις 2,00 m x 1,25 m με πάχος 15 mm και βάρος 11,5 kg/m². Η γυψοσανίδα περιέχει 3 kg/m² ΥΑΦ (26% κατά βάρος) και η θερμοχωρητικότητα της είναι περίπου 330 kJ/m². Το εύρος θερμοκρασιών τήξης είναι 23-26 °C . [Mehling et al, 2008]

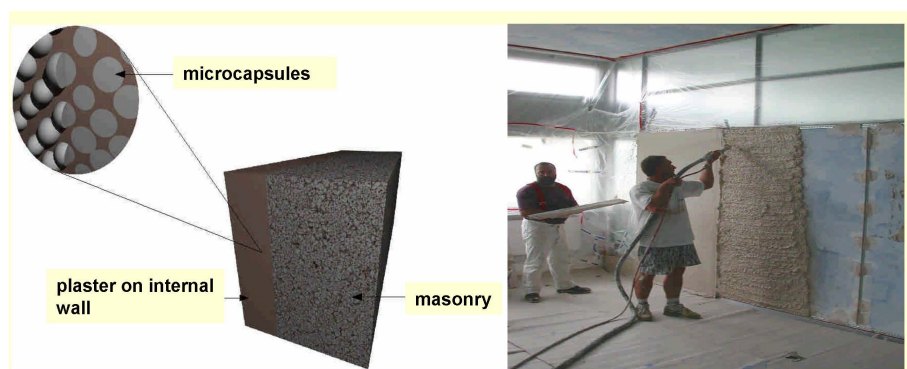


Εικόνα 3.12 : Εμπορική γυψοσανίδα με ΥΑΦ [Mehling et al, 2008]

3.9.1.3 ΣΟΒΑΣ ΜΕ ΥΑΦ

Μια άλλη εφαρμογή ΥΑΦ σε κτίρια αποτελεί η ενσωμάτωση ΥΑΦ (σε μικροκάψουλες) στις επιφάνειες των τοίχων μέσω του επίχρισματος. Η εφαρμογή αυτή εξετάστηκε από την εταιρεία Maxit σε συνεργασία με το ινστιτούτο συστημάτων ηλιακής ενέργειας Fraunhofer (FhG-ISE) στο πλαίσιο του κοινού έργου «Mikroverkapselte Latentwärmespeicher». Ανέπτυξαν ένα κονίαμα που περιέχει περίπου 20% κατά βάρος υλικό Micronal[®], με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοχωρητικότητας περίπου 18 kJ/kg, για το εύρος θερμοκρασιών 23°C - 26°C.

Οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί έλαβαν χώρα σε ειδικά σχεδιασμένες αίθουσες δοκιμών στο FhG-ISE. Συγκεκριμένα κατασκευάστηκαν ένα δωμάτιο στο οποίο το επίχρισμα εμπεριείχε ΥΑΦ και ένα δωμάτιο με συμβατικό επίχρισμα. Για να απορρίπτεται η θερμότητα που αποθηκεύεται στο ΥΑΦ κατά τη διάρκεια της ημέρας, χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της νύχτας ένα σύστημα αερισμού. Τα αποτελέσματα των δοκιμών κατόπιν μετρήσεων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2003 έδειξαν ότι στο δωμάτιο που το επίχρισμα εμπεριείχε ΥΑΦ η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα ήταν μειωμένη έως και 4 °C σε σχέση με το δωμάτιο με συμβατικό επίχρισμα [Hausmann και Schossig 2006a].



Εικόνα 3.13: Επίκονίαμα (Σοβάς) με ΥΑΦ (Maxit Clima)

Η εφαρμογή αυτή έχει χρησιμοποιηθεί και δοκιμαστεί σε αρκετά κτίρια. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα το "Dreiliterhaus" - LUWOG Ludwighafen (2000),

ένα γραφείο στο νέο κτίριο του FhG-ISE (2002), και το διοικητικό κτίριο της εταιρείας maxit στο Breisach (2003).

3.9.1.4 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΥΑΦ

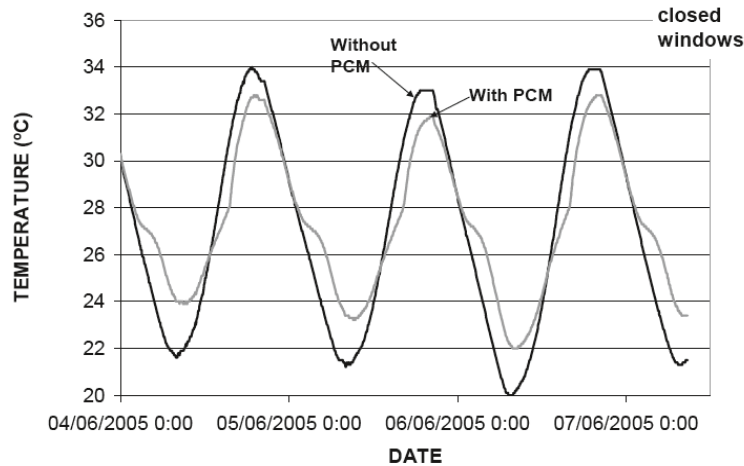
Μια άλλη επιλογή για την ενσωμάτωση ΥΑΦ στα κτίρια γίνεται μέσω της προσθήκης ΥΑΦ (σε μικροκάψουλες) στο σκυρόδεμα. Μια ερευνητική ομάδα στην Ισπανία παρουσίασε τα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών που πραγματοποίησε σε δύο πραγματικού μεγέθους δωμάτια, ένα εκ των οποίων περιλαμβάνει ΥΑΦ σε ορισμένους τοίχους. Το σκυρόδεμα με ΥΑΦ χρησιμοποιήθηκε στους νότιους και δυτικούς τοίχους καθώς επίσης και στην οροφή ενός εκ των δυο από τα δωμάτια δοκιμής. Το βελτιωμένο σκυρόδεμα περιέχει 5% κατά βάρος ΥΑΦ (Micronal® της εταιρείας BASF) με σημείο τήξης τους 26 °C .



Εικόνα 3.14 : Αριστερά: κτίρια δοκιμής, το ένα εκ των οποίων με τοίχους από σκυρόδεμα και το άλλο με τοίχους από σκυρόδεμα με ΥΑΦ . Δεξιά: τα ίδια κτίρια δοκιμής με επιπλέον τοίχους trombe. [Cabeza et al,2007]

Όπως προαναφέρθηκε, κατασκευάστηκε και ένα δεύτερο κτίριο δοκιμής με συμβατικό σκυρόδεμα δίπλα στο κτίριο με την εφαρμογή ΥΑΦ. Και τα δύο κτίρια δοκιμής είναι πλήρως εξοπλισμένα με κατάλληλα όργανα παρακολούθησης και αξιολόγησης των θερμικών μεταβολών εντός του κάθε δωματίου.

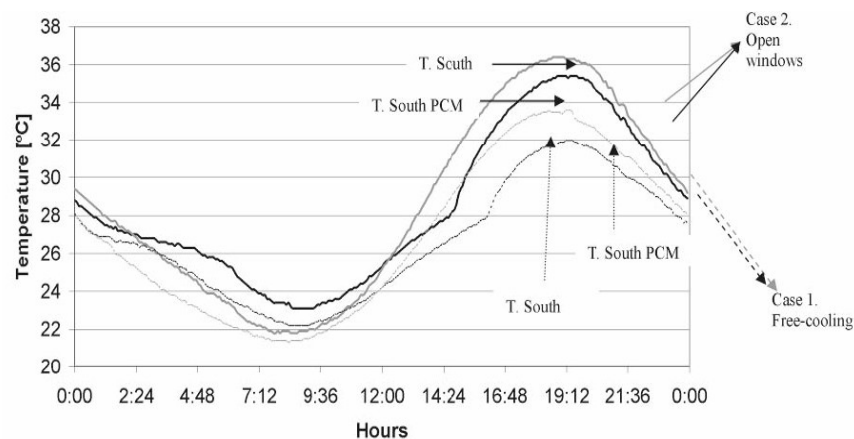
Η θερμική συμπεριφορά των δωματίων δοκιμής μελετήθηκε για χρονικό διάστημα του καλοκαιριού και του φθινοπώρου του 2005 και τα αποτελέσματα που προέκυψαν προσέγγιζαν πολύ καλά την αναμενόμενη απόδοση. Συγκεκριμένα όπως φαίνεται στο διάγραμμα επιτυγχάνεται στο δωμάτιο με ΥΑΦ μείωση της θερμοκρασίας έως και 4°C.



Διάγραμμα 3.6 : Θερμοκρασίες του νότιου τοίχου με και χωρίς ΥΑΦ τον Ιούνιο του 2005 [Cabeza et al,2007]

Το ΥΑΦ που περιέχεται στο σκυρόδεμα στερεοποιείται και λιώνει σε κάθε κύκλο φόρτισης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι σημαντική η ύπαρξη νυχτερινού αερισμού για να επιτυγχάνεται η σταθερότητα του κύκλου φόρτισης του υλικού.

Στο δεύτερο σκέλος της μελέτης τοποθετήθηκαν στη νότια πλευρά και των δύο δωματίων τοίχοi trombe (τοίχοι μάζας θερμοσιφωνικής ροής) προκειμένου να χρησιμοποιηθούν με βέλτιστο τρόπο οι δυνατότητες του ΥΑΦ. Για να μελετηθεί η επίδρασή του τοίχου trombe και του ΥΑΦ ήταν αναγκαίο να αναζητηθούν διαφορετικές ημέρες με παρόμοια μετεωρολογικά δεδομένα και να συγκριθούν οι μετρήσεις των δωματίων δοκιμής.



Διάγραμμα 3.7 : Σύγκριση θερμοκρασιών του τοίχου με διαφορετικές υποθέσεις. Περίπτωση 1: κλειστά παράθυρα (9-12.10.2006) .Περίπτωση 2 ανοιχτά παράθυρα (27-29/10/2006), με τοίχο trombe. [Cabeza et al,2007]

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει τη σύγκριση αλλαγής της θερμικής συμπεριφοράς για την περίπτωση ανοιχτών παράθυρων στο νότιο τοίχο και για την περίπτωση των παραθύρων κλειστών. Και οι δύο υποθέσεις είχαν παρόμοια μετεωρολογικά δεδομένα με τη μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία στους 24 °C, την ελάχιστη θερμοκρασία των 11°C και τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία να είναι περίπου 700 W/m².

[Cabeza et al,2007]

3.9.1.5 ΠΑΝΕΛ ΜΕ ΥΑΦ

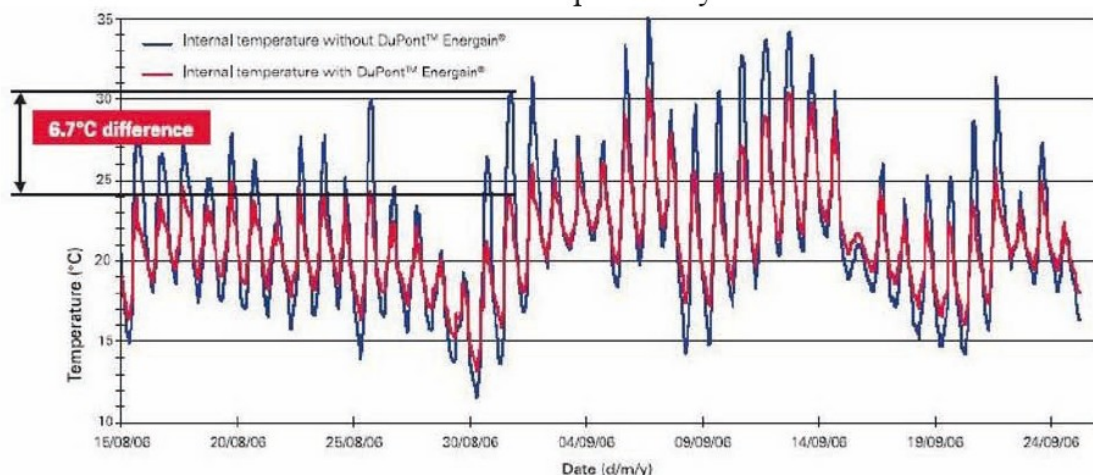
Μια άλλου είδους εφαρμογή για την ενσωμάτωση ΥΑΦ στα κτίρια αποτελεί η τοποθέτηση στα κτίρια ειδικών πάνελ αλουμινίου που εμπεριέχουν πολλαπλές στρώσεις από φύλλα ΥΑΦ και υπάρχουν στο εμπόριο με την ονομασία DuPont™ Energain. Σύμφωνα με την εταιρεία DuPont (www.energain.dupont.com), τα πάνελ αυτά εφαρμόζονται στους εσωτερικούς τοίχους και τις οροφές των κτιρίων, πίσω από την επένδυση γυψοσανίδας, μαζί με ένα σύστημα μηχανικού αερισμού.



Εικόνα 3.15 : Αριστερά: τοποθέτηση της DuPont™ Energain πάνελ®. Δεξιά: κτίριο δοκιμών πραγματικής κλίμακας. [DuPont,2010]

Το τυποποιημένο μέγεθος των πάνελ έχει διαστάσεις 1 m x 1,2 m με πάχος 5,2 mm και βάρος 4,5 kg/m². Περιέχουν ΥΑΦ σε αναλογία περίπου 60% κατά βάρος, η θερμοχωρητικότητα του είναι περίπου 315 kJ/m² και θερμοκρασία τήξης στους 22°C.

Μια πειραματική δοκιμή των ικανοτήτων των πάνελ DuPont™ Energain® έχει πραγματοποιηθεί σε ένα πραγματικό κτίριο στη Γαλλία υπό την ευθύνη της εταιρείας DuPont με τη βοήθεια της EDF Group (Electricité De France). Σε πρώτη φάση, αποφασίστηκε η εγκατάσταση των πάνελ στη σοφίτα του κτιρίου, που είναι το πιο ευαίσθητο στην υπερθέρμανση τμήμα του κτιρίου, ώστε να προσδιοριστούν οι δυνατότητες του στο χειρότερο πιθανό σενάριο. Ως εκ τούτου, τα πάνελ τοποθετήθηκαν πίσω από τις γυψοσανίδες, τους τοίχους και στην οροφή των δωματίων δοκιμών της σοφίτας. Ένα δεύτερο δωμάτιο δοκιμών με την ίδια δομή, αλλά χωρίς τα πάνελ, χρησιμοποιείται ως περίπτωση αναφοράς. Τα δύο δωμάτια διαχωρίζονται από μια ουδέτερη ζώνη. Οι θερμοκρασίες που καταγράφονται παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα. [DuPont,2010]

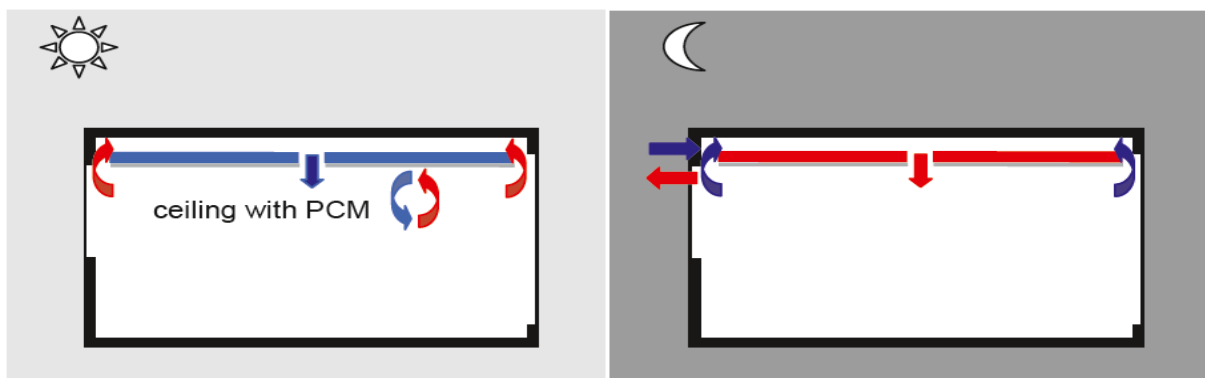


Διάγραμμα 3.8 : Θερμοκρασίες που καταγράφονται στα δωμάτια με και χωρίς πάνελ κατά τη διάρκεια του Αυγούστου και Σεπτεμβρίου του 2006 [DuPont,2010]

3.9.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΑΦ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΪΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

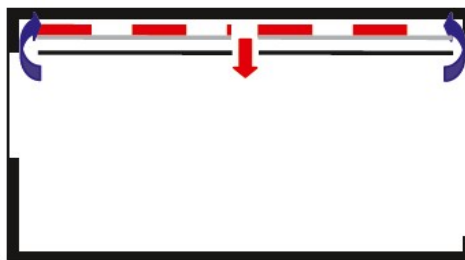
3.9.2.1 ΟΡΟΦΗ ΜΕ ΥΑΦ

Η οροφή αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα τμήματα κάθε κτιρίου. Ένας τρόπος ενσωμάτωσης ΥΑΦ σε κτίρια, ώστε να βελτιωθεί η θερμική τους συμπεριφορά, είναι μέσω της τοποθέτησής τους στην οροφή των κτιρίων είτε ως παθητικής λογικής σύστημα είτε ως ενεργό σύστημα. Όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω, κατασκευάζεται μια ψευδοροφή κατά τρόπο τέτοιο ώστε να δημιουργηθεί ένα δισδιάστατο κανάλι που να κατευθύνει τη ροή του αέρα. Το ΥΑΦ τοποθετείται σε αυτό το κανάλι και μπορεί να θεωρηθεί ως θερμική αποθήκη. Η αρχή λειτουργίας του εν λόγω συστήματος είναι η εξής: τη νύχτα, ο βραδινός κρύος αέρας κατευθύνεται στην επιφάνεια του ΥΑΦ έτσι ώστε να απαλλάσσεται από τη θερμότητα που αποθηκεύεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και στη συνέχεια διοχετεύεται εκτός του κτιρίου. Για την ψύξη κατά τη διάρκεια της ημέρας, η πλεονάζουσα θερμότητα του δωματίου αποθηκεύεται στο ΥΑΦ, με αποτέλεσμα ο αέρας στο δωμάτιο να είναι πιο δροσερός. [Mehling et al, 2008]



Εικόνα 3.16 : Ψύξη με ΥΑΦ ενσωματωμένα στην οροφή. Η πλεονάζουσα θερμότητα από το δωμάτιο αποθηκεύεται στο ΥΑΦ κατά τη διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και απομακρύνεται τη νύχτα (δεξιά) μέσω της ροής κρύο βραδινού αέρα. [Mehling et al, 2008]

Η παραπάνω λογική του συστήματος μπορεί να δεχτεί τροποποιήσεις. Για παράδειγμα, όταν το ΥΑΦ βρίσκεται σε καλή θερμική επαφή με την οροφή, μια πλεονάζουσα επίδραση ψύξης είναι δυνατόν να υπάρξει επειδή η επιφάνεια της οροφής με ΥΑΦ που ψύχεται, θα προκαλέσει μείωση της θερμοκρασίας του αέρα στο δωμάτιο λόγω ελεύθερης συναγωγής και ακτινοβολία. Η σουηδική εταιρεία Climator χρησιμοποιεί μια άλλη τροποποίηση στο σύστημα που ονομάζεται «CoolDeck». Στα πλαίσια ενός πιλοτικού προγράμματος το σύστημα έχει εγκατασταθεί στο δημαρχείο του Stevenage (Αγγλία). Η παρακάτω εικόνα δείχνει τον τρόπο κατασκευής της συγκεκριμένης εφαρμογής.[Climator,2009]



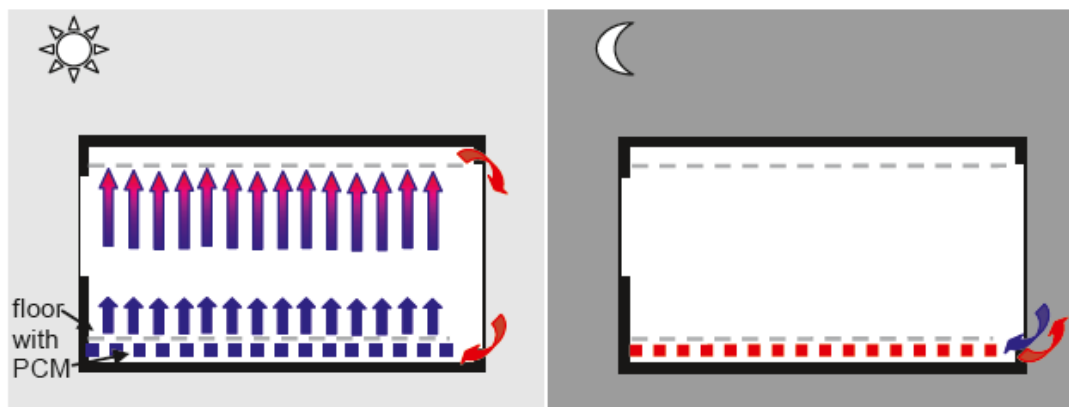
Εικόνα 3.17:Οροφή με ΥΑΦ και ανεμιστήρα σε Climators "CoolDeck" [Mehling et al, 2008]

Το σύστημα "CoolDeck" αποτελείται από ένυδρα άλατα με θερμοκρασία τήξης περίπου 24 °C σε κλειστές συσκευασίες, ανεμιστήρες, και ένα μεταλλικό κανάλι για να κατευθύνει τη ροή του αέρα. Όπως φαίνεται στα δεξιά της εικόνας παραπάνω, το σύστημα τοποθετείται ακριβώς κάτω από την οροφή ,και πάνω από μια ήδη υπάρχουσα ψευδοροφή. Το πενταετές αυτό πιλοτικό πρόγραμμα ξεκίνησε το 2002 και τα πρώτα ασφαλή αποτελέσματα εξήχθησαν το Νοέμβριο του 2005, όταν περίπου 330 κύκλοι φόρτισης είχαν πραγματοποιηθεί από το σύστημα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μέγιστη θερμοκρασία του αέρα δωματίου το καλοκαίρι έχει μειωθεί περίπου 3 έως 4 K. Η ψύξη του κτιρίου γίνεται χωρίς καμία μονάδα κλιματισμού και η η όποια κατανάλωση ενέργειας προέρχεται από τη λειτουργία του ανεμιστήρα. Από οικονομική πλευρά, το κόστος του συστήματος είναι μικρότερο από μια συμβατική μονάδα κλιματισμού.

3.9.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΑΦ ΣΤΟ ΔΑΠΕΔΟ

Η ενδοδαπέδια θέρμανση παρουσιάζει το μεγάλο πλεονέκτημα της ομοιόμορφης θερμικής άνεσης σε ολόκληρο το χώρο που θερμαίνεται, για ένα φάσμα θερμοκρασιών περίπου 25-28°C. Το περιβάλλον που διαμορφώνει η ενδοδαπέδια θέρμανση είναι πολύ φιλικό προς τον άνθρωπο χωρίς προβλήματα ή κινδύνους για τους χρήστες.

Η ενδοδαπέδια θέρμανση μπορεί να εφαρμοστεί με τα συστήματα ύδατος (θερμά-υγρά) και με τα ηλεκτρικά συστήματα (ξηρά). Στα συστήματα ύδατος, το νερό θερμαίνεται κυρίως με την καύση πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Συνεπώς η εφαρμογή των ΥΑΦ δεν προσφέρει κάποιο ιδιαίτερο πλεονέκτημα αν έχουμε σαν πρώτη ύλη συμβατικά καύσιμα. Αυτό δεν συμβαίνει και στην περίπτωση που η ενδοδαπέδια χρησιμοποιείται για να συνδυαστεί με κάποιο σύστημα που θα εκμεταλλεύεται κάποια διαφορετική πηγή ενέργειας, όπως η ηλιακή.

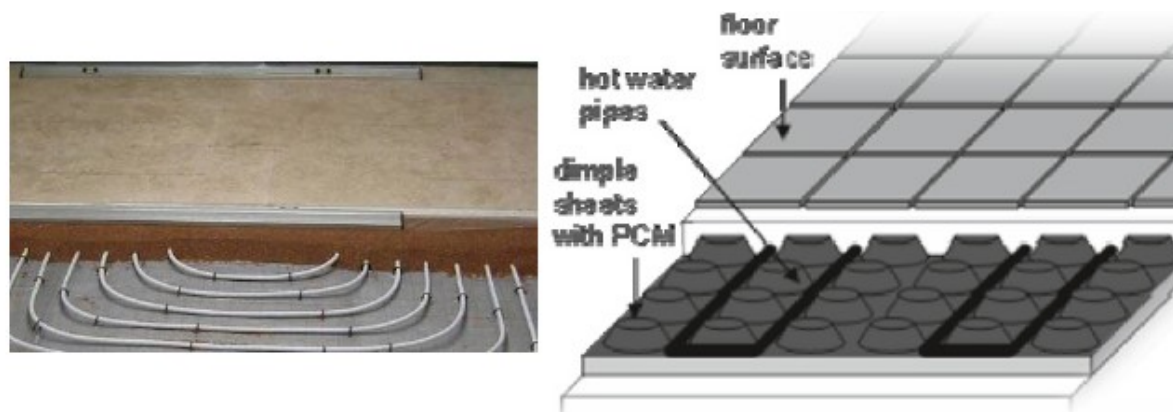


Εικόνα 3.18 : Εφαρμογή συστήματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης με ΥΑΦ [Mehling et al,2008]

Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση νερού. Αν για τη χρονική στιγμή που θερμαίνεται το νερό δεν υπάρχουν απαιτήσεις θέρμανσης του χώρου ή/και ζεστού νερού χρήσης, τότε η θερμική ενέργεια θα πρέπει να αποθηκευτεί. Η αποθήκευση αυτή μπορεί να γίνει στο ΥΑΦ που βρίσκεται στο δάπεδο, αφού προορίζεται για τη θέρμανση του χώρου. Η φόρτιση του ΥΑΦ εξασφαλίζει θερμότητα για μετέπειτα χρήση.

Από την άλλη πλευρά, τα ηλεκτρικά συστήματα, μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα ΥΑΦ, εκμεταλλευόμενα το χαμηλό κοστολόγιο του ηλεκτρισμού στις ώρες μη αιχμής. Στο σύστημα αυτό, χρησιμοποιούνται κυρίως σφαιρίδια ΥΑΦ που καλύπτουν τις ηλεκτρικές αντιστάσεις. Η λειτουργία της εγκατάστασης, προορίζεται κυρίως για τις ώρες μη αιχμής, προσφέροντας θερμότητα από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις. Η θερμότητα αυτή θα απορροφηθεί πρώτα από τους κόκκους του ΥΑΦ που περιβάλλουν τις ηλεκτρικές αντιστάσεις και θα αποθηκευτεί με τη μορφή της αισθητής θερμότητας στο ΥΑΦ μέχρι να φτάσει το σημείο τήξης του. Μια αντιπροσωπευτική τιμή για το σημείο τήξης των ΥΑΦ για τις εν λόγω εφαρμογές είναι οι 28°C. Μόλις το ΥΑΦ φτάσει το σημείο τήξης του, τότε αρχίζει να λιώνει, αποθηκεύοντας θερμική ενέργεια υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας.

Η λειτουργία του συστήματος συνεχίζει φορτίζοντας τους κόκκους με τα ΥΑΦ μέχρι να αποθηκευτεί η μέγιστη λανθάνουσα θερμότητα στο σύστημα. Από εκείνη τη στιγμή και μετά, όλη η θερμότητα που παράγεται στις ηλεκτρικές αντιστάσεις κατευθύνεται στο χώρο, αφού έχει πρώτα αποθηκευτεί στη βάση του δαπέδου της κατασκευής.

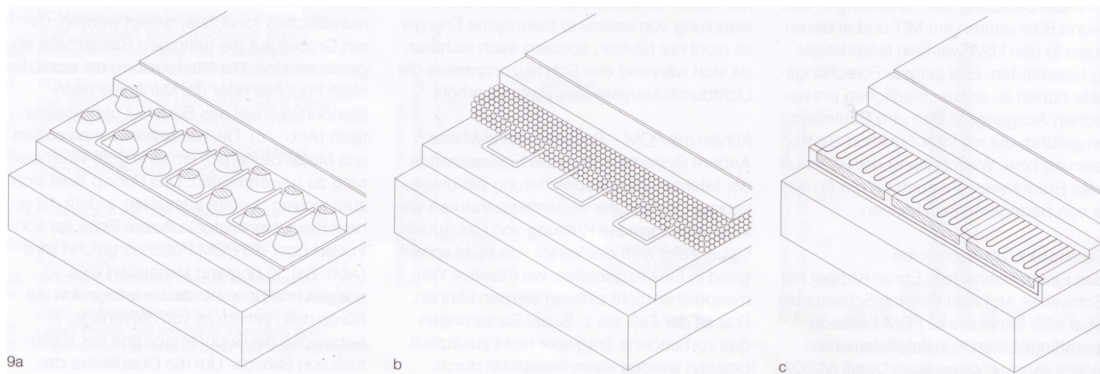


Εικόνα 3.19 : διάταξη ΥΑΦ για αντικατάσταση σε εγκατάσταση ενδοδαπέδιας θέρμανσης με νερό.[Mehling et al,2008]

Όταν σταματήσει η λειτουργία των ηλεκτρικών αντιστάσεων το ΥΑΦ θα αρχίζει να αποφορτίζεται, προσφέροντας στο χώρο τη λανθάνουσα θερμότητα που είχε αποθηκεύσει από αυτές.

Σήμερα στην ενδοδαπέδια θέρμανση, χρησιμοποιείται ένα στρώμα από θερμομπετόν που καλύπτει τις ηλεκτρικές αντιστάσεις του συστήματος. Η καινοτομία στον τομέα των κατασκευών, έχει να κάνει με την αντικατάσταση του θερμομπετόν, από το στρώμα κόκκων του ΥΑΦ. Το κόστος των ΥΑΦ για την ενδοδαπέδια θέρμανση δεν είναι σημαντικό, καθώς τοποθετούνται παραφίνες χωρίς συσκευασία οι οποίες δεν το επιβαρύνουν.

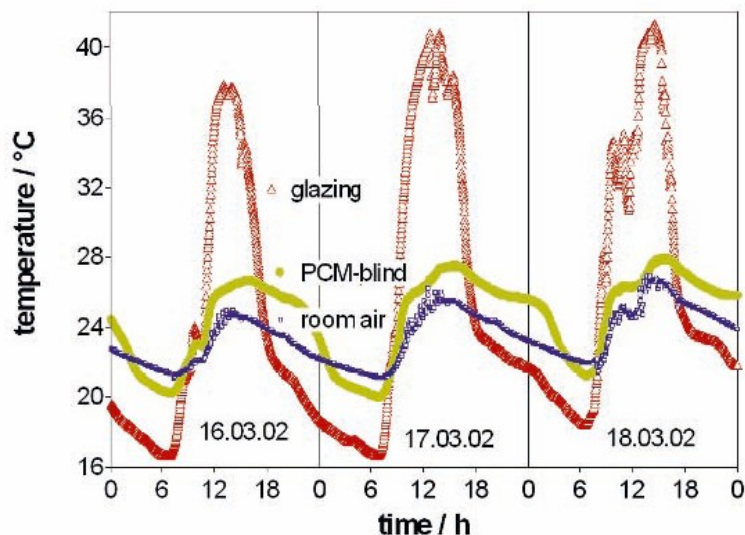
[Πηγές:1)Zhang et al.,2004,2)Takeda et al.,2006]



Εικόνα 3.20 : α) Ενδοδαπέδιο σύστημα με σωλήνες νερού για αποφόρτιση θερμότητας πάνω από στρώμα ένυδρου άλατος, β) Ενδοδαπέδιο σύστημα με σωλήνες νερού για αποφόρτιση θερμότητας πάνω από κόκκους παραφίνης, γ) Ενδοδαπέδιο σύστημα με ηλεκτρικούς αγωγούς για φόρτιση θερμότητας.

3.9.3 ΣΚΙΑΣΤΡΑ ΚΑΙ ΠΕΡΣΙΔΕΣ ΜΕ ΥΑΦ

Μια άλλη τεχνική είναι και η ενσωμάτωση του ΥΑΦ σε σκίαστρα (εικόνα 3.21). Κατά τη διάρκεια της μέρας τα σκίαστρα είναι εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα το ΥΑΦ να υγροποιείται χωρίς ωστόσο να αυξάνεται υπερβολικά η θερμοκρασία του σκίαστρου. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η αποθηκευμένη θερμότητα ακτινοβολείται στο εσωτερικό με πολύ αργό ρυθμό. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μείωση της θερμοκρασίας του δωματίου κατά 2°C [Mehling 2004]. Επίσης η ενσωμάτωση ΥΑΦ στο εσωτερικό παραθύρων (περσίδες) (εικόνα 3.21) μπορεί να αποτρέψει αποτελεσματικά τη μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας των κτιρίων [Ismail et al 2001].



Εικόνα 3.21 : Περσίδες με ΥΑΦ και πειραματικά αποτελέσματα προσομοίωσης [Mehling et al, 2008]

3.10 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ

Οι κύριες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην αγορά των ΥΑΦ είναι η Cristopia (Γαλλία), TEAP Ενέργειας (Αυστραλία), Rubitherm GmbH (Γερμανία), EPS Ltd (UK), PCM Thermal Solutions (ΗΠΑ), Climator (Σουηδία) και η Mitsubishi Chemical (Ιαπωνία). Η τιμή του των ΥΑΦ κυμαίνεται περίπου στα 5 €/ kg .

[1)Mehling et al,2007,2)BASF Ελλάς]

Παρακάτω παρατίθενται δύο κατάλογοι με τα εμπορικά ΥΑΦ, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα κτίρια για τη αποθήκευση θερμότητας (διαθέσιμα στη διεθνή αγορά).

PCM name	Type of product	Melting temperature (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)	Density (kg/L)	Source
RT20	Paraffin	22	172	0,88	Rubitherm GmbH [75]
ClimSel C 24	n.a.	24	108	1,48	Climator [76]
RT26	Paraffin	25	131	0,88	Rubitherm GmbH [75]
STL27	Salt hydrate	27	213	1,09	Mitsubishi Chemical [77]
AC27	Salt hydrate	27	207	1,47	Cristopia [78]
RT27	Paraffin	28	179	0,87	Rubitherm GmbH [75]
TH29	Salt hydrate	29	188	n.a.	TEAP [79]
STL47	Salt hydrate	47	221	1,34	Mitsubishi Chemical [77]
ClimSel C 48	n.a.	48	227	1,36	Climator [76]
STL52	Salt hydrate	52	201	1,3	Mitsubishi Chemical [77]
RT54	Paraffin	55	179	0,90	Rubitherm GmbH [75]
STL55	Salt hydrate	55	242	1,29	Mitsubishi Chemical [77]
TH58	n.a.	58	226	n.a.	TEAP [79]
ClimSel C 58	n.a.	58	259	1,46	Climator [76]
RT65	Paraffin	64	173	0,91	Rubitherm GmbH [75]
ClimSel C 70	n.a.	70	194	1,7	Climator [76]

n.a.: not available

Πίνακας 3.8: Εμπορικά διαθέσιμα ΥΑΦ (πίνακας 1)[Mehling et al, 2008]

Commercial PCMs available in the International market

PCM name	Type of product	Melting point (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)	Source
RT 20	Paraffin	22	172	Rubitherm GmbH
Climsel C23	Salt hydrate	23	148	Climator
ClimselC24	Salt hydrate	24	216	Climator
RT 26	Paraffin	25	131	Rubitherm GmbH
RT 25	Paraffin	26	232	Rubitherm GmbH
STL 27	Salt hydrate	27	213	Mitsubishi chemical
S27	Salt hydrate	27	207	Cristopia
RT 30	Paraffin	28	206	Rubitherm GmbH
RT 27	Paraffin	28	179	Rubitherm GmbH
TH 29	Salt hydrate	29	188	TEAP
Climsel C32	Salt hydrate	32	212	Climator
RT32	Paraffin	31	130	Rubitherm GmbH

Πίνακας 3.9: Εμπορικά διαθέσιμα ΥΑΦ (πίνακας 2)[Buddhi et al,2005]

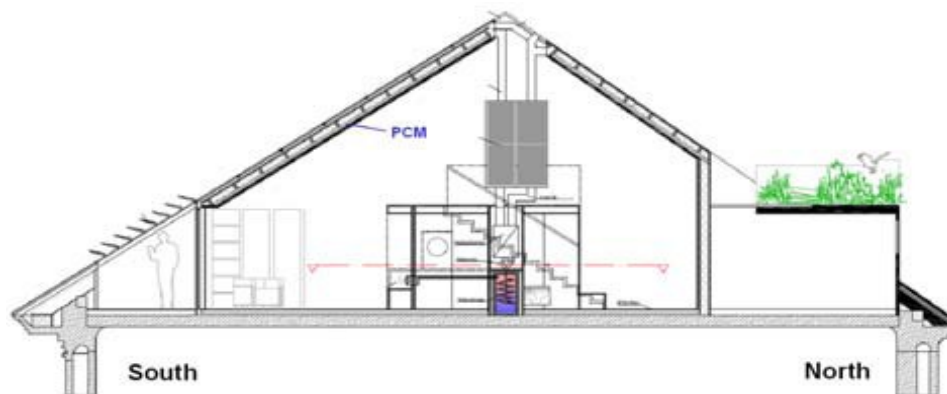
Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι υπάρχουν αρκετές εταιρίες εμπορίας και εφαρμογών παγκοσμίως οι οποίες προσφέρουν υπηρεσίες εφαρμογών ΥΑΦ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΑΦ

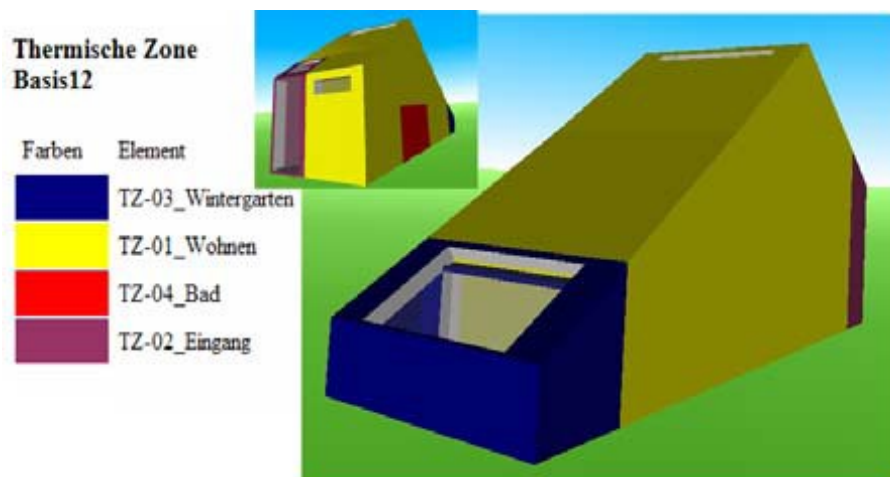
4.1 ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΑΦ

Η επιστημονική κοινότητα, αντιλαμβανόμενη τις προοπτικές και τις δυνατότητες των ΥΑΦ να χρησιμοποιηθούν ως μέσα διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας, ξεκίνησε να διεξάγει μελέτες και εργαστηριακά πειράματα ώστε να τεκμηριωθούν οι ικανότητες των ΥΑΦ στη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς κτιρίων και να μπορέσουν αυτά τα υλικά να διαδοθούν και να χρησιμοποιηθούν στον ευρύτερο κατασκευαστικό τομέα. Στα πλαίσια της διαδικασίας διερεύνησης των παραπάνω προβλημάτων παρουσιάζονται οι σημαντικότερες προσπάθειες προσομοίωσης της θερμικής συμπεριφοράς κτιρίων με εφαρμογές ΥΑΦ. Οι προσπάθειες αυτές έχουν γίνει κάνοντας χρήση διαφόρων λογισμικών, αφού τα προηγούμενα χρόνια δεν υπήρχε εξειδικευμένο στα ΥΑΦ λογισμικό προσομοίωσης κτιρίου.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος διερεύνησης της δυνατότητας εφαρμογής ΥΑΦ στα κτίρια της Δανίας, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης της θερμικής συμπεριφοράς ενός κτιρίου στο οποίο ενσωματώθηκαν ΥΑΦ, χρησιμοποιώντας το λογισμικό μελέτης BSim. Στην προσπάθεια αυτή παρουσιάζεται μια αριθμητική μέθοδος υπολογισμού της αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας η οποία επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση ΥΑΦ σε δομικά στοιχεία και παρατίθενται κάποια παραδείγματα απλών υπολογισμών της ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων. Τέλος παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς ενός δωματίου αρχικά για την περίπτωση στην οποία δεν υπάρχει καμία παρέμβαση στο δωμάτιο και χαρακτηρίζεται ως βασική και ακολούθως για την περίπτωση στην οποία ενσωματώνονται ΥΑΦ στην οροφή του δωματίου.[Rose et al,2009]



Εικόνα 4.1 : Το δωμάτιο για το οποίο έγινε η προσομοίωση με το λογισμικό Bsim.
[Rose et al,2009]



Εικόνα 4.2 :Διαχωρισμός σε θερμικές ζώνες του υπό μελέτη δωματίου από το λογισμικό BSim. [Rose et al,2009]

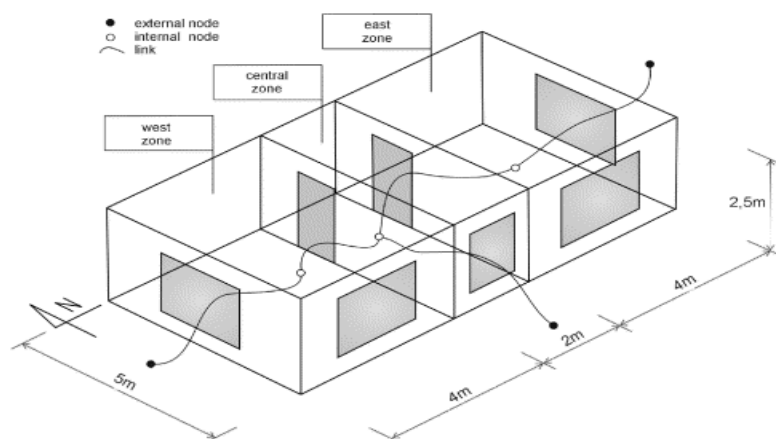
Τα κυριότερα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η συγκεκριμένη προσπάθεια προσομοίωσης κτιρίου είναι:

- Η καλή ακρίβεια πρόβλεψης της συμπεριφοράς των ΥΑΦ σε ένα κτίριο από τον αλγόριθμο που προστέθηκε στο λογισμικό Bsim, γεγονός που αποδεικνύεται και από την σύγκριση των εργαστηριακών αποτελεσμάτων του με τα αποτελέσματα του μοντέλου.
- Η ύπαρξη ενός ανώτατου ορίου ποσότητας ΥΑΦ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα χώρο και να βελτιώνουν την θερμική του συμπεριφορά.
- Η ανάγκη ύπαρξης σημαντικό εύρους διακύμανσης της θερμοκρασίας στο κτίριο ώστε να γίνεται πληρέστερη αξιοποίηση των ιδιοτήτων των ΥΑΦ λόγω της σταθερότητας των κύκλων φόρτισης και αποφόρτισης του υλικού.

[Rose et al,2009]

Οι Stetiu και Feustel το 1998 χρησιμοποίησαν το λογισμικό Radcool σε συνδυασμό με το λογισμικό DOE-2 ώστε να γίνει εκτίμηση της θερμικής συμπεριφοράς σε κτίριο γραφείων στο οποίο εφαρμοστήκαν εμποτισμένες με ΥΑΦ γυψοσανίδες για τις κλιματολογικές συνθήκες της Καλιφόρνια.[Rose et al,2009]

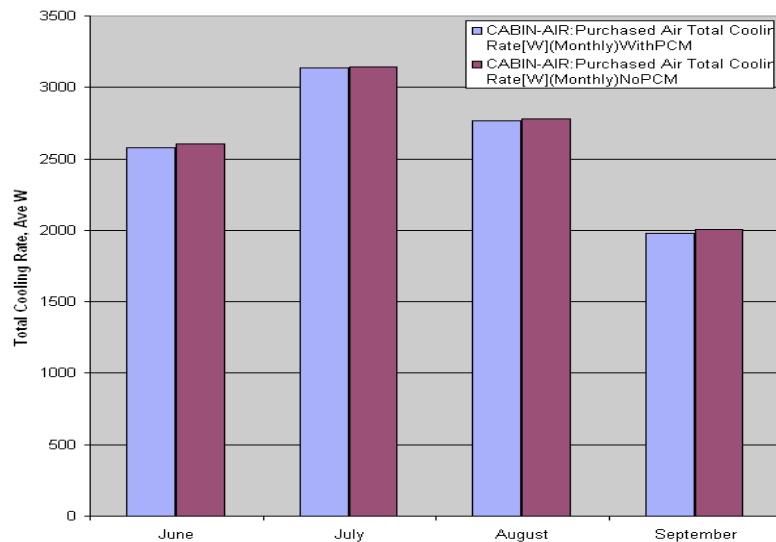
Σε μια άλλη προσπάθεια προσομοίωσης οι Heim and Clarke το 2003 έκαναν το πρώτο βήμα για να δημιουργήσουν μια ενότητα που να αφορά τα ΥΑΦ για το λογισμικό ESP-r χρησιμοποιώντας τα προγράμματα ειδικών υλικών θερμικής άνεσης. Συγκεκριμένα, πραγματοποίησαν αριθμητικές προσομοιώσεις για ένα παθητικό ηλιακό κτίριο πολλών ζωνών με διπλά τζάμια και φυσικό αερισμό το εσωτερικό του οποίου είχε καλυφθεί με γυψοσανίδες ΥΑΦ. [Heim et al,2004]



Εικόνα 4.3 : Το μοντέλο τριών ζωνών του κτιρίου με ΥΑΦ[Heim et al,2004]

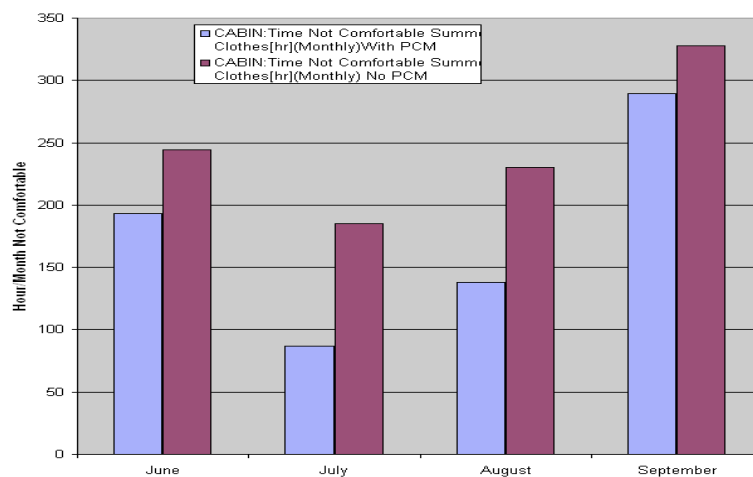
Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης δείχνουν την επίδραση της αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας στην θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Παρότι η επίδραση αυτή δεν καταφέρνει να μειώσει σημαντικά τη διακύμανση του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους, οι ερευνητές επισημαίνουν ότι τα ΥΑΦ αποθηκεύουν αποτελεσματικά την ηλιακή ενέργεια στις μεταβατικές περιόδους. Οι εμποτισμένες με ΥΑΦ γυψοσανίδες που σχεδιάστηκαν για την παθητική ηλιακή θέρμανση του κτιρίου λειτουργούν καλύτερα για τις συνθήκες ανοιξιάτικου και φθινοπωρινού καιρού και επιτυγχάνεται η χρησιμοποίηση της αποθηκευμένης ενέργειας κατά την έναρξη της περιόδου θέρμανσης, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση των ενεργειακών αναγκών θέρμανσης. Επιπλέον τονίζεται ότι για να σχεδιαστεί ένα κτίριο με εφαρμογές ΥΑΦ που να καλύπτει τις ανάγκες του με παθητική θέρμανση κατά την διάρκεια του χειμώνα και παθητική ψύξη το καλοκαίρι πρέπει να γίνει εκτενέστερη μελέτη με περισσότερα κριτήρια. [Heim et al,2004]

Το πανεπιστήμιο του Illinois και ο Pedersen το 2007 περιγράφουν έναν κώδικα που εισάγει τα ΥΑΦ στο λογισμικό EnergyPlus. Το μοντέλο αυτό εμπεριέχει τόσο την ενθαλπία αλλαγής φάσης όσο και την εξάρτηση της θερμικής αγωγιμότητας από την θερμοκρασία. Στη σχετική δημοσίευση αποδεικνύεται ότι ο αλγόριθμος που ενσωματώθηκε στο λογισμικό EnergyPlus μπορεί να προσομοιάσει το ΥΑΦ σε οποιαδήποτε θέση της επιφάνειας της κατασκευής διατηρώντας σταθερές όλες τις άλλες παραμέτρους της ροής ενέργειας στο κτίριο. Όσον αφορά την επίδραση των ΥΑΦ στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου βλέπουμε ότι στην περίπτωση του Denver όπου το προφίλ ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας είναι ευνοϊκό για τη χρήση ΥΑΦ η επίδραση τους για ψύξη είναι σχεδόν αμελητέα. [Pedersen,2007]



Εικόνα 4.4 :Μέσος μηνιαίος βαθμός ψύξης.[Pedersen,2007]

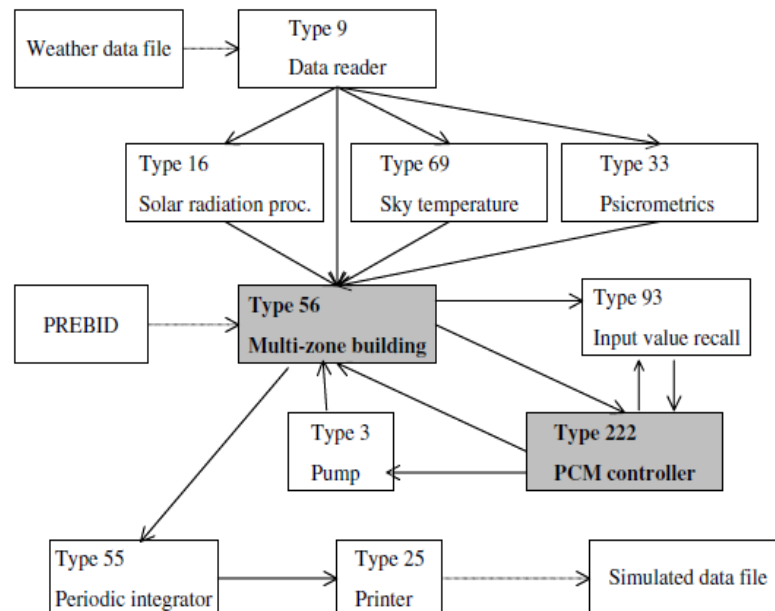
Θεωρείται επίσης ενδιαφέρουσα η εξέταση της επίδρασης των ΥΑΦ στην θερμική άνεση του κτιρίου. Έτσι στην εικόνα παρακάτω παρουσιάζεται ο αριθμός των ωρών των καλοκαιρινών μηνών που δεν υπάρχει θερμική άνεση στο Denver. Είναι σαφές ότι για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, τα ΥΑΦ είχαν θετική επίδραση στη μείωση του αριθμού των ωρών που δεν επικρατούν συνθήκες θερμικής άνεσης. Στις περιπτώσεις του Ιουνίου και του Σεπτεμβρίου, στις ώρες που θεωρείται ότι οι συνθήκες χωρίς θερμική άνεση, η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα του κτιρίου ήταν πολύ χαμηλή, δεδομένου ότι στην συγκεκριμένη προσομοίωση το σύστημα θέρμανσης ήταν απενεργοποιημένο . [Pedersen,2007]



Εικόνα 4.5 : Ώρες του μήνα όπου δεν επικρατούν συνθήκες θερμικής άνεσης. [Pedersen,2007]

Για περίπου τέσσερα χρόνια, οι ερευνητές του πανεπιστημίου του Auckland μελετούν τρόπους ώστε να αυξηθεί η θερμική μάζα των κτιριακών κατασκευών με την ενσωμάτωση ΥΑΦ στα δομικά υλικά. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης κατασκεύασαν στο χώρο του πανεπιστημίου δυο όμοια δωμάτια δοκιμών και παρακολούθησαν την θερμική συμπεριφορά τους για δυο χρόνια. Η εσωτερική επένδυση των τοίχων του ενός δωματίου δοκιμής αποτελούνταν από εμποτισμένες με ΥΑΦ(RT20) γυψοσανίδες ενώ στο άλλο δωμάτιο δοκιμής οι τοίχοι είχαν καλυφθεί από συμβατικές γυψοσανίδες.

Μια άλλη διαφορετική προσέγγιση που παρουσιάζεται είναι η προσομοίωση κτιρίου με εφαρμογές ΥΑΦ χρησιμοποιώντας το λογισμικό TRNSYS. Η μέθοδος διέφερε από άλλες προσεγγίσεις δεδομένου ότι δεν στόχευε σε μια προσομοίωση των διαδικασιών μεταφοράς θερμότητας μέσα στα δομικά υλικά, αλλά στο να αξιολογήσει την επίδραση, που έχει η ενσωμάτωση ΥΑΦ στο κέλυφος(τοίχους, οροφή, δάπεδο),στο ολικό ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου. [Ibanez et al.,2005]



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροής πληροφοριών TRNSYS για την προσομοίωση κτιρίου με ΥΑΦ[Ibanez et al,2005]

4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Υπάρχει μια πληθώρα προγραμμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων. Μελετώντας την παράγραφο 4.1,η οποία αναφέρεται στις μέχρι σήμερα προσπάθειες προσομοίωσης της θερμικής και της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων με εφαρμογές ΥΑΦ, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι λίγα προγράμματα παρέχουν τη δυνατότητα προσομοίωσης κτιρίων με ενσωματωμένα ΥΑΦ. Εκτός αυτού, καθένα από τα προγράμματα αυτά παρουσιάζει κάποια προβλήματα.

Ειδικότερα στη περίπτωση του λογισμικού SUNREL το οποίο παρέχει πολύ καλή ακρίβεια σε υλικά όπως τα ΥΑΦ των οποίων τα χαρακτηριστικά μεταβάλλονται με το χρόνο, δεν προσφέρει τη δυνατότητα μοντελοποίησης εξοπλισμού θέρμανσης-ψύξης και συνεπώς δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στη μελέτη μας. Στη περίπτωση του προγράμματος ESP-r, ενώ μέσω της συνάρτησης ειδικών υλικών υπάρχει η δυνατότητα για την προσομοίωση ΥΑΦ περιοριστικός παράγοντας είναι το γεγονός ότι το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί σε μία μόνο επιφάνεια ανά ζώνη. Ένα πρόγραμμα, το οποίο έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων με ΥΑΦ είναι το λογισμικό TRNSYS. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου λογισμικού τα υλικά ΥΑΦ έχουν προσομοιωθεί μέσω δύο διαφορετικών μοντέλων και λειτουργούν μέσω σύζευξης με το μοντέλο πολυζωνικού

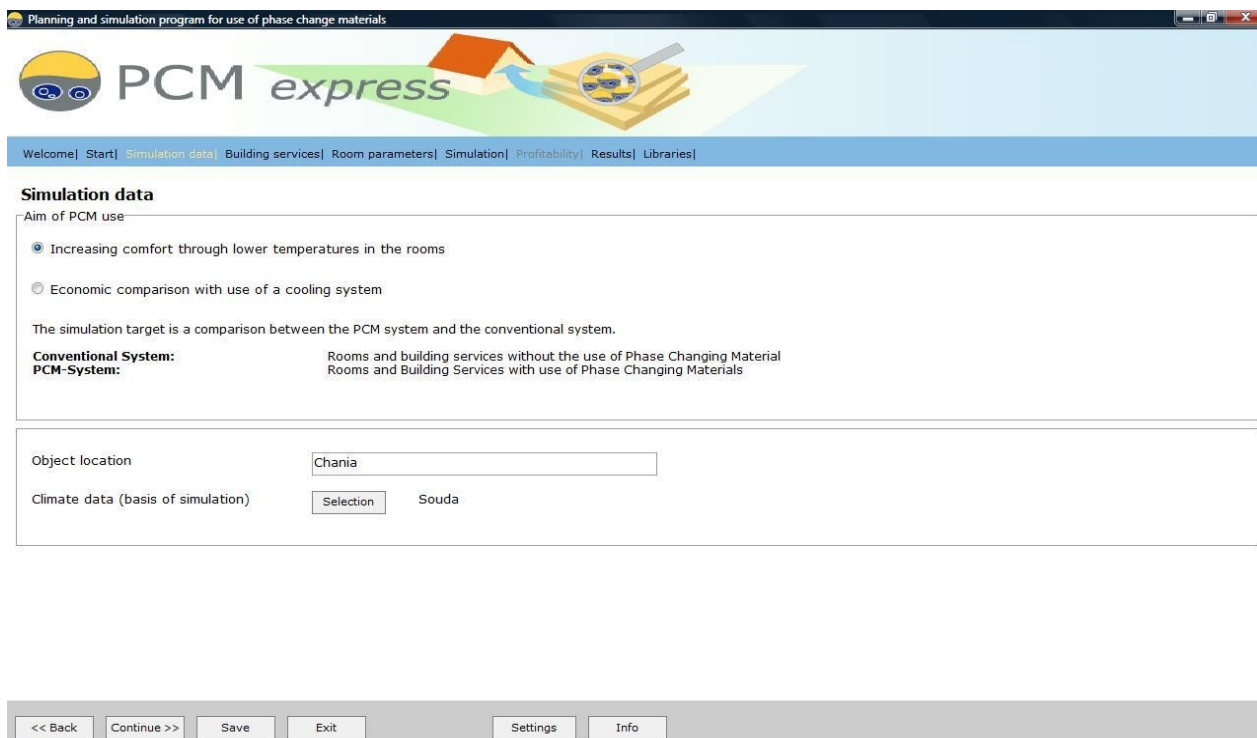
κτιρίου «Type 56». Το πρώτο αναπτύχθηκε από το ινστιτούτο θερμικής μηχανικής του πανεπιστημίου του Gratz και αναφέρεται ως «Type 241» [Schranzhofer et al., 2006]. Πρόκειται για ένα μοντέλο που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Fortran με τη χρήση της μεθόδου ενθαλπίας, το οποίο όμως δεν έχει διασταυρωθεί με πειραματικά δεδομένα. Το δεύτερο μοντέλο, που αναφέρεται ως «Type 204», αναπτύχθηκε αρχικά από τους Jokisalo και Lamperg [Jokisalo and Lamperg, 2000] στο πανεπιστήμιο τεχνολογίας του Ελσίνκι. Το μοντέλο προσπαθεί να προσομοιώσει την πραγματική διαδικασία ροής θερμότητας μέσα στο υλικό ΥΑΦ. Οι εξισώσεις μεταφοράς θερμότητας επιλύονται σε τρεις διαστάσεις για τις διάφορες καταστάσεις του ΥΑΦ ενώ η αλλαγή φάσης προσομοιώνεται με την μέθοδο ενεργής χωρητικότητας. Το μοντέλο αυτό έχει τροποποιηθεί ώστε να λειτουργεί στο περιβάλλον TRNSYS 16.1 από τον M. Ahmad κ.α. και έχει επαληθευτεί με πειραματικά δεδομένα [Ahmad M., 2006a]. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, επιλέχθηκε η προσομοίωση της ενεργειακής απόδοσης και της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου με ενσωματωμένα ΥΑΦ με το εξειδικευμένο λογισμικό PCM express (έκδοση demo) μέσω του μοντέλο «Type 204» του λογισμικού TRNSYS.

4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ PCM EXPRESS

4.3.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Το λογισμικό PCM express δημιουργήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Ανάπτυξη εύχρηστου λογισμικού σχεδιασμού και προσομοίωσης κτιρίων με ΥΑΦ» από την εταιρία VALENTIN energieware σε συνεργασία με το ινστιτούτο συστημάτων ηλιακής ενέργειας Fraunhofer το οποίο εδρεύει στην πόλη Φράιμπουργκ της Γερμανίας και εταιρίες του βιομηχανικού κλάδου. Κύριος στόχος του προγράμματος είναι να υποστηρίξει αρχιτέκτονες και μηχανικούς στη διαδικασία σχεδιασμού και διαστασιολόγησης συστημάτων με ΥΑΦ παρέχοντας τους τη δυνατότητα λήψης ασφαλών αποφάσεων για τις προοπτικές βελτίωσης της θερμικής συμπεριφοράς κτιρίων εφαρμόζοντας σε αυτά ΥΑΦ. Παράλληλα το συγκεκριμένο λογισμικό επίσης βοηθάει την επαφή του ευρύτερου κατασκευαστικού κλάδου με τα εμπορικά ΥΑΦ και στην προβολή των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν στα κτίρια. Το PCM express παρέχει στους χρήστες τη δημιουργία συστημάτων ΥΑΦ στα κτίρια μέσω μιας σχετικά απλής μεθοδολογίας.

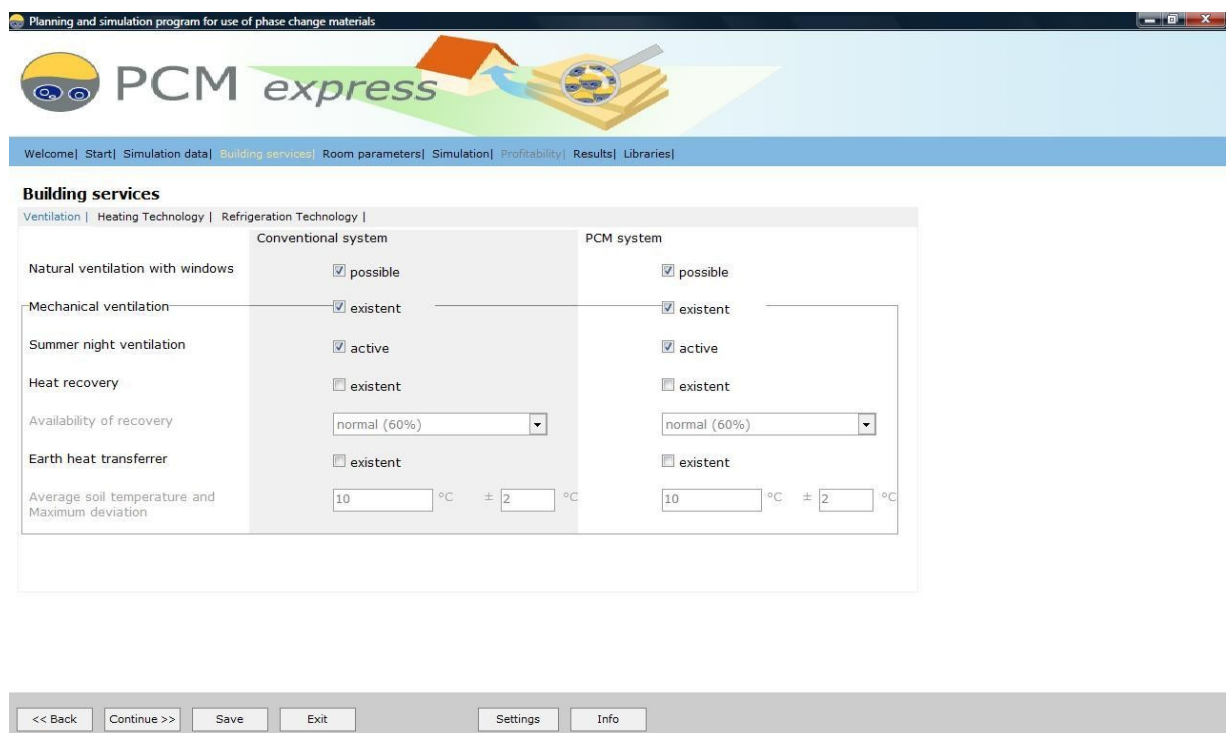
Ανάλογα με το είδος χρήσης του κτιρίου, η χρήση ΥΑΦ καλείται να καλύψει είτε τις υψηλές απαιτήσεις που επιζητούνται στα κτίρια κατοικίας για συνθήκες θερμικής άνεσης είτε τις απαιτήσεις εξοικονόμησης ενέργειας που επιδιώκονται κυρίως στα κτίρια γραφείων. Και οι δύο αυτές στρατηγικές υποστηρίζονται από το πρόγραμμα μέσω εξειδικευμένου μενού επιλογών και προκαθορισμένους τύπους χρήσης των κτιρίων οι οποίοι προσαρμόζονται στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 4.7 : Επιλογή του στόχου χρήσης ΥΑΦ και της περιοχής μελέτης.

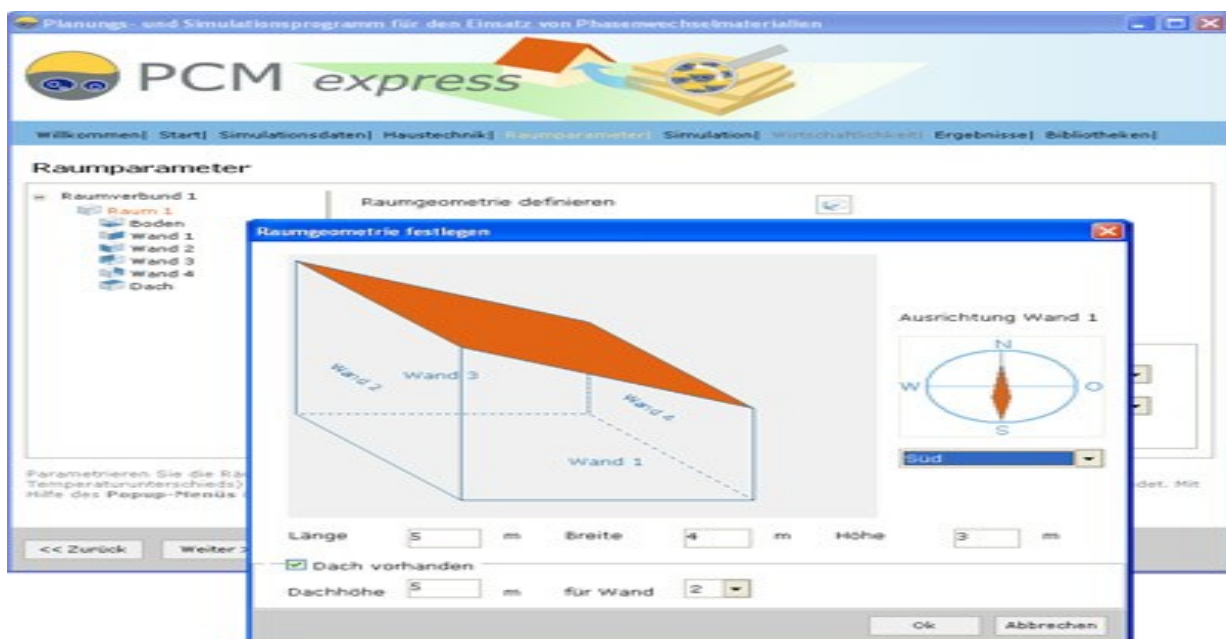
4.3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΙ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το PCM express αποτελείται από μια κεντρική μονάδα υπολογισμών των παραμέτρων που επεξεργάζεται με μεγάλη ταχύτητα τα δεδομένα που εισάγονται. Το πρόγραμμα εμπεριέχει ενσωματωμένη βάση ωριαίων δεδομένων σχετικά με την ακτινοβολία και την θερμοκρασία για όλες τις μεγάλες πόλεις της Ευρώπης, τα οποία αξιολογούνται ως παράμετροι των απαιτήσεων για ψύξης και θέρμανσης. Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής στο κτιριακό σύστημα εκτός από ΥΑΦ και εξωτερικές μονάδες θέρμανσης, ψύξης και αερισμού και να μελετήσουμε το ολικό ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου.



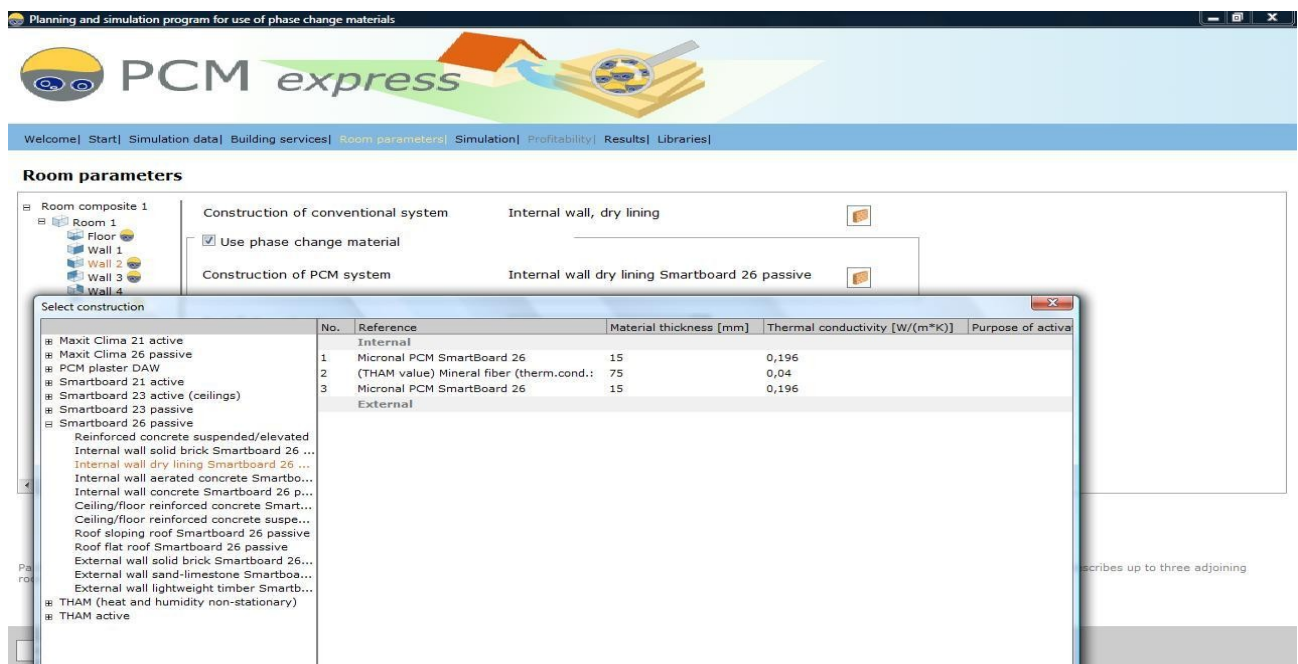
Εικόνα 4.8 : Επιλογές μονάδων ψύξης ,θέρμανσης και αερισμού που μπορούν να προστεθούν στο συνολικό σύστημα.

Στο πρόγραμμα μπορούν να ομαδοποιηθούν μέχρι τρία δωμάτια σε ένα κτίριο και η μεταφορά θερμότητας μεταξύ των δωματίων γίνεται μέσω των τοίχων. Τα σχεδιαστικά δεδομένα που αφορούν τη γεωμετρία, τα εσωτερικά κέρδη, το ρυθμός εισροής αέρα, την επιλογή της δομής των τοίχων, το σχεδιασμό των υαλοπινάκων του κτιρίου εισάγονται στο πρόγραμμα από τον εκάστοτε χρήστη.



Εικόνα 4.9 : Διαμόρφωση της γεωμετρίας του κτιρίου.

Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι παρέχεται η δυνατότητα στο σχεδιαστή του συστήματός ΥΑΦ να επιλέξει τα σημεία που θα ενσωματωθούν τα ΥΑΦ στο κέλυφος του κτιρίου (τοίχοι, οροφή, δάπεδο) και το είδος των εμπορικών ΥΑΦ που θα ενσωματωθούν σε κάθε σημείο (π.χ. σε ένα τοίχο μπορούμε να επιλέξουμε ΥΑΦ με σημείο τήξης 23°C ενώ στην οροφή να έχουμε τοποθετήσει ΥΑΦ με σημείο τήξης 26°C). Οι παραπάνω σχεδιαστικοί παράμετροι ενσωματώνονται σε ένα μοντέλο-κόμβο βάσει του οποίου πραγματοποιείται προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



Εικόνα 4.10 : Επιλογή του εμπορικού ΥΑΦ που θα ενσωματωθεί στον τοίχο.

Στα πλαίσια διερεύνησης της βιωσιμότητας ενός κτιρίου με εφαρμογές ΥΑΦ και της τεκμηρίωσης της άποψης ότι τα ΥΑΦ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα εξοικονόμησης ενέργειας στο λογισμικό PCM express υπάρχουν ενσωματωμένοι αλγόριθμοι οι οποίοι προσδιορίζουν την απόδοση από οικονομικής πλευράς ενός συστήματος ΥΑΦ. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι βασισμένοι στις απαιτήσεις της οδηγίας VDI 2067, η οποία σχετίζεται με την οικονομική, ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση των κτιρίων στη Γερμανία. Στόχος της οικονομικής ανάλυσης είναι να αιτιολογήσει το πρόσθετο κόστος επένδυσης που χρειάζεται για ένα σύστημα ΥΑΦ σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα και να αποδείξει ότι πέραν του περιβαλλοντικών κερδών υπάρχουν και οικονομικά οφέλη.

4.3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται μετά το τρέξιμό της προσομοίωσης παραθέτουν μια πλήρη σύγκριση του συμβατικού και του συστήματος ΥΑΦ. Συγκεκριμένα το PCM express μας δίνει συγκριτικά αποτελέσματα για:

- Την αξιολόγηση της εσωτερικής θερμοκρασίας σε σχέση με την εξωτερική.
- Την κατανομή συχνότητας εμφάνισης της τιμής θερμοκρασίας για το κάθε σύστημα.

- Την απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη και θέρμανση σε κάθε σύστημα.
- Την αξιολόγηση της οικονομικής αποδοτικότητας.

[VALENTIN energieware,2009]

4.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ TRNSYS

4.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το TRNSYS αποτελεί ένα πλήρες και επεκτάσιμο υπολογιστικό περιβάλλον για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο, συμπεριλαμβανομένων των πολυζωνικών κτιρίων. Χρησιμοποιείται από μηχανικούς και ερευνητές παγκοσμίως για την αξιολόγηση νέων ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις. Από ένα απλό σύστημα θέρμανσης νερού μέχρι το σχεδιασμό και την προσομοίωση κτιρίων και του εξοπλισμού τους, συμπεριλαμβανομένων των στρατηγικών ελέγχου, τη συμπεριφορά κατοίκων και συστήματα εναλλακτικών πηγών ενέργειας (άνεμος, ήλιος, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου κτλ).

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του TRNSYS είναι το γεγονός ότι ο πηγαίος κώδικας, ο πυρήνας του προγράμματος καθώς και ο κώδικας των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει το TRNSYS, δίνονται στο χρήστη ο οποίος μπορεί να τα τροποποιήσει κατάλληλα ώστε να εξυπηρετεί καλύτερα τις δικές του ανάγκες.

Επίσης υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής νέων μοντέλων που μπορεί να κατασκευάσει ο ίδιος ο χρήστης ή άλλοι προγραμματιστές χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN κ.α.). Αυτό είναι δυνατόν χάρη στην αρχιτεκτονική του προγράμματος η οποία είναι βασισμένα στα αρχεία DLL. Επιπλέον, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα με πολλές άλλες εφαρμογές για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. Microsoft Excel, Matlab, COMIS κτλ.). Το TRNSYS συμπεριλαμβάνει τις ακόλουθες εφαρμογές:

- Ηλιακά συστήματα (θερμικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά)
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαραγωγή. Κυψέλες καυσίμου
- Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση

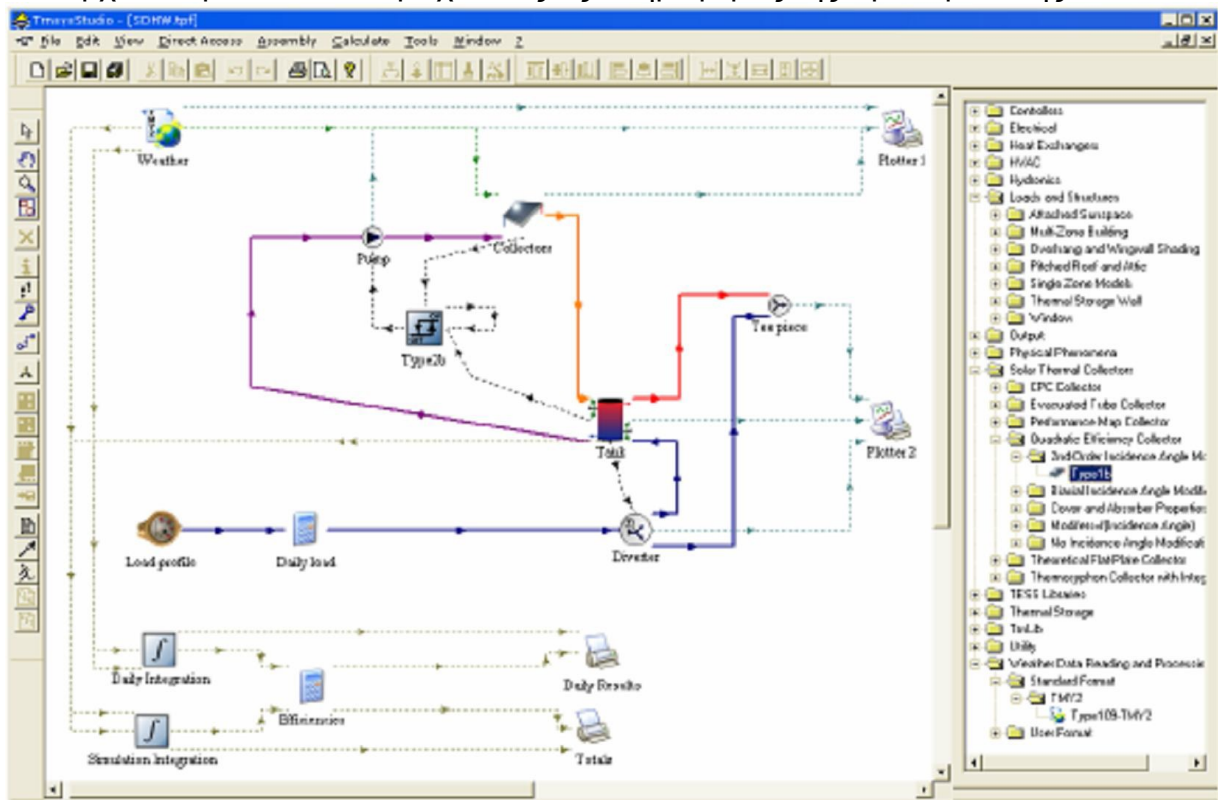
Το TRNSYS αποτελείται από το σύνολο των ακόλουθων προγραμμάτων: Το στούντιο προσομοίωσης (TRNSYS Simulation Studio) και το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe), το γραφικό περιβάλλον διεπαφής κτιρίου, για την εισαγωγή των δεδομένων κτιρίων (TRNBuild.exe), και τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα, γνωστά ως “TRNSED εφαρμογές” (TRNEdit.exe).[TRNSYS 16]

4.4.2 ΣΤΟΫΝΤΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.

4.4.2.1 ΓΕΝΙΚΉ ΠΕΡΙΓΡΑΦΉ

Το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS αποτελεί το στούντιο προσομοίωσης. Σε αυτό δημιουργούνται τα προγράμματα της προσομοίωσης “ρίχνοντας” με το ποντίκι στο παράθυρο εργασίας τα επιλεγόμενα μοντέλα, συνδέοντάς τα και θέτοντας τις μεταβλητές της προσομοίωσης. Τα μοντέλα παριστάνονται με τα εικονίδια τους στο παράθυρο εργασίας.

Το στούντιο προσομοίωσης δημιουργεί το αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης του χρήστη (*.tpf). Επίσης δημιουργεί αρχείο εισόδου, το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης.



Εικόνα 4.11 : Στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS [TRNSYS 16]

Το στούντιο προσομοίωσης περιλαμβάνει επίσης έναν διαχειριστή των εξόδων του προγράμματος, με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ποιές μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στις εξόδους, ποιές θα εκτυπωθούν και ποιές θα χρησιμοποιηθούν στα διαγράμματα. Επιπλέον περιλαμβάνει έναν καταγραφέα/διαχειριστή σφαλμάτων ο οποίος επιτρέπει την λεπτομερή μελέτη των γεγονότων κατά τη διάρκεια μίας προσομοίωσης.

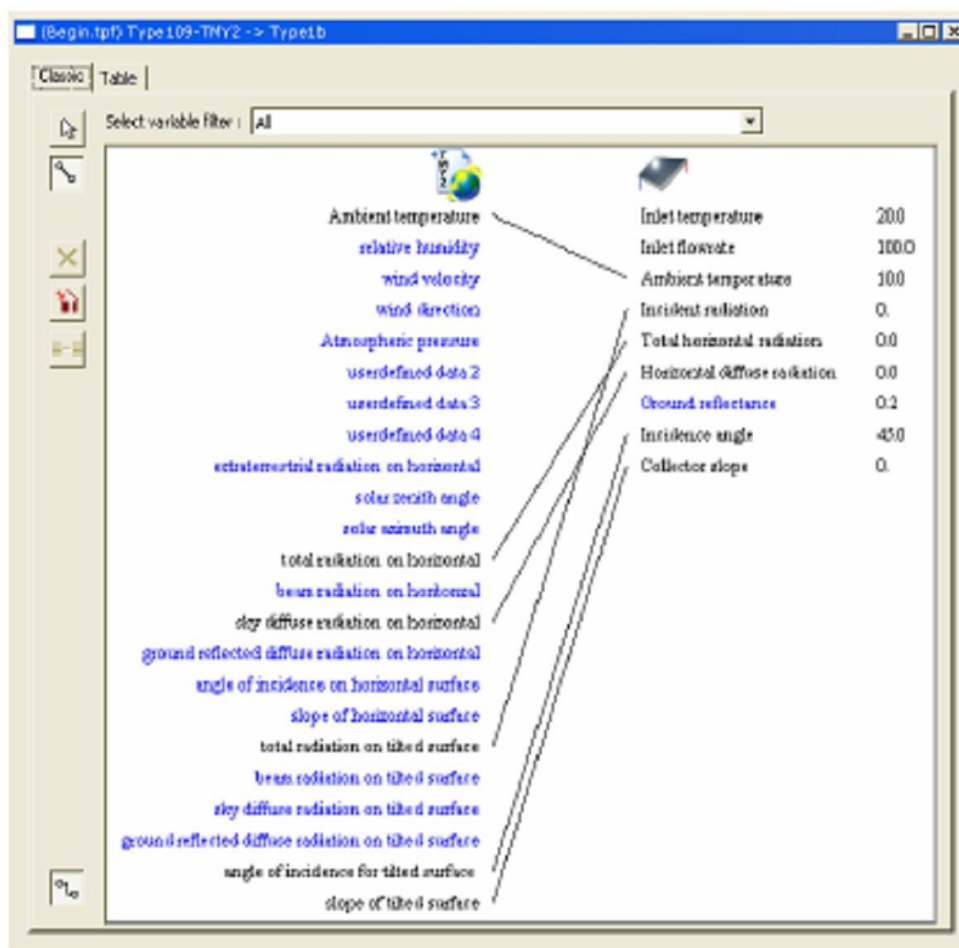
Τέλος, πολλές επιπρόσθετες εργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα από το στούντιο προσομοίωσης, όπως η δημιουργία νέων υπολογιστικών μοντέλων προς εισαγωγή στο TRNSYS χρησιμοποιώντας την επιλογή “Fortran Wizard” καθώς επίσης η ανάγνωση των εξαγόμενων αρχείων, η επεξεργασία της περιγραφής ενός μοντέλου τροποποιώντας τις παραμέτρους, τις εισόδους και τις εξόδους του μοντέλου. [TRNSYS 16]

4.4.2.2 ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η ρύθμιση των μοντέλων της προσομοίωσης γίνεται κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του μοντέλου. Έτσι ανοίγει ένα παράθυρο με τις καρτέλες του μοντέλου. Όλα τα μοντέλα έχουν τις εξής καρτέλες: παραμέτρων, εισόδων, εξόδων και παραγώγων. Από τις καρτέλες αυτές ρυθμίζονται οι τιμές όλων των στοιχείων του μοντέλου. Οι τιμές των εισόδων παραβλέπονται αν το μοντέλο συνδεθεί με κάποιο άλλο μοντέλο.

4.4.2.3 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Η σύνδεση των μοντέλων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο της σύνδεσης στα αριστερά του παραθύρου εργασίας και επιλέγοντας τα δύο στοιχεία που επιθυμούμε να συνδέσουμε. Κάνοντας διπλό κλικ στην γραμμή σύνδεσης μεταξύ των δύο μοντέλων ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορούν να επιλεγούν ποιές έξοδοι του ενός μοντέλου θα συνδεθούν με τις εισόδους του άλλου.



Εικόνα 4.12 : Παράδειγμα παραθύρου συνδέσεων [TRNSYS 16]

4.4.2.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

Η προσομοίωση εκτελείται πληκτρολογώντας "F8" ή κάνοντας κλικ στην συντόμευση "Calculate/Run" στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Εάν στο πρόγραμμα της προσομοίωσης έχει προστεθεί τουλάχιστον ένα μοντέλο ταυτόχρονης δημιουργίας διαγραμμάτων (Online Plotter), εμφανίζεται ένα διάγραμμα κατά τη διάρκεια των υπολογισμών της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες που χρησιμεύουν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και αφού αυτή περατωθεί. Ενδεικτικά κάποιες από αυτές τις δυνατότητες είναι η παύση και η επανέναρξη της προσομοίωσης, η απόκρυψη και η εμφάνιση μιας μεταβλητής στο διάγραμμα, η επιλογή χρωμάτων και η προσαρμογή των αξόνων του διαγράμματος καθώς και η μεγέθυνση ενός μέρους του διαγράμματος. [TRNSYS 16]

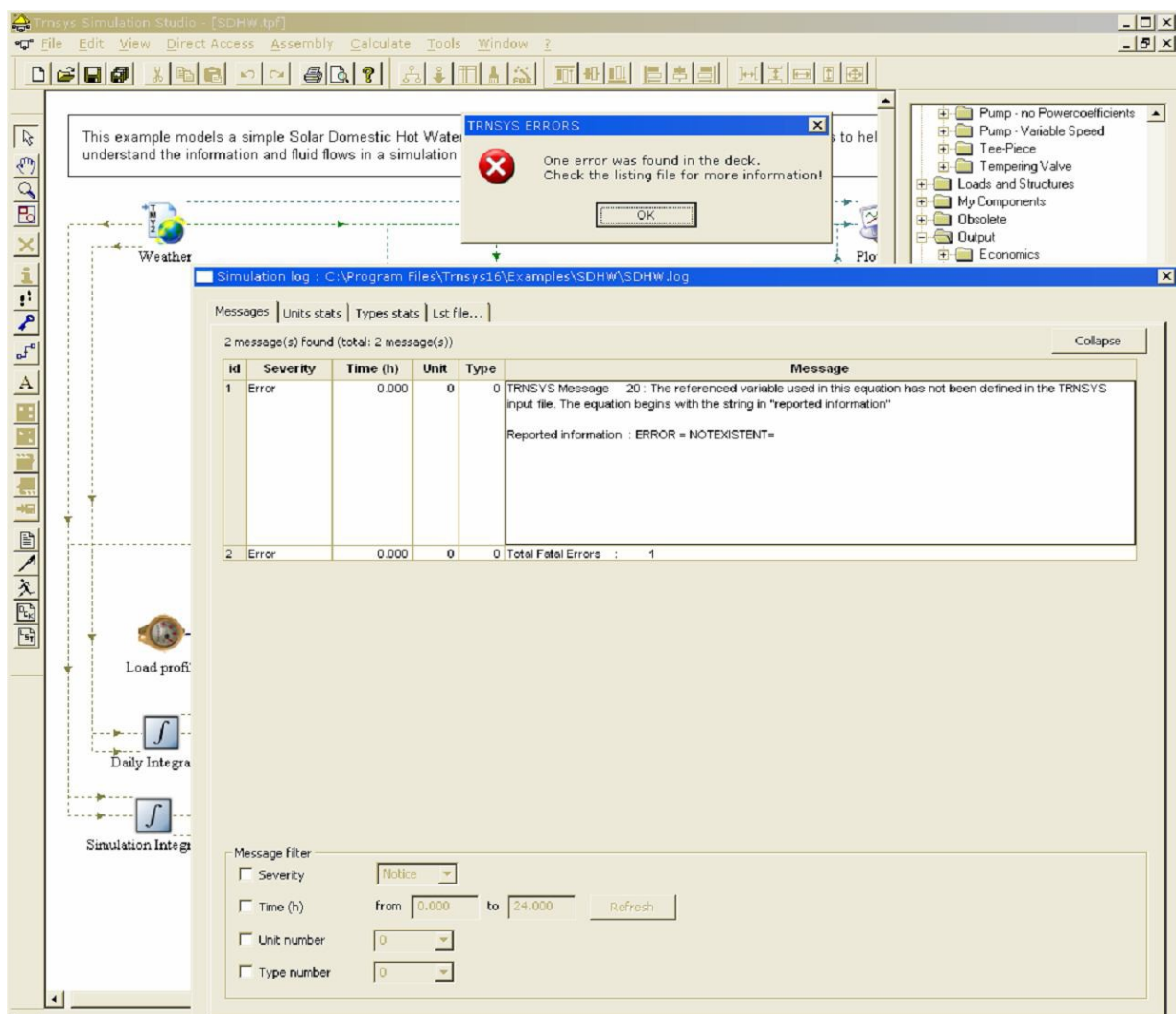


Εικόνα 4.13 : Διάγραμμα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και μεγέθυνση μέρους του διαγράμματος. [TRNSYS 16]

Στην περίπτωση που έχει προστεθεί μοντέλο εκτυπωτή στην προσομοίωση, οι έξοδοι εκτυπώνονται σε ένα αρχείο εξόδου το οποίο μπορεί να ανοιχθεί μέσω του στούντιο προσομοίωσης κάνοντας κλικ στο "Calculate/ Open/ External Files" στο επάνω μέρος του παραθύρου εργασίας. [TRNSYS 16]

4.4.2.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δημιουργείται αρχείο καταγραφής γεγονότων στο οποίο καταγράφονται εκτός των άλλων και τα σφάλματα που προκύπτουν κατά την προσομοίωση. Το στούντιο προσομοίωσης παρέχει πρόσβαση στο αρχείο αυτό μέσω του διαχειριστή σφαλμάτων. Το παράθυρο του διαχειριστή σφαλμάτων εμφανίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "LST" στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Στο παράθυρο αυτό εμφανίζονται όλα τα σφάλματα και οι προειδοποιήσεις που προέκυψαν καθώς και σχετικά στατιστικά στοιχεία. Επίσης μπορεί να ανοιχθεί το αρχείο "Listing file", το οποίο δημιουργείται κατά την προσομοίωση και περιέχει και αυτό όλα τα σφάλματα που προκύπτουν καθώς και μια επανάληψη του αρχείου εισόδου του TRNSYS (deck) μαζί με επιπρόσθετες εξόδους. [TRNSYS 16]



Εικόνα 4.14: Ο διαχειριστής σφαλμάτων[TRNSYS 16]

4.4.3 ΓΡΑΦΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΪΩΝ ΚΤΙΡΙΟΥ (TRNBuild)

4.4.3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Το TRNBuild είναι το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων ενός πολυζωνικού κτιρίου. Επιτρέπει στον χρήστη τον λεπτομερή καθορισμό όλων των κατασκευαστικών στοιχείων του κτιρίου, καθώς και ότι χρειάζεται για τον καθορισμό της θερμικής του συμπεριφοράς, όπως οι οπτικές ιδιότητες των παραθύρων, το πρόγραμμα ψύξης και θέρμανσης που εφαρμόζεται στο κτίριο κτλ. [TRNSYS 16]

4.4.3.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΪΩΝ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το μοντέλο του πολυζωνικού κτιρίου εμπλέκει πολλές παραμέτρους ώστε να έχει ένα τυπικό αρχείο περιγραφής όπως τα υπόλοιπα μοντέλα του TRNSYS. Έτσι κάθε κτίριο που δημιουργεί ο χρήστης έχει το δικό του ειδικό αρχείο περιγραφής με επέκταση .bui. Ο καθορισμός των στοιχείων του κτιρίου γίνεται κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο του

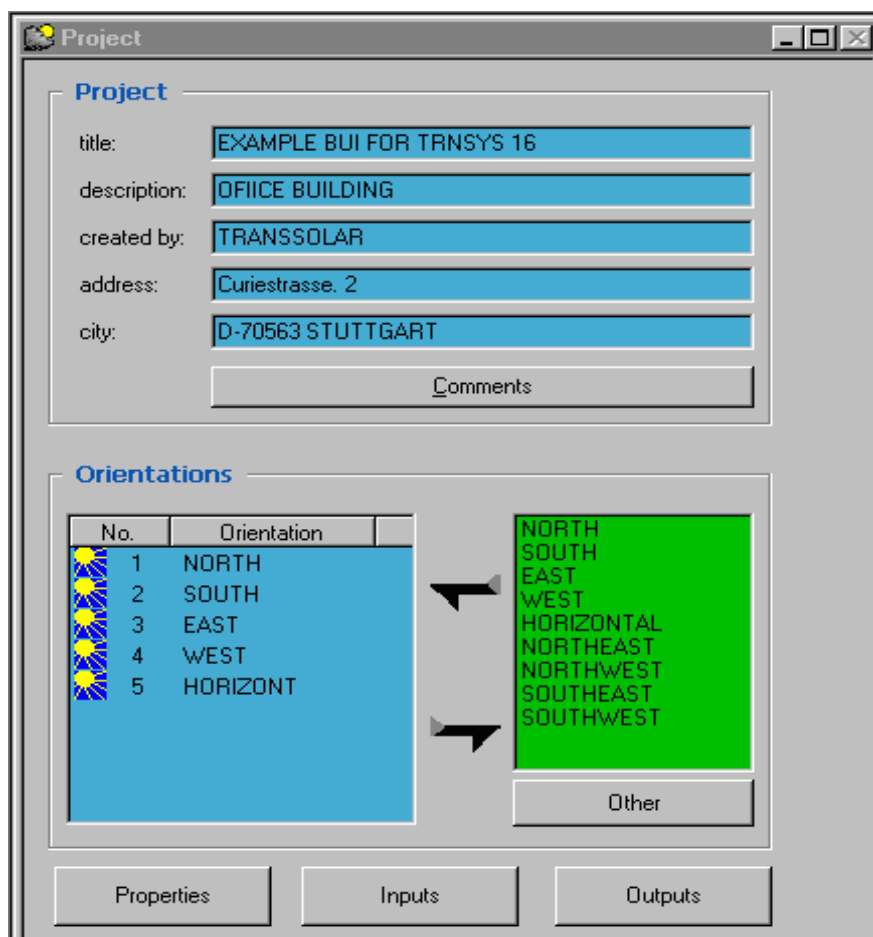
κτιρίου και επιλέγοντας “Edit Building”. Με τον τρόπο αυτό εκκινεί το πρόγραμμα TRNBuild και ανοίγει το αρχείο περιγραφής του κτιρίου. [TRNSYS 16]

Μέσω του TRNBuild καθορίζονται αρχικά οι γενικές παράμετροι του κτιρίου από την καρτέλα “Project” και οι θερμικές ζώνες. Στην καρτέλα “Project” ορίζονται:

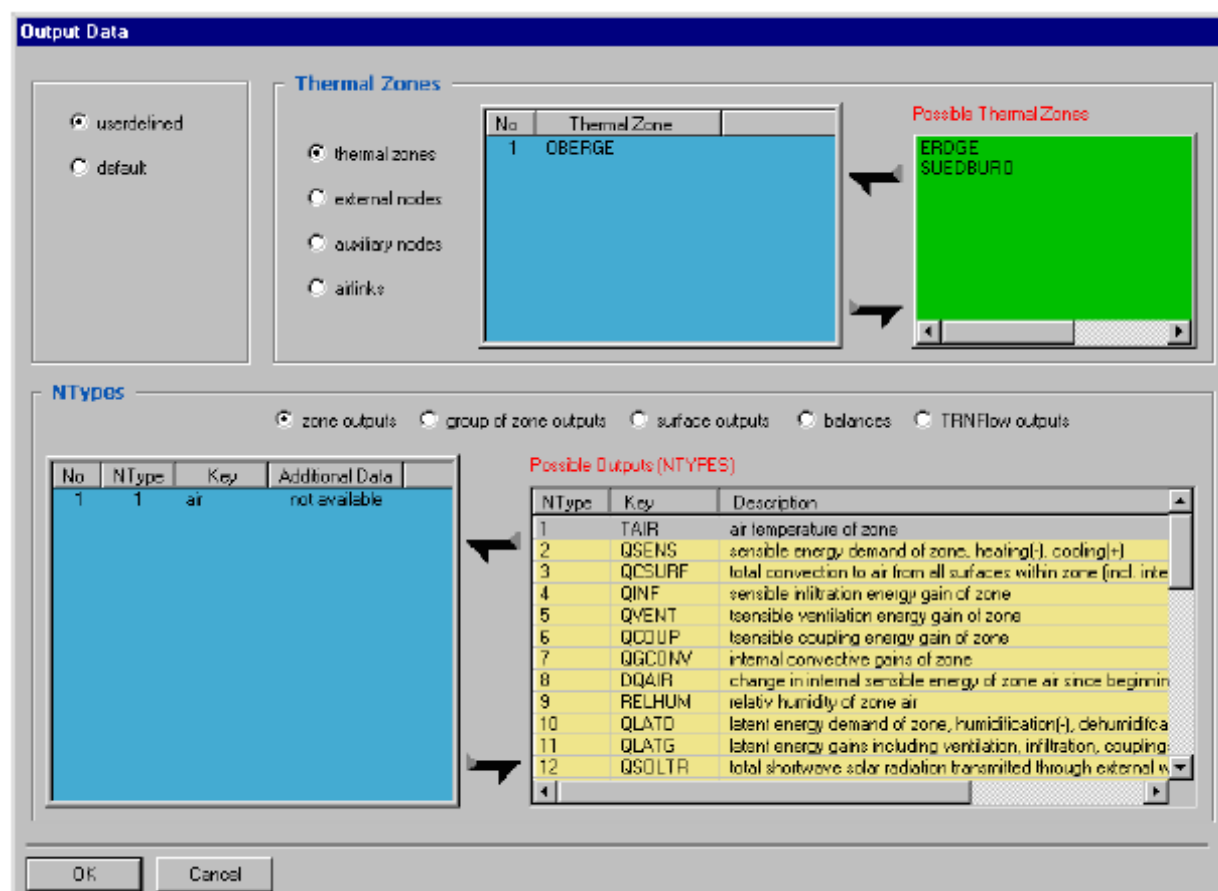
1) Ιδιότητες του κτιρίου. Οι ιδιότητες περιλαμβάνουν τις τιμές σταθερών όπως αυτή του Stephan Boltzmann, την πυκνότητα του αέρα καθώς και τιμές συντελεστών για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας. Οι συντελεστές είναι της μορφής $\alpha_{\text{const}}(T_{\text{surf}} - T_{\text{air}}) \exp$ και στην καρτέλα αυτή καθορίζονται οι συντελεστές

2) Οι επιτρεπτοί προσανατολισμοί για τους τοίχους και τα παράθυρα. Μπορούν να επιλεγθούν συνήθεις προσανατολισμοί που ήδη υπάρχουν ή να καθορισθούν νέοι δίνοντας ένα όνομα για τον προσανατολισμό και ορίζοντας νέες εισόδους στο μοντέλο για τον καθορισμό της ακτινοβολίας στον προσανατολισμό αυτό.

3) Οι επιθυμητές έξοδοι του μοντέλου του κτιρίου και οι επιπλέον εισοδοι. Οι επιπλέον εισοδοι ορίζονται στην περίπτωση που επιθυμούμε τον καθορισμό της τιμής μιας μεταβλητής από άλλο μοντέλο που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση. Οι έξοδοι που μπορεί να έχει το μοντέλο του πολυζωνικού κτιρίου είναι πολλές και συγκεκριμένες και αφορούν κάθε ζώνη ξεχωριστά, ή ένα σύνολο ζωνών, κάθε επιφάνεια ξεχωριστά ή το σύνολο των επιφανειών και τέλος ενεργειακά ισοζύγια σε επιφάνειες ή ζώνες μεμονωμένα ή στο σύνολό τους. [TRNSYS 16]

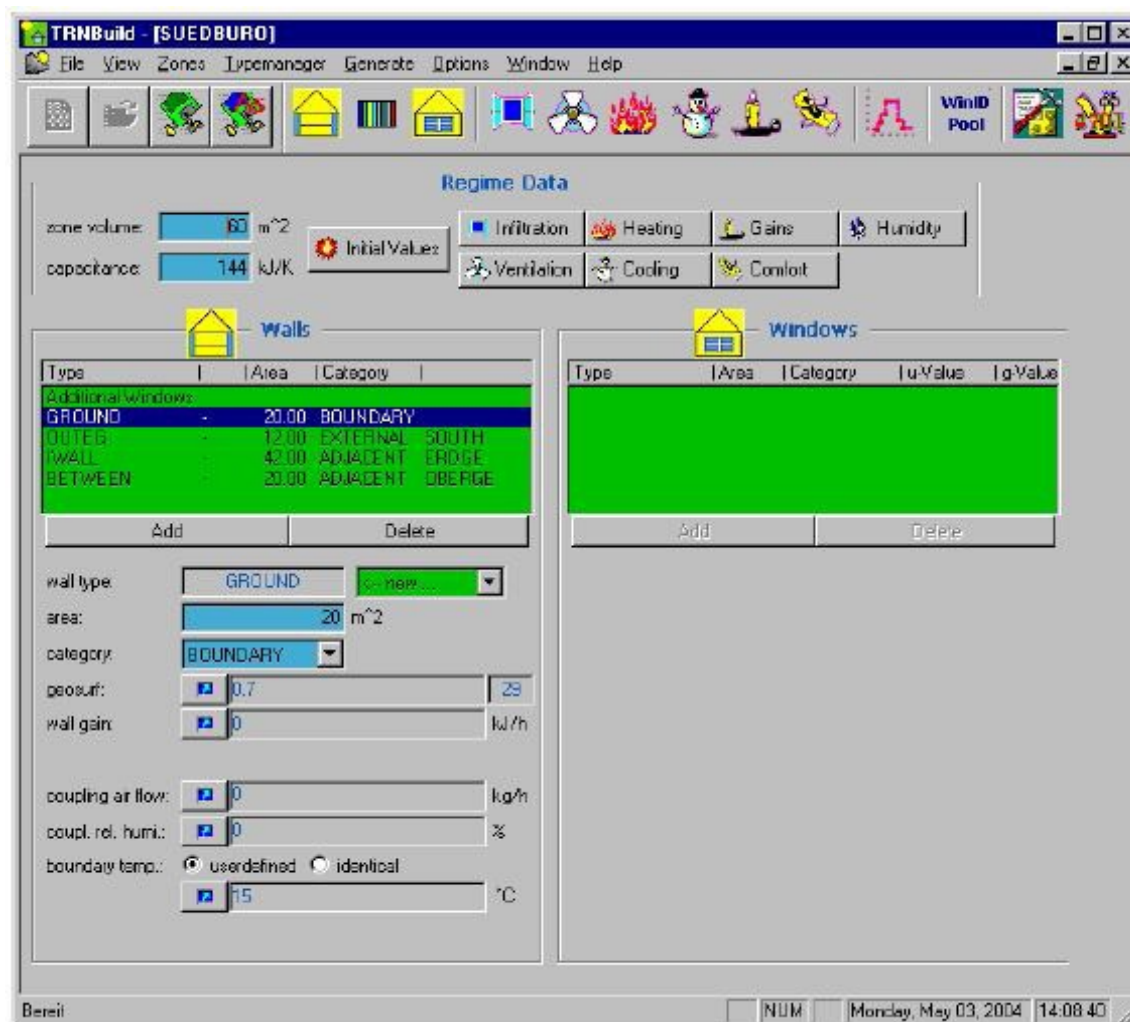


Εικόνα 4.15 : Το παράθυρο “Project” στο πρόγραμμα TRNBuild [TRNSYS 16]



Εικόνα 4.16 : Παράθυρο επιλογής εξόδων του TRNBuild [TRNSYS 16]

Επιλέγοντας μια θερμική ζώνη ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης.



Εικόνα 4.17 : Το παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης[TRNSYS 16]

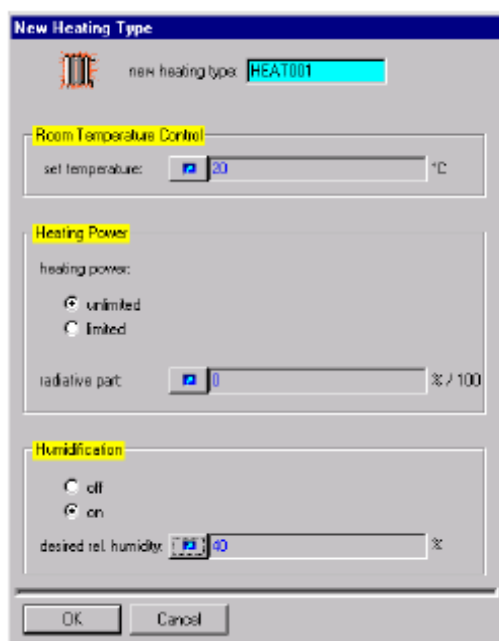
Από το παράθυρο αυτό καθορίζονται:

ι. Τα δεδομένα των τοίχων. Τα δεδομένα για τους τοίχους εισάγονται στο αριστερό μέρος του παραθύρου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Συγκεκριμένα καθορίζονται οι διαστάσεις, η κατηγορία (παρακείμενος σε άλλη ζώνη, εξωτερικός ή με οριακές συνθήκες), ο προσανατολισμός των τοίχων και το είδος (υλικά) του τοίχου. Εκτός από τα παραπάνω πρέπει να οριστούν ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό, ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας (geosurf) και τυχόν επιπρόσθετα φορτία του τοίχου. Το είδος του τοίχου μπορεί να επιλεγεί από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS ή να περιγραφεί από τον χρήστη μέσω του διαχειριστή τοίχων στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου. Οι βιβλιοθήκες που παρέχει το TRNSYS περιλαμβάνουν: α) Την βασική βιβλιοθήκη, η οποία περιλαμβάνει συνηθισμένους τοίχους και οροφές, β) την γερμανική βιβλιοθήκη με τοίχους κατασκευασμένους σύμφωνα με το γερμανικό VDI 2078, γ) την αμερικάνικη

βιβλιοθήκη η οποία περιλαμβάνει 144 τοίχους κατασκευασμένους στα πρότυπα της ASHRAE.

ii. Τα δεδομένα των παραθύρων. Τα παράθυρα μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικούς τοίχους και σε τοίχους παρακείμενους σε άλλες ζώνες. Τα δεδομένα εισάγονται στο δεξιό μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης, απ' όπου καθορίζονται η θέση, οι διαστάσεις το είδος των παραθύρων και ο μηχανισμός σκίασης. Επίσης, καθορίζεται ο συντελεστής θέασης του παραθύρου από τον ουρανό, τυχόν επιπρόσθετα φορτία και τέλος ο προσανατολισμός στην περίπτωση παρακείμενων σε άλλη ζώνη τοίχων ο οποίος μπορεί να είναι ο προσανατολισμός της πρόσθιας ή της οπίσθιας επιφάνειας του τοίχου. Το είδος του παραθύρου επιλέγεται από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS η καθορίζεται εκ νέου από τον χρήστη. Οι παρεχόμενες βιβλιοθήκες είναι: α) η γερμανική, η οποία περιλαμβάνει 14 συνηθισμένα παράθυρα κατασκευασμένα με τις Γερμανικές προδιαγραφές, καθώς και παράθυρα με στοιχεία που πάρθηκαν από τις εταιρίες Pilkington, Saint Gobain, Interpane, και Luxguard β) η Αμερικάνική, η οποία περιλαμβάνει παράθυρα με προδιαγραφές της ASHRAE. Και οι δύο βιβλιοθήκες έχουν δημιουργηθεί με χρήση του προγράμματος WINDOWS 4.1 που αναπτύχθηκε από το Lawrence Berkeley Laboratory.

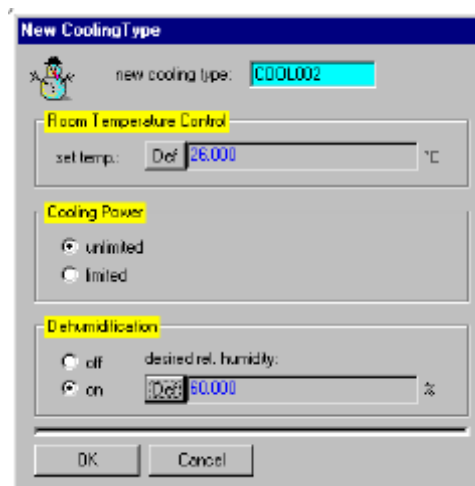
iii. Η μέθοδος θέρμανσης κάθε ζώνης. Η ενεργειακή απαίτηση μιας ζώνης σε θέρμανση εξαρτάται από την στρατηγική που θα επιλεγεί για τη θέρμανση της ζώνης η οποία καθορίζεται από τη μέθοδο που θα επιλέξει ο χρήστης. Αν ο εξοπλισμός θέρμανσης μοντελοποιείται εξωτερικά του μοντέλου 56 τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία αυτή, αλλά να ορισθούν ως είσοδοι στο μοντέλο 56 η θερμοκρασία, η υγρασία και οι εναλλαγές του αέρα που υπολογίζονται από το μοντέλο του εξοπλισμού ή εναλλακτικά να ορισθούν ως κέρδη της ζώνης η θερμότητα δια συναγωγής και ακτινοβολίας που παρέχεται από τον εξοπλισμό. Με τη μέθοδο θέρμανσης υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια στην περίπτωση ιδανικής λειτουργίας του εξοπλισμού. Η επιλογή της μεθόδου θέρμανσης γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "Heating" στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που εμφανίζεται είτε επιλέγεται μια ήδη υπάρχουσα μέθοδο είτε δημιουργείται νέα επιλέγοντας "New". Στη δεύτερη περίπτωση ο χρήστης εισάγει την επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου κάτω από την οποία λειτουργεί η θέρμανση στη ζώνη, τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση μαζί με το ποσοστό αυτής που δίδεται με ακτινοβολία και τέλος αν επιθυμείται υγραποίηση του αέρα στη ζώνη. Στην περίπτωση που επιλεγεί η υγραποίηση του αέρα πρέπει να οριστεί η επιθυμητή σχετική υγρασία στη ζώνη. [TRNSYS 16]



Εικόνα 4.18 : Παράθυρο καθορισμού νέας μεθόδου θέρμανσης της ζώνης [TRNSYS 16]

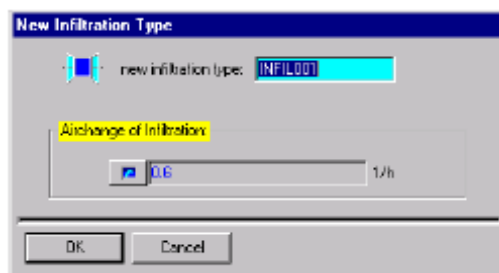
Συνήθως στην πραγματικότητα η θέρμανση δεν λειτουργεί ασταμάτητα. Για να είναι η προσομοίωση πιο κοντά στην πραγματικότητα πρέπει να ορισθεί ένα πρόγραμμα λειτουργίας. Αυτό ορίζεται έμμεσα θέτοντας χρονοδιάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας της ζώνης σε κάθε χρονική στιγμή. Ο τρόπος εισαγωγής χρονοδιαγραμμάτων αναλύεται παρακάτω.

iv. Η μέθοδος ψύξης της ζώνης. Αντίστοιχα με την μέθοδο θέρμανσης δίνεται η επιλογή εισαγωγής μεθόδου ψύξης της ζώνης. Όμοια, εισάγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Cooling” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης και αφορά την ιδανική λειτουργία του εξοπλισμού. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μία προϋπάρχουσα μέθοδος ψύξης ή καθορίζεται νέα. Σε κάθε μέθοδο καθορίζεται η θερμοκρασία της ζώνης πάνω από την οποία λειτουργεί ο εξοπλισμός για την ψύξη του χώρου, η μέγιστη παρεχόμενη ισχύς για ψύξη και επιλέγεται αν γίνεται ή όχι αφύγρανση του αέρα καθώς και η επιθυμητή σχετική υγρασία του χώρου στην περίπτωση που έχουμε αφύγρανση. Ο ορισμός χρονοδιαγράμματος λειτουργίας της συσκευής ψύξης καθορίζεται και πάλι έμμεσα μέσω χρονοδιαγράμματος για την επιθυμητή θερμοκρασία στη ζώνη. [TRNSYS 16]



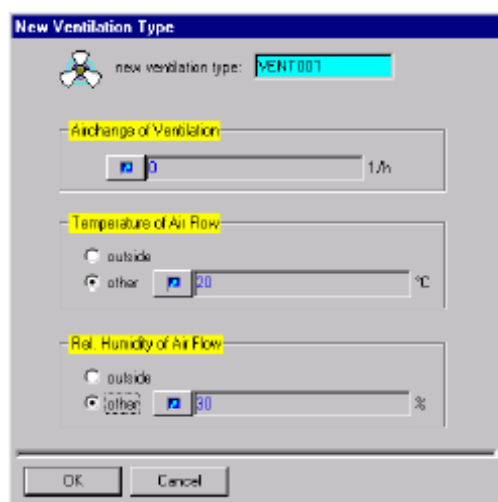
Εικόνα 4.19 : Παράθυρο καθορισμού νέας μεθόδου ψύξης. [TRNSYS 16]

ν. Η διείσδυση του αέρα. Καθορίζεται το αν θα συνυπολογιστεί για τη συγκεκριμένη ζώνη το φορτίο από τη διείσδυση του αέρα. Επιλέγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Infiltration” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή δημιουργείται νέα. Για τον καθορισμό της μεθόδου απαιτείται ο ρυθμός εναλλαγών αέρα. Ο αέρας εισέρχεται με την θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.



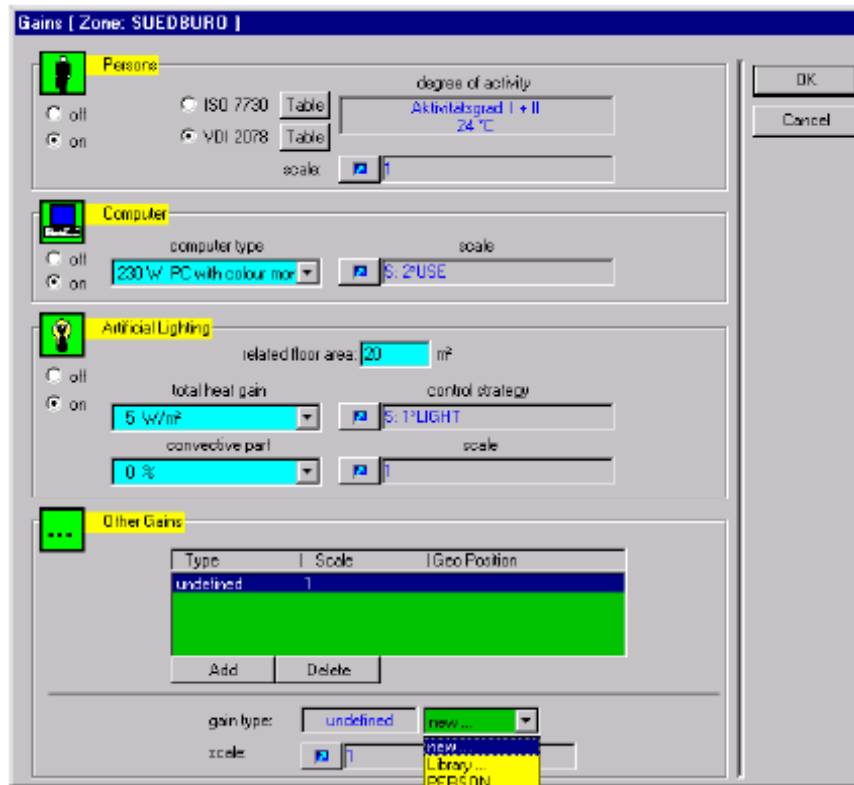
Εικόνα 4.20 : Παράθυρο διείσδυσης αέρα[TRNSYS 16]

vi. Η μέθοδος αερισμός κάθε ζώνης. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να καθορισθεί η εισροή αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό). Ο ορισμός μεθόδου αερισμού είναι προαιρετικός και πραγματοποιείται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Ventilation” στο άνω μέρος του παραθύρου. Μπορεί να επιλεγεί μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή να οριστεί μία καινούρια. Για τον ορισμό μιας μεθόδου αερισμού εισάγεται ο ρυθμός εναλλαγής αέρα, καθώς και η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του εισερχόμενου αέρα. Μπορεί αντί της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας να οριστεί ότι ο αέρας εισέρχεται με τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος.



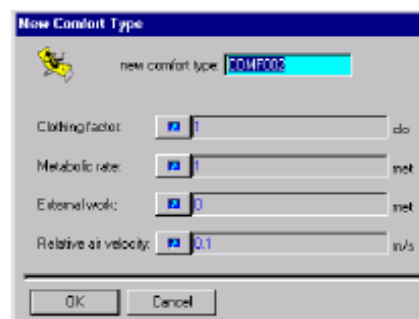
Εικόνα 4.21 : Παράθυρο ορισμού μεθόδου αερισμού της ζώνης[TRNSYS 16]

vii. Τα εσωτερικά φορτία κάθε ζώνης. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη. Ο ορισμός των φορτίων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Gains” στο άνω μέρος του παραθύρου. Το παράθυρο που εμφανίζεται είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να διευκολύνεται η εισαγωγή των φορτίων ανθρώπων υπολογιστών και φωτισμού. Για το φορτίο των ανθρώπων δίνεται πίνακας για την εργασία που εκτελούν τα άτομα στο χώρο με βάση τις προδιαγραφές ISO 7730 ή VDI 2078. Για τους υπολογιστές καθορίζεται από λίστα η ισχύς τους και το αν έχουν ή όχι έγχρωμη οθόνη. Τέλος για τον τεχνητό φωτισμό επιλέγεται από λίστα η εγκατεστημένη ισχύς σε watt/m² και το είδος του λαμπτήρα μαζί με το μέρος της ισχύς που μεταδίδεται στον αέρα μέσω συναγωγής. Το πεδίο “scale” αναφέρεται στον αριθμό ατόμων ή υπολογιστών ενώ στην περίπτωση του φωτισμού λαμβάνει τιμές 0 ή 1 ορίζοντας έτσι το πότε ανάβει και σβήνει ο φωτισμός. Εναλλακτικά για τον φωτισμό μπορεί να οριστεί στρατηγική έλεγχου από το αντίστοιχο πεδίο “control strategy”. Τα υπόλοιπα εσωτερικά κέρδη της ζώνης καθορίζονται στο κάτω μέρος του παραθύρου κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Add”. Ο ορισμός ενός κέρδους απαιτεί την εισαγωγή της ισχύος που μεταδίδεται στη ζώνη μέσω συναγωγής, ακτινοβολίας και της απόλυτης υγρασίας που παράγεται. [TRNSYS 16]



Εικόνα 4.22 : Παράθυρο ορισμού εσωτερικών φορτίων της ζώνης [TRNSYS 16]

viii. Επιλογή συνυπολογισμού της θερμικής άνεσης σε μία ζώνη. Η θερμική άνεση είναι προαιρετική και ορίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Comfort” στο άνω μέρος του παραθύρου. Στο παράθυρο που ανοίγει απαιτείται εισαγωγή του συντελεστή ένδυσης ανάλογα με την ένδυση των ατόμων στο χώρο, του μεταβολικού ρυθμού ανάλογα με την δραστηριότητα των ατόμων στο χώρο, του εξωτερικού έργου, το οποίο συνήθως είναι περίπου μηδέν, και της σχετικής ταχύτητας του αέρα με τα άτομα στο χώρο. Το μοντέλο βασίζεται στις προδιαγραφές ISO 7730 και παρακάτω δίνονται πίνακες για τις τιμές του συντελεστή ένδυσης για συνηθισμένους τύπους ένδυσης και για τον μεταβολικό ρυθμό για συνηθισμένες εργασίες.



Εικόνα 4.23 : Παράθυρο ορισμού παραμέτρων για τον συνυπολογισμό της θερμικής άνεσης στη ζώνη. [TRNSYS 16]

Clothing ensemble	Clothing factor [clo]
Nude	0
Shorts	0,1
Light summer clothing (long light-weight-trousers, open neck shirt with short sleeves)	0,5
Light working ensemble (Athletic shorts, woolen socks, cotton work shirt, work trousers)	0,6
Typical business suit	1,0
Typical business suit + Cotton coat	1,5
Light outdoor sportswear (Cotton shirt, trousers, T-shirt, shorts, socks, shoes, single ply poplin jacket)	0,9
Heavy traditional European business suit	1,5

Πίνακας 4.1 : Συντελεστής ένδυσης για συνήθεις τύπους ένδυσης[TRNSYS 16]

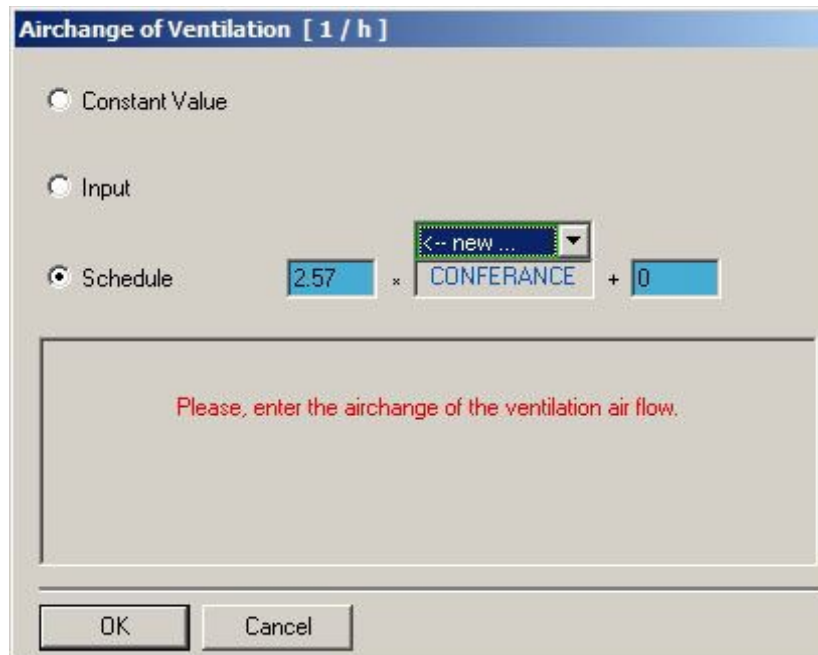
Degree of Activity	Metabolic rate [met] (acc. to EN ISO 7730)
Seated, relaxed	1,0
Seated, light work (office, home, school, laboratory)	1,2
Standing, light work (Shopping, laboratory, light factory work)	1,6
Standing, moderate work (Sale activity, housework, operating of a machine)	2,0
Walking, 2 km/h	1,9
Walking, 3 km/h	2,4
Walking, 4 km/h	2,8
Walking, 5 km/h	3,4

Πίνακας 4.2: Μεταβολικός ρυθμός για συνήθεις δραστηριότητες[TRNSYS 16]

Κατά τον ορισμό μίας από τις παραπάνω μεθόδους, ο καθορισμός της τιμής μιας μεταβλητής (εκτός αυτών που επιλέγονται από λίστες ή πίνακες που παρέχει το TRNSYS) μπορεί να γίνει είτε δίνοντας μία σταθερή τιμή στη μεταβλητή, είτε ορίζοντας

να διαβάζεται η τιμή από μία είσοδο στο μοντέλο 56, είτε τέλος ορίζοντας ένα χρονοδιάγραμμα για τις τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή σε διάφορες χρονικές περιόδους. Στην περίπτωση χρήσης χρονοδιαγράμματος η τιμή καθορίζεται υπό την ακόλουθη μορφή: $x = a \cdot \text{schedule} + b$, όπου x η τιμή της μεταβλητής, schedule το χρονοδιάγραμμα που χρησιμοποιείται και a , b συντελεστές που ορίζονται από τον χρήστη για τον καθορισμό της τιμής.

[TRNSYS 16]

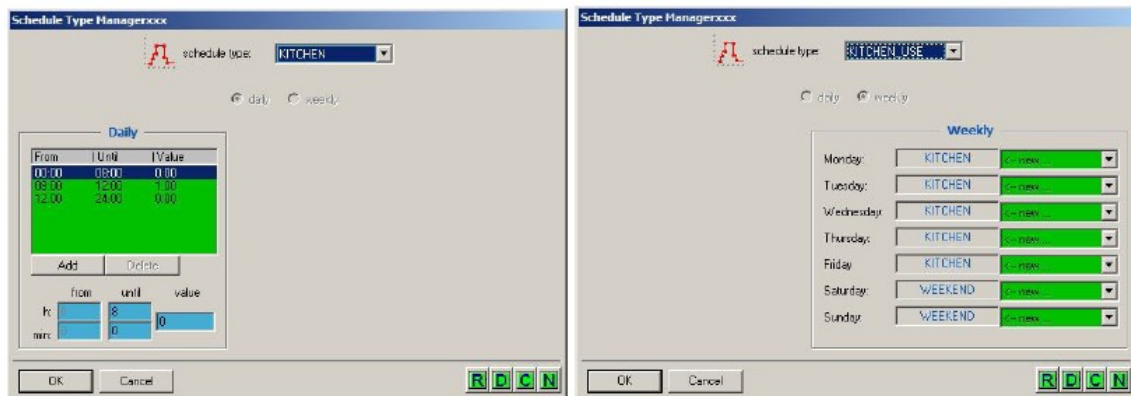


Εικόνα 4.24 : Παράδειγμα ορισμού του ρυθμού εναλλαγής αέρα σε μία ζώνη με χρήση χρονοδιαγράμματος.

4.4.3.3 ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ TRNBuild

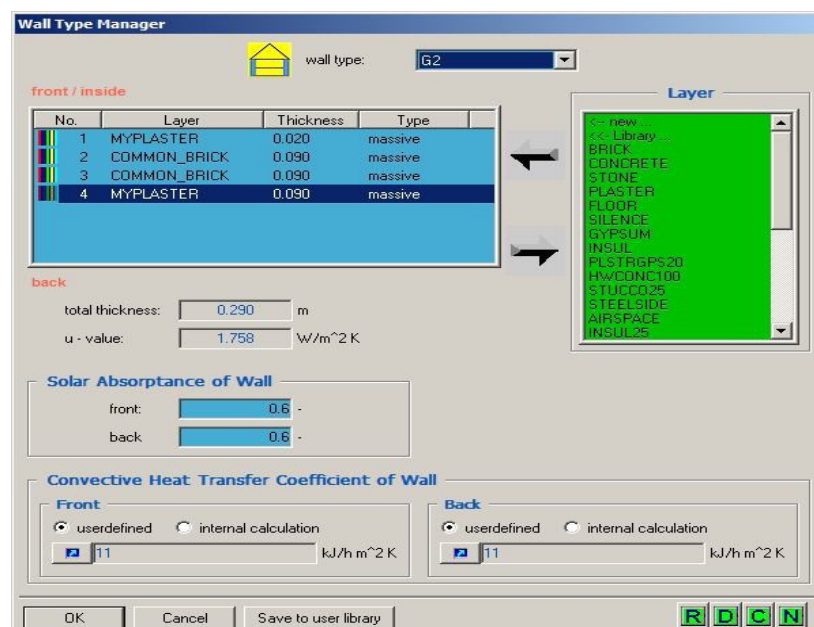
Στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου του προγράμματος TRNBuild υπάρχουν τα εικονίδια των διαχειριστών διαφόρων τύπων. Αυτοί είναι οι διαχειριστές α) θέρμανσης, β) ψύξης, γ) αερισμού, δ) διείσδυσης αέρα, ε) εσωτερικών φορτίων στ) θερμικής άνεσης, ζ) τοίχων, η) παραθύρων, θ) στρώσεων υλικών των τοίχων, ι) χρονοδιαγραμμάτων. Από τους διαχειριστές αυτούς οι έξι πρώτοι χρησιμεύουν στην διαχείριση και στην επεξεργασία των μεθόδων των αντίστοιχων διεργασιών που έχουν εισαχθεί σε κάθε ζώνη. Μέσω των υπόλοιπων διαχειριστών δίδονται οι ακόλουθες επιλογές:

ι. Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των συσκευών θέρμανσης και ψύξης και χρονοδιάγραμμα έναρξης και λήξης της ισχύος των διαφόρων φορτίων. Μπορούν να ορισθούν ημερήσια και εβδομαδιαία προγράμματα. Στα ημερήσια επιλέγονται τα χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια της ημέρα όπου λαμβάνεται η τιμή 1 ή 0. Στα εβδομαδιαία επιλέγονται τα ημερήσια προγράμματα που χρησιμοποιούνται κάθε μέρα στην περίοδο μιας βδομάδας. Στο κάτω μέρος του παραθύρου του διαχειριστή υπάρχουν τα εικονίδια R,D,C,N τα οποία χρησιμεύουν αντίστοιχα στην μετονομασία, διαγραφή, αντιγραφή και τη δημιουργία νέου χρονοδιαγράμματος.



Εικόνα 4.25 : Καθορισμός α) ημερήσιου και β) εβδομαδιαίου χρονοδιαγράμματος

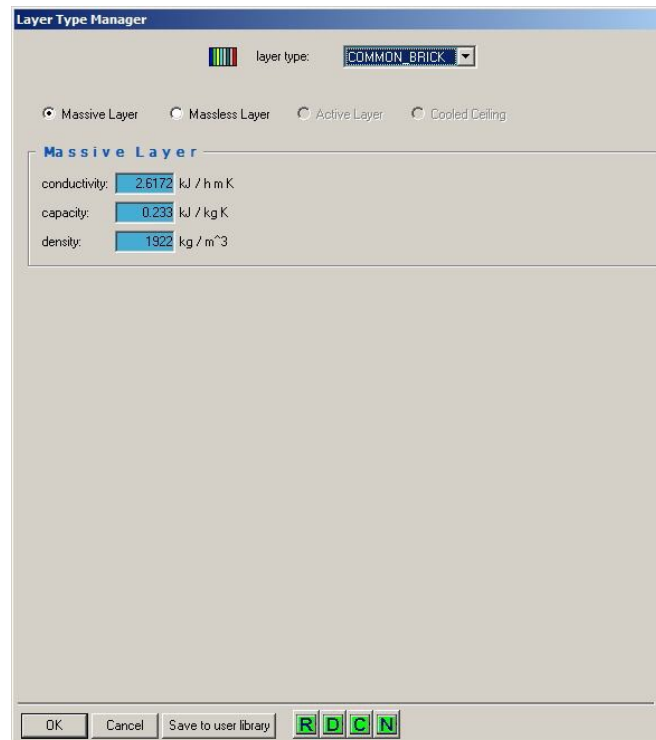
ii. Δημιουργία νέων τοίχων. Επιλέγοντας το διαχειριστή τοίχων (wall type manager) ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορεί να γίνει επεξεργασία ενός τοίχου ή να οριστεί ένας νέος. Αυτό γίνεται επιλέγοντας τις στρώσεις των υλικών που αποτελεί τον τοίχο, με το πάχος κάθε στρώσης, ορίζοντας τους συντελεστές απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου και τέλος δίνοντας τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου. Ο συντελεστής αυτός μπορεί να υπολογιστεί αν επιλεγεί από το πρόγραμμα. Στο παράθυρο φαίνεται το συνολικό πάχος του τοίχου και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας που προκύπτει από την επιλογή των στρώσεων των υλικών και τα πάχη τους. Οι στρώσεις των υλικών εισάγονται από βιβλιοθήκη ή καθορίζονται νέες από τον χρήστη. Τέλος, υπάρχουν και πάλι τα εικονίδια R,D,C,N που αντιστοιχούν στις ίδιες ενέργειες με πριν.



Εικόνα 4.26 : Παράθυρο του διαχειριστή τοίχων

iii. Επεξεργασία και εισαγωγή νέων στρώσεων υλικών για τους τοίχους. Η ενέργειες αυτές γίνονται μέσω του διαχειριστή στρώσεων υλικών (Layer Type Manager). Στο

παράθυρο του διαχειριστή επιλέγεται ένα υλικό και καθορίζεται η αγωγιμότητα του υλικού ($\text{kJ/h}\cdot\text{m}\cdot\text{K}$), η θερμοχωρητικότητα ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$) και η πυκνότητα (kg/m^3). Η δημιουργία νέας στρώσης, η μετονομασία, η αντιγραφή και η διαγραφή γίνονται και πάλι μέσω των εικονιδίων R,D,C,N.



Εικόνα 4.27 : Παράθυρο διαχειριστή υλικών των τοίχων

iv. Επεξεργασία και δημιουργία νέων παραθύρων. Μέσω του διαχειριστή παραθύρων δίνεται επιλογή του συνδυασμού ήδη υπαρχόντων υαλοπινάκων με ήδη υπάρχοντα πλαίσια, καθώς επίσης και ορισμός επιπλέον θερμικής αντίστασης από εσωτερικά ή εξωτερικά σκίαστρα. Οι υαλοπίνακες ορίζονται με την αρίθμηση που έχουν λάβει από την βιβλιοθήκη του "windows4.1" και συνεπώς το όνομα (ID number) του υαλοπίνακα που επιθυμούμε να εισάγουμε πρέπει να υπάρχει στη βιβλιοθήκη. Επιπλέον, πρέπει να οριστεί για τον υαλοπίνακα ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής και για τις δύο επιφάνειες του υαλοπίνακα ενώ η τιμή των συντελεστών u και g διαβάζονται από την βιβλιοθήκη. Επίσης από το παράθυρο ορίζεται το πλαίσιο του υαλοπίνακα από την παρεχόμενη λίστα καθώς και το ποσοστό της επιφάνειας του παραθύρου που καταλαμβάνει, ο συντελεστής ανάκλασης και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας u .

Σημείωση: Η τιμή του συντελεστή u πρέπει να εισαχθεί χωρίς να συνυπολογίζονται οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής της εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας.

Window Type Manager

window type: **DOUBLE**

Glazing

ID number: WinID

slope of window: degree

For 1 glazing module width: m height: m

u - value: W/m² K Entered values are used for display only

g - value: %/100

ID spacer:

Convective Heat Transfer Coefficient of Window

Front (inside)

☒ userdefined ☐ internal calculation

kJ/h m² K

Back (outside)

☒ userdefined ☐ internal calculation

kJ/h m² K

Optional Properties of Shading Devices

Additional Heat Resistance

internal device: h m² K/kJ

external device: h m² K/kJ

Reflection Coefficient of Internal Device

towards window: % / 100

towards zone: % / 100

Fraction of abs. Solar Radiation to Zone Air Node (CCISHADE)

% / 100

Frame

area frame/window: % / 100

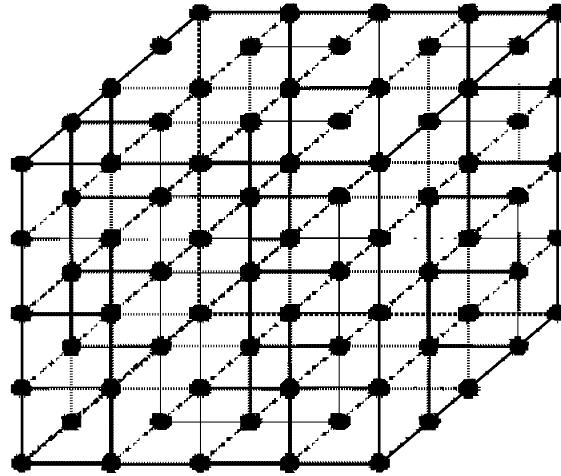
solar absorptance:

u - value (1/R): kJ/h m² K

Εικόνα 4.28 : Παράθυρο του διαχειριστή παραθύρων

4.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΥΑΦ ΜΕ ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ TRNSYS

Η προσομοίωση των υλικών ΥΑΦ έγινε με την χρήση του αριθμητικού μοντέλου Type 204. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί ένα τρισδιάστατο δίκτυο 729 σημείων προκειμένου να προσομοιώσει το υλικό ΥΑΦ με 9 κόμβους σε κάθε κατεύθυνση και επιλύει τις εξισώσεις μεταφοράς θερμότητας για τις διάφορες καταστάσεις του ΥΑΦ (στερεό-υγρό ή συνδυασμός). Σε κάθε κόμβο μπορούμε να έχουμε διαφορετικό υλικό και με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει προσομοίωση και σύνθετων κατασκευών που δεν περιέχουν μόνο ΥΑΦ αλλά και άλλα στοιχεία όπως το μπετόν (Concrete with microencapsulated paraffin) ή ο γύψος (Επικονίαμα - Plaster with microencapsulated paraffin). Επιπλέον η κατά όγκο αναλογία του ΥΑΦ στον κάθε κόμβο μπορεί να οριστεί εύκολα. Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή (conduction), μεταφορά (convection) και ακτινοβολία (radiation) μεταξύ των κόμβων λαμβάνεται υπόψη στις εξισώσεις μεταφοράς θερμότητας.



Σχήμα 4.2: Διάταξη κόμβων στο χώρο στο μοντέλο ΥΑΦ Type 204[Λημναίος,2010]

Η μεταβολή της θερμοκρασίας σε κάθε κόμβο υπολογίζεται με βάση τη ισοδύναμη θερμική χωρητικότητα $C_{pe}(T)$. Η συνάρτηση που περιγράφει αυτή τη μεταβολή μπορεί να υπολογιστεί πειραματικά (Διάγραμμα 4.2) και μπορεί να προσεγγιστεί από μια συνάρτηση τετραγωνικού παλμού με μικρή περιοχή supercooling 1°C (Διάγραμμα). Η υπόθεση αυτή έχει ασθενή μόνο επιρροή στη μεταφορά θερμότητας όπως αποδείχθηκε από τους Alisetti και Roy.

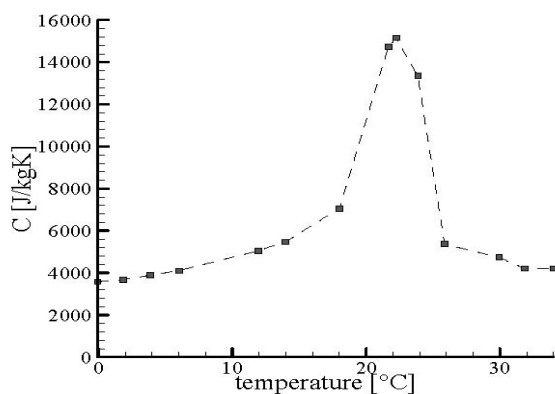
Αν υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία ρευστοποίησης του ΥΑΦ είναι το διάστημα $[T_1, T_2]$ και L είναι η λανθάνουσα θερμότητα του υλικού, η ισοδύναμη θερμική χωρητικότητα δίνεται από τον τύπο:

$$C_{pe} = \frac{L}{T_2 - T_1} + \frac{C_{pS} + C_{pL}}{2}$$

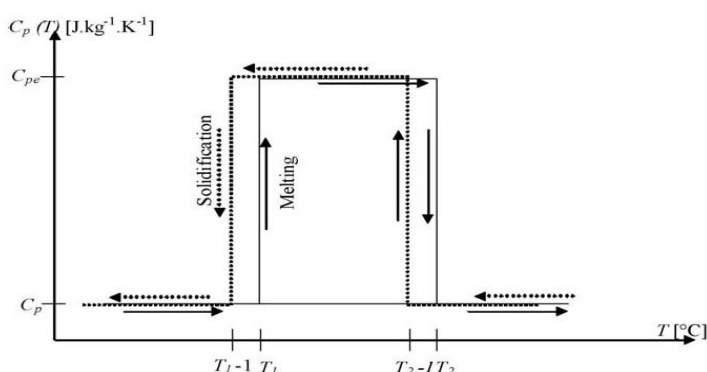
Η μεταβολή της ειδικής θερμικής χωρητικότητας με τη θερμοκρασία περιγράφεται από τις σχέσεις:

$$C_p(T) = \begin{cases} \mu C_{pS}, & T < T_1 \\ 0 & \\ \nu C_{pe}, & T_1 \leq T < T_2 \\ 0 & \\ \xi C_{pL}, & T \geq T_2 \end{cases} \text{ αν η θερμοκρασία αυξάνεται και}$$

$$C_p(T) = \begin{cases} \mu C_{pS}, & T < (T_1 - 1) \\ 0 & \\ \nu C_{pe}, & (T_1 - 1) \leq T < (T_2 - 1) \\ 0 & \\ \xi C_{pL}, & T \geq (T_2 - 1) \end{cases} \text{ αν η θερμοκρασία μειώνεται.}$$



Διάγραμμα 4.2: Πειραματική καμπύλη μεταβολής θερμικής χωρητικότητας υλικού ΥΑΦ ως συνάρτηση της θερμοκρασίας. [Λημναίος,2010]



Διάγραμμα 4.3: Καμπύλη μεταβολής θερμικής χωρητικότητας υλικού ΥΑΦ ως συνάρτηση της θερμοκρασίας στο μοντέλο Type 204. [Λημναίος,2010]

Οι εξισώσεις μεταφοράς της θερμότητας επιλύονται με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών (έμμεση μέθοδος Crank-Nicholson) με την οποία υπολογίζεται η θερμοκρασία σε κάθε κόμβο.

Η ενσωμάτωση του μοντέλου στο TRNSYS έγινε μέσω ενός τοίχου με οριακές συνθήκες (Boundary wall). Το μοντέλο δέχεται ως εισόδους τη θερμοκρασία εσωτερικού χώρου και την ροή θερμότητας προς τον τοίχο (ηλιακά κέρδη και εσωτερικά κέρδη) και μετά τους υπολογισμούς επιστρέφει στο μοντέλο πολυζωνικού κτιρίου (Type 56) την θερμοκρασία στην επιφάνεια του τοίχου. Το μοντέλο του ΥΑΦ δίνει τη δυνατότητα εύκολου καθορισμού των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το συγκεκριμένο ΥΑΦ όπως το εύρος θερμοκρασιών ρευστοποίησης, το εύρος του supercooling, τη θερμική αγωγιμότητα, την ειδική θερμική χωρητικότητα αλλά και την αναλογία του υλικού ΥΑΦ (στην περίπτωση σύνθετων υλικών).

Όπως αναφέρεται το μοντέλο έχει πιστοποιηθεί ως προς την ακρίβεια των αποτελεσμάτων του με πειραματικά δεδομένα για ένα διάστημα 20 μηνών και συνεπώς τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αναμένεται να είναι ρεαλιστικά.

Σε ότι αφορά το υλικό ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε, γυψοσανίδα που παρέχει μικροσυσκευασμένη παραφίνη, της ίδιας εταιρείας, με την επωνυμία Micronal PCM Smartboard. Η γυψοσανίδα έχει συγκεκριμένες διαστάσεις (2m x 1,25m x 15mm) και περιέχει 3Kg/m² Micronal (26% κατ. Βάρους) έχοντας θερμική χωρητικότητα 330KJ/m². Το εύρος θερμοκρασιών τήξης είναι 23-26 °C.[Λημναίος,2010]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΑΦ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι συνθήκες θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων μπορούν να επιτευχθούν είτε εφαρμόζοντας στρατηγικές παθητικής ψύξης και θέρμανσης, είτε μέσω της χρήσης ειδικού εξοπλισμού (Air-conditioning, ανεμιστήρες, κεντρική θέρμανση, ενδοδαπέδια θέρμανση κτλ). Η επίτευξη και διατήρηση των συνθηκών αυτών (21-26°C) απαιτεί τη χρήση ενέργειας η οποία προέρχεται κυρίως από την καύση συμβατικών καυσίμων (καυστήρες) ή μέσω της χρήσης ηλεκτρικού ρεύματος και αποτελεί μια διαδικασία που απαιτείται σε καθημερινή βάση. Τα δυο κυριότερα αποτελέσματα της διαδικασίας κάλυψης των απαιτήσεων θερμικής άνεσης στα κτίρια με συμβατικά συστήματα είναι η επιβάρυνση τόσο των ενεργειακών αναγκών της χώρας όσο και του περιβάλλοντος μέσω των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου από τους καυστήρες .

Από τα στοιχεία που παρατίθενται παραπάνω προκύπτει ότι οι περισσότεροι ερευνητές έχουν επικεντρωθεί στη χρήση των ΥΑΦ στα δομικά στοιχεία κτιρίων και στη μελέτη της επίδρασής τους στην επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης με συστήματα παθητικής για την ψύξη και τη θέρμανση των κτιρίων. Σε ότι αφορά τη θέρμανση, τα ΥΑΦ χρησιμοποιούνται ως «δεξαμενή» αποθήκευσης της θερμότητας της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τις μεσημεριανές κυρίως ώρες, εκπέμποντας την ενέργεια αυτή κατά τη διάρκεια των απογευματινών και βραδινών ωρών ώστε να επιτυγχάνεται η διατήρηση συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου.

Για την ψύξη, τα ΥΑΦ απορροφούν τη θερμότητα που εισέρχεται διαμέσου του κελύφους στο εσωτερικό του κτιρίου, αποθηκεύοντάς τη. Η αποθηκευμένη αυτή θερμότητα απομακρύνεται στο περιβάλλον (μέσω αερισμού) τις νυχτερινές ώρες οπότε η θερμοκρασία είναι αισθητά χαμηλότερη. Η μέθοδος παθητικού κλιματισμού μειώνει τις απαιτήσεις ενέργειας οδηγεί στη μείωση της πίεσης που ασκείται στο δίκτυο παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνει αισθητά την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και συμβάλει στην εξοικονόμηση χρημάτων από τους χρήστες.

Παρά το γεγονός ότι τα παθητικής λογικής συστήματα αναμένεται να είναι αποδοτικά για τις κλιματικές συνθήκες της χώρας μας αλλά και σε άλλες θερμές μεσογειακές χώρες, δε λειτουργούν αποτελεσματικά σε ότι αφορά τη ψύξη. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται διότι οι υψηλές εσωτερικές θερμοκρασίες που προκύπτουν από τα μεγάλα ηλιακά κέρδη αλλά και από τη φυσική ροή του θερμού αέρα κατά τη διάρκεια της μέρας και δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά χωρίς υψηλής απόδοσης νυχτερινό αερισμό. Ειδικότερα, το γεγονός ότι η θερμοκρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας δε μειώνεται επαρκώς ώστε να επιτρέψει στη διαδικασία εξαναγκασμένης μεταφοράς θερμότητας να λειτουργήσει βέλτιστα μειώνοντας την εσωτερική θερμοκρασία και αποφορτίζοντας το ΥΑΦ. Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες περιβάλλοντος (λόγω κλιματικής αλλαγής) που είναι πολύ συχνές στις χώρες αυτές, δημιουργούν ακόμα μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις κατά τις ώρες αιχμής για την παροχή της απαιτούμενης ψύξης με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης που ασκείται στο δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας προκαλώντας συχνά “black-out”.

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο να διερευνήσει τη χρήση ΥΑΦ, ενσωματωμένα στα δομικά στοιχεία (τοίχοι, οροφή, δάπεδο) κτιρίων, για τη βελτίωση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς, δηλαδή την επίτευξη μείωσης των απαιτούμενων φορτίων ψύξης και θέρμανσης. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν κάποια λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων. Κατά τις προσομοιώσεις τα στοιχεία ΥΑΦ θα εφαρμοστούν τόσο σε νέα κτίρια με επαρκή θερμική μάζα και μόνωση, όσο και σε παλαιότερα κτίρια τα οποία δεν διαθέτουν μόνωση. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι κατά τη διενέργεια προσομοιώσεων θα χρησιμοποιηθεί ενεργός κλιματισμός (θέρμανση-ψύξη) και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν ως ΥΑΦ θα είναι υλικά που είναι εμπορικά διαθέσιμα. Τέλος, θα διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής ΥΑΦ για τα κλιματολογικά δεδομένα τεσσάρων πόλεων αντιπροσωπευτικών των τεσσάρων κλιματικών ζωνών που χωρίζεται η Ελλάδα βάσει του νόμου Ν. 3661/08. Συγκεκριμένα, βάσει του προαναφερθέντος νόμου η Ελλάδα χωρίζεται ως εξής:

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	NOMOI
ΖΩΝΗ Α	Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθί, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη
ΖΩΝΗ Β	Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Αιτωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Αττική, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδία, Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Πιερία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σέρρες, Καβάλα, Δράμα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα

Πίνακας 5.1: Νομοί της Ελλάδος ανά κλιματική ζώνη[N.3661/08]

5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω προκειμένου να εξετάσουμε τα πλεονεκτήματα ενσωμάτωσης ΥΑΦ σε δομικά στοιχεία κτιρίων, χρησιμοποιήθηκαν το υπολογιστικό πακέτο TRNSYS καθώς επίσης και το λογισμικό PCMexpress.

Συγκεκριμένα για το TRNSYS δημιουργήθηκε ένα μοντέλο κτιρίου με τη χρήση του πολυζωνικού κτιρίου Type 56. Αυτό αποτελείται από τρεις ζώνες με πανομοιότυπα χαρακτηριστικά όσον αφορά τη δομή, τον προσανατολισμό και τη λειτουργία. Η βασική ιδέα ήταν η μία ζώνη να χρησιμοποιηθεί για την ενσωμάτωση των υλικών ΥΑΦ ενώ οι άλλες δύο θα χρησιμεύσουν ως ζώνες αναφοράς προκειμένου να αξιολογηθούν τα οφέλη ενσωμάτωσης απλής μόνωσης και μόνωσής με ΥΑΦ στην μείωση των απαιτούμενων ψυκτικών και θερμικών φορτίων.

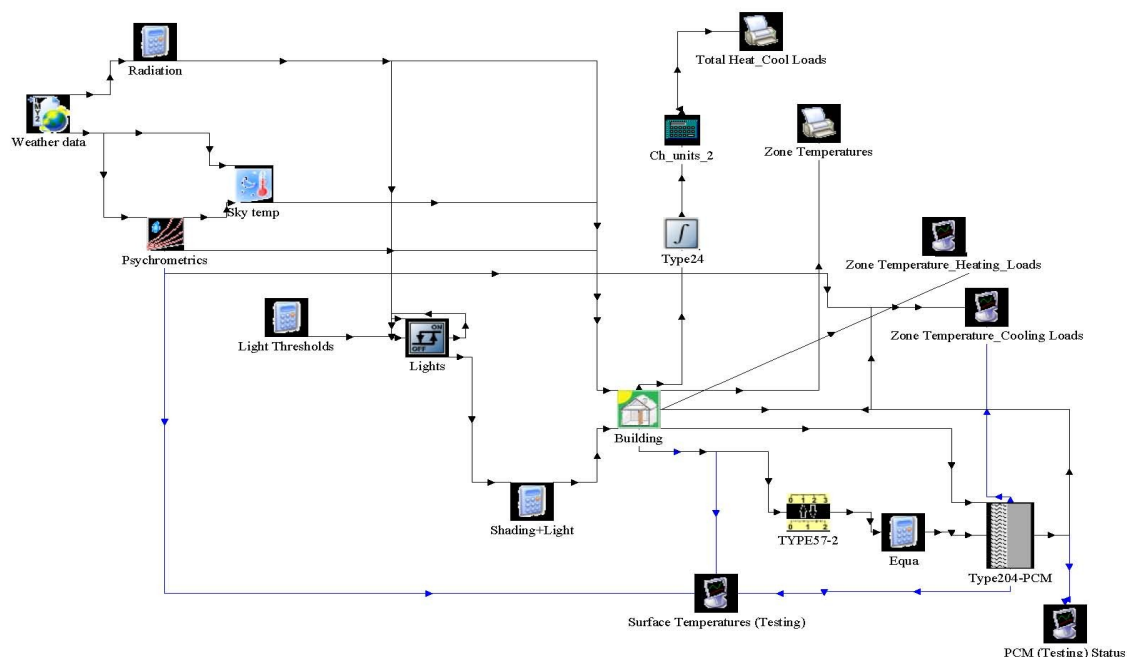
Οι προσομοιώσεις έγιναν με τις τρεις ζώνες να χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα για τη θέρμανση και την ψύξη. Η θερμοκρασία των ζωνών διατηρείται πάντα στο διάστημα από 20 °C (κάτω από την οποία ενεργοποιείται το σύστημα θέρμανσης) και 26 °C (πάνω από την οποία ενεργοποιείται το σύστημα ψύξης). Αυτό το εύρος θερμοκρασιών θεωρείται επαρκές για να εξασφαλίσει συνθήκες θερμικής άνεσης στους χρήστες των τριών ζωνών. Επίσης τα κλιματολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις ήταν:

Α' Ζώνη: Χανιά, **Β' Ζώνη:** Αθήνα, **Γ' Ζώνη:** Θεσσαλονίκη, **Δ' Ζώνη:** Καστοριά

Είναι φανερό ότι το φορτίο (ψυκτικό ή θερμικό) που απαιτείται για τις τρεις ζώνες εξαρτάται κυρίως από τους ακόλουθους παράγοντες:

- (1) Από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τις μεταβολές της.
- (2) Από την άμεση και έμμεση ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από τη δομή του κτιρίου.
- (3) Από τα συνολικά εσωτερικά φορτία της κάθε ζώνης από τους χρήστες και τις διάφορες συσκευές.

Με δεδομένο ότι οι παραπάνω παράγοντες είναι κοινοί για τις τρεις ζώνες, εκτός από την προσθήκη των ΥΑΦ και μόνωσης σε μια από αυτές, η όποια διαφορά στα απαιτούμενα θερμικά φορτία μπορεί να θεωρηθεί μόνο αποτέλεσμα της εφαρμογής μόνωσης και ενσωμάτωσης των ΥΑΦ.



Σχήμα 5.1 : Μοντέλο των τριών ζωνών με ενσωματωμένο το μοντέλο ΥΑΦ Type 204.

Αντίστοιχα για το λογισμικό PCM express δημιουργήθηκε ένα μοντέλο κτιρίου το οποίο αποτελείται από δύο ζώνες με πανομοιότυπα χαρακτηριστικά όσον αφορά τη δομή, τον προσανατολισμό και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά. Τα συμπεράσματα για τα οφέλη της ενσωμάτωσης ΥΑΦ για την επίτευξη θερμικής άνεσης και μείωσης της απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη και θέρμανση, προκύπτουν μέσω σύγκρισης της

ζώνης με τα ενσωματωμένα ΥΑΦ στα δομικά στοιχεία του κτιρίου με τη ζώνη αναφοράς.

Οι προσομοιώσεις έγιναν με τις δύο ζώνες να χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα για τη θέρμανση και την ψύξη. Η θερμοκρασία των ζωνών διατηρείται πάντα στο διάστημα από 21 °C (κάτω από την οποία ενεργοποιείται το σύστημα θέρμανσης) και 26 °C (πάνω από την οποία ενεργοποιείται το σύστημα ψύξης). Επίσης τα κλιματολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις ήταν: **Α' Ζώνη:** Χανιά , **Β' Ζώνη:** Αθήνα , **Γ' Ζώνη:** Θεσσαλονίκη. Στη περίπτωση του λογισμικού PCM express δεν ήταν δυνατή η προσομοίωση της **Δ' ζώνης** καθώς στην ενσωματωμένη βάση ωριαίων δεδομένων ακτινοβολίας και θερμοκρασίας για τις πόλεις της Ελλάδας δεν εμπεριέχεται καμία από τις αντιπροσωπευτικές πόλεις της συγκεκριμένης κλιματικής ζώνης.

Ομοίως με την περίπτωση του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS οι απαιτήσεις ενέργειας (για ψύξη ή θέρμανση) για τις δύο ζώνες εξαρτώνται κυρίως από τους ακόλουθους παράγοντες:

- (1) Από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τις μεταβολές της.
- (2) Από την άμεση και έμμεση ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από την δομή του κτιρίου.
- (3) Από τα συνολικά κέρδη (gains) που παράγονται στο εσωτερικό της κάθε ζώνης από τους χρήστες και τις διάφορες συσκευές.

Με δεδομένο ότι οι παραπάνω παράγοντες είναι κοινοί για τις δύο ζώνες, εκτός από την προσθήκη των ΥΑΦ σε μια από αυτές, η διαφορά στον αριθμό των ωρών που το κτίριο βρίσκεται σε συνθήκες θερμικής άνεσης και στις απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη και θέρμανση μπορεί να θεωρηθεί μόνο αποτέλεσμα της εφαρμογής των ΥΑΦ.

5.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

5.3.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PCM EXPRESS

Το λογισμικό PCM express όπως έχει αναφερθεί και στην περιγραφή του παραπάνω βασίζεται στις απαιτήσεις της οδηγίας VDI 2067, η οποία σχετίζεται με την οικονομική, ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση των κτιρίων στη Γερμανία. Στη παρούσα διπλωματική έγινε μια προσπάθεια το υπό μελέτη κτίριο να προσεγγίζει τα ελληνικά πρότυπα κτιρίων ώστε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων να αντικατοπτρίζουν , στο βαθμό του εφικτού, την πραγματικότητα.

Τα βασικά στοιχεία που θεωρήθηκαν για την προσομοίωση στο PCM express είναι:

- Ο χώρος του κτιρίου είναι ενιαίος.
- Οι διαστάσεις του κτιρίου είναι 6m x 10m και ο όγκος του 180m³.
- Τα εσωτερικά φορτία του κτιρίου καθορίζονται ως 20 W/m².
- Ο αερισμός στις ζώνες γίνεται τεχνητά με ρυθμό 5 εναλλαγές αέρα/h ενώ υπάρχει η δυνατότητα και φυσικού αερισμού.
- Ο αερισμός λειτουργεί την περίοδο ψύξης πλήρως (100% της εγκατεστημένης ισχύος), ενώ μειώνεται στο μισό την περίοδο θέρμανσης (50% της εγκατεστημένης ισχύος).⁴

⁴ Λόγω των μικρών δυνατοτήτων που παρέχει στο χρήστη στο λογισμικό, δεν ήταν εφικτή η πλήρης απενεργοποίηση του συστήματος αερισμού κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης.

- Οι υαλοπίνακες του κτιρίου καλύπτουν επιφάνεια $3,6\text{m}^2$ του νότιου τοίχου, $1,6\text{m}^2$ του ανατολικού τοίχου και 3m^2 του δυτικού τοίχου. Όλοι οι υαλοπίνακες είναι διπλοί με συντελεστή $u=1,2\text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$ και $g\text{-value}=62\%$.
- Η θέρμανση, σε ολόκληρο το χώρο λειτουργεί όταν η θερμοκρασία της ζώνης είναι κάτω από 21°C , κατά την διάρκεια ολόκληρης της ημέρας. Η αποδιδόμενη ισχύς έχει τεθεί 50 W/m^2 , η οποία θεωρήθηκε επαρκής για να καλύπτει τις απαιτήσεις θέρμανσης.
- Η ψύξη, σε όλους τους χώρους, λειτουργεί όταν η θερμοκρασία της ζώνης φτάσει τους 26°C , κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας. Η μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς του συστήματος ψύξης είναι 400kW , θεωρώντας την επαρκή ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις κάθε ζώνης.
- Η περίοδος θέρμανσης θεωρείται από την $1^\text{η}$ Οκτωβρίου μέχρι την $30^\text{η}$ Απριλίου ενώ η περίοδος ψύξης από την $1^\text{η}$ Μαΐου έως την $30^\text{η}$ Σεπτεμβρίου.
- Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν της περιόδου 2007-2008.
- Τα κατασκευαστικά στοιχεία του κτιρίου παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Δομικό στοιχείο κατασκευής	Ζώνη 1 (συμβατικό κτίριο)	Ζώνη 2 (κτίριο με ΥΑΦ)
Τοίχοι	Εξωτερικός σοβάς: $2,5\text{ cm}$	Εξωτερικός σοβάς: $2,5\text{ cm}$
	Δρομικό τούβλο: 10cm	Δρομικό τούβλο: 10cm
	Μόνωση (διογκωμένη πολυστερίνη) : 10 cm	Μόνωση (διογκωμένη πολυστερίνη) : 10 cm
	Δρομικό τούβλο: 10cm	Δρομικό τούβλο: 10cm
	Εσωτερικός σοβάς: $2,5\text{cm}$	Γυψοσανίδα με ΥΑΦ (smartboard 23) που καλύπτει: $1,5\text{ cm}$
Οροφή	Εξωτερική επικάλυψη τσιμέντου: $2,5\text{cm}$	Εξωτερική επικάλυψη τσιμέντου : $2,5\text{cm}$
	Μόνωση (διογκωμένη πολυστερίνη) : 10cm	Μόνωση (διογκωμένη πολυστερίνη) : 10cm
	Οπλισμένο σκυρόδεμα: 24 cm	Οπλισμένο σκυρόδεμα: 24 cm
	Εσωτερικός σοβάς: $2,5\text{cm}$	Γυψοσανίδα με ΥΑΦ (smartboard) που καλύπτει: $1,5\text{ cm}$
Δάπεδο (στο έδαφος)	Κεραμικό πλακάκι: 7mm	Κεραμικό πλακάκι: 5mm
	Οπλισμένο σκυρόδεμα: 25 cm	ΥΑΦ στο δάπεδο: $1,5\text{cm}$
		Οπλισμένο σκυρόδεμα: 25 cm

Πίνακας 5.2: Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των ζωνών (σύμφωνα με τα Ελληνικά πρότυπα).

5.3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ TRNSYS

Το κτίριο που μελετάται στη παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια τυπική μικρού μεγέθους κατοικία στην οποία διαμένουν δύο άτομα. Το ένα εκ των δύο αυτών ατόμων βρίσκεται καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας στο κτίριο, ενώ το άλλο άτομο απουσιάζει από τις 7:00π.μ. – 3:00μ.μ. ώρες που είναι και οι συνηθέστερες για πρωινή εργασία.

Βασικά στοιχεία που θεωρήθηκαν για την προσομοίωση στο TRNSYS:

- όλος ο χώρος του κτιρίου είναι ενιαίος.
- Οι διαστάσεις του κτιρίου είναι 6m x 10m και ο όγκος του 180m³.
- Στο χώρο λειτουργεί καθημερινά από τις 12μ.μ. - 2μ.μ. ηλεκτρική κουζίνα ισχύος 250W.
- Στο χώρο λειτουργεί καθημερινά από τις 8μ.μ. - 10μ.μ. ένας υπολογιστή ισχύος 230 W με έγχρωμη οθόνη .
- Σε όλους τους χώρους υπάρχει φωτισμός ισχύος 5 W/m² εκ των οποίων το 20% μεταδίδεται στο χώρο μέσω συναγωγής. Ο φωτισμός λειτουργεί καθημερινά από τις 6μ.μ. – 10 μ.μ., ενώ κατά το βράδυ το κτίριο δεν φωτίζεται.
- Οι υαλοπίνακες του ορόφου καλύπτουν επιφάνεια 3,6m² του νότιου τοίχου, 1,6m² του ανατολικού τοίχου και 3m² του δυτικού τοίχου. Όλοι οι υαλοπίνακες είναι διπλοί με συντελεστή $u=1,4 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$.
- Ομοίως με παραπάνω η περίοδος θέρμανσης θεωρείται από την 1^η Οκτωβρίου μέχρι την 30^η Απριλίου ενώ η περίοδος ψύξης από την 1^η Ιουνίου έως την 30^η Σεπτεμβρίου.
- Η λειτουργία του αερισμού, της ψύξης και της θέρμανσης είναι παρόμοια για όλες τις ζώνες και ισχύουν τα ακόλουθα:
- Η θέρμανση, σε ολόκληρο το χώρο λειτουργεί όταν η θερμοκρασία της ζώνης είναι κάτω από 20 °C, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η αποδιδόμενη ισχύς έχει τεθεί απεριόριστη έτσι ώστε να καλύπτονται πάντα οι απαιτήσεις κάθε ζώνης.
- Η ψύξη, σε όλους τους χώρους, λειτουργεί όταν η θερμοκρασία της ζώνης φτάσει τους 26 °C, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η αποδιδόμενη ισχύς έχει τεθεί απεριόριστη έτσι ώστε να καλύπτονται πάντα οι απαιτήσεις κάθε ζώνης.
- Ο αερισμός στις ζώνες λειτουργεί, μόνο την χρονική περίοδο ψύξης, κατά τη διάρκεια της νύχτας 0 π.μ. – 6 π.μ. με ρυθμό 5 εναλλαγές αέρα/h.
- Τα κατασκευαστικά στοιχεία του κτιρίου παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Δομικό στοιχείο κατασκευής	Ζώνη 1 (συμβατικό κτίριο)	Ζώνη 2 (κτίριο με ΥΑΦ)	Ζώνη 3 (παλαιάς κατασκευής κτίρια)
Τοίχοι	Εξωτερικός σοβάς:2,5 cm	Εξωτερικός σοβάς:2,5 cm	Εξωτερικός σοβάς:1,5 cm
	Δρομικό τούβλο:10cm	Δρομικό τούβλο:10cm	Δρομικό τούβλο:10cm
	Μόνωση:10 cm	Μόνωση:10 cm	Κενό αέρος:5cm
	Δρομικό τούβλο:10cm	Δρομικό τούβλο:10cm	Δρομικό τούβλο:10cm
	Εσωτερικός σοβάς:2,5cm	Γυψοσανίδα με ΥΑΦ (smartboard) που καλύπτει:3 cm	Εσωτερικός σοβάς:1,5cm
Οροφή	Εξωτερική επικάλυψη:2,5cm	Εξωτερική επικάλυψη:2,5cm	Εξωτερική επικάλυψη:1,5cm
	Μόνωση:10cm	Μόνωση:10cm	Μόνωση:5cm
	Οπλισμένο σκυρόδεμα: 24 cm	Οπλισμένο σκυρόδεμα: 24 cm	Οπλισμένο σκυρόδεμα: 24 cm
	Εσωτερικός σοβάς:2,5cm	Γυψοσανίδα με ΥΑΦ (smartboard) που καλύπτει:3 cm	Εσωτερικός σοβάς:1,5cm
Δάπεδο (στο έδαφος)	Κεραμικό πλακάκι:5mm	Κεραμικό πλακάκι:5mm	Πλακάκι:2mm
	Τσιμεντοκονία:5mm	Τσιμεντοκονία:5mm	Τσιμεντοκονία:5mm
	Οπλισμένο σκυρόδεμα: 24 cm	ΥΑΦ στο δάπεδο:3cm	Οπλισμένο σκυρόδεμα: 24 cm
		Οπλισμένο σκυρόδεμα: 24 cm	

Πίνακας 5.3 : Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των ζωνών (σύμφωνα με τα Ελληνικά πρότυπα)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (PCM EXPRESS)

6.1 ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PCM EXPRESS

Στη σημερινή εποχή τα κτίρια κατασκευάζονται με βάση έναν σύγχρονο κανονισμό δόμησης με συγκεκριμένες προδιαγραφές σε ότι αφορά τη μόνωση και τη θερμική μάζα. Η βελτίωση της απόδοσής τους, εξετάζεται αν μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια ΥΑΦ.

Οι θερμικές ζώνες του μοντέλου θα προσομοιώσουν σύγχρονης κατασκευής απλά κτίρια. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των κτιρίων φαίνονται στη περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου [παράγραφος 5.3.1]. Τα κτίρια (ζώνη 1, ζώνη 2) είναι σχεδόν ίδια, με μοναδικές διαφοροποιήσεις στη ζώνη 2, την αντικατάσταση του εσωτερικού σοβά με γυψοσανίδα ΥΑΦ (πάχος: 1.5cm) και την ύπαρξη πρόσθετου στρώματος ΥΑΦ (πάχος: 1,5 cm) στο δάπεδο.

Οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν, όπως προαναφέραμε για τα μετεωρολογικά δεδομένα μιας αντιπροσωπευτικής πόλης από κάθε κλιματική ζώνη της Ελλάδας (εκτός της Δ' κλιματικής ζώνης για λόγους που προαναφέρονται στην παράγραφο 5.2), αποτύπωσαν:

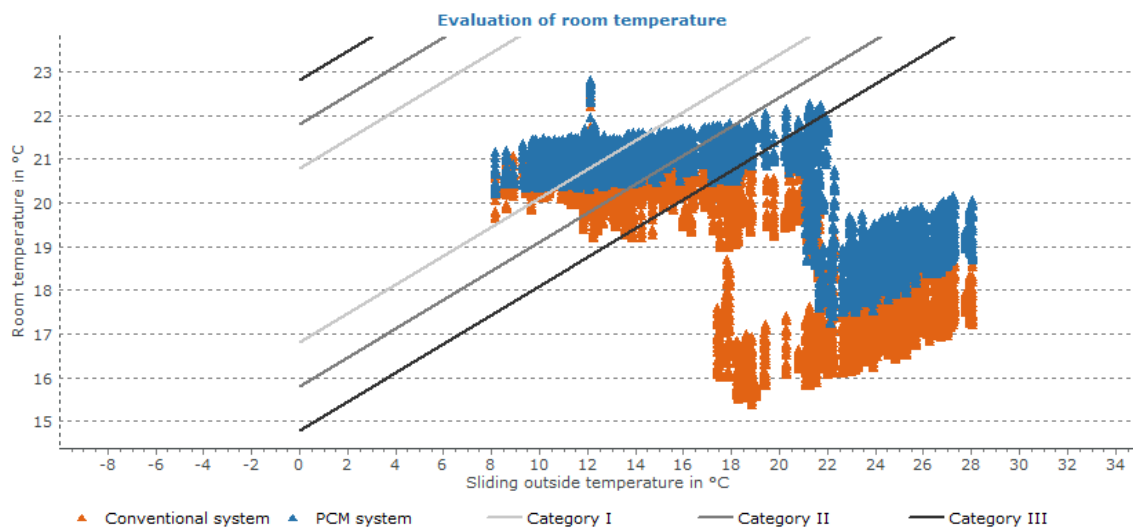
- Την αξιολόγηση της εσωτερικής θερμοκρασίας σε σχέση με την εξωτερική.
- Την κατανομή συχνότητας εμφάνισης της τιμής θερμοκρασίας για το κάθε σύστημα.
- Την ενεργειακή συμπεριφορά των δύο ζωνών για χρονικό διάστημα ενός έτους.
- Την αξιολόγηση της οικονομικής αποδοτικότητας.

6.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ Α (ΧΑΝΙΑ)

Στη παράγραφο αυτή, γίνεται προσδιορισμός της ενεργειακής και θερμικής συμπεριφοράς του απλού κτιρίου το οποίο έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 5.3.1 για τα κλιματολογικά δεδομένα της Σούδας, καθώς επίσης και της οικονομικής αποδοτικότητας τους συστήματος ΥΑΦ που εφαρμόστηκε. Τα αποτελέσματα προκύπτουν μέσω των ενσωματωμένων αλγορίθμων του προγράμματος και παρουσιάζονται υπό μορφή διαγραμμάτων.

6.1.2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΖΩΝΩΝ

Η διακύμανση των θερμοκρασιών του εσωτερικού αέρα των δύο ζωνών (μπλε για το κτίριο με ΥΑΦ και πορτοκαλί για το συμβατικό κτίριο) σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος φαίνεται στο Διάγραμμα 6.1. Το εύρος θερμοκρασιακής διακύμανσης της ζώνης με ΥΑΦ είναι 17-23°C (6°C) για τις θερμοκρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος (8-28°C), ενώ το αντίστοιχο εύρος της συμβατικής ζώνης είναι 15-22,5°C (7,5 °C). Γίνεται εύκολα αντιληπτό το γεγονός ότι με την ενσωμάτωση ΥΑΦ επιτυγχάνεται μείωση κατά 1,5°C του εύρους διακύμανσης θερμοκρασίας στο κτίριο για την περίπτωση των Χανίων. Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η χαμηλότερη θερμοκρασία που παρατηρείται στη ζώνη με ΥΑΦ είναι 17°C όταν η αντίστοιχη τιμή της συμβατικής ζώνης είναι 15°C, ενώ όσον αφορά τις υψηλότερες θερμοκρασίες προκύπτει ότι και οι δυο ζώνες βρίσκονται εντός των ορίων του εύρους συνθηκών θερμικής άνεσης (21-26 °C).



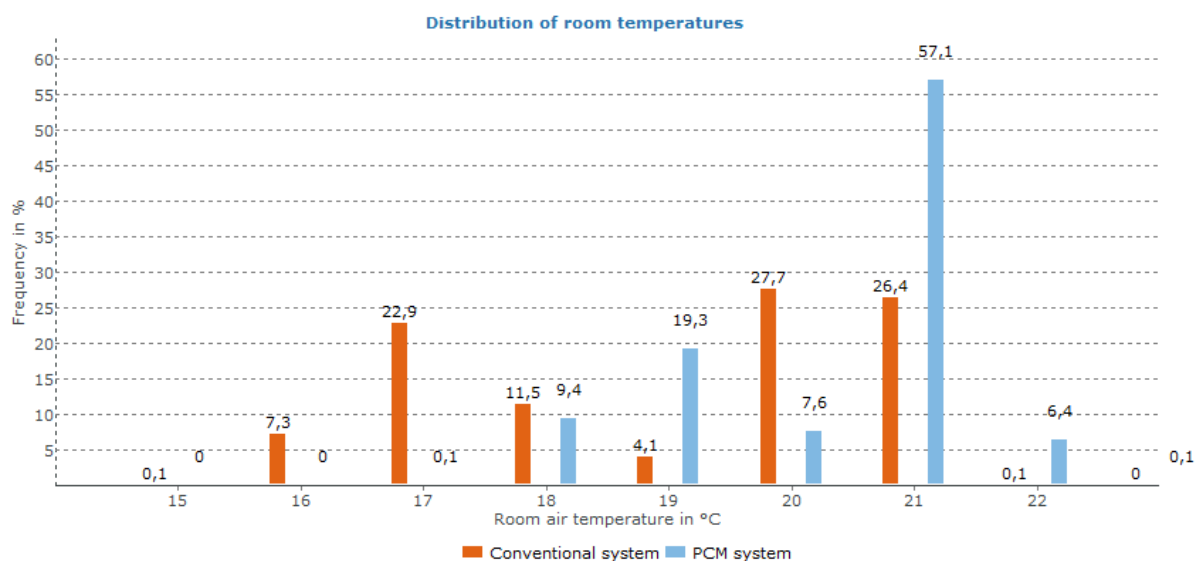
Διάγραμμα 6.1: Διακύμανση εσωτερικής θερμοκρασίας της ζώνης με ΥΑΦ και της συμβατικής ζώνης σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία (Χανιά).

Η ζώνη στην οποία έχουν ενσωματωθεί ΥΑΦ δύναται να βρίσκεται εντός του εύρους συνθηκών θερμικής άνεσης για τις περισσότερες από τις 8.760 h του έτους. Συγκεκριμένα, η συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης στις δύο ζώνες παρουσιάζεται σε ώρες εντός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C) στον πίνακα 6.1 και η κατανομή τιμών θερμοκρασίας για κάθε ζώνη στο διάγραμμα 6.2.

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ		
Ώρες εντός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C)	Συμβατικό κτίριο	2.321 h
	Κτίριο με ΥΑΦ	5.580 h
Ώρες εκτός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C)	Συμβατικό κτίριο	6.349 h
	Κτίριο με ΥΑΦ	3.180 h

Πίνακας 6.1: Συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης (21-26 °C) στις δύο ζώνες (Χανιά).

Αναλύοντας τα αποτελέσματα προκύπτει ότι το κτίριο με ΥΑΦ θα βρίσκεται σε συνθήκες θερμικής άνεσης 5.580 h, τιμή που αντιστοιχεί σε ποσοστό **63,7%** του συνολικού αριθμού των ωρών για το έτος μελετήθηκε. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το συμβατικό κτίριο δείχνουν ότι οι επιθυμητές συνθήκες επιτυγχάνονται για 2.321 h (3259 h λιγότερες από το κτίριο με ΥΑΦ), δηλαδή **26,5%** των ωρών του συγκεκριμένου έτους. Αξίζει επίσης να σημειωθεί το γεγονός ότι η συχνότερη τιμή της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα στο κτίριο με ΥΑΦ είναι η τιμή 21 °C που απαντιέται για τις 5.002 από τις 5.580 h που προβλέπονται ως ώρες θερμικής άνεσης. Η τιμή 21 °C στη περίπτωση του συμβατικού κτιρίου είναι η τιμή που επιτυγχάνεται για τις 2.312 h από τις ώρες του έτους που εκτιμάται ότι θα βρίσκονται εντός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C).



Διάγραμμα 6.2: Κατανομή τιμών θερμοκρασίας για κάθε ζώνη (Χανιά)

6.1.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΖΩΝΩΝ

Σε αυτό το σκέλος μελετάται η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σύγχρονου κτιρίου με τη ενσωμάτωση ΥΑΦ (πάχος: 1,5 cm). Επίσης, γίνεται αξιολόγηση της οικονομικής αποδοτικότητας της εφαρμογής ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο.

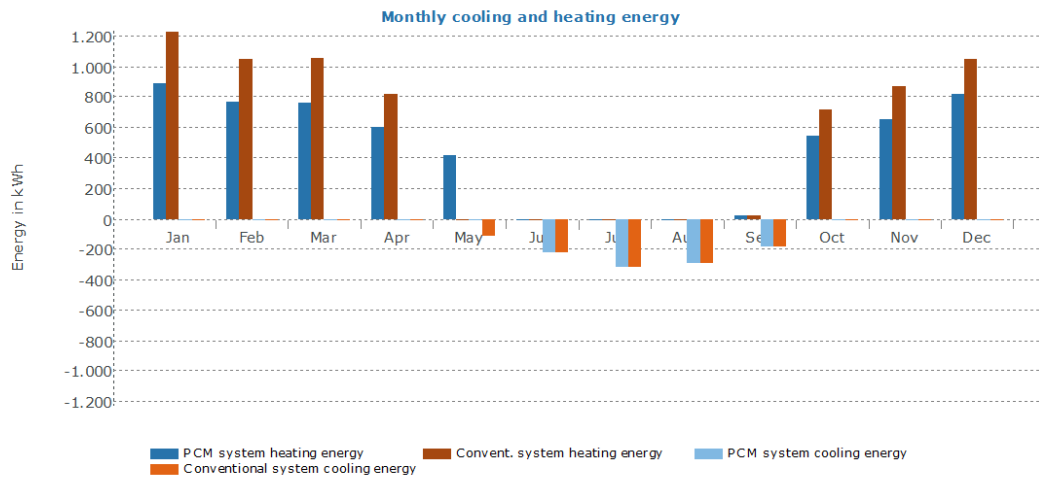
Η απόκριση των δύο ζωνών με ενεργοποιημένα τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης για το ίδιο διάστημα φαίνεται στο διάγραμμα 6.3 και τον πίνακα 6.2. Στο διάγραμμα μπορεί κανείς να δει τα μηνιαία απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία για τις δύο ζώνες, ενώ στον πίνακα παρουσιάζονται οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση για τις δύο ζώνες. Η προσομοίωση έδειξε ότι η αναμενόμενη μείωση στα ψυκτικά και θερμικά φορτία είναι **9,3 %** και **20%** αντίστοιχα.

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗ		
Συνολική ενέργεια για ΘΕΡΜΑΝΣΗ	Συμβατικό σύστημα	6.813 kWh
	Σύστημα με ΥΑΦ	5.486 kWh
	μεταβολή	20% (μείωση)
Συνολική ενέργεια για ΨΥΞΗ	Συμβατικό σύστημα	1.122 kWh
	Σύστημα με ΥΑΦ	1.018 kWh
	μεταβολή	9,3 % (μείωση)

Πίνακας 6.2: Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση των δύο ζωνών (Χανιά).

Αναλυτικά, οι ετήσιες απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ για θέρμανση είναι μειωμένες κατά 1.327 kWh (μείωση περίπου **20%**) σε σχέση με τα αντίστοιχα φορτία για το κτίριο χωρίς ΥΑΦ ενώ οι απαιτήσεις για ψύξη είναι μειωμένες κατά 104 kWh (μείωση **9.3 %**) σε σχέση με το κτίριο χωρίς ΥΑΦ. Στο κτίριο με ΥΑΦ ο μήνας οπότε προκύπτει η μέγιστη απαίτηση για θέρμανση (περίπου 900 kWh) είναι ο Ιανουάριος ενώ η μέγιστη

ενέργεια για ψύξη (περίπου 320 kWh) απαιτείται τον Ιούλιο. Στο συμβατικό κτίριο οι μήνες για τους οποίους προκύπτει η μέγιστη απαίτηση για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου είναι ο Ιανουάριος(περίπου 1.200 kWh) και ο Ιούλιος (περίπου 350 kWh) αντίστοιχα.



Διάγραμμα 6.3:Μηνιαίες απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη και θέρμανση στις δύο ζώνες. (Χανιά)

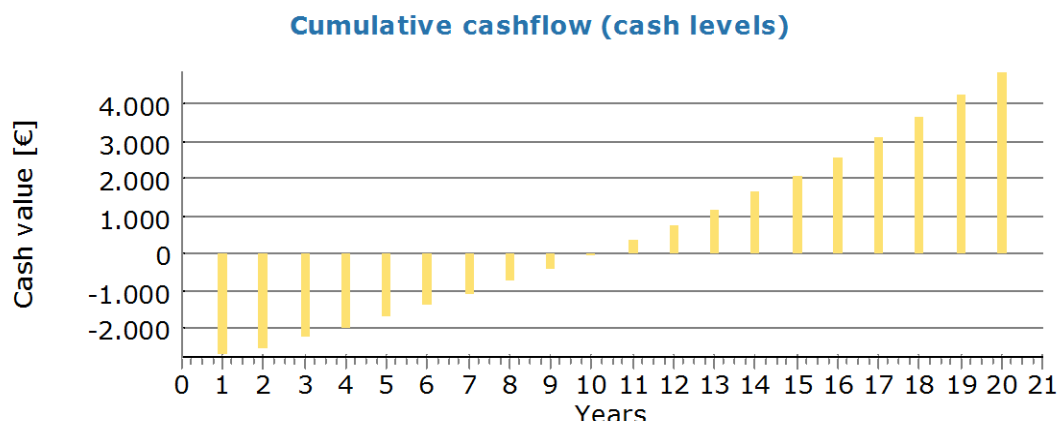
Στον πίνακα 6.3 παρατίθεται μια ανάλυση της αποδοτικότητας της εφαρμογής συστήματος ΥΑΦ σε κτίριο στα Χανιά .

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΉ ΑΠΟΔΟΤΙΚΌΤΗΤΑ			
	Σύστημα με ΥΑΦ		Συμβατικό σύστημα
Συνολική επένδυση	10.000 € (για 20 έτη)		7.000 € (για 20 έτη)
Κόστος θέρμανσης	0,07 €/kWh ⁵		0,07 €/kWh
Απαιτήσεις θέρμανσης	5.486 kWh/έτος		6.813 kWh/έτος
Κόστος ψύξης	0,09 €/kWh ⁶		0.09 €/kWh
Απαιτήσεις ψύξης	1.018 kWh/ έτος		1.122 kWh/ έτος
Τρέχοντα κόστη	0 % της επένδυσης		2 % της επένδυσης
ΑΥΞΗΣΕΙΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ			
Κόστος θέρμανσης:	10 %		
Κόστος ψύξης:	7 %		
Κόστος Επένδυσής:	2 %		
Τρέχοντα κόστη:	4 %		
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Χρόνος αποπληρωμής συστήματος:	10 έτη	Απόδοση κεφαλαίου στα 20 έτη	4.872 €

⁵ [Πηγή :greenconstruction,2010]

⁶ [Πηγή :ΔΕΗ,2010]

Πίνακας 6.3: Οικονομική αποδοτικότητα της εφαρμογής ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο. (Χανιά)



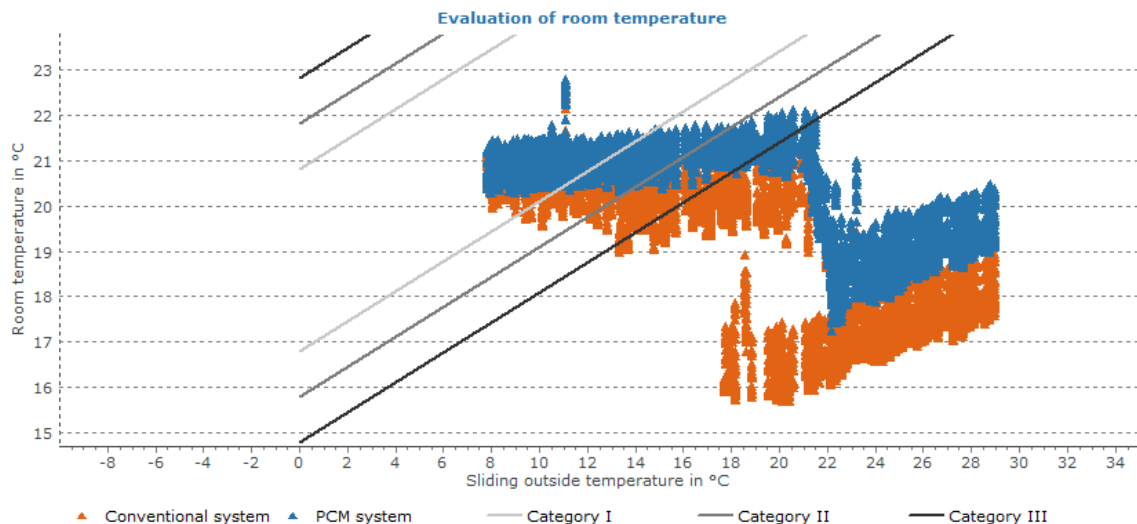
Διάγραμμα 6.4 :Αποδοτικότητα κεφαλαίου συναρτήσει του χρόνου αποπληρωμής (Χανιά)

6.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΉ ΖΩΝΗ Β (ΑΘΗΝΑ)

Στη συγκεκριμένη παράγραφο, γίνεται προσδιορισμός της ενεργειακής και θερμικής συμπεριφοράς του απλού κτιρίου το οποίο έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 5.3.1 για τα κλιματολογικά δεδομένα της Αθήνας, καθώς επίσης και της οικονομικής αποδοτικότητας τους συστήματος ΥΑΦ που εφαρμόστηκε.

6.1.3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΉΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΖΩΝΩΝ

Η διακύμανση των θερμοκρασιών του εσωτερικού αέρα των δύο ζωνών (μπλε για το κτίριο με ΥΑΦ και πορτοκαλί για το συμβατικό κτίριο) σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος φαίνεται στο Διάγραμμα 6.5. Στη περίπτωση της Αθήνας, το εύρος θερμοκρασιακής διακύμανσης της ζώνης με ΥΑΦ είναι 17,4-22,8 °C (5,4 °C) για τις θερμοκρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος (8-30 °C), ενώ το αντίστοιχο εύρος της συμβατικής ζώνης είναι 15,8-22,5°C (6,7 °C). Η ενσωμάτωση ΥΑΦ επιτυγχάνει δηλαδή μείωση κατά 1,3 °C του εύρους διακύμανσης θερμοκρασίας στο κτίριο. Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η χαμηλότερη τιμή θερμοκρασίας που παρατηρείται στη ζώνη με ΥΑΦ είναι 17,4°C όταν η αντίστοιχη τιμή της συμβατικής ζώνης είναι 15,8°C (διαφορά περίπου 1,6 °C). Σχετικά με τις υψηλότερες θερμοκρασίες προκύπτει ότι και οι δυο ζώνες βρίσκονται εντός των ορίων του εύρους συνθηκών θερμικής άνεσης (21-26 °C).



Διάγραμμα 6.5: Διακύμανση εσωτερικής θερμοκρασίας της ζώνης με ΥΑΦ και της συμβατικής ζώνης σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασίας(Αθήνα).

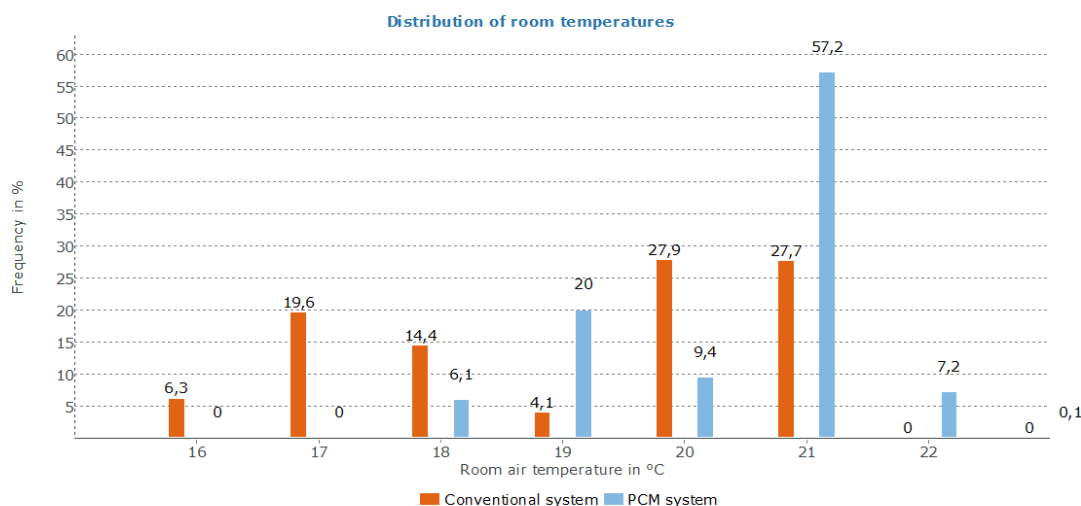
Η συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης στις δύο ζώνες παρουσιάζεται σε ώρες εντός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C) στον πίνακα 6.4 και η κατανομή τιμών θερμοκρασίας για κάθε ζώνη στο διάγραμμα 6.6.

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ		
Ώρες εντός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C)	Συμβατικό κτίριο	2.435 h
	Κτίριο με ΥΑΦ	5.641 h
Ώρες εκτός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C)	Συμβατικό κτίριο	6.325 h
	Κτίριο με ΥΑΦ	3.119 h

Πίνακας 6.4:Συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης (21-26 °C) στις δύο ζώνες. (Αθήνα)

Αναλύοντας τα αποτελέσματα προκύπτει ότι το κτίριο με ΥΑΦ θα βρίσκεται σε συνθήκες θερμικής άνεσης 5.641 h (**64,4%** των ωρών για το έτος μελετήθηκε). Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το συμβατικό κτίριο δείχνουν ότι οι επιθυμητές συνθήκες επιτυγχάνονται για 2.435 h (3206 h λιγότερες από το κτίριο με ΥΑΦ), δηλαδή **27,8%** των ωρών του συγκεκριμένου έτους.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 6.6 σημειώνεται και σε αυτή την περίπτωση ότι στο κτίριο με ΥΑΦ η συχνότερη τιμή της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα είναι η τιμή 21 °C που συναντάται για τις 5.011 από τις 5.580 h που προβλέπονται ως ώρες θερμικής άνεσης. Η τιμή 21 °C στη περίπτωση του συμβατικού κτιρίου επιτυγχάνεται για τις 2.426 h από τις 2.435 h του έτους που εκτιμάται ότι θα βρίσκονται εντός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C).



Διάγραμμα 6.6 :Κατανομή τιμών θερμοκρασίας για κάθε ζώνη(Αθήνα)

6.1.3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΖΩΝΩΝ

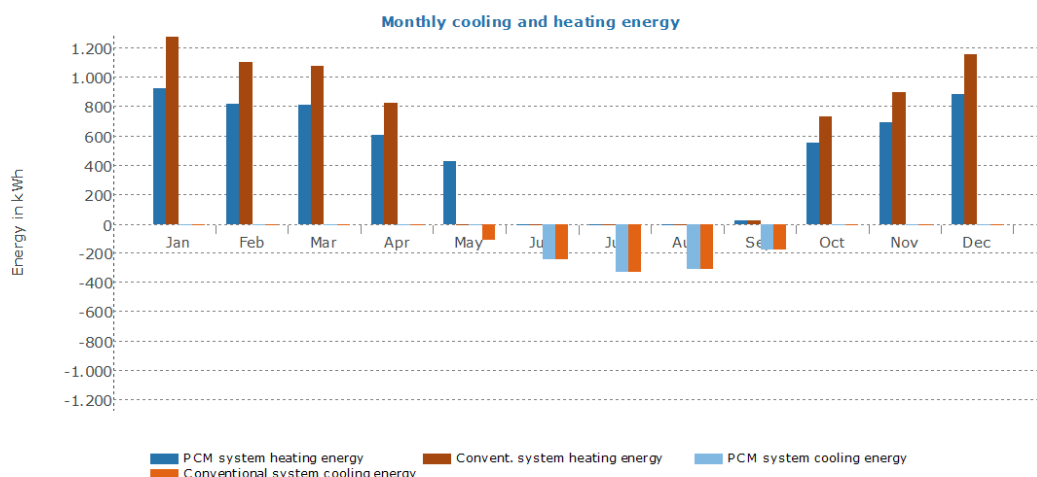
Η ενεργειακή συμπεριφορά των δύο ζωνών με τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης ενεργοποιημένα φαίνεται στο διάγραμμα 6.7 και τον πίνακα 6.5. Στο διάγραμμα παρατίθενται τα μηνιαία απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία για τις δύο ζώνες, ενώ στον πίνακα οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση για τις δύο ζώνες.

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗ		
Συνολική ενέργεια για ΘΕΡΜΑΝΣΗ	Συμβατικό σύστημα	7.081 kWh
	Σύστημα με ΥΑΦ	5.725 kWh
	μεταβολή	19,1% (μείωση)
Συνολική ενέργεια για ΨΥΞΗ	Συμβατικό σύστημα	1.166 kWh
	Σύστημα με ΥΑΦ	1065 kWh
	μεταβολή	8,7% (μείωση)

Πίνακας 6.5:Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση των δύο ζωνών. (Αθήνα)

Ειδικότερα, οι ετήσιες απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ για θέρμανση είναι μειωμένες κατά 1.356 kWh (μείωση περίπου **19,1%**) σε σχέση με τα αντίστοιχα φορτία για το κτίριο χωρίς ΥΑΦ ενώ οι απαιτήσεις για ψύξη είναι μειωμένες κατά 101 kWh (μείωση **8,7%**) σε σχέση με το κτίριο χωρίς ΥΑΦ.

Στις δύο ζώνες ο μήνας οπότε προκύπτει η μέγιστη απαίτηση για θέρμανση είναι ο Ιανουάριος ενώ η μέγιστη ενέργεια για ψύξη απαιτείται τον Ιούλιο.

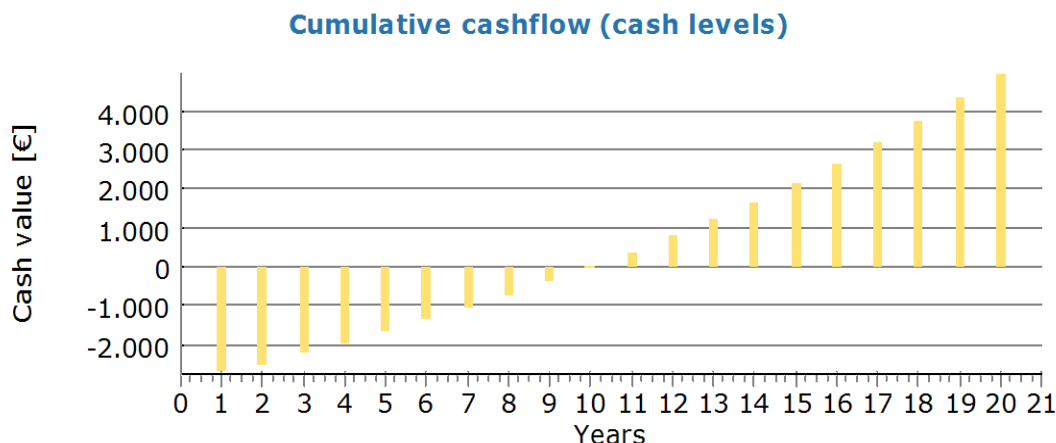


Διάγραμμα 6.7: Μηνιαίες απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη και θέρμανση στις δύο ζώνες (Αθήνα) .

Όπως προκύπτει και από τα αποτελέσματα παραπάνω τα ΥΑΦ έχουν τη δυνατότητα να αποτελούν μέσα εξοικονόμησης ενέργειας, ωστόσο είναι αναγκαίος ο οικονομικός προσδιορισμός της απόδοσης της εφαρμογής ενός συστήματός ΥΑΦ. Στον πίνακα 6.3 παρατίθεται μια τέτοιου είδους ανάλυση ενός κτιρίου με ΥΑΦ στην Αθήνα .

	Σύστημα με ΥΑΦ		Συμβατικό σύστημα
Συνολική επένδυση	10.000 € (για 20 έτη)		7.000 € (για 20 έτη)
Κόστος θέρμανσης	0,07 €/kWh		0,07 €/kWh
Απαιτήσεις θέρμανσης	5.725 kWh/έτος		7.081 kWh/έτος
Κόστος ψύξης	0,09 €/kWh		0,09 €/kWh
Απαιτήσεις ψύξης	1.065 kWh/ έτος		1.166 kWh/ έτος
Τρέχοντα κόσθη	0 % της επένδυσης		2 % της επένδυσης
ΑΥΞΗΣΕΙΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ			
Κόστος θέρμανσης:	10 %		
Κόστος ψύξης:	7 %		
Κόστος Επένδυσής:	2 %		
Τρέχοντα κόσθη:	4 %		
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Χρόνος αποπληρωμής συστήματος:	10,2 y	Απόδοση κεφαλαίου στα 20 έτη	4.955 €

Πίνακας 6.6: Οικονομική αποδοτικότητα της εφαρμογής ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο. (Αθήνα)



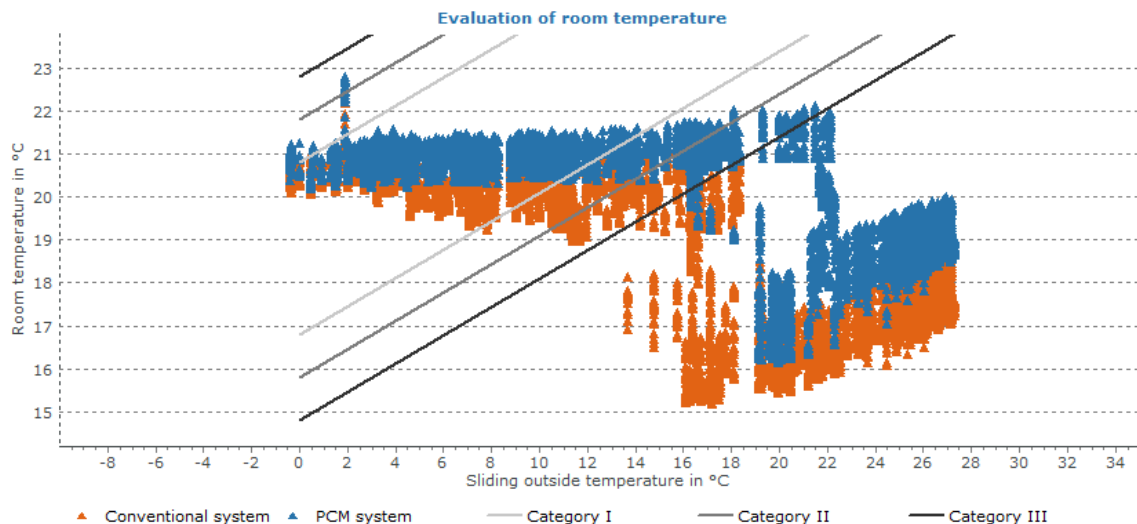
Διάγραμμα 6.8 : Αποδοτικότητα κεφαλαίου συναρτήσει του χρόνου αποπληρωμής (Αθήνα)

6.1.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΉ ΖΩΝΗ Γ (ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ)

Σε αυτή την παράγραφο γίνεται προσδιορισμός της ενεργειακής και θερμικής συμπεριφοράς του απλού κτιρίου που έχει περιγραφεί στη παράγραφο 5.3.1 για τα κλιματολογικά δεδομένα της Θεσσαλονίκης, καθώς επίσης και της οικονομικής αποδοτικότητας τους συστήματος ΥΑΦ που εφαρμόστηκε. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται υπό τη μορφή διαγραμμάτων και πινάκων.

6.1.4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΖΩΝΩΝ

Στο Διάγραμμα 6.9 παρουσιάζεται σχηματικά η διακύμανση των θερμοκρασιών του εσωτερικού αέρα των δύο ζωνών (μπλε για το κτίριο με ΥΑΦ και πορτοκαλί για το συμβατικό κτίριο) σε σχέση με τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα η προσομοίωση έδειξε ότι το εύρος της θερμοκρασιακής διακύμανσης για τη ζώνη με ΥΑΦ είναι 16-23°C (7°C) ενώ το αντίστοιχο εύρος της συμβατικής ζώνης είναι 15-23°C (8°C) στο εύρος των εξωτερικών θερμοκρασιών (0-28°C). Η περίπτωση της Θεσσαλονίκης εμφανίζει μείωση της θερμοκρασιακής διακύμανσης κατά 1°C. Επιπροσθέτως παρατηρούμε ότι η χαμηλότερη θερμοκρασία που παρατηρείται στη ζώνη με ΥΑΦ είναι 16°C όταν η αντίστοιχη τιμή της συμβατικής ζώνης είναι 15°C, ενώ όσον αφορά τις υψηλότερες θερμοκρασίες προκύπτει ότι και οι δύο ζώνες βρίσκονται στη τιμή 23 °C .



Διάγραμμα 6.9: Διακύμανση εσωτερικής θερμοκρασίας της ζώνης με ΥΑΦ και της συμβατικής ζώνης σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασίας(Θεσσαλονίκη).

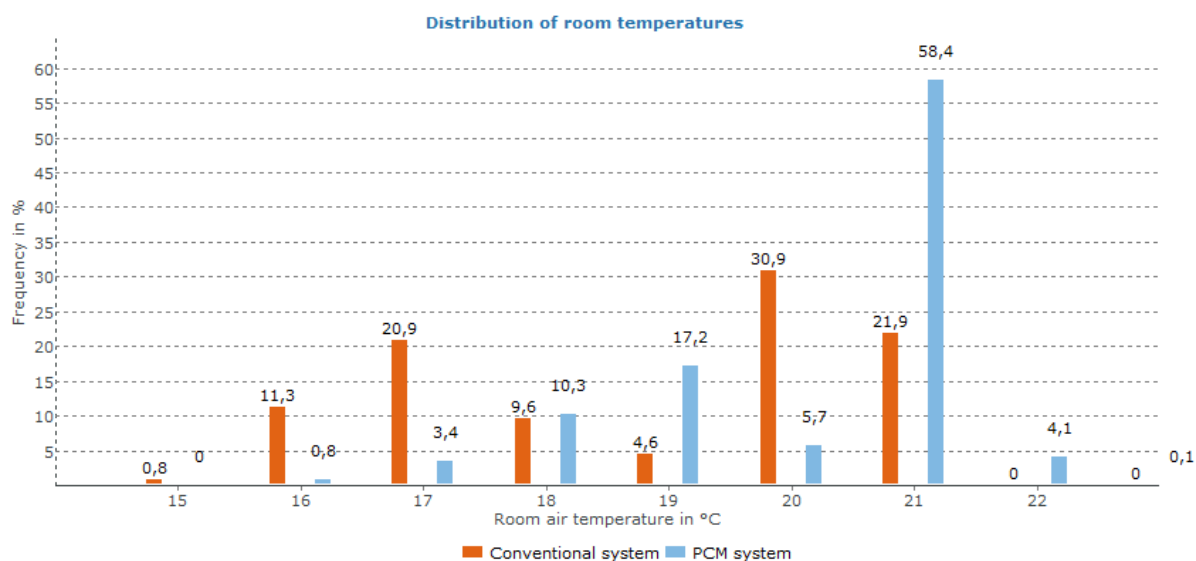
Η συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης στις δύο ζώνες παρουσιάζεται σε ώρες εντός και σε ώρες εκτός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C) στον πίνακα 6.7 και η κατανομή τιμών θερμοκρασίας για κάθε ζώνη στο διάγραμμα 6.2.

Η ζώνη με ΥΑΦ επιτυγχάνει να βρίσκεται εντός του εύρους συνθηκών θερμικής άνεσης για τις 5.484 από τις 8.760 h του έτους (**62,6%**). Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το συμβατικό κτίριο δείχνουν ότι οι επιθυμητές συνθήκες επιτυγχάνονται για 1.918 h (3.259 h λιγότερες από το κτίριο με ΥΑΦ), δηλαδή **21,9%** των συνολικού αριθμού ωρών του.

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ		
Ώρες εντός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C)	Συμβατικό κτίριο	1.918 h
	Κτίριο με ΥΑΦ	5.484 h
Ώρες εκτός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C)	Συμβατικό κτίριο	6.842 h
	Κτίριο με ΥΑΦ	3.276 h

Πίνακας 6.7: Συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης (21-26 °C) στις δύο ζώνες(Θεσσαλονίκη).

Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η τιμή της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα στο κτίριο με ΥΑΦ (21 °C) συναντάται σε συχνότητα 58,4%. Για το κτίριο συμβατικής κατασκευής η αντίστοιχη συχνότητα είναι 21,9 %.



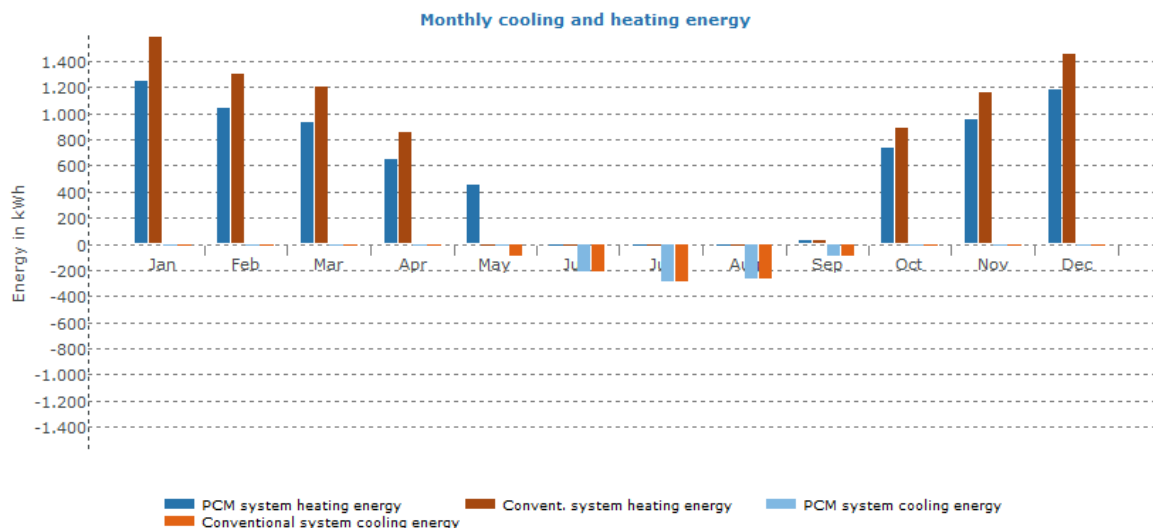
Διάγραμμα 6.10: Κατανομή τιμών θερμοκρασίας για κάθε ζώνη(Θεσσαλονίκη).

6.1.3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΖΩΝΩΝ

Σε αυτή την παράγραφο αναλύεται η βελτίωση στην ενεργειακή απόδοση που επιδέχεται ένα κτίριο με ΥΑΦ (πάχος: 1.5 cm) και η βιωσιμότητα της εφαρμογής ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο για τα κλιματολογικά δεδομένα της Θεσσαλονίκης. Οι μηνιαίες απαιτήσεις ενέργειας στις δύο ζώνες με ενεργοποιημένα τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.11, ενώ στον πίνακα 6.8 συνοψίζονται τα υπολογισμένα ετήσια φορτία θέρμανσης και ψύξης.

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗ		
Συνολική ενέργεια για ΘΕΡΜΑΝΣΗ	Συμβατικό σύστημα	8.495,15 kWh
	Σύστημα με ΥΑΦ	7.227,72 kWh
	μεταβολή	15% (μείωση)
Συνολική ενέργεια για ΨΥΞΗ	Συμβατικό σύστημα	1.016,51 kWh
	Σύστημα με ΥΑΦ	915,23 kWh
	μεταβολή	10% (μείωση)

Πίνακας 6.8: Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση των δύο ζωνών(Θεσσαλονίκη).

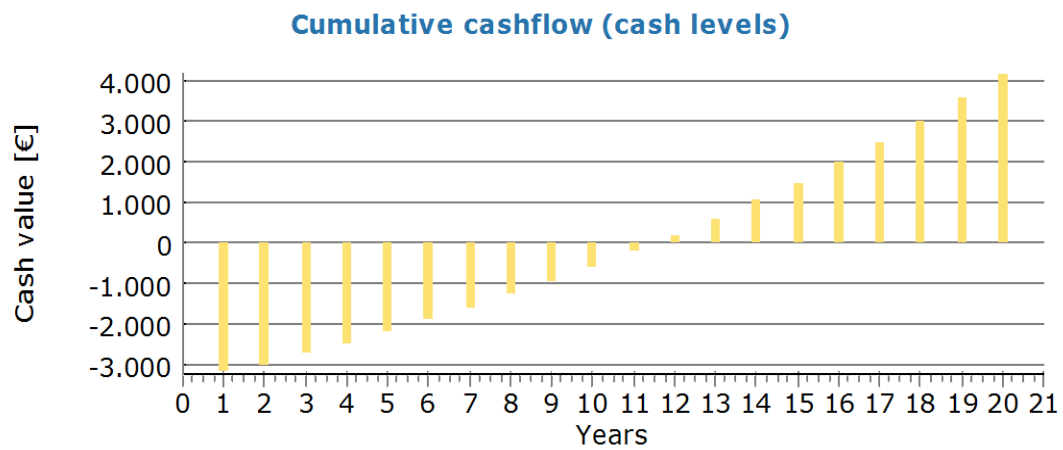


Διάγραμμα 6.11: Μηνιαίες απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη και θέρμανση στις δύο ζώνες (Θεσσαλονίκη) .

Στον πίνακα 6.9 παρατίθεται μια ανάλυση της οικονομικής απόδοσης της εφαρμογής ΥΑΦ στο κτίριο (για τα κλιματολογικά δεδομένα της Θεσσαλονίκης) .

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΉ ΑΠΟΔΟΤΙΚΌΤΗΤΑ			
	Σύστημα με ΥΑΦ		Συμβατικό σύστημα
Συνολική επένδυση	10.000 € (για 20 έτη)		7.000 € (για 20 έτη)
Κόστος θέρμανσης	0,07 €/kWh		0,07 €/kWh
Απαιτήσεις θέρμανσης	7.227,72 kWh/έτος		8.495,15 kWh/έτος
Κόστος ψύξης	0,09 €/kWh		0,09 €/kWh
Απαιτήσεις ψύξης	915,23 kWh/ έτος		1.016,51 kWh/ έτος
Τρέχοντα κόστη	0 % της επένδυσης		2 % της επένδυσης
ΑΥΞΗΣΕΙΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ			
Κόστος θέρμανσης:	10 %		
Κόστος ψύξης:	7 %		
Κόστος επένδυσης:	2 %		
Τρέχοντα κόστη:	4 %		
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Χρόνος αποπληρωμής συστήματος:	11,5 έτη	Απόδοση κεφαλαίου στα 20 έτη	4.180 €

Πίνακας 6.9: Οικονομική αποδοτικότητα της εφαρμογής ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο. (Θεσσαλονίκη).



Διάγραμμα 6.12 :Αποδοτικότητα κεφαλαίου συναρτήσει του χρόνου αποπληρωμής (Θεσσαλονίκη).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (TRNSYS)

7.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ TRNSYS

Το πρώτο κομμάτι της παραγράφου μας αφορά τη βελτίωση της ενεργητικής απόδοσης σύγχρονων κτιρίων. Τα κτίρια αυτά κατασκευάζονται με βάση έναν σύγχρονο κανονισμό δόμησης με συγκεκριμένες προδιαγραφές σε ότι αφορά τη μόνωση και τη θερμική μάζα. Η βελτίωση της απόδοσής εξετάζεται αν μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια ΥΑΦ.

Οι θερμικές ζώνες του μοντέλου θα προσομοιώσουν σύγχρονης και παλαιάς κατασκευής απλά κτήρια. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των κτιρίων φαίνονται στη περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου [παράγραφός 5.3.2]. Τα κτίρια (ζώνη 1, ζώνη 2) είναι διαφοροποιούνται ως προς την αντικατάσταση του εσωτερικού σοβά με γυψοσανίδα ΥΑΦ (πάχος: 3 cm) και την ύπαρξη πρόσθετου στρώματος ΥΑΦ (πάχος: 3 cm) στο δάπεδο στη ζώνη 2. Ενώ η ζώνη 3 αποτελεί μια τυπική παλαιότερου τύπου κατασκευή η οποία έχει διαφορετικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις δυο άλλες ζώνες και δημιουργήθηκε ώστε να αποτελέσει το χειρότερο σενάριο κτιρίου που μπορεί να συναντήσουμε στην Ελλάδα.

Οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν, όπως προαναφέραμε για τα μετεωρολογικά δεδομένα μιας αντιπροσωπευτικής πόλης από κάθε κλιματική ζώνη της Ελλάδας, αποτύπωσαν την ενεργειακή συμπεριφορά των 3 ζωνών για χρονικό διάστημα ενός έτους.

Επιλέχθηκε η διενέργεια ετήσιας προσομοίωσης της θερμικής – ενεργειακής συμπεριφοράς των τριών ζωνών ώστε να μπορούμε να εξάγουμε σχετικά ασφαλή συμπεράσματα για τη δυνατότητα των ΥΑΦ να λειτουργούν ως μέσα εξοικονόμησης ενέργειας, δηλαδή να ελέγξουμε τις δυνατότητες μείωσης των ψυκτικών και θερμικών φορτίων.

7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

7.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΉ ΖΩΝΗ Α' (ΧΑΝΙΑ)

Η μορφολογία του εδάφους και η θέση της Κρήτης στο κέντρο της Μεσογείου έχουν άμεση σχέση με το κλίμα του νομού Χανίων, που χαρακτηρίζεται εύκρατο μεσογειακό και ιδιαίτερα ξηροθερμικό, με την ηλιοφάνεια να καλύπτει το 70% των ημερών του έτους. Ο χειμώνας είναι ήπιος, και ο καιρός από το Νοέμβριο μέχρι τον Μάρτιο χαρακτηρίζεται κρύος, όχι όμως παγερός. Το καλοκαίρι όμως είναι αρκετά ζεστό και ξηρό. Οι συνθήκες αυτές σίγουρα επηρεάζουν την θερμοκρασία και τα απαιτούμενα φορτία ψύξης – θέρμανσης του κτιρίου.

Στη παράγραφό αυτή γίνεται αναλυτικός προσδιορισμός των φορτίων του απλού κτιρίου το οποίο έχει περιγραφεί στη παράγραφο 5.3.2 για τα κλιματολογικά δεδομένα της Σούδας. Τα φορτία τα οποία υπολογίζονται είναι: φορτία αερισμού (ventilation), εσωτερικά φορτία (internal gains), φορτία λόγω ηλιακής ακτινοβολίας δια μέσω των υαλοπινάκων (solar radiation) και τα φορτία της απαιτούμενης ψύξης και θέρμανσης (cooling and heating loads). Τα φορτία αυτά υπολογίζονται για κάθε ζώνη του κτιρίου

μαζί με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία της ζώνης με χρονικό βήμα μίας ώρα. Τα αποτελέσματα των μηνιαίων τιμών που προκύπτουν για τις τρεις περιπτώσεις κτιρίου παρατίθενται σε τρία σκέλη. Στο πρώτο σκέλος παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση σύγχρονου κτιρίου με μόνωση (συμβατική κατασκευή) και κτιρίου με μόνωση και ΥΑΦ (κτίριο με ΥΑΦ). Στο δεύτερο σκέλος αναλύονται, ομοίως με παραπάνω, τα αποτελέσματα από την προσομοίωση κτιρίου με μόνωση (συμβατική κατασκευή) και χωρίς μόνωση (παλαιότερη κατασκευή). Τέλος, και στο τρίτο στάδιο επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για κτίριο χωρίς μόνωση (παλαιότερη κατασκευή) και για σύγχρονο κτίριο με ΥΑΦ (κτίριο με ΥΑΦ).

7.2.1.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Τα σύγχρονα κτίρια αν και κατασκευάζονται με βάση έναν σύγχρονο κανονισμό δόμησης με συγκεκριμένες προδιαγραφές σε ότι αφορά τη μόνωση και τη θερμική μάζα, μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση τους με τη ενσωμάτωση ΥΑΦ (πάχος: 3cm) . Σε αυτό το σκέλος μελετάται η ενεργειακή και θερμική συμπεριφορά ενός συμβατικά μονωμένου κτιρίου και ενός επίσης μονωμένου κτιρίου στο οποίο έχουν ενσωματωθεί και ΥΑΦ.

ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	248,9	0,000	0,000	114,3	126,2
Φεβρουάριος	214,9	0,000	0,000	116,8	114,0
Μάρτιος	120,6	0,000	0,000	148,2	126,2
Απρίλιος	0,000	0,000	0,000	158,7	122,1
Μάιος	0,430	13,64	0,000	175,2	126,2
Ιούνιος	0,000	78,90	-168,2	180,7	122,1
Ιούλιος	0,000	241,6	-109,2	191,2	126,2
Αύγουστος	0,000	219,5	-113,9	191,2	126,2
Σεπτέμβριος	0,000	48,76	-178,6	170,1	109,9
Οκτώβριος	0,000	0,000	0,000	153,1	126,2
Νοέμβριος	6,312	0,000	0,000	119,1	122,1
Δεκέμβριος	174,1	0,000	0,000	111	126,2
Ετησίως	765,24	602,4	-570	1.829,6	1.473,6

Πίνακας 7.1: Ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου (Χανιά).

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι ετήσιες απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου για θέρμανση και ψύξη ανέρχονται στις 765,24 kWh και 602,4 kWh αντίστοιχα. Οι μήνες για τους οποίους προκύπτει η μέγιστη απαίτηση για θέρμανση και ψύξη του ορόφου προκύπτουν ο Ιανουάριος και ο Ιούλιος με 248,9 kWh και 241,6 kWh αντίστοιχα. Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί ότι το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο προκύπτει ίσο με 0,79 kW για την ώρα 344 (14 Ιανουαρίου 04:00 π.μ.), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ισούται με 1,86 kW για την ώρα 4.849 (22 Ιουλίου 12:00 μ.μ.).

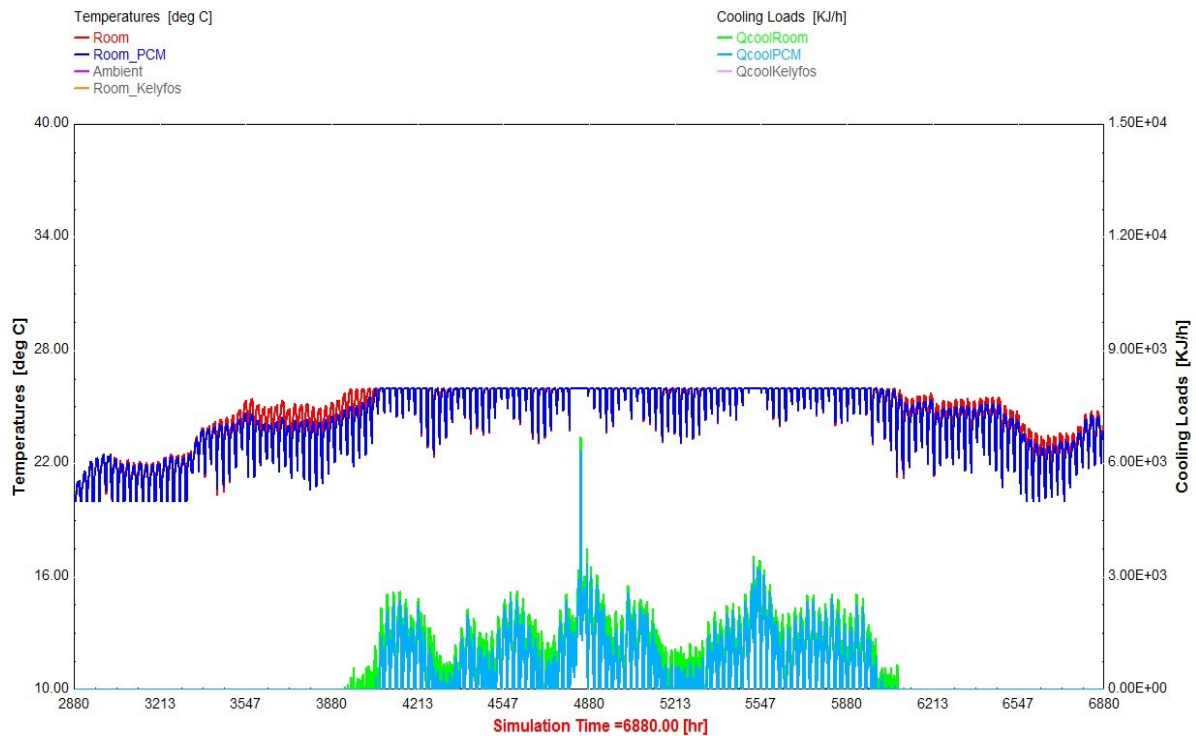
ΦΟΡΤΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΥΑΦ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	119,3	0,000	0,000	114,3	126,2
Φεβρουάριος	113,2	0,000	0,000	116,8	114,0
Μάρτιος	44,13	0,000	0,000	148,2	126,2
Απρίλιος	0,000	0,000	0,000	158,7	122,1
Μάιος	0,526	0,000	0,000	175,2	126,2
Ιούνιος	0,000	53,29	-156,3	180,7	122,1
Ιούλιος	0,000	187,1	-108,9	191,2	126,2
Αύγουστος	0,000	175,9	-113,9	191,2	126,2
Σεπτέμβριος	0,000	35,40	-176,9	170,1	109,9
Οκτώβριος	0,000	0,000	0,000	153,1	126,2
Νοέμβριος	0,000	0,000	0,000	119,1	122,1
Δεκέμβριος	53,19	0,000	0,000	111	126,2
Ετησίως	330,35	451,7	-556	1.829,6	1.473,6

Πίνακας 7.2: Ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ (Χανιά).

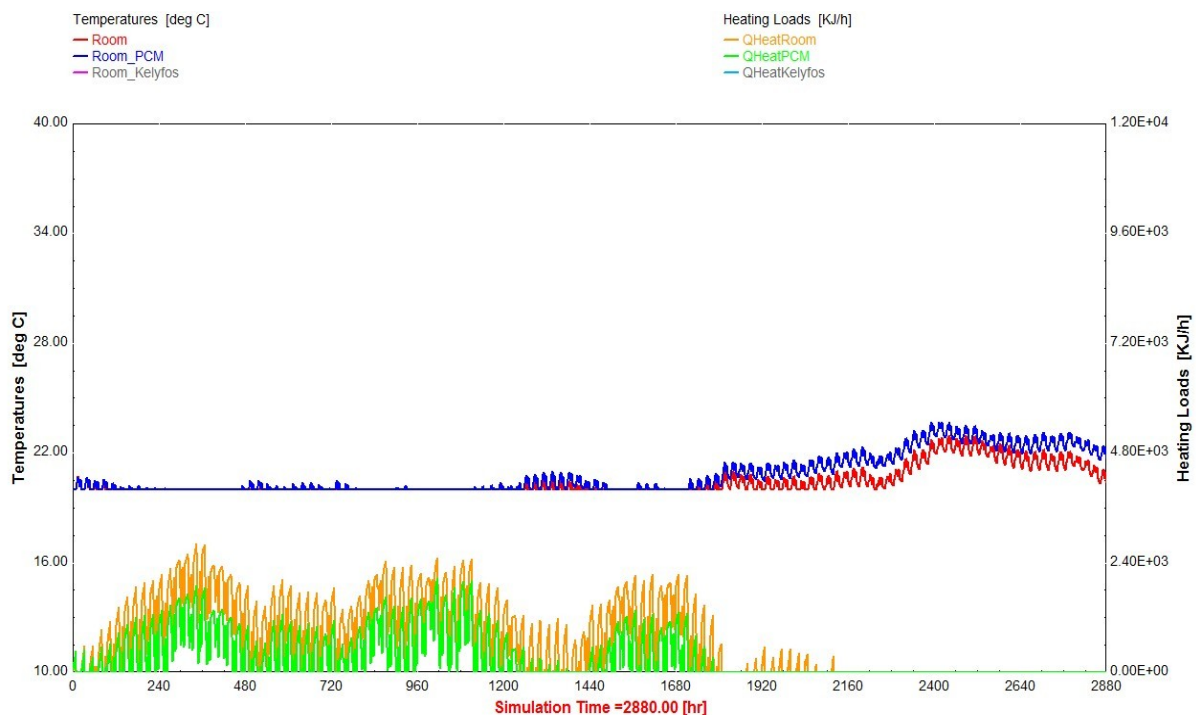
Οι ετήσιες απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ για θέρμανση ανέρχονται στις 330,35 kWh, δηλαδή είναι μειωμένες κατά 434,9 kWh (μείωση περίπου **56 %**) σε σχέση με τα αντίστοιχα φορτία για το κτίριο χωρίς ΥΑΦ. Οι απαιτήσεις για ψύξη είναι 451,7 kWh, μειωμένες κατά 150,7 kWh (μείωση **25 %**) σε σχέση με το κτίριο χωρίς ΥΑΦ. Οι μήνες για τους οποίους προκύπτει η μέγιστη απαίτηση για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου προκύπτουν ο Ιανουάριος και ο Ιούλιος με 119,3 kWh και 187,1 kWh αντίστοιχα.

Στο κτίριο με εφαρμογή ΥΑΦ παρατηρείται επίσης σημαντική μείωση της απαιτούμενης μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο προκύπτει ίσο με 0,57 kW για την ώρα 246 (10 Ιανουαρίου 06:00 π.μ.), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ισούται με 1,77 kW για την ώρα 4.849 (22 Ιουλίου 12:00 μ.μ.). Συγκεκριμένα η μείωση αυτή είναι της τάξης του **27,85 %** για το σύστημα θέρμανσης και **4,84 %** για το σύστημα ψύξης.

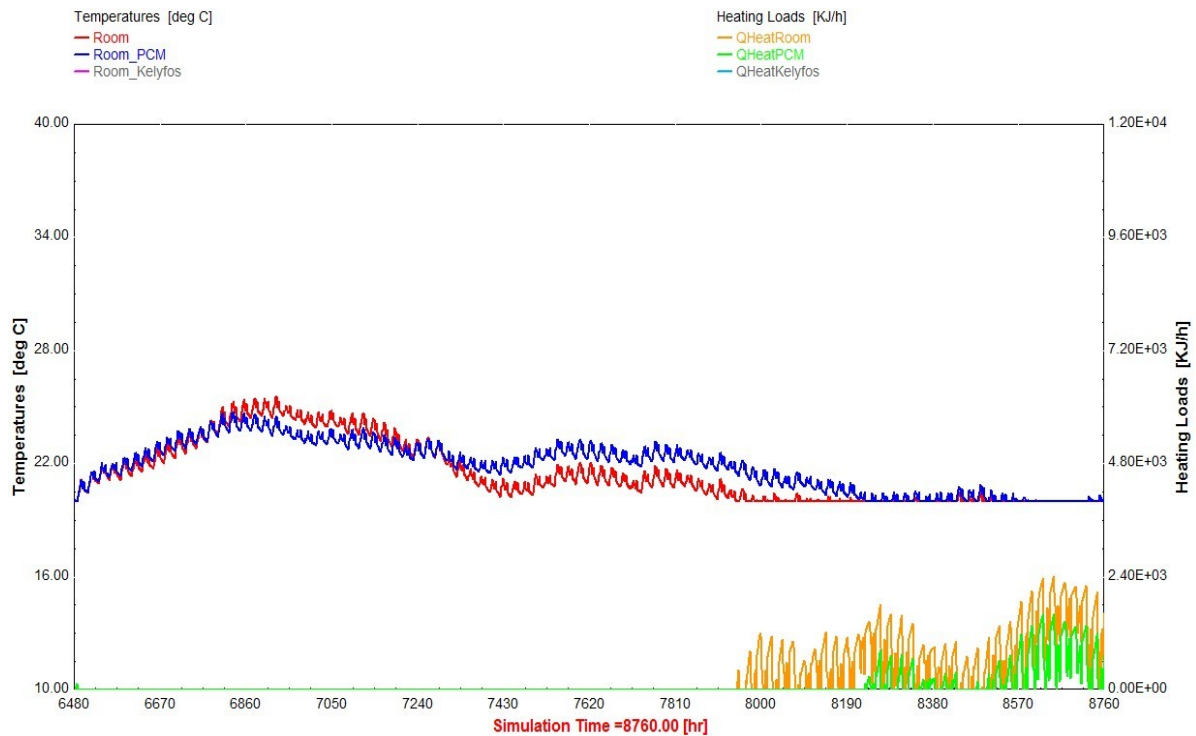
Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις ζώνες 1 και 2 φαίνονται και στα παρακάτω διαγράμματα:



Διάγραμμα 7.1: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία - Πάχος ΥΑΦ: 3cm).[Χανιά]



Διάγραμμα 7.2: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία – Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]



Διάγραμμα 7.3: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία - Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]

7.2.1.2 ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΑΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η πλειονότητα των κατασκευών στην Ελλάδα αφορά κτίρια κατασκευασμένα με παλαιότερους όρους δόμησης. Τα κτίρια αυτά συχνά έχουν ελλιπή ή και καθόλου μόνωση με αποτέλεσμα να είναι εξαιρετικά ενεργοβόρα. Στην ενότητα αυτή εξετάζουμε τη δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων αυτών με την προσθήκη απλής μόνωσης (διογκωμένη πολυστερίνη πάχους 10 cm).

Στον πίνακα παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα υπολογισμού των φορτίων για το κτίριο παλαιάς κατασκευής, που επιλέχτηκε ως το πιο ακραίο σενάριο στη παρούσα διπλωματική.

ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	419,3	0,000	0,000	114,3	126,2
Φεβρουάριος	362,5	0,000	0,000	116,8	114,0
Μάρτιος	222,4	0,000	0,000	148,2	126,2
Απρίλιος	7,894	0,000	0,000	158,7	122,1
Μάιος	0,515	33,45	0,000	175,2	126,2
Ιούνιος	0,000	147,0	-186,4	180,7	122,1
Ιούλιος	0,000	368,7	-120,4	191,2	126,2
Αύγουστος	0,000	331,2	-124,4	191,2	126,2
Σεπτέμβριος	0,000	73,93	-188,4	170,1	109,9
Οκτώβριος	0,000	0,744	0,000	153,1	126,2
Νοέμβριος	52,24	0,000	0,000	119,1	122,1
Δεκέμβριος	312,7	0,000	0,000	111	126,2
Ετησίως	1.377,55	955,024	-619,6	1.829,6	1.473,6

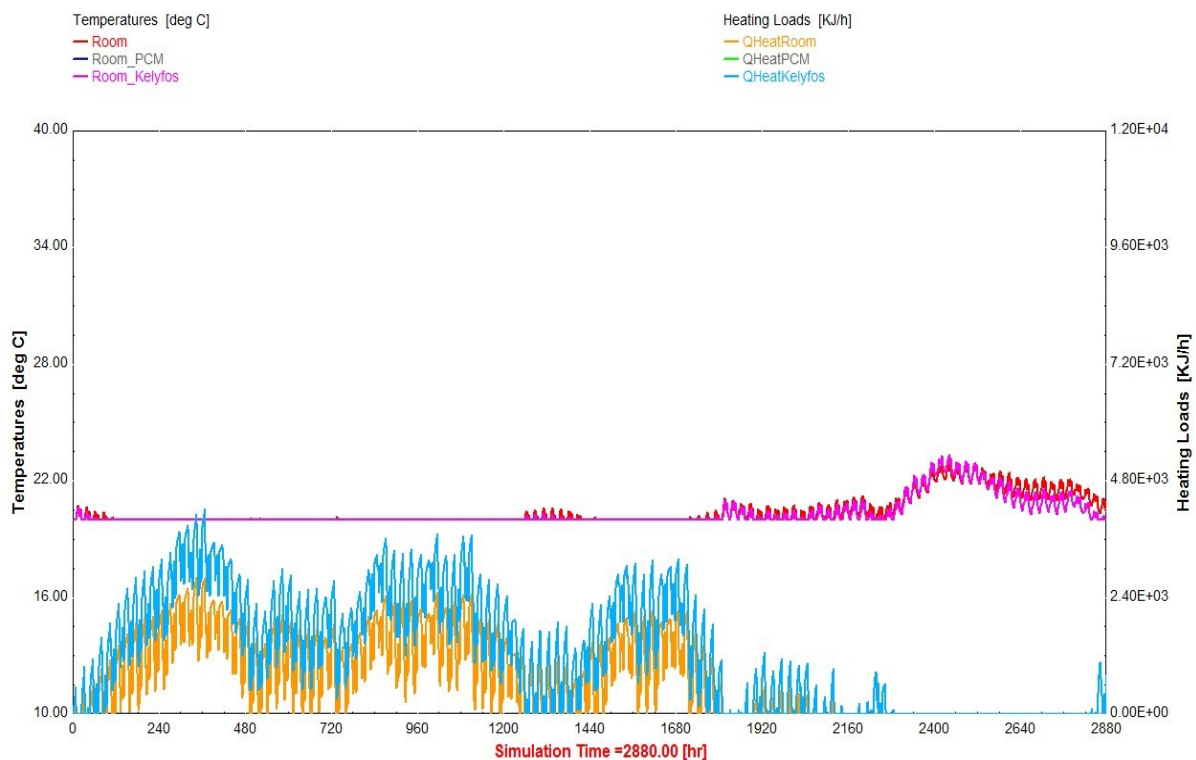
Πίνακας 7.3: Ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου παλαιότερης κατασκευής (Χανιά).

Στα αποτελέσματα που προκύπτουν, τα απαιτούμενα φορτία για θέρμανση και για ψύξη υπολογίζονται σε 1.377,55 kWh και 955,024 kWh αντίστοιχα. Το συμπέρασμα είναι ότι για κτίρια μη μονωμένα οι ενεργειακές ανάγκες είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τις άλλες δύο περιπτώσεις. Συγκρίνοντας την περίπτωση του παλαιάς κατασκευής κτιρίου με το κτίριο που εφαρμόζεται απλή μόνωση (διογκωμένη πολυστερίνη πάχους 10 cm) συμπεραίνουμε ότι τα απαιτούμενα φορτία για θέρμανση είναι αυξημένα κατά 612,31 kWh (αύξηση **44,45 %**) και τα απαιτούμενα φορτία για ψύξη είναι αυξημένα κατά 352,624 kWh (αύξηση **36,92 %**).

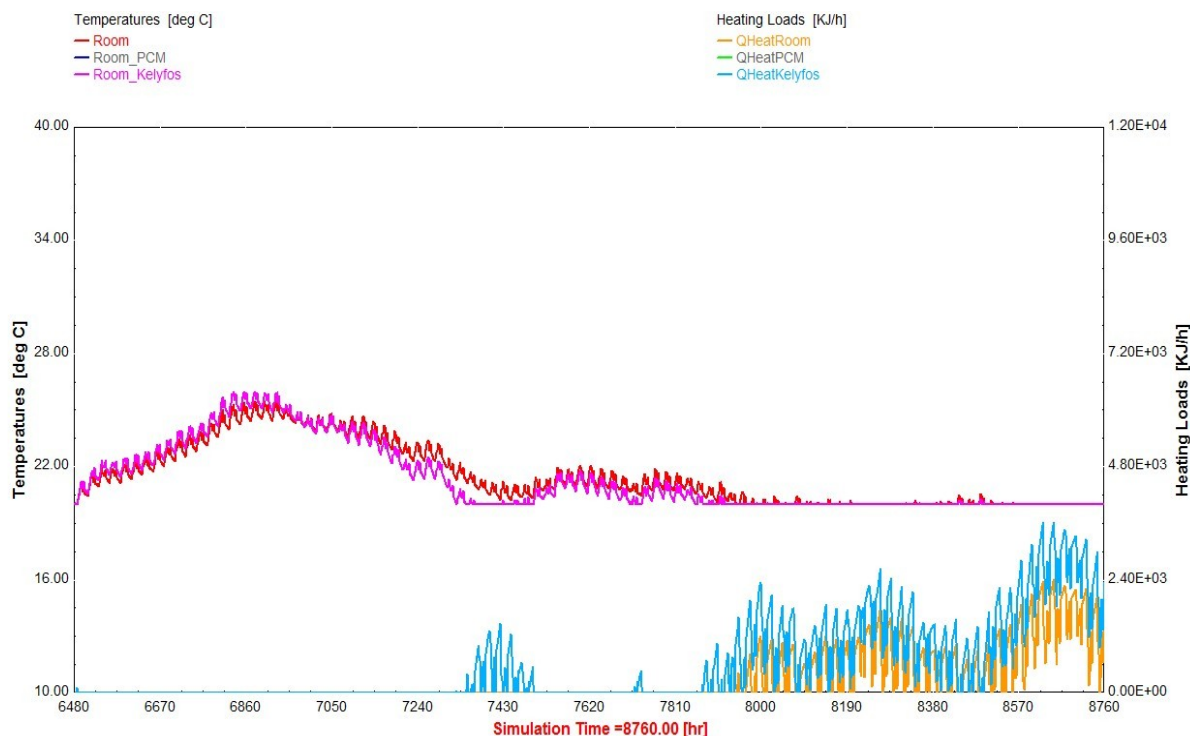
Στο κτίριο παλαιάς κατασκευής παρατηρείται επίσης σημαντική αύξηση της απαιτούμενης μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης καθώς το μέγιστο θερμικό ολικό φορτίο ισούται με 1,17 kW για την ώρα 368 (15 Ιανουαρίου 07:00 π.μ.) και το μέγιστο ψυκτικό ολικό φορτίο είναι 2,22 kW για την ώρα 4.849 (22 Ιουλίου 12:00 μ.μ.). Δηλαδή εμφανίζεται μια αύξηση της τάξης του **32,5 %** για το σύστημα θέρμανσης και **16,2 %** για το σύστημα ψύξης.



Διάγραμμα 7.4: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]



Διάγραμμα 7.5: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]



Διάγραμμα 7.6: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]

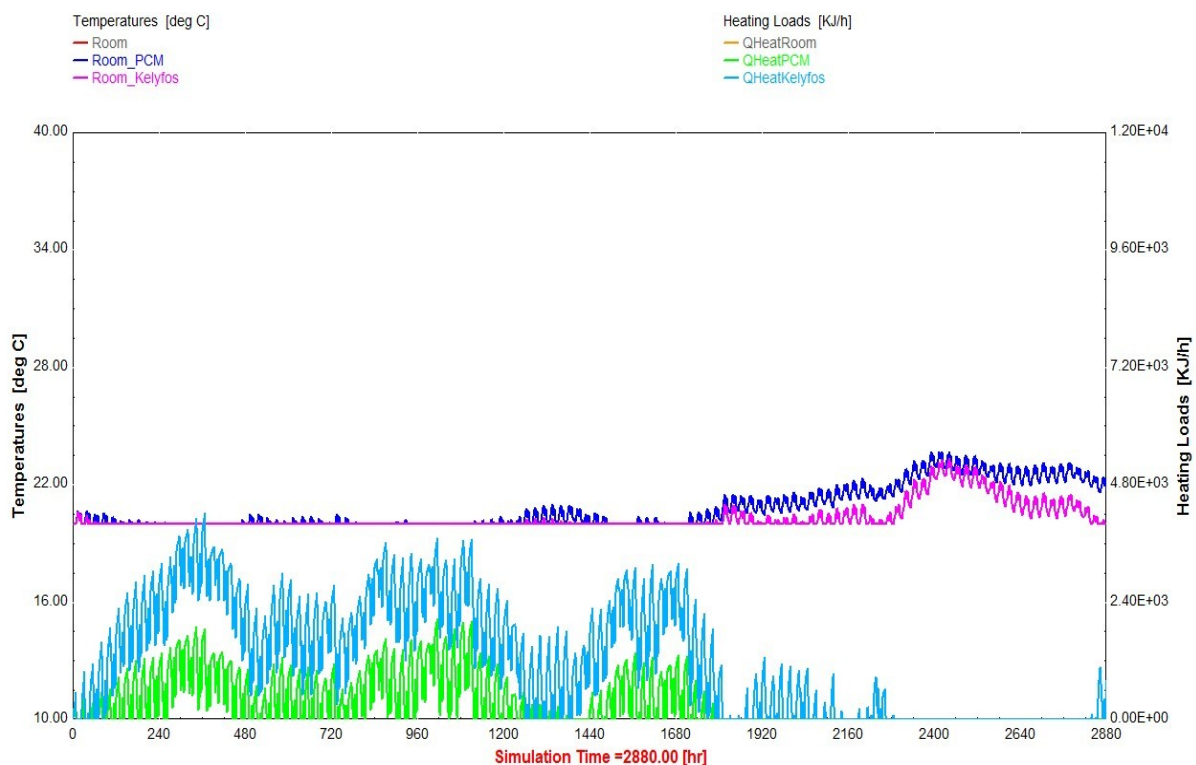
7.2.1.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΑΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΥΑΦ

Στη παράγραφο παραπάνω αναλύθηκε η βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς μια παλαιάς κατασκευής με την προσθήκη ενός στρώματος μόνωσης (διογκωμένη πολυστερίνη πάχους 10cm). Θέλοντας να διερευνήσουμε τρόπους περαιτέρω βελτίωσης της ενεργειακής και θερμικής συμπεριφοράς των παλαιών κατασκευών στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε μια σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίου με ΥΑΦ και κτιρίου παλαιάς κατασκευής. Τα αποτελέσματα που έχουν υπολογιστεί βρίσκονται στους πίνακες των παραγράφων 6.2.1.1 και 6.2.1.2. Επιπλέον παρατίθενται τα διαγράμματα των προσομοιώσεων που διεξήχθησαν.

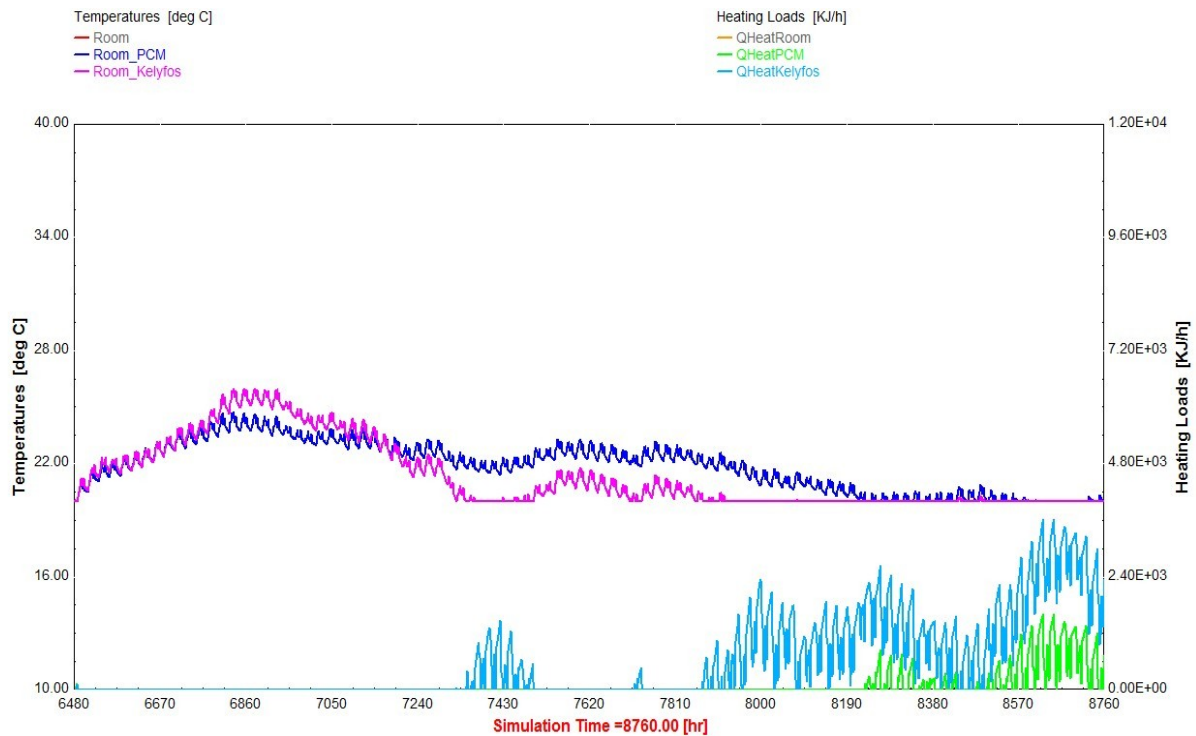
Όπως αναφέρεται και παραπάνω, τα απαιτούμενα φορτία για τη θέρμανση και τη ψύξη της παλαιάς κατασκευής υπολογίζονται ως 1.377,55 kWh και 955,024 kWh αντίστοιχα. Οι ανάλογες ετήσιες απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ για θέρμανση ανέρχονται στις 330,35 kWh, δηλαδή είναι μειωμένες κατά 1.047,2 kWh (μείωση περίπου **76 %**) σε σχέση με τα αντίστοιχα φορτία για το κτίριο παλαιάς κατασκευής. Οι απαιτήσεις για ψύξη είναι 451,7 kWh, σημαντικά μειωμένες (μείωση **52,7 %**) σε σχέση με το κτίριο παλαιάς κατασκευής.

Το μέγιστο θερμικό ολικό φορτίο που μπορεί να απαιτηθεί από το σύστημα θέρμανσης ισούται με 1,17 kW για την ώρα 368 (15 Ιανουαρίου 07:00 π.μ.) και το μέγιστο ψυκτικό ολικό φορτίο από αντίστοιχο σύστημα ψύξης είναι 2,22 kW για την ώρα 4.849 (22 Ιουλίου 12:00 μ.μ.) για το κτίριο παλαιάς κατασκευής. Ενώ για το κτίριο με ΥΑΦ το

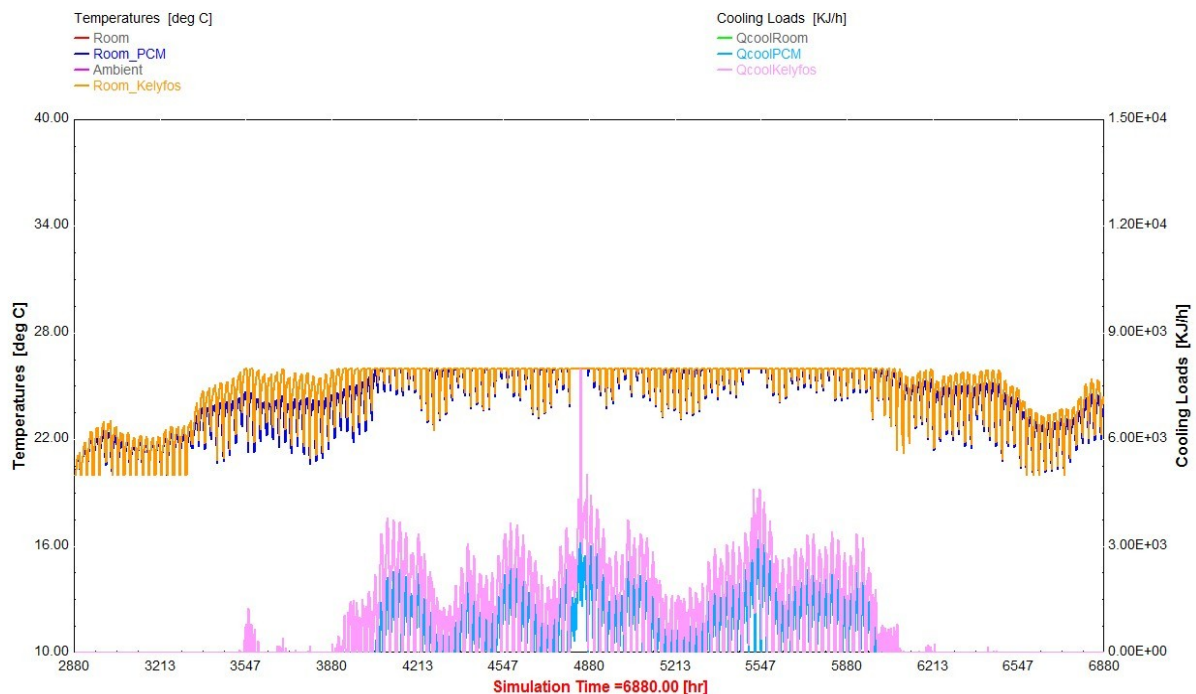
μέγιστο απαιτούμενο φορτίο προκύπτει ίσο με 0,57 kW για την ώρα 246 (10 Ιανουαρίου 06:00 π.μ.), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ισούται με 1,77 kW για την ώρα 4.849 (22 Ιουλίου 12:00 μ.μ.). Προκύπτει μια μείωση της τάξης του **51%** για το σύστημα θέρμανσης και **20,3 %** για το σύστημα ψύξης. Η προσομοίωση των δύο ζωνών σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν, δείχνει ότι ο συνδυασμός μόνωσης και ΥΑΦ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιτυχία της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στο κτίριο, καθώς επιτυγχάνει υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας θέρμανσης αλλά και ενέργειας ψύξης. Η βελτίωση που επιτυγχάνεται από την προσθήκη στρωμάτων μόνωσης και ΥΑΦ στο εσωτερικό παλαιών κτιρίων είναι σημαντική και αποδεικνύει ότι θα μπορούσε να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση σε περιπτώσεις ανακαινίσεων. Ωστόσο, η βέλτιστη αναλογία μόνωσης και ΥΑΦ θα πρέπει να διερευνηθεί με παραμετρικές προσομοιώσεις



Διάγραμμα 7.7: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]



Διάγραμμα 7.8: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία- Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]



Διάγραμμα 7.9: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και οικιακά εσωτερικά φορτία - Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Χανιά]

7.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ Β (ΑΘΗΝΑ)

Το μεσογειακό κλίμα, σε πεδινές περιοχές όπως η Αθήνα, έχει ήπιους χειμώνες και ακόμα ηπιότερα φθινόπωρα με τις πιο χαμηλές θερμοκρασίες να σημειώνονται τον Ιανουάριο και να κυμαίνονται από 5-13°C. Τα καλοκαίρια (από Ιούνιο μέχρι Αύγουστο) είναι ξηρά και ζεστά με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 20-34°C. Οι συνθήκες αυτές σίγουρα επηρεάζουν την θερμοκρασία και τα απαιτούμενα φορτία ψύξης-θέρμανσης του κτιρίου.

Στη παράγραφο αυτή γίνεται αναλυτικός προσδιορισμός των φορτίων του απλού κτιρίου το οποίο έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 5.3.2 για τα κλιματολογικά δεδομένα της Αθήνας. Τα είδη των φορτίων που υπολογίζονται και τα αποτελέσματα των μηνιαίων τιμών που προκύπτουν, για τις τρεις θερμικές ζώνες, παρουσιάζονται όμοια με την περίπτωση των Χανίων.

7.2.2.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Σε αυτό το σκέλος μελετάται η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σύγχρονου κτιρίου με τη ενσωμάτωση ΥΑΦ (πάχος: 3cm). Παρακάτω παρατίθενται οι πινάκες και τα διαγράμματα που αφορούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συμβατικού κτιρίου και κτιρίου με ΥΑΦ.

ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	371,1	0,000	0,000	94,27	126,2
Φεβρουάριος	305,8	0,000	0,000	94,51	114,0
Μάρτιος	214,2	0,000	0,000	111,9	126,2
Απρίλιος	16,92	0,000	0,000	140,7	122,1
Μάιος	0,420	4,480	0,000	152,2	126,2
Ιούνιος	0,193	62,72	-165,9	162,6	122,1
Ιούλιος	0,000	237,2	-103,9	171,7	126,2
Αύγουστος	0,000	243,6	-96,33	178,1	126,2
Σεπτέμβριος	0,000	59,38	-155	146,5	109,9
Οκτώβριος	0,000	0,000	0,000	128,1	126,2
Νοέμβριος	91,66	0,000	0,000	88,25	122,1
Δεκέμβριος	309,7	0,000	0,000	77,79	126,2
Ετησίως	1.310	607,4	-521,13	1.546,62	1.473,6

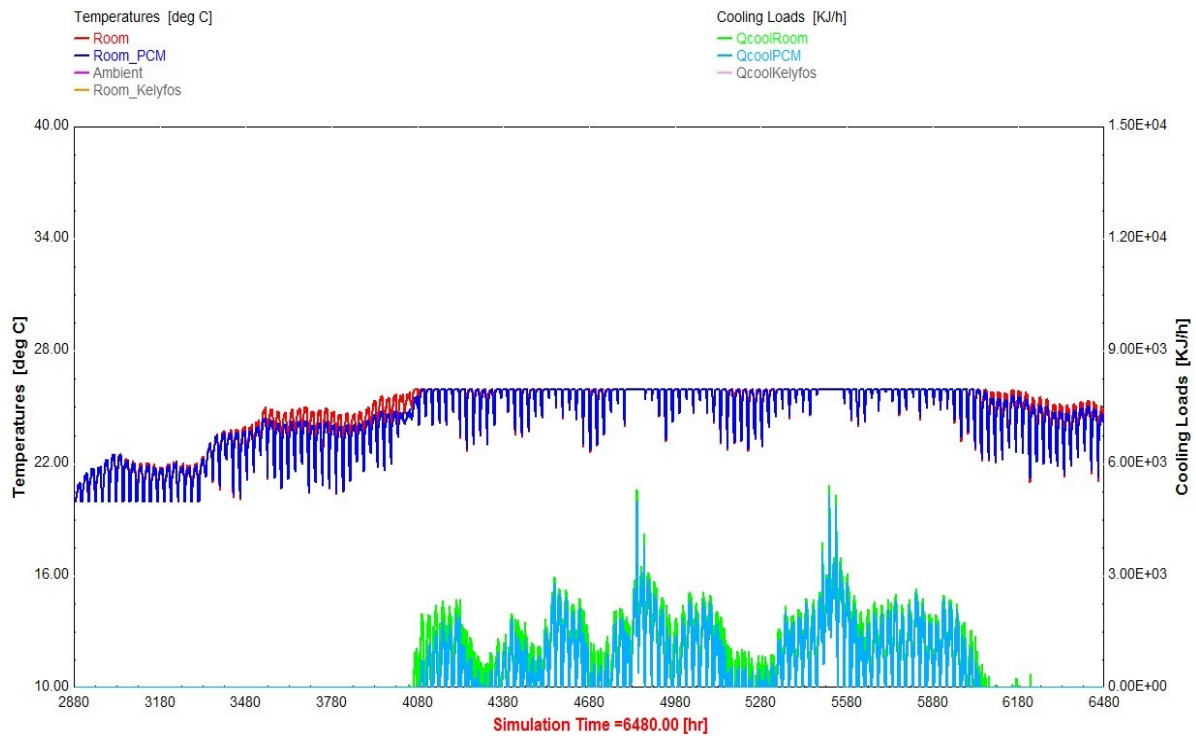
Πίνακας 7.4: Ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου (Αθήνα).

ΦΟΡΤΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΥΑΦ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	210,5	0,000	0,000	94,27	126,2
Φεβρουάριος	145,9	0,000	0,000	94,51	114,0
Μάρτιος	90,01	0,000	0,000	111,9	126,2
Απρίλιος	1,074	0,000	0,000	140,7	122,1
Μάιος	0,540	0,000	0,000	152,2	126,2
Ιούνιος	0,126	32,76	-154,2	162,6	122,1
Ιούλιος	0,000	187,5	-103,6	171,7	126,2
Αύγουστος	0,000	200,7	-96,37	178,1	126,2
Σεπτέμβριος	0,000	48,48	-154,7	146,5	109,9
Οκτώβριος	0,000	0,000	0,000	128,1	126,2
Νοέμβριος	5,579	0,000	0,000	88,25	122,1
Δεκέμβριος	152,2	0,000	0,000	77,79	126,2
Ετησίως	605,93	469,4	-508,87	1.546,62	1.473,6

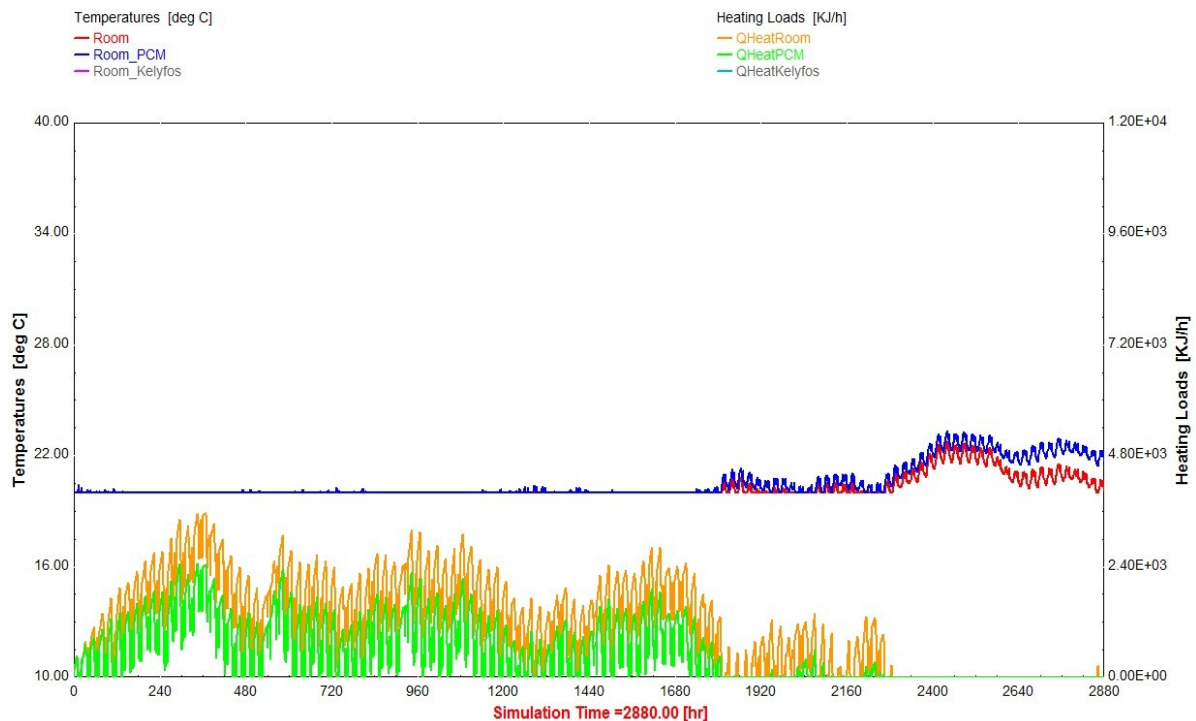
Πίνακας 7.5: Ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ (Αθήνα).

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι ετήσιες απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου στην περιοχή της Αθήνας για θέρμανση είναι 1.310 kWh και για ψύξη 607,4 kWh. Οι μήνες οπότε μεγιστοποιούνται οι απαιτήσεις για θέρμανση και για ψύξη του κτιρίου προκύπτουν ο Ιανουάριος με 371,1 kWh και ο Αύγουστος με 243,6 kWh αντίστοιχα. Το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο προκύπτει ίσο με 0,99 kW για την ώρα 365 (15 Ιανουαρίου 05:00 π.μ.), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ισούται με 1,51 kW για την ώρα 5.521 (20 Αυγούστου 12:00 μ.μ.). Παρατηρούμε ότι η καλύτερη απόκριση του κτιρίου με ΥΑΦ πράγματι αντιστοιχεί στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης καθώς για το κτίριο απαιτούνται 605,93 kWh για θέρμανση και 469,4 kWh για ψύξη, δηλαδή η ύπαρξη επιπροσθέτου στρώματος ΥΑΦ οδηγεί σε εξοικονόμηση 704,07 kWh για τα θερμικά φορτία (μείωση **53,7 %**) και 138 kWh για τα ψυκτικά φορτία (μείωση **22,72 %**).

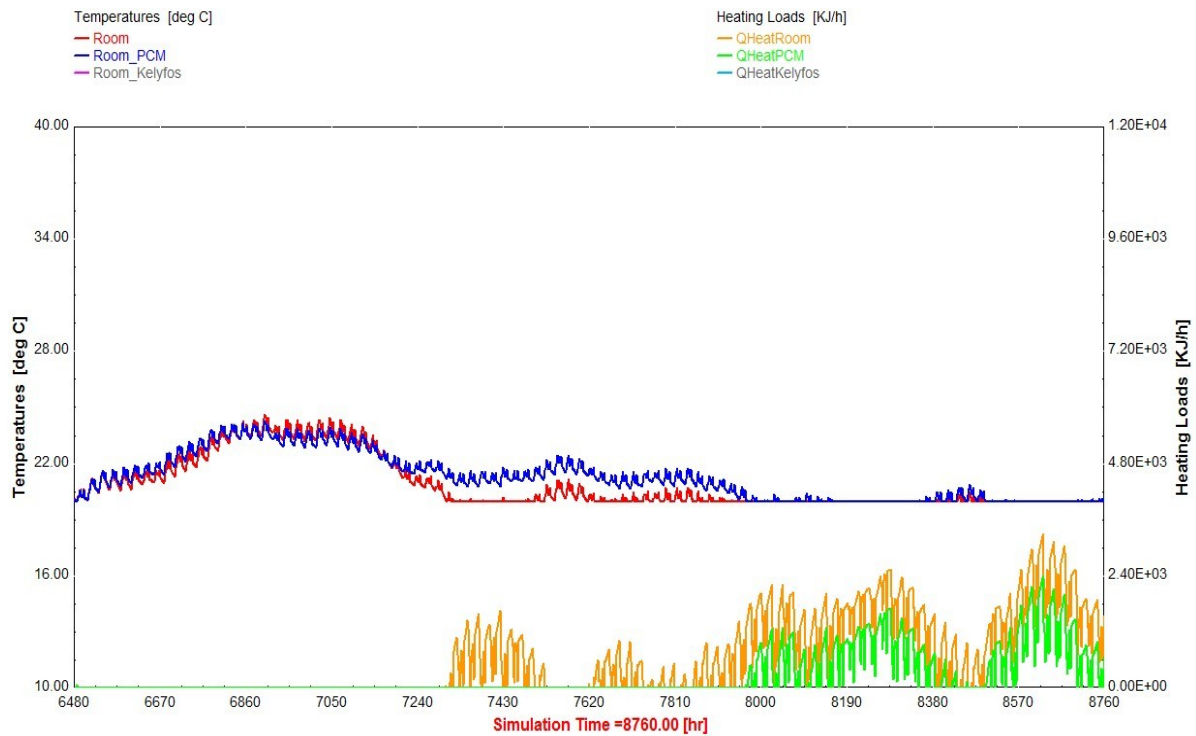
Επιπρόσθετα, παρατηρείται σημαντική μείωση της απαιτούμενης μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Ειδικότερα ,το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο για την περίπτωση κτιρίου με ΥΑΦ προκύπτει ίσο με 0,69 kW για την ώρα 296 (12 Ιανουαρίου 08:00 π.μ.), και το μέγιστο φορτίο που δέχεται το σύστημα ψύξης ισούται με 1,44 kW για την ώρα 5.521 (20 Αυγούστου 12:00 μ.μ.). Η μείωση αυτή είναι της τάξης του **30,3 %** για το σύστημα θέρμανσης και **4,6 %** για το σύστημα ψύξης.



Διάγραμμα 7.10: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα]



Διάγραμμα 7.11: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα]



Διάγραμμα 7.12: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα]

7.2.2.2 ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΑΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τα κτίρια κατασκευασμένα με παλαιότερους όρους δόμησης είναι εξαιρετικά ενεργοβόρα. Στη ενότητα αυτή εξετάζουμε τη δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων αυτών με την προσθήκη απλής μόνωσης (διογκωμένη πολυστερίνη πάχους 10 cm).

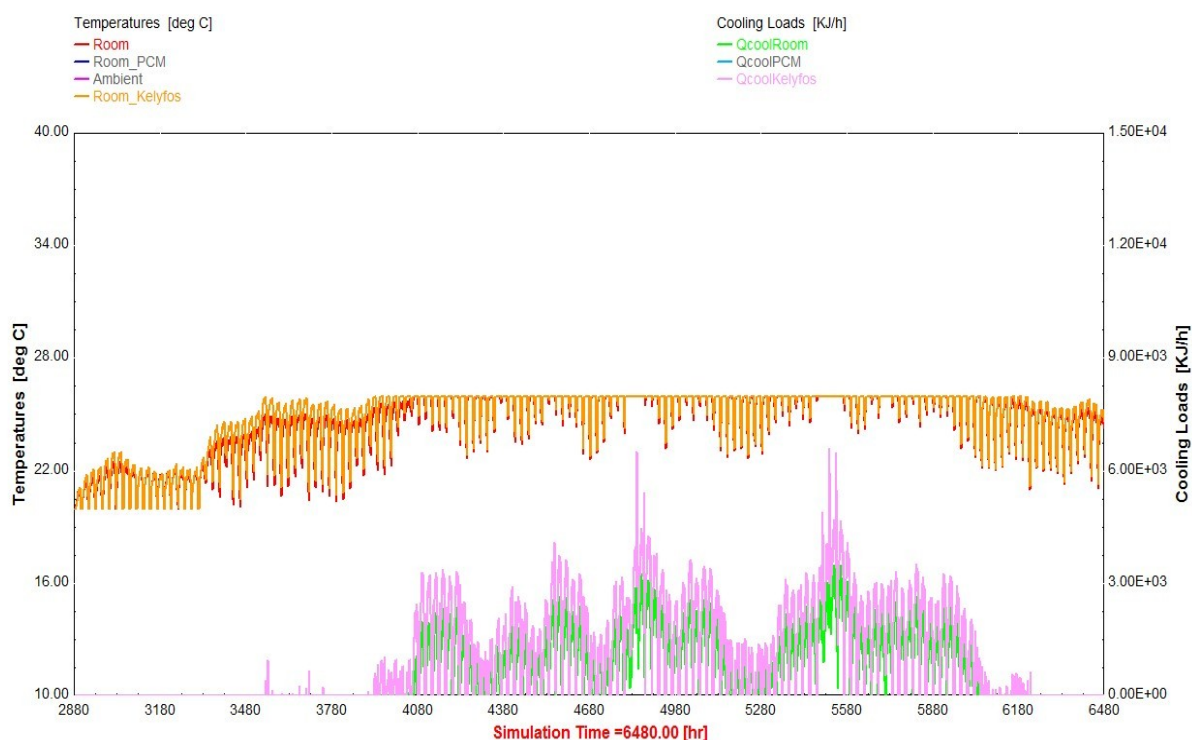
ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	595,8	0,000	0,000	94,27	126,2
Φεβρουάριος	494,1	0,000	0,000	94,51	114,0
Μάρτιος	357,3	0,000	0,000	111,9	126,2
Απρίλιος	45,78	0,000	0,000	140,7	122,1
Μάιος	0,530	18,38	0,000	152,2	126,2
Ιούνιος	0,060	122,2	-187,0	162,6	122,1
Ιούλιος	0,000	368,2	-114,4	171,7	126,2
Αύγουστος	0,000	365,4	-105,1	178,1	126,2
Σεπτέμβριος	0,000	90,96	-163,4	146,5	109,9
Οκτώβριος	9,186	0,000	0,000	128,1	126,2
Νοέμβριος	201,5	0,000	0,000	88,25	122,1
Δεκέμβριος	500,1	0,000	0,000	77,79	126,2
Ετησίως	2.204,36	965,14	-569,9	1.546,62	1.473,6

Πίνακας 7.6: Ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου παλαιότερης κατασκευής (Αθήνα).

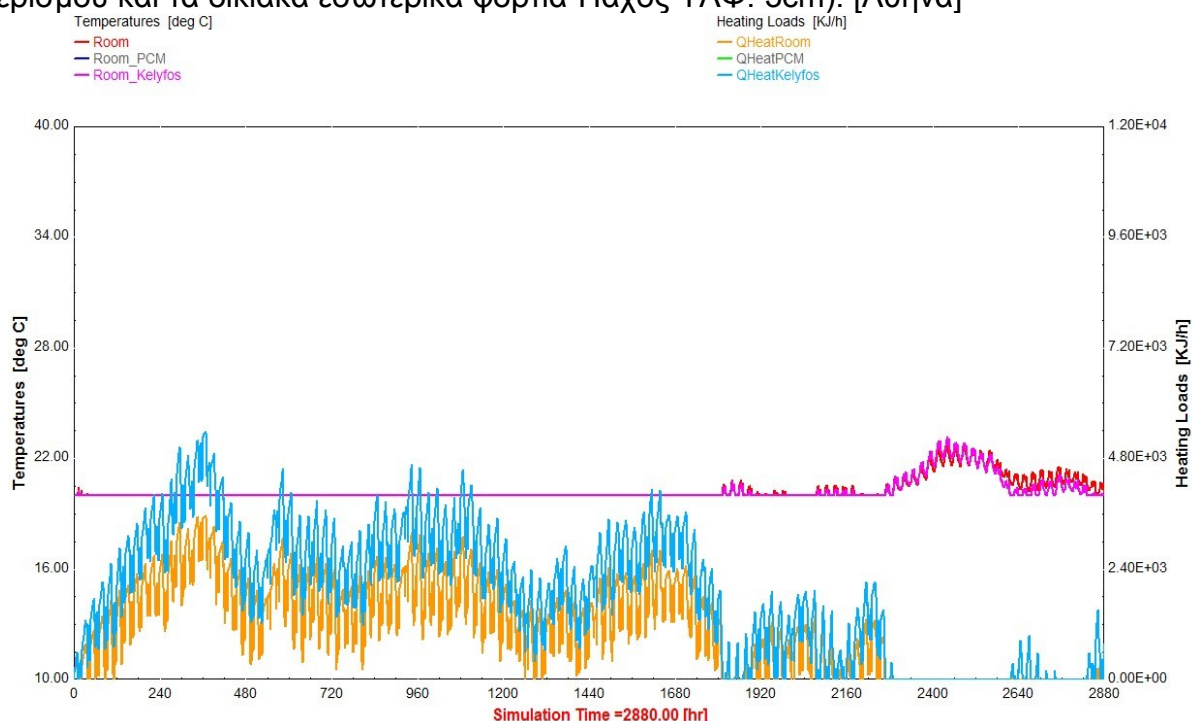
Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι ετήσιες απαιτήσεις θέρμανσης-ψύξης ενός παλαιού κτιρίου ανέρχονται σε 2.204,36 kWh και 965,14 kWh για την περίπτωση της Αθήνας. Οι μήνες οπότε υπάρχει η μέγιστη απαίτηση αυτής της ζώνης για θέρμανση και ψύξη είναι ο Ιανουάριος με 595,8 kWh και ο Ιούλιος με 368,2 kWh. Το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο για την περίπτωση κτιρίου παλαιάς κατασκευής προκύπτει ίσο με 1,5 kW για την ώρα 368 (15 Ιανουαρίου 08:00 π.μ.), και το μέγιστο φορτίο που δέχεται το σύστημα ψύξης ισούται με 1,83 kW για την ώρα 5.521 (20 Αυγούστου 12:00 μ.μ.).

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το μονωμένο κτίριο είναι 1.310 kWh για θέρμανση, δηλαδή μειωμένα κατά 894,36 kWh (μείωση **40,57 %**) σε σχέση με το παλαιότερο κτίριο και 607,4 kWh για ψύξη, δηλαδή μειωμένα κατά 357,74 kWh (μείωση **37 %**). Ο Ιανουάριος με 371,1 kWh για θέρμανση και ο Αύγουστος με 243,6 kWh για ψύξη αποτελούν τους πιο ενεργοβόρους μήνες σε αυτή την περίπτωση.

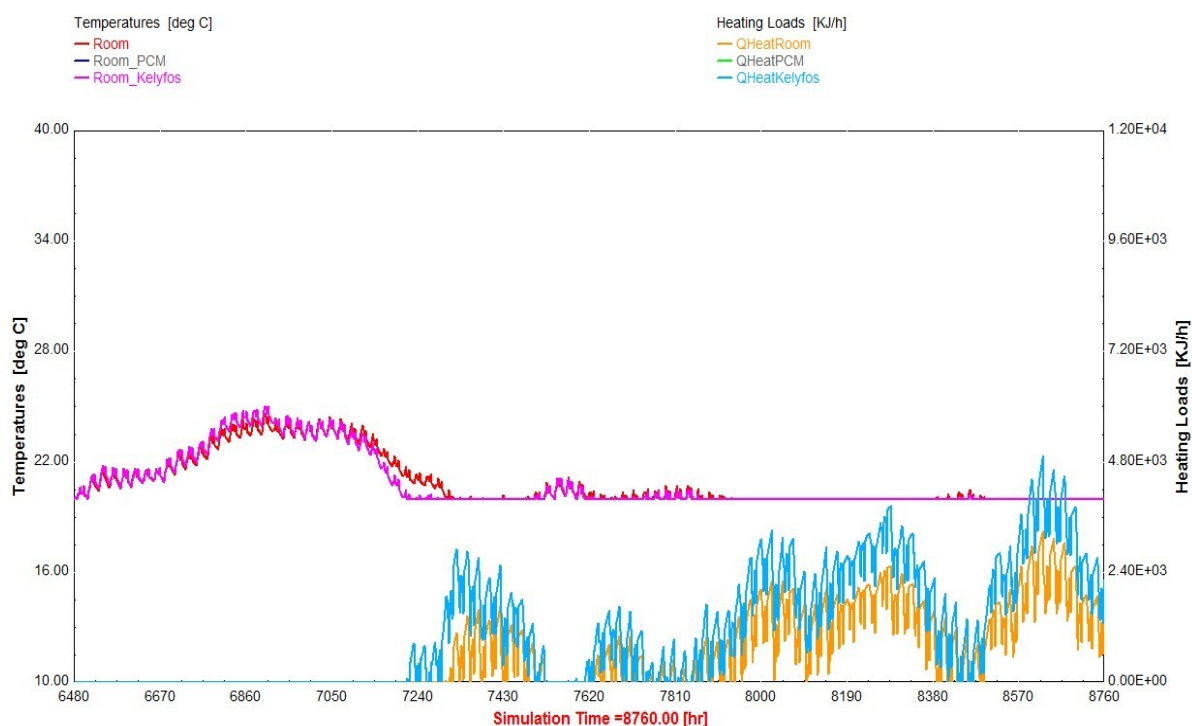
Οι τιμές της απαιτούμενης μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης οδηγεί στη βέλτιστη διαστασιολόγηση των συστημάτων αυτών. Για το μονωμένο κτίριο το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο προκύπτει ίσο με 0,99 kW (μείωση **34%** σε σχέση με αυτό του παλαιού κτιρίου) για την ώρα 365 (15 Ιανουαρίου 05:00 π.μ.), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ισούται με 1,51 kW (μείωση **19,7%** σε σχέση με αυτό του παλαιού κτιρίου) για την ώρα 5.521 (20 Αυγούστου 12:00 μ.μ.). Το γενικότερο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η πρόσθεση μόνωσης σε ένα κτίριο βελτιώνει αρκετά την ενεργειακή απόδοση του και αναδεικνύει την υπερδιαστασιολόγηση των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης.



Διάγραμμα 7.13: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα]



Διάγραμμα 7.14: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα]



Διάγραμμα 7.15: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα]

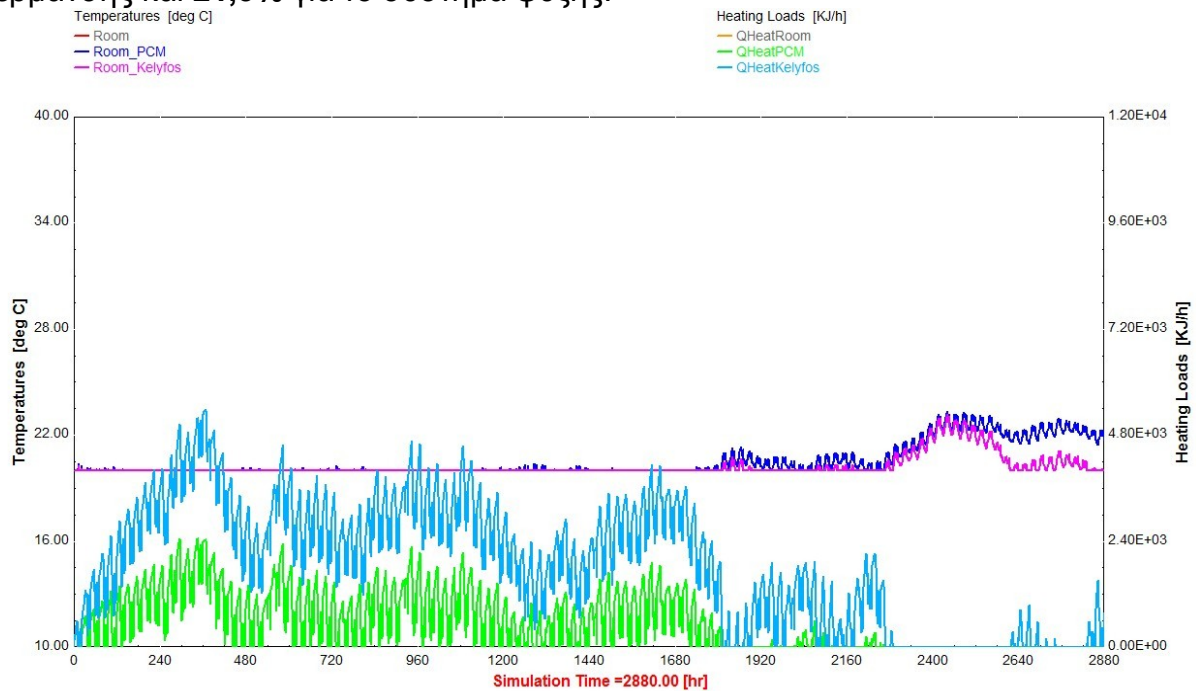
7.2.2.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΥΑΦ

Στη παράγραφο αυτή παρουσιάζεται μια σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίου με ΥΑΦ και κτιρίου παλαιάς κατασκευής. Τα αποτελέσματα που έχουν υπολογιστεί βρίσκονται στους πίνακες 7.4 και 7.6. Επιπλέον παρατίθενται τα διαγράμματα των προσομοιώσεων που διεξήχθησαν.

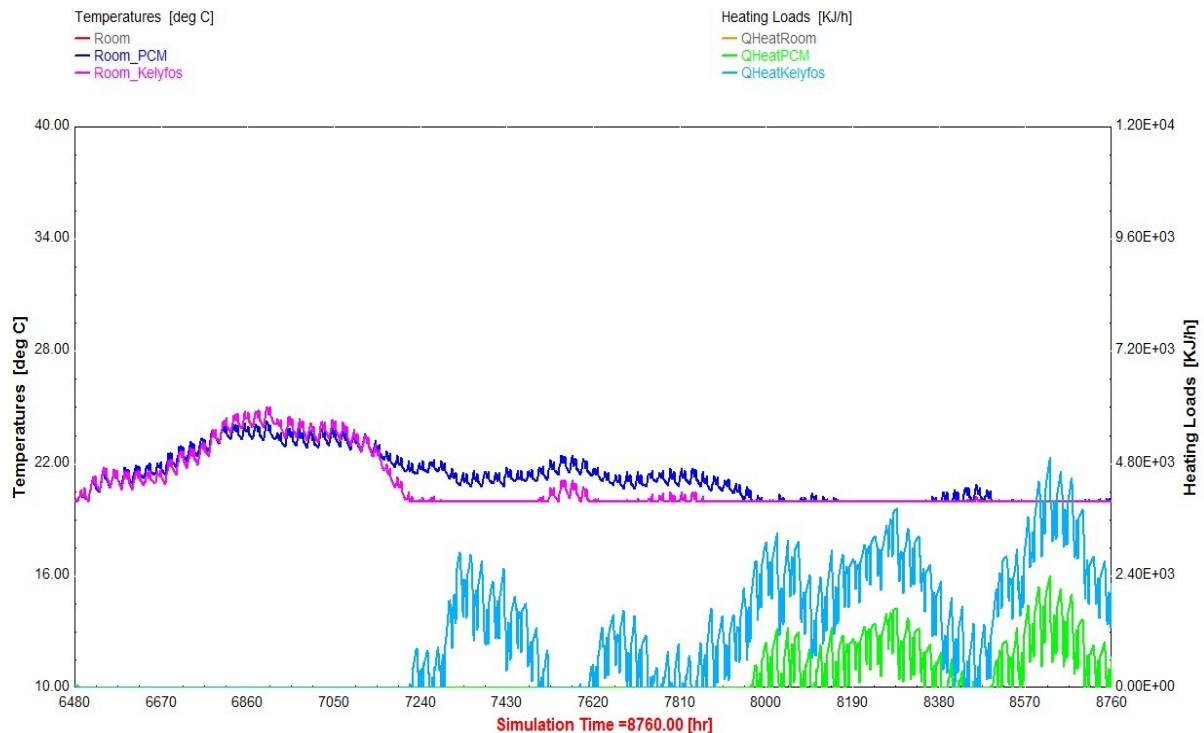
Όπως αναφέρεται και παραπάνω, τα απαιτούμενα φορτία για τη θέρμανση και τη ψύξη της παλαιάς κατασκευής υπολογίζονται ως 2.204,36 kWh και 965,14 kWh αντίστοιχα. Οι ανάλογες ετήσιες απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ για θέρμανση ανέρχονται στις 605,93 kWh για θέρμανση, δηλαδή είναι μειωμένες κατά 1.599 kWh (μείωση περίπου **72,54 %**) σε σχέση με τα αντίστοιχα φορτία για το κτίριο παλαιάς κατασκευής και 469,4 kWh για ψύξη, μειωμένες κατά 494,74 kWh (μείωση **51,26 %**) σε σχέση με το κτίριο παλαιάς κατασκευής.

Στην ζώνη με ΥΑΦ το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο είναι ίσο με 0,69 kW για την ώρα 296 (12 Ιανουαρίου 08:00 π.μ.), και το μέγιστο φορτίο που δέχεται το σύστημα ψύξης ισούται με 1,44 kW για την ώρα 5.521 (20 Αυγούστου 12:00 μ.μ.). Ενώ το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο για την περίπτωση κτιρίου παλαιάς κατασκευής προκύπτει ίσο με 1,5 kW για την ώρα 368 (15 Ιανουαρίου 08:00 π.μ.), και το μέγιστο φορτίο που δέχεται το σύστημα ψύξης ισούται με 1,83 kW για την ώρα 5.521 (20 Αυγούστου

12:00 μ.μ.). Παρατηρείται δηλαδή μια μείωση της τάξης του **54%** για το σύστημα θέρμανσης και **21,3%** για το σύστημα ψύξης.

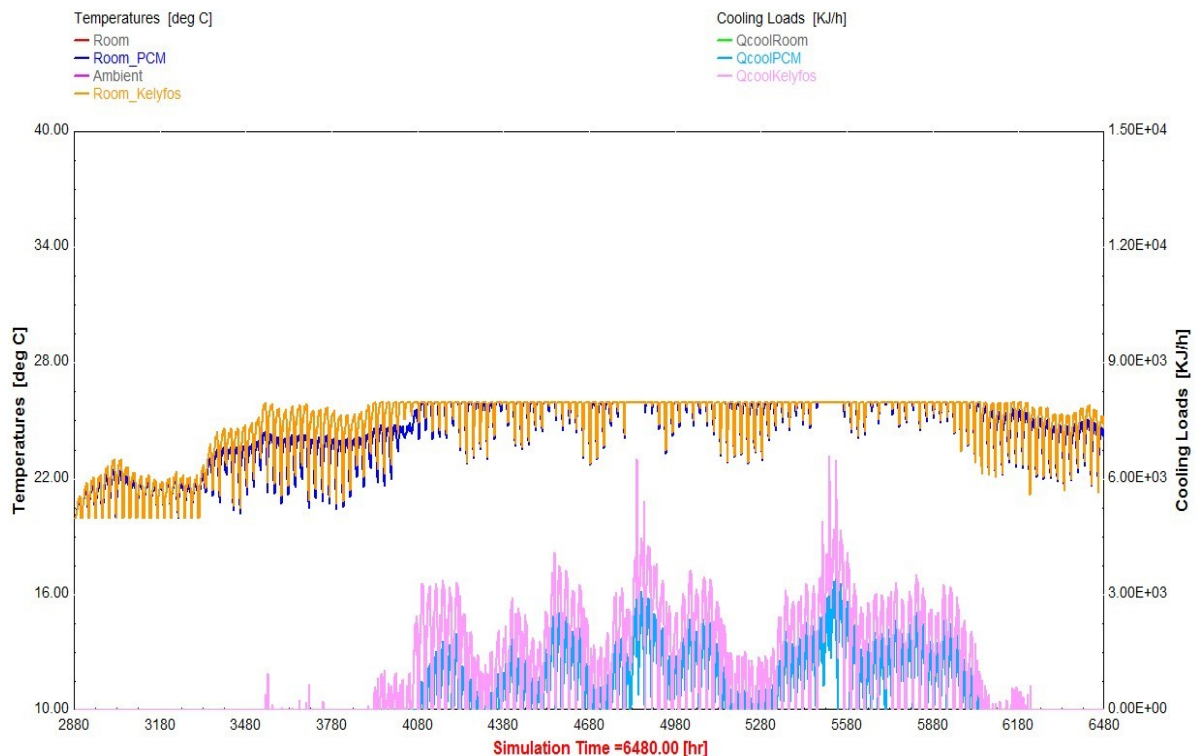


Διάγραμμα 7.16: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα]



Διάγραμμα 7.17: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου

(ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα]



Διάγραμμα 7.18: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Αθήνα]

7.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΉ ΖΩΝΗ Γ (ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ)

Το κλίμα της Θεσσαλονίκης είναι μεσογειακό και υγρό. Τον χειμώνα η θερμοκρασία πέφτει πολύ χαμηλά με αποτέλεσμα να σημειώνεται παγετός. Η πιο μεγάλη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί στο μετεωρολογικό σταθμό του αεροδρομίου Μακεδονία το καλοκαίρι ήταν 44°C ενώ η χαμηλότερη ήταν -14°C.

Οι συνθήκες αυτές σίγουρα επηρεάζουν την θερμοκρασία και τα απαιτούμενα φορτία ψύξης-θέρμανσης του κτιρίου. Στη παράγραφο αυτή γίνεται αναλυτικός προσδιορισμός των φορτίων του απλού κτιρίου το οποίο έχει περιγραφεί στη παράγραφο 5.3.2 για τα κλιματολογικά δεδομένα της Θεσσαλονίκης. Τα είδη των φορτίων που υπολογίζονται και τα αποτελέσματα των μηνιαίων τιμών που προκύπτουν, για τις τρεις θερμικές ζώνες, παρουσιάζονται όμοια με τις περιπτώσεις παραπάνω.

7.2.3.1 ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Σε αυτό το σκέλος μελετάται η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σύγχρονου κτιρίου με τη ενσωμάτωση ΥΑΦ (πάχος: 3cm) για τα κλιματολογικά δεδομένα της

Θεσσαλονίκης. Παρακάτω παρατίθενται οι πινάκες αποτελεσμάτων και τα διαγράμματα που αφορούν την προσομοίωση συμβατικού και κτιρίου με ΥΑΦ.

ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	638,3	0,000	0,000	61,99	126,2
Φεβρουάριος	505,6	0,000	0,000	68,27	114,0
Μάρτιος	359,8	0,000	0,000	94,98	126,2
Απρίλιος	68,93	0,000	0,000	121,2	122,1
Μάιος	0,520	0,550	0,000	138,8	126,2
Ιούνιος	1,927	28,17	-180,8	147,7	122,1
Ιούλιος	0,000	144,2	-137,7	149,2	126,2
Αύγουστος	0,000	129,5	-139,7	149,0	126,2
Σεπτέμβριος	11,20	10,39	-181,6	110,7	109,9
Οκτώβριος	34,39	0,000	0,000	95,63	126,2
Νοέμβριος	31,35	0,000	0,000	67,96	122,1
Δεκέμβριος	589,0	0,000	0,000	53,24	126,2
Ετησίως	2.241,02	312,81	-639,8	1.258,67	1.473,6

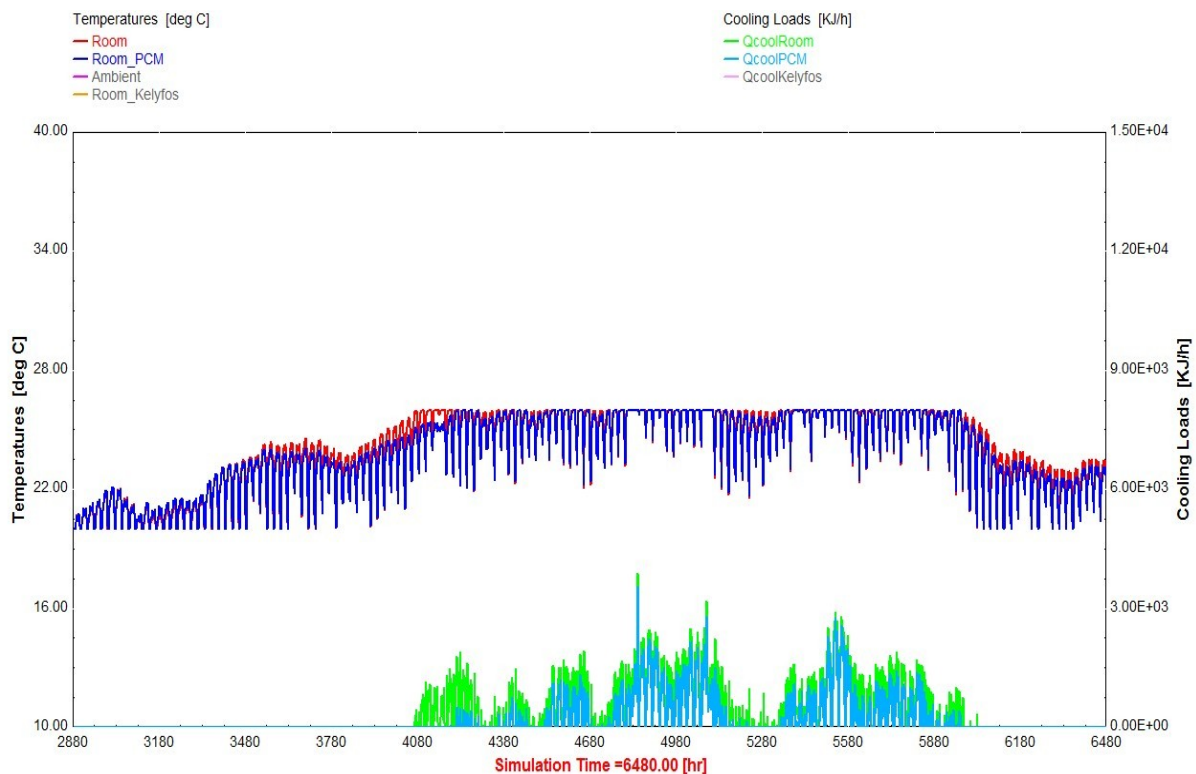
Πίνακας 7.7: Ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου (Θεσσαλονίκη).

ΦΟΡΤΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΥΑΦ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	402,2	0,000	0,000	61,99	126,2
Φεβρουάριος	283,5	0,000	0,000	68,27	114,0
Μάρτιος	180,5	0,000	0,000	94,98	126,2
Απρίλιος	19,99	0,000	0,000	121,2	122,1
Μάιος	0,631	0,000	0,000	138,8	126,2
Ιούνιος	1,481	2,347	-168,8	147,7	122,1
Ιούλιος	0,000	96,00	-136,9	149,2	126,2
Αύγουστος	0,000	84,50	-139,0	149,0	126,2
Σεπτέμβριος	13,40	3,966	-177,0	110,7	109,9
Οκτώβριος	0,400	0,000	0,000	95,63	126,2
Νοέμβριος	183,4	0,000	0,000	67,96	122,1
Δεκέμβριος	354,2	0,000	0,000	53,24	126,2
Ετησίως	1.439,7	186,813	-621,7	1.258,67	1.473,6

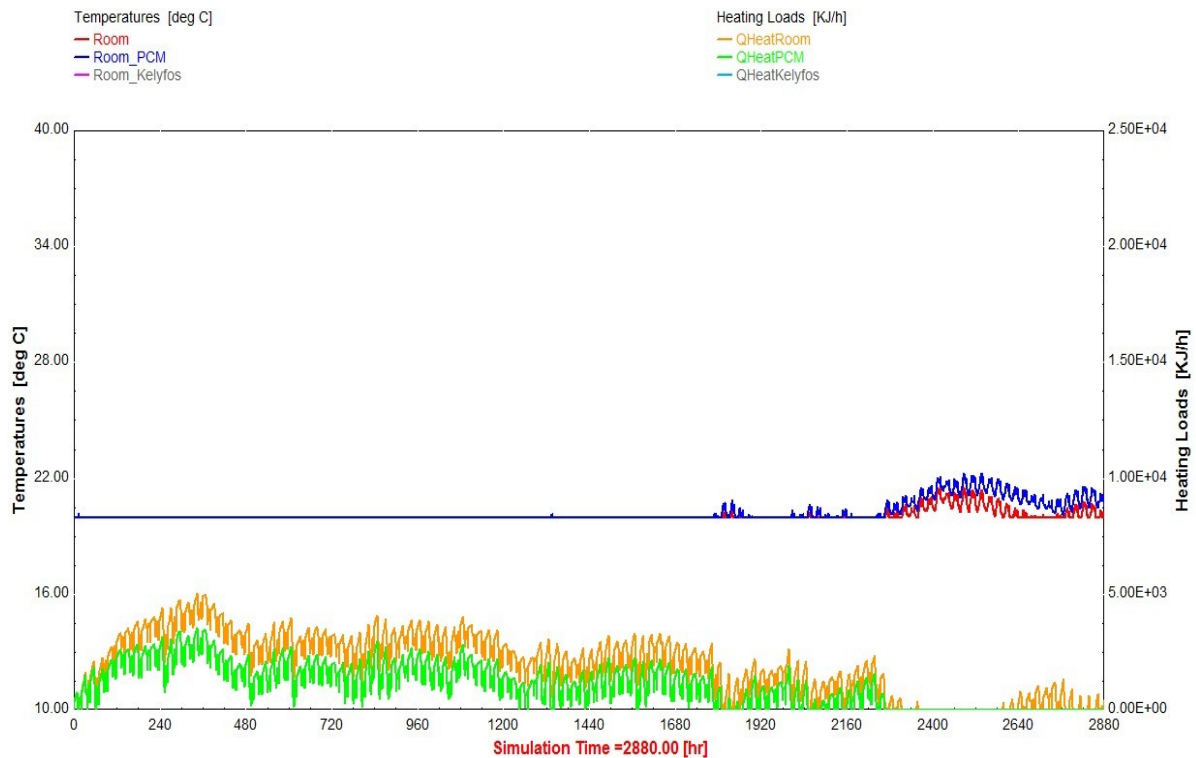
Πίνακας 7.8: Ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ (Θεσσαλονίκη).

Οι ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης του κτιρίου με ΥΑΦ σε αυτή την περίπτωση είναι μειωμένες κατά 801,32 kWh (μείωση περίπου **35,76 %**) σε σχέση με τα αντίστοιχα φορτία για το κτίριο συμβατικής κατασκευής. Οι αντίστοιχες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη, είναι επίσης μειωμένες κατά 126 kWh (μείωση **40,3 %**) σε σχέση με το κτίριο συμβατικής κατασκευής.

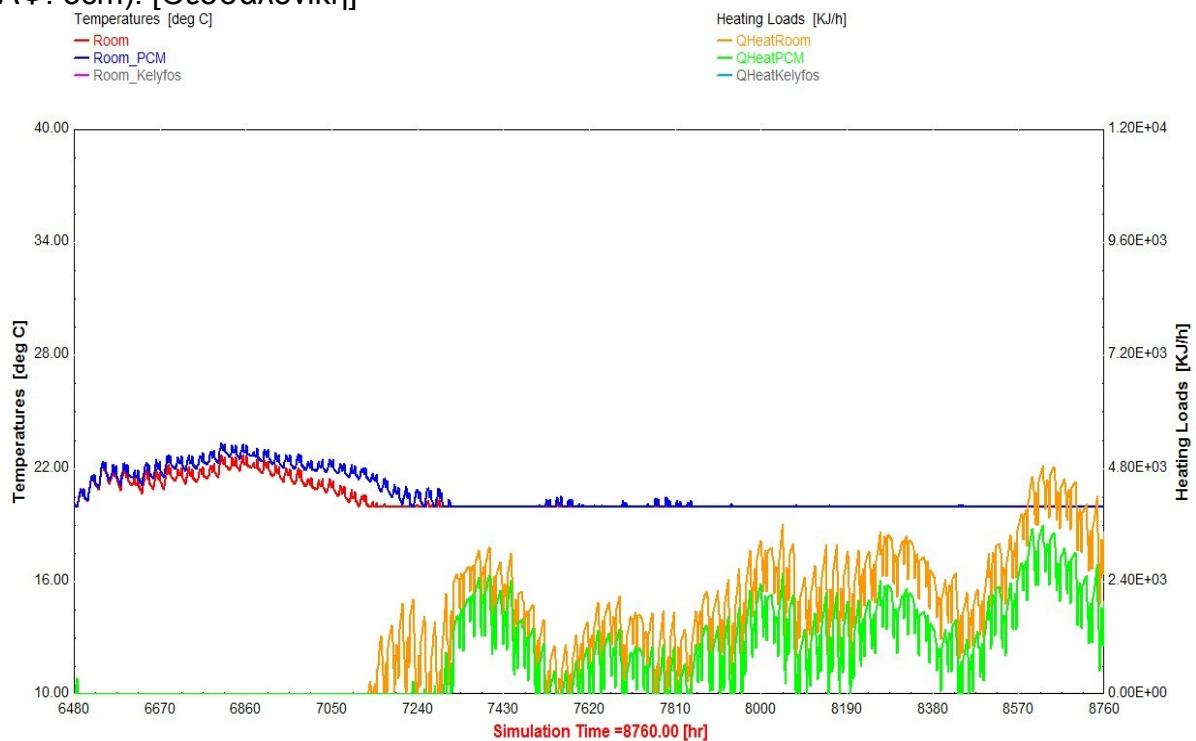
Στο κτίριο συμβατικής κατασκευής παρατηρείται επίσης ότι το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο προκύπτει ίσο με 1,4 kW για την ώρα 345 (14 Ιανουαρίου 09:00 π.μ.), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ισούται με 1,08 kW για την ώρα 4.849 (22 Ιουλίου 12:00 μ.μ.). Οι αντίστοιχες τιμές για το κτίριο με ΥΑΦ είναι ότι το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο προκύπτει ίσο με 1kW για την ώρα 345 (14 Ιανουαρίου 09:00 π.μ.), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ισούται με 0,99kW για την ώρα 4.849 (22 Ιουλίου 12:00 μ.μ.). Δηλαδή η ύπαρξη ΥΑΦ στο κτίριο μειώνει την απαίτηση της μέγιστης ισχύς των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης κατά **28,6 %** και **8,3%** για το σύστημα ψύξης.



Διάγραμμα 7.19: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη]



Διάγραμμα 7.20: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη]



Διάγραμμα 7.21: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου

(ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη]

7.2.3.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΙΑΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Σε αυτή την ενότητα εξετάζουμε τη δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης παλαιών κτιρίων με την προσθήκη απλής μόνωσης (διογκωμένη πολυστερίνη πάχους 10 cm).

ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	981,1	0,000	0,000	61,99	126,2
Φεβρουάριος	708,5	0,000	0,000	68,27	114,0
Μάρτιος	572,9	0,000	0,000	94,98	126,2
Απρίλιος	135,1	0,000	0,000	121,2	122,1
Μάιος	0,635	0,000	0,000	138,8	126,2
Ιούνιος	0,640	77,18	-202,3	147,7	122,1
Ιούλιος	0,000	249,6	-149,8	149,2	126,2
Αύγουστος	0,000	219,5	-150,2	149,0	126,2
Σεπτέμβριος	11,59	19,10	-186,1	110,7	109,9
Οκτώβριος	83,65	0,000	0,000	95,63	126,2
Νοέμβριος	503,8	0,000	0,000	67,96	122,1
Δεκέμβριος	905,2	0,000	0,000	53,24	126,2
Ετησίως	3903,15	565,38	-688,4	1.258,67	1.473,6

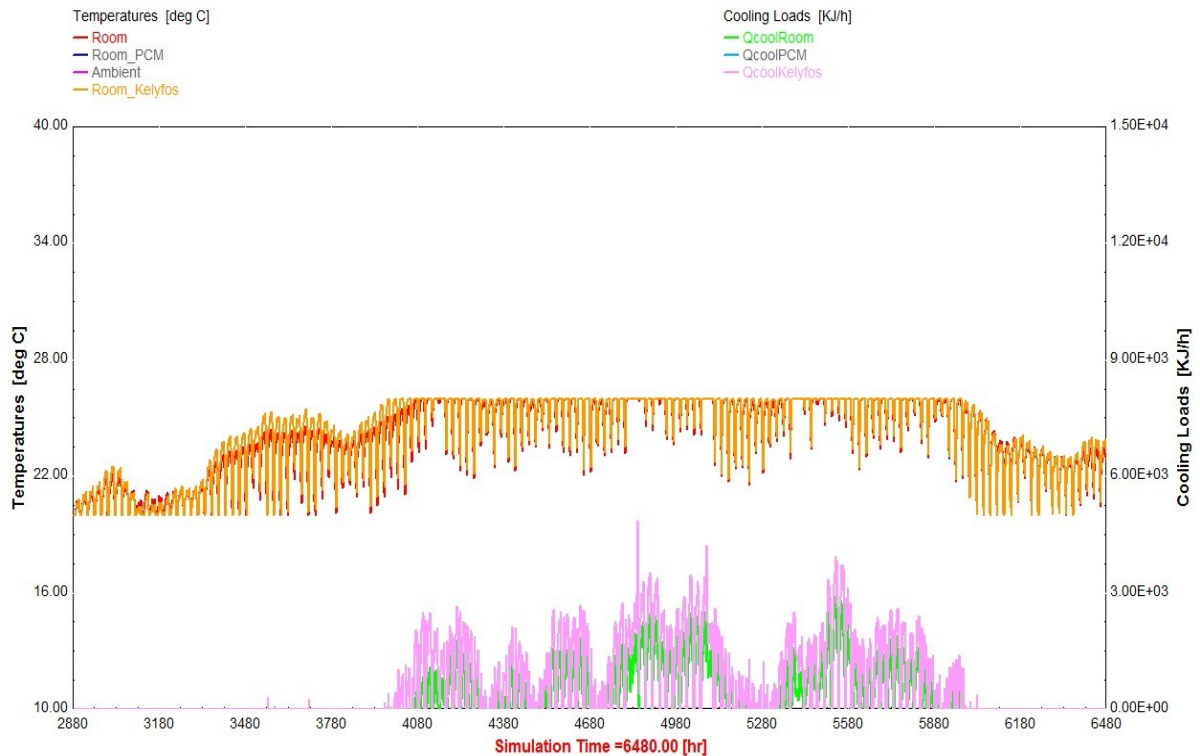
Πίνακας 7.9: Ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου παλαιότερης κατασκευής (Θεσσαλονίκη).

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι ετήσιες απαιτήσεις θέρμανσης-ψύξης ενός παλαιού κτιρίου ανέρχονται σε 3903,15 kWh και 565,38 kWh αντίστοιχα .Οι μήνες κατά τη διάρκεια των οποίων προκύπτει η μέγιστη απαίτηση για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου είναι και σε αυτή την περίπτωση ο Ιανουάριος με 981,1 kWh και ο Ιούλιος με 249,6 kWh.Το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο για την περίπτωση κτιρίου παλαιάς κατασκευής προκύπτει ίσο με 2,05 kW για την ώρα 365 (15 Ιανουαρίου 05:00 π.μ.), και το μέγιστο φορτίο που δέχεται το σύστημα ψύξης ισούται με 1,35 kW για την ώρα 4.849 (22 Ιουλίου 12:00 μ.μ.).

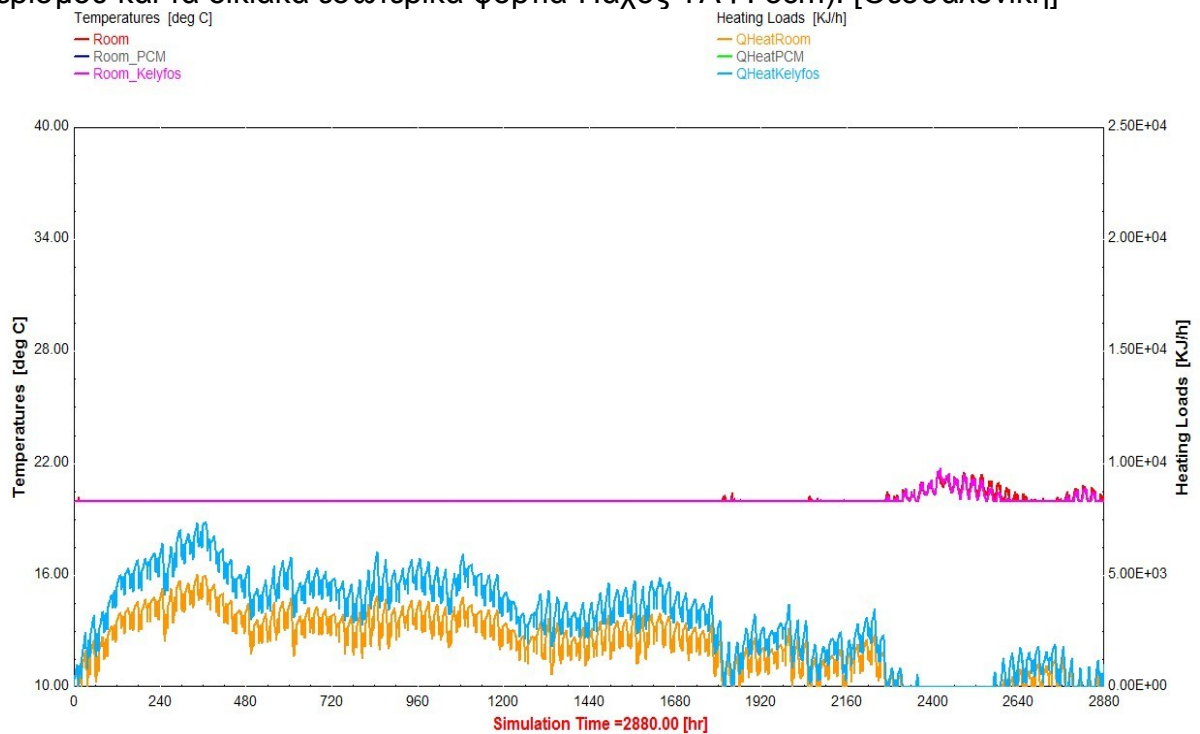
Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το μονωμένο κτίριο είναι 2.241,02 kWh για θέρμανση, δηλαδή μειωμένα κατά 1.662,13 kWh (μείωση **42,58 %**) σε σχέση με το παλαιότερο κτίριο και 312,81 kWh για ψύξη, δηλαδή μειωμένα κατά 252,57 kWh(μείωση **44,67 %**). Ο Ιανουάριος με 638,3 kWh για θέρμανση και ο Ιούλιος με 144,2 kWh για ψύξη αποτελούν τους πιο ενεργοβόρους μήνες και σε αυτή την περίπτωση.

Για το μονωμένο κτίριο το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο που απαιτείται, προκύπτει ίσο με 1,4 kW (μείωση **31,7%** σε σχέση με αυτό του παλαιού κτιρίου) για την ώρα 345 (14 Ιανουαρίου 09:00 π.μ.), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ισούται με 1,08

kW (μείωση **20%** σε σχέση με αυτό του παλαιού κτιρίου) για την ώρα 4.849 (22 Ιουλίου 12:00 μ.μ.).

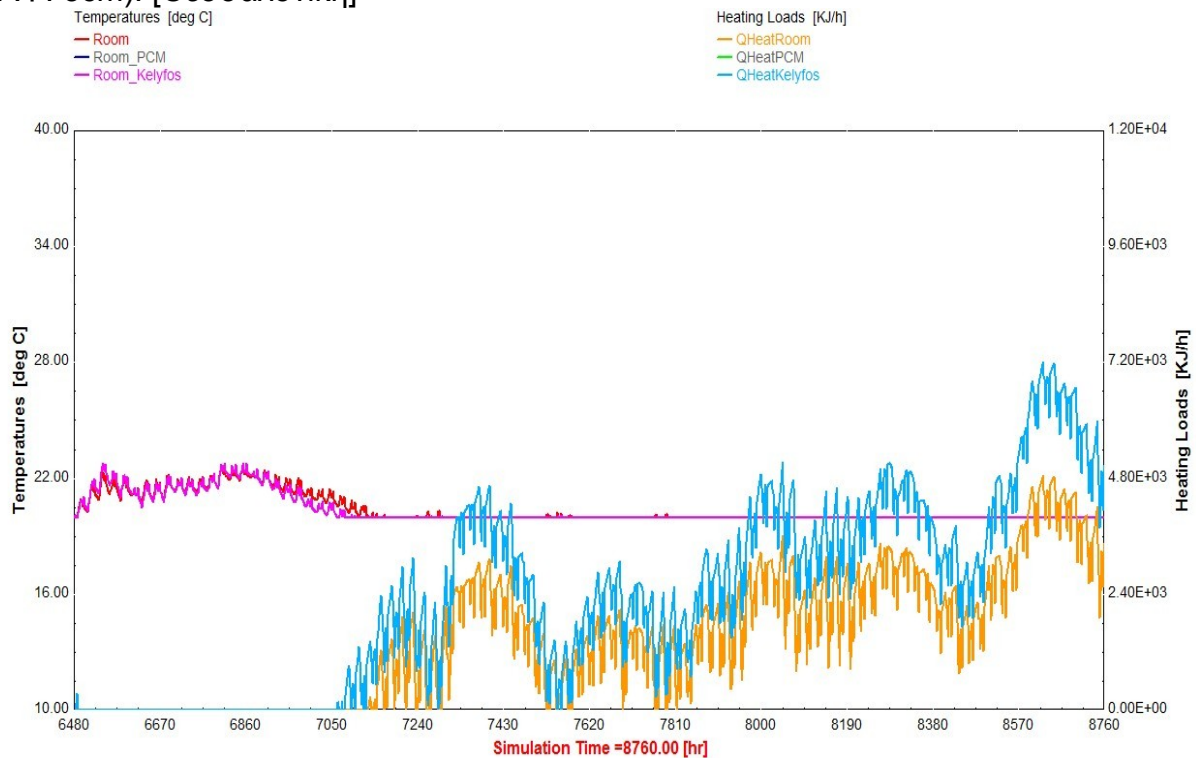


Διάγραμμα 7.22: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη]



Διάγραμμα 7.23: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου

(ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη]

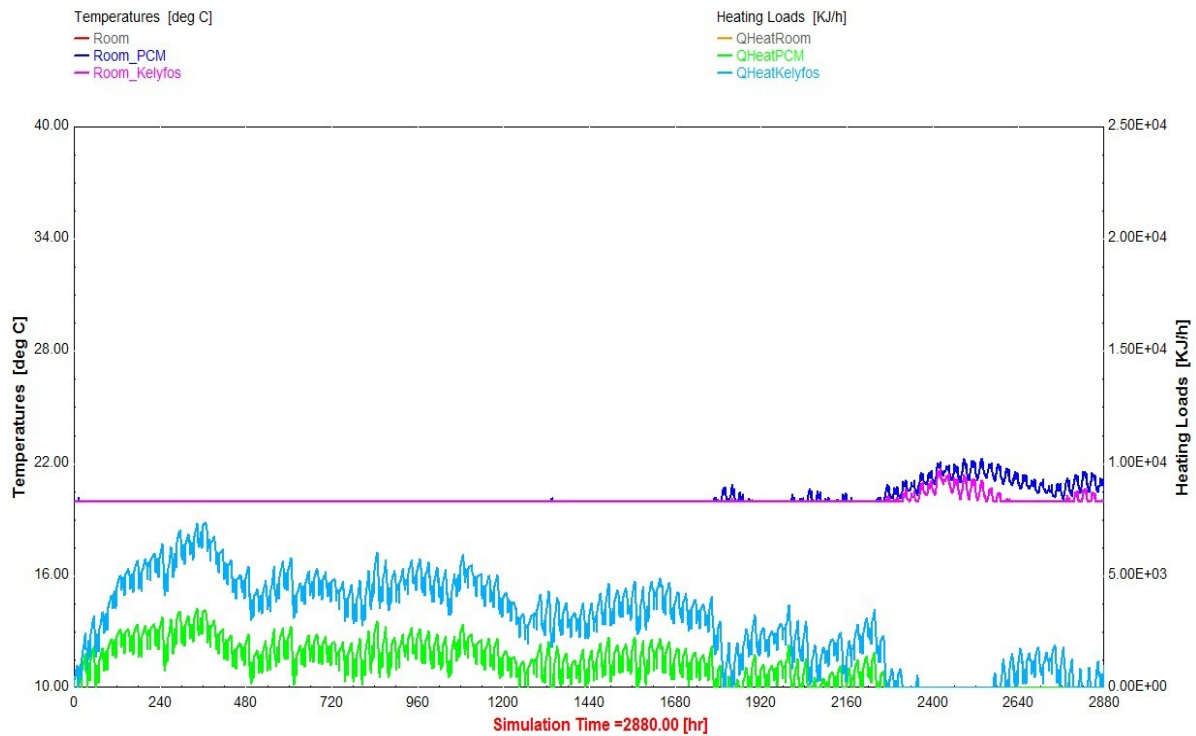


Διάγραμμα 7.24: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη]

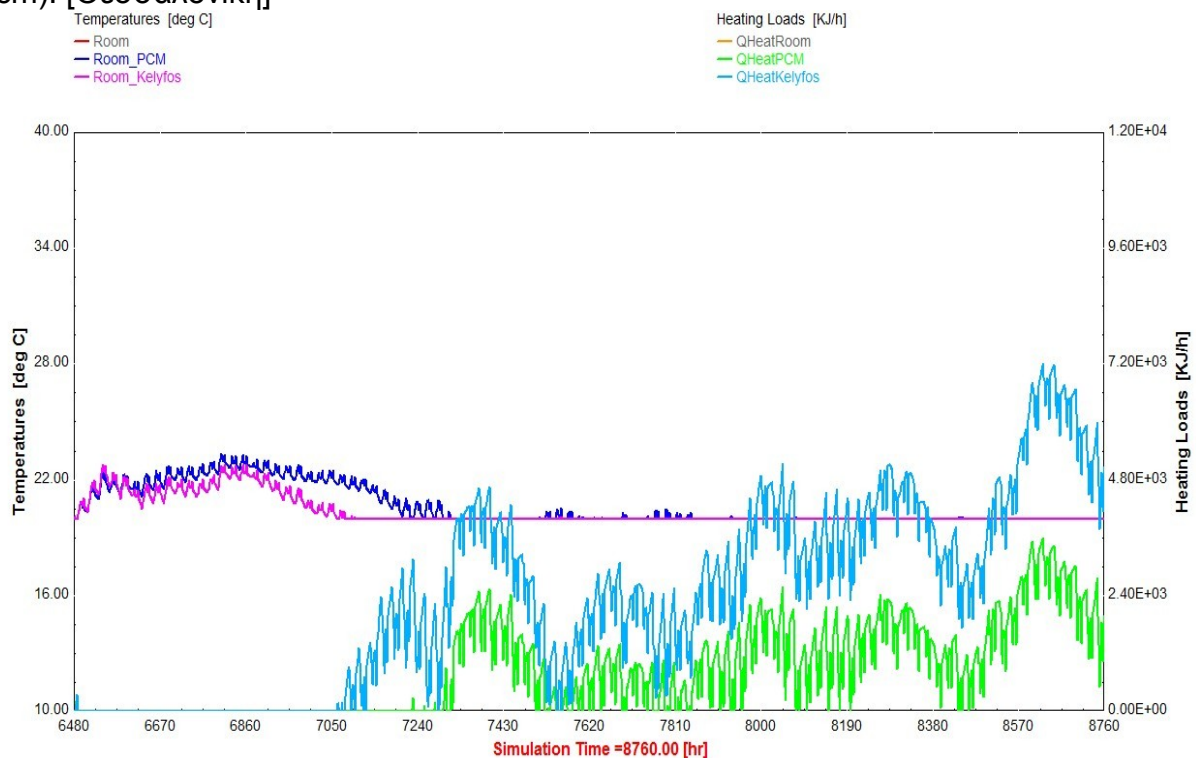
7.2.3.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΑΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΥΑΦ

Όπως αναφέρεται και παραπάνω, τα απαιτούμενα φορτία για τη θέρμανση και τη ψύξη της παλαιάς κατασκευής υπολογίζονται ως 3903,15 kWh και 565,38 kWh αντίστοιχα. Οι ανάλογες ετήσιες απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ για θέρμανση ανέρχονται στις 1.439,7 kWh για θέρμανση, δηλαδή είναι μειωμένες κατά **63,11 %** σε σχέση με τα αντίστοιχα φορτία για το κτίριο παλαιάς κατασκευής και 186,813 kWh για ψύξη, δηλαδή μειωμένες **67%** σε σχέση με το κτίριο παλαιάς κατασκευής.

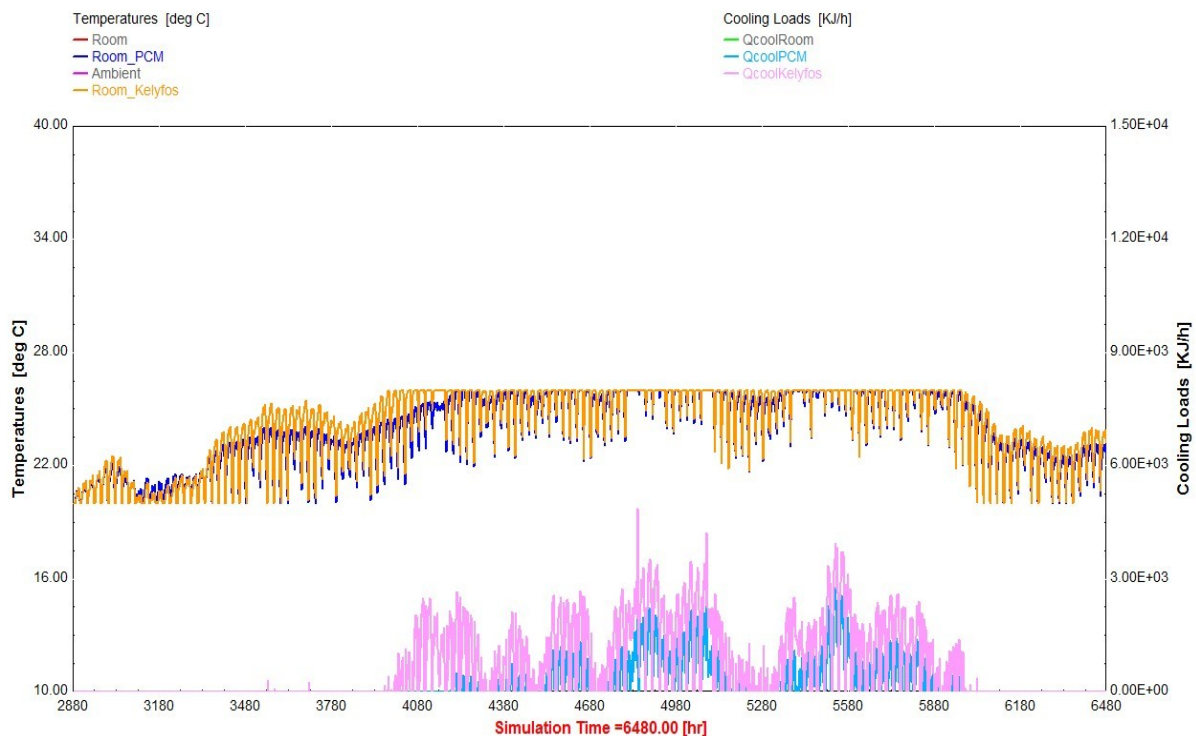
Το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο ,που δέχεται το σύστημα για την περίπτωση κτιρίου με ΥΑΦ ,προκύπτει ίσο με 1 kW για την ώρα 345 (14 Ιανουαρίου 09:00 π.μ.), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ισούται με 0,99 kW για την ώρα 4.849 (22 Ιουλίου 12:00 μ.μ.). Οι αντίστοιχες υπολογισμένες τιμές του κτιρίου παλαιάς κατασκευής είναι 2,05 kW για την ώρα 365 (15 Ιανουαρίου 05:00 π.μ.), και το μέγιστο φορτίο που δέχεται το σύστημα ψύξης ισούται με 1,35 kW για την ώρα 4.849 (22 Ιουλίου 12:00 μ.μ.). Άρα προκύπτει μια μείωση της τάξης του **51,22 %** για το σύστημα θέρμανσης και **26,7%** για το σύστημα ψύξης.



Διάγραμμα 7.25: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη]



Διάγραμμα 7.26: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη]



Διάγραμμα 7.27: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης, το σύστημα αερισμού και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Θεσσαλονίκη]

7.2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΉ ΖΩΝΗ Δ (ΚΑΣΤΟΡΙΑ)

Το κλίμα του νομού είναι ηπειρωτικό, ενώ κλίνει συγχρόνως προς το μεσευρωπαϊκό. Γενικά, η μέση μηνιαία θερμοκρασία υπερβαίνει τους 20°C μόνο από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο. Ο χειμώνας είναι δριμύς και είναι συχνό το φαινόμενο του ολικού παγετού, της διατήρησης δηλαδή της θερμοκρασίας σε όλη τη διάρκεια της ημέρας υπό του μηδενός. Το καλοκαίρι η θερμοκρασία πολλές φορές υπερβαίνει τους 40°C. Η περιοχή είναι πολύ υγρή τους χειμερινούς μήνες και σχετικά ξηρή τους καλοκαιρινούς. Οι συνθήκες αυτές επηρεάζουν την θερμοκρασία και τα απαιτούμενα φορτία ψύξης-θέρμανσης του κτιρίου. Στη παράγραφο αυτή γίνεται αναλυτικός προσδιορισμός των φορτίων του απλού κτιρίου το οποίο έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 5.3.2 για τα κλιματολογικά δεδομένα της Καστοριάς. Το κτίριο αναφοράς διαφοροποιείται σε σχέση με τις προαναφερθείσες περιπτώσεις καθώς θεωρούμαι ότι ο αερισμός δεν λειτουργεί κατά την περίοδο ψύξης. Τα είδη των φορτίων που υπολογίζονται και τα αποτελέσματα των μηνιαίων τιμών που προκύπτουν, για τις τρεις θερμικές ζώνες, παρουσιάζονται όμοια με τις περιπτώσεις παραπάνω.

7.2.4.1 ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σύγχρονου κτιρίου με τη ενσωμάτωση ΥΑΦ (πάχος: 3cm) για τα κλιματολογικά δεδομένα της Καστοριάς, μελετάται σε αυτή τη παράγραφο. Δίδονται επίσης οι πινάκες αποτελεσμάτων και τα διαγράμματα που αφορούν την προσομοίωση συμβατικού και κτιρίου με ΥΑΦ.

ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	768,9	0,000	0,000	87,82	126,2
Φεβρουάριος	690,1	0,000	0,000	91,82	114,0
Μάρτιος	505,6	0,000	0,000	132,3	126,2
Απρίλιος	174,5	0,000	0,000	147,3	122,1
Μάιος	13,48	0,000	0,000	166,5	126,2
Ιούνιος	0,000	17,94	0,000	173,5	122,1
Ιούλιος	0,000	100,0	0,000	183,4	126,2
Αύγουστος	0,000	70,79	0,000	183,3	126,2
Σεπτέμβριος	0,000	12,12	0,000	144,5	109,9
Οκτώβριος	133,4	0,000	0,000	125,7	126,2
Νοέμβριος	490,4	0,000	0,000	87,13	122,1
Δεκέμβριος	757,0	0,000	0,000	84,77	126,2
Ετησίως	3.533,38	200,85	0,000	1.608,04	1.473,6

Πίνακας 7.10: Ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου (Καστοριά).

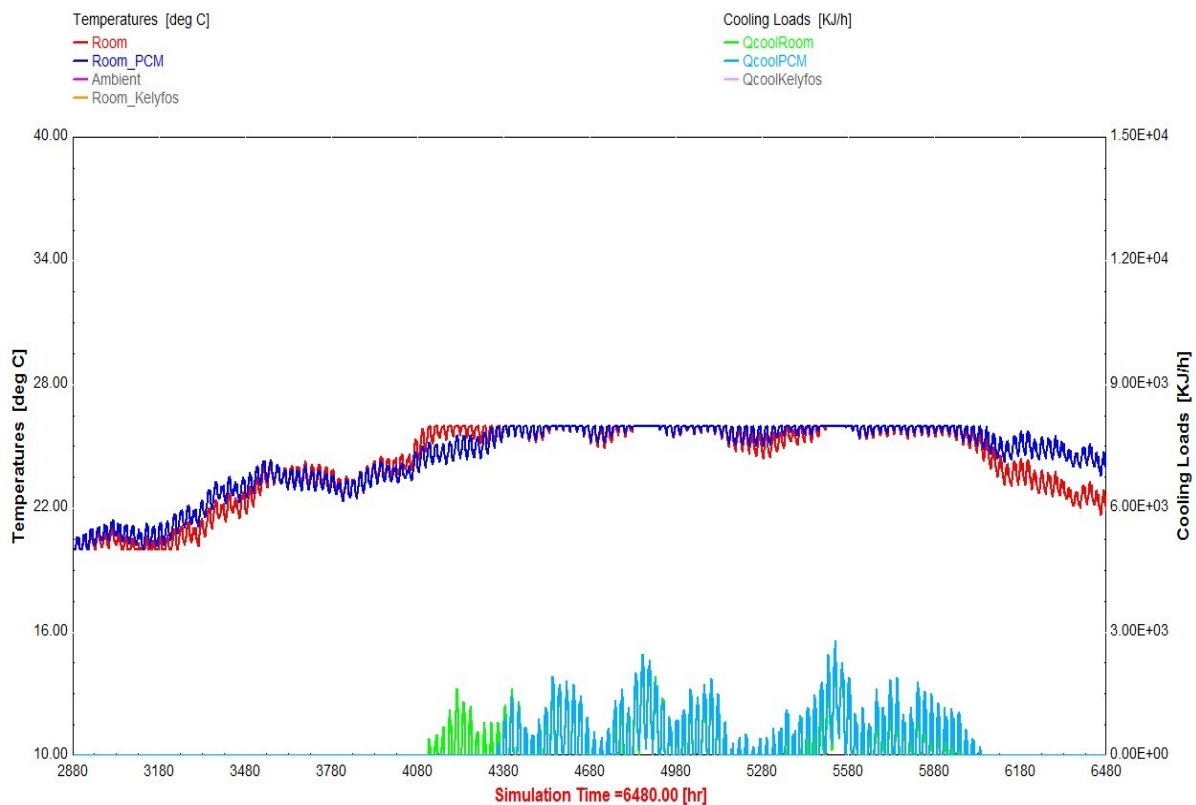
ΦΟΡΤΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΥΑΦ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	530,9	0,000	0,000	87,82	126,2
Φεβρουάριος	451,7	0,000	0,000	91,82	114,0
Μάρτιος	306,1	0,000	0,000	132,3	126,2
Απρίλιος	956,8	0,000	0,000	147,3	122,1
Μαΐος	1,653	0,000	0,000	166,5	126,2
Ιούνιος	0,000	0,007	0,000	173,5	122,1
Ιούλιος	0,000	106,8	0,000	183,4	126,2
Αύγουστος	0,000	97,28	0,000	183,3	126,2
Σεπτέμβριος	0,000	18,63	0,000	144,5	109,9
Οκτώβριος	67,62	0,000	0,000	125,7	126,2
Νοέμβριος	321,2	0,000	0,000	87,13	122,1
Δεκέμβριος	501,2	0,000	0,000	84,77	126,2
Ετησίως	3.137,17	222,72	0,000	1.608,04	1.473,6

Πίνακας 7.11: Ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ (Καστοριά).

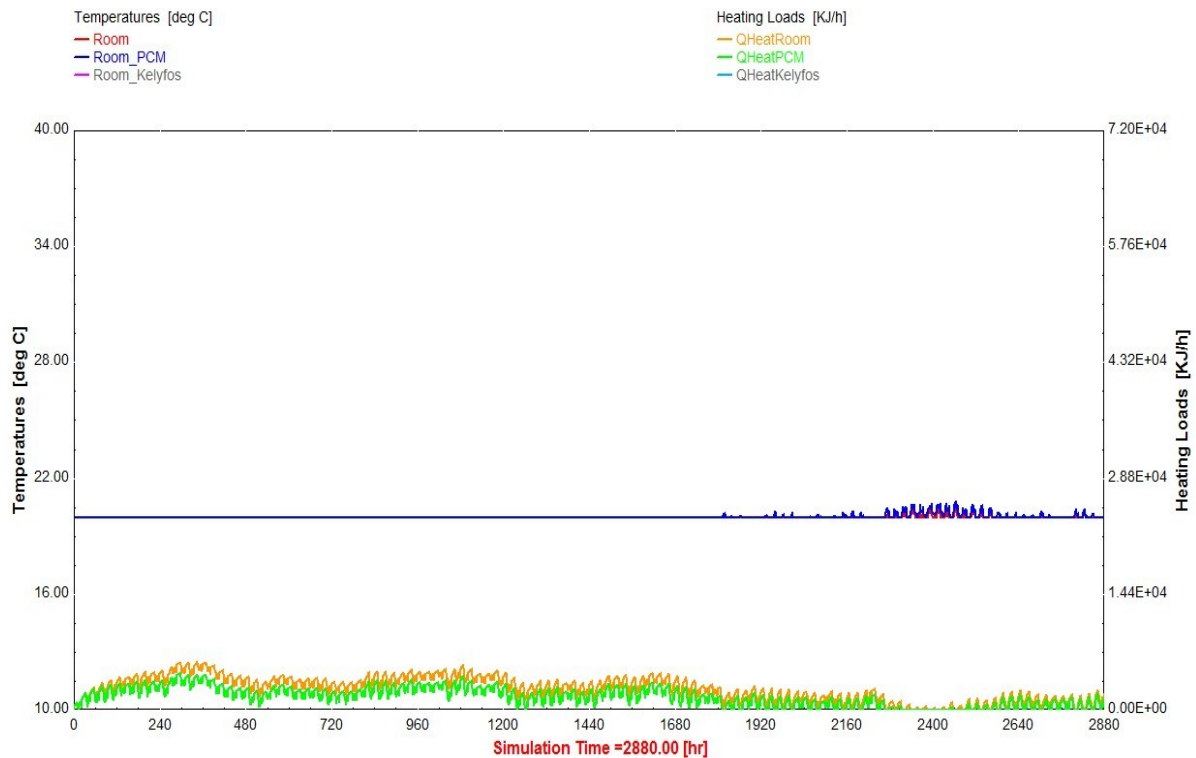
Οι ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης του κτιρίου με ΥΑΦ για τα κλιματολογικά δεδομένα Καστοριάς είναι μειωμένες κατά 396,21 kWh (μείωση περίπου **11,21 %**) σε σχέση με τα αντίστοιχα φορτία για το κτίριο συμβατικής κατασκευής. Οι αντίστοιχες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη, είναι οριακά αυξημένες κατά 21,87 kWh (αύξηση **10 %**) σε σχέση με το κτίριο συμβατικής κατασκευής.

Στο κτίριο συμβατικής κατασκευής παρατηρείται επίσης ότι το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο προκύπτει ίσο με 1,7 kW για την ώρα 344 (14 Ιανουαρίου 08:00 π.μ.), ενώ η αντίστοιχη τιμή για το κτίριο με ΥΑΦ είναι 1,3 kW για την ώρα 295 (12 Ιανουαρίου 07:00 π.μ.), άρα προκύπτει μια μείωση της απαίτησης ισχύος του συστήματος θέρμανσης της τάξης του **23,5 %**.

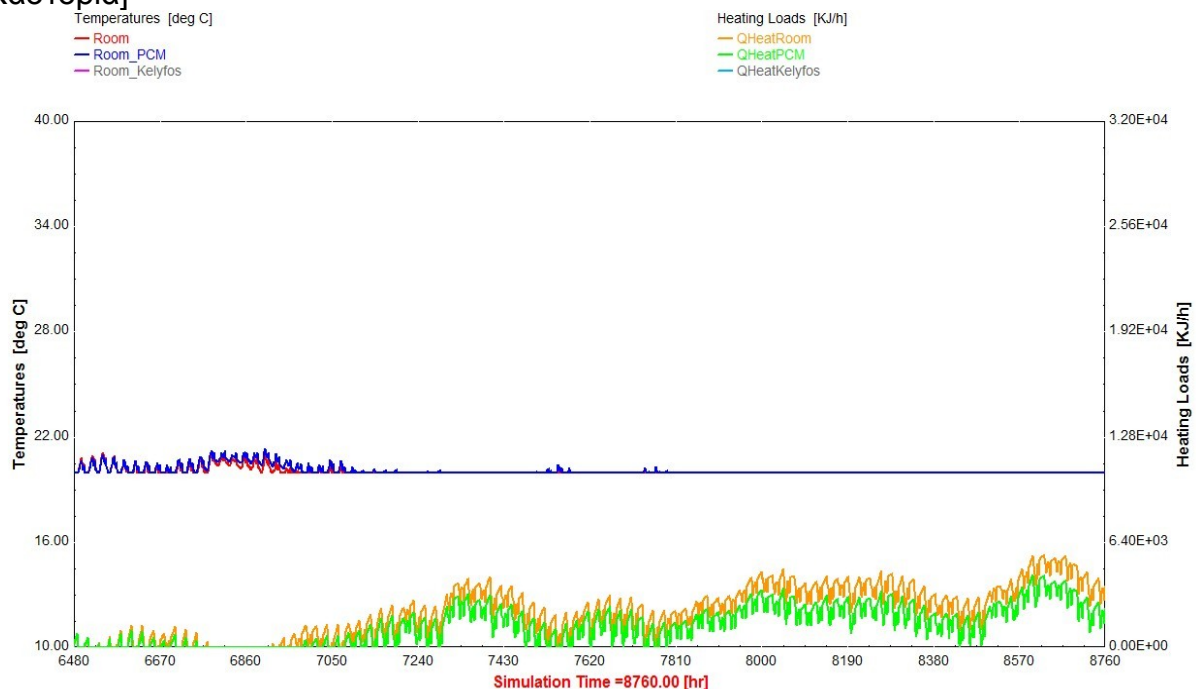
Η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη (για το κτίριο χωρίς ΥΑΦ) ισούται με 0,72 kW για την ώρα 5.537 (20 Αυγούστου 05:00 μ.μ.) ενώ η αντίστοιχη τιμή (για το κτίριο με ΥΑΦ) είναι 0,78 kW επίσης για την ώρα 5.537 (20 Αυγούστου 05:00 μ.μ.). Δηλαδή η ύπαρξη ΥΑΦ στην περίπτωση αυτή αυξάνει στο κτίριο την απαίτηση της ισχύος του συστήματος ψύξης κατά **7,7 %**.



Διάγραμμα 7.28: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά]



Διάγραμμα 7.29: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά]



Διάγραμμα 7.30: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 2) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά]

7.2.4.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Σε αυτή την ενότητα εξετάζουμε τη δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης παλαιών κτιρίων με την προσθήκη απλής μόνωσης (διογκωμένη πολυστερίνη πάχους 10cm). Στον πίνακα παρακάτω φαίνονται τα φορτία που υπολογίστηκαν μέσω της διαδικασίας προσομοίωσης.

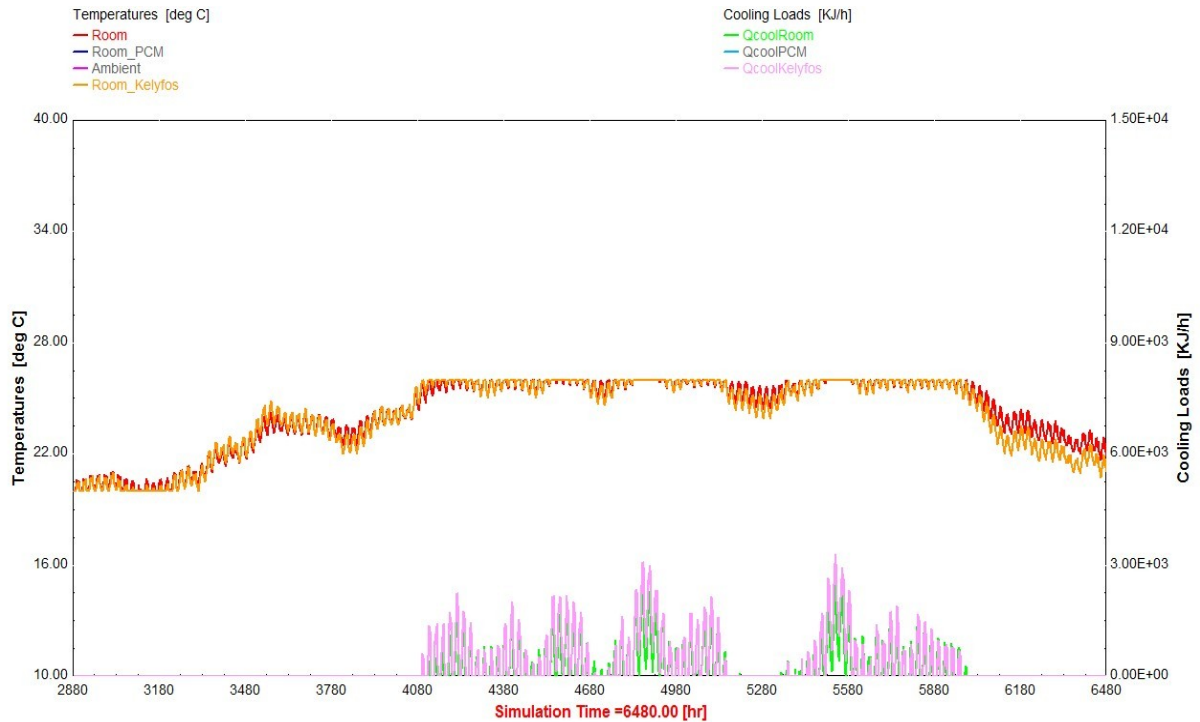
ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	1.164	0,000	0,000	87,82	126,2
Φεβρουάριος	1.064	0,000	0,000	91,82	114,0
Μάρτιος	789	0,000	0,000	132,3	126,2
Απρίλιος	302,6	0,000	0,000	147,3	122,1
Μάιος	35,41	0,000	0,000	166,5	126,2
Ιούνιος	0,000	32,50	0,000	173,5	122,1
Ιούλιος	0,000	127,3	0,000	183,4	126,2
Αύγουστος	0,000	88,19	0,000	183,3	126,2
Σεπτέμβριος	0,000	12,26	0,000	144,5	109,9
Οκτώβριος	246,5	0,000	0,000	125,7	126,2
Νοέμβριος	759,1	0,000	0,000	87,13	122,1
Δεκέμβριος	1147	0,000	0,000	84,77	126,2
Ετησίως	5.508	260,3	0,000	1.608,04	1.473,6

Πίνακας 7.12: Ενεργειακές απαιτήσεις του συμβατικού κτιρίου παλαιότερης κατασκευής (Καστοριά).

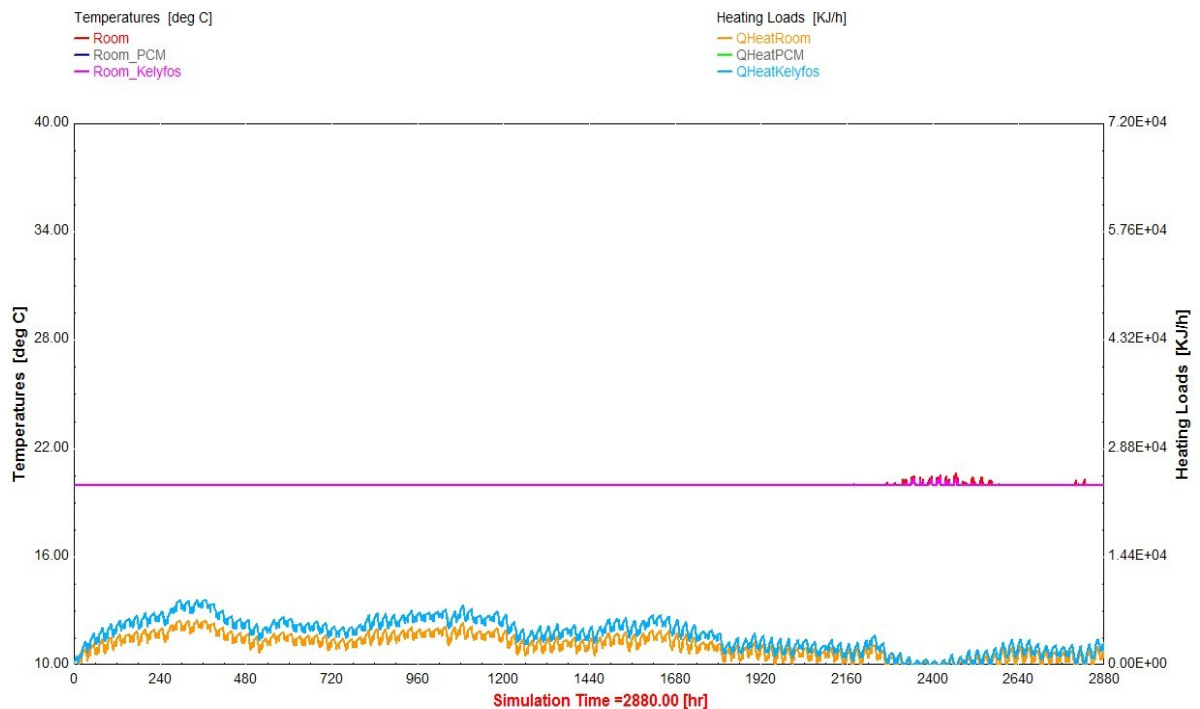
Όπως παρατηρούμε και στον πίνακα παραπάνω οι ετήσιες απαιτήσεις θέρμανσης-ψύξης ενός παλαιού κτιρίου ανέρχονται σε 5.508 kWh και 260,3 kWh αντίστοιχα. Οι μήνες κατά τη διάρκεια των οποίων προκύπτει η μέγιστη απαίτηση για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου είναι και σε αυτή την περίπτωση ο Ιανουάριος με 1.164 kWh και ο Ιούλιος με 127,3 kWh. Το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο για την περίπτωση κτιρίου παλαιάς κατασκευής προκύπτει ίσο με 2,42kW για την ώρα 296 (12 Ιανουαρίου στις 08:00 π.μ.), και το μέγιστο φορτίο που δέχεται το σύστημα ψύξης ισούται με 0,92 kW για την ώρα 5.537 (22 Αυγούστου 07:00 μ.μ.).

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το μονωμένο κτίριο δείχνουν μείωση των θερμικών φορτίων κατά 1.974,6 kWh (μείωση **35,85 %**) σε σχέση με το παλαιότερο κτίριο και η μείωση των ψυκτικών φορτίων κατά 59,45 kWh (μείωση **22,83 %**).

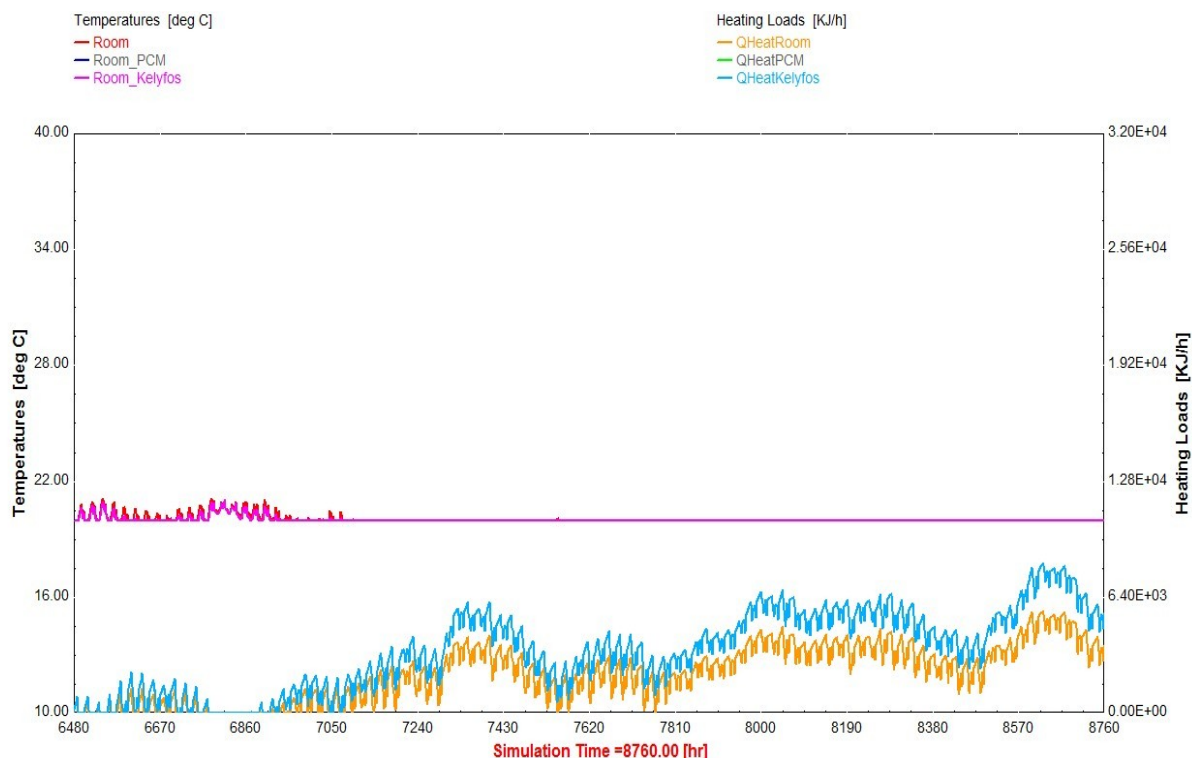
Για το μονωμένο κτίριο το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο προκύπτει ίσο με 1,7 kW, ενώ η αντίστοιχη τιμή για το κτίριο παλαιάς κατασκευής είναι 2,42 kW (αύξηση της απαίτησης κατά **29,75%**), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ισούται με 0,72 kW (μείωση **21,74 %** σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του παλαιού κτιρίου).



Διάγραμμα 7.31: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά]



Διάγραμμα 7.32: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένα το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά]

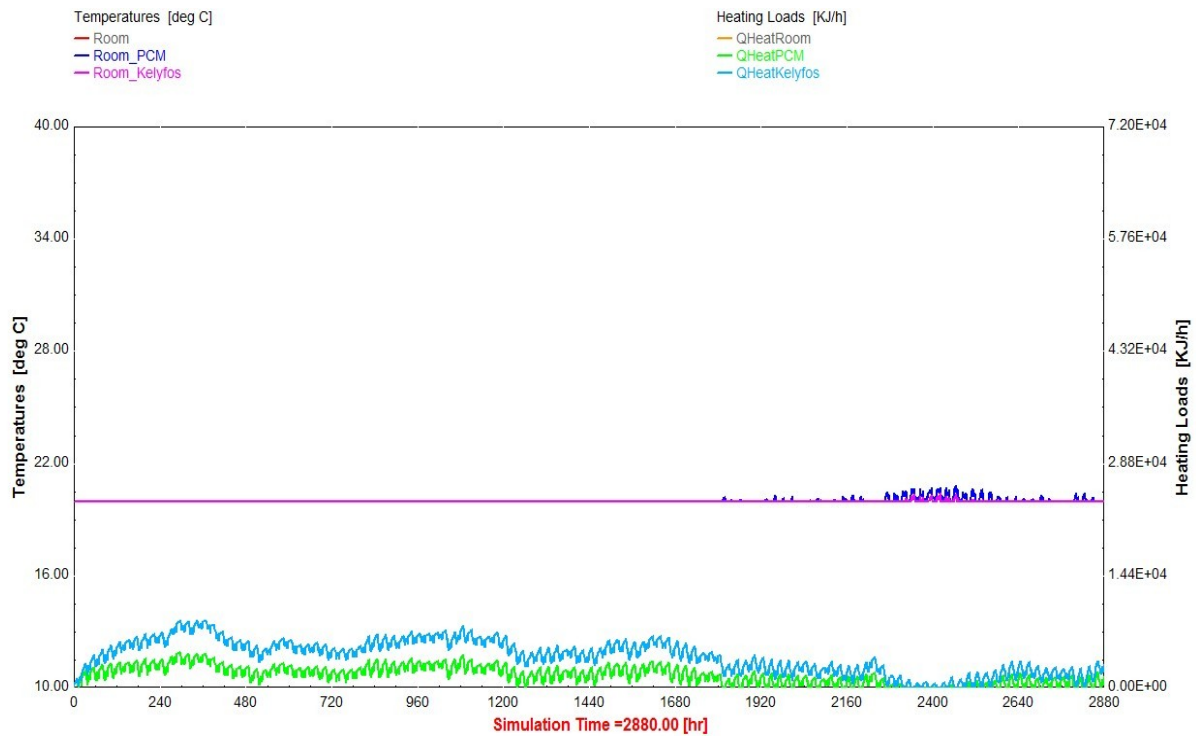


Διάγραμμα 7.33: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (1 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά]

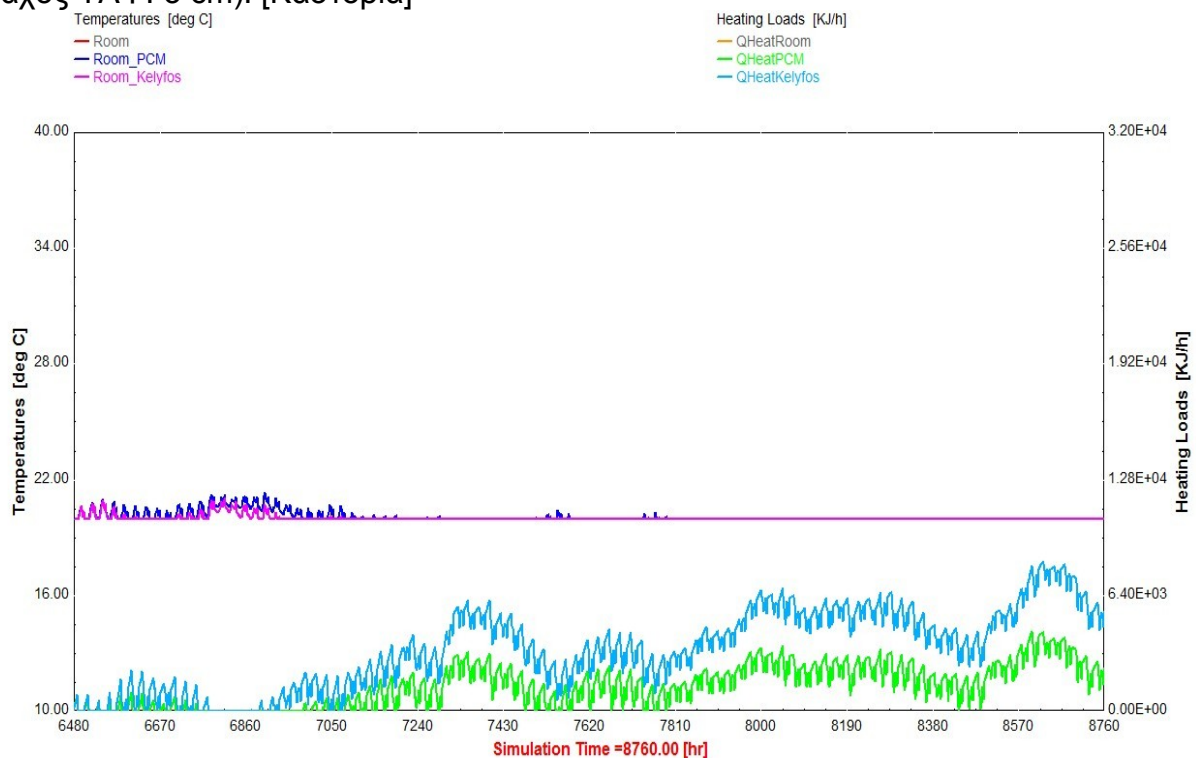
7.2.4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΑΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΥΑΦ

Οι ετήσιες απαιτήσεις του κτιρίου με ΥΑΦ για θέρμανση είναι μειωμένες κατά **43 %** σε σχέση με τα αντίστοιχα φορτία για το κτίριο παλαιάς κατασκευής και για ψύξη, μειωμένες **14,44 %** σε σχέση με το κτίριο παλαιάς κατασκευής .

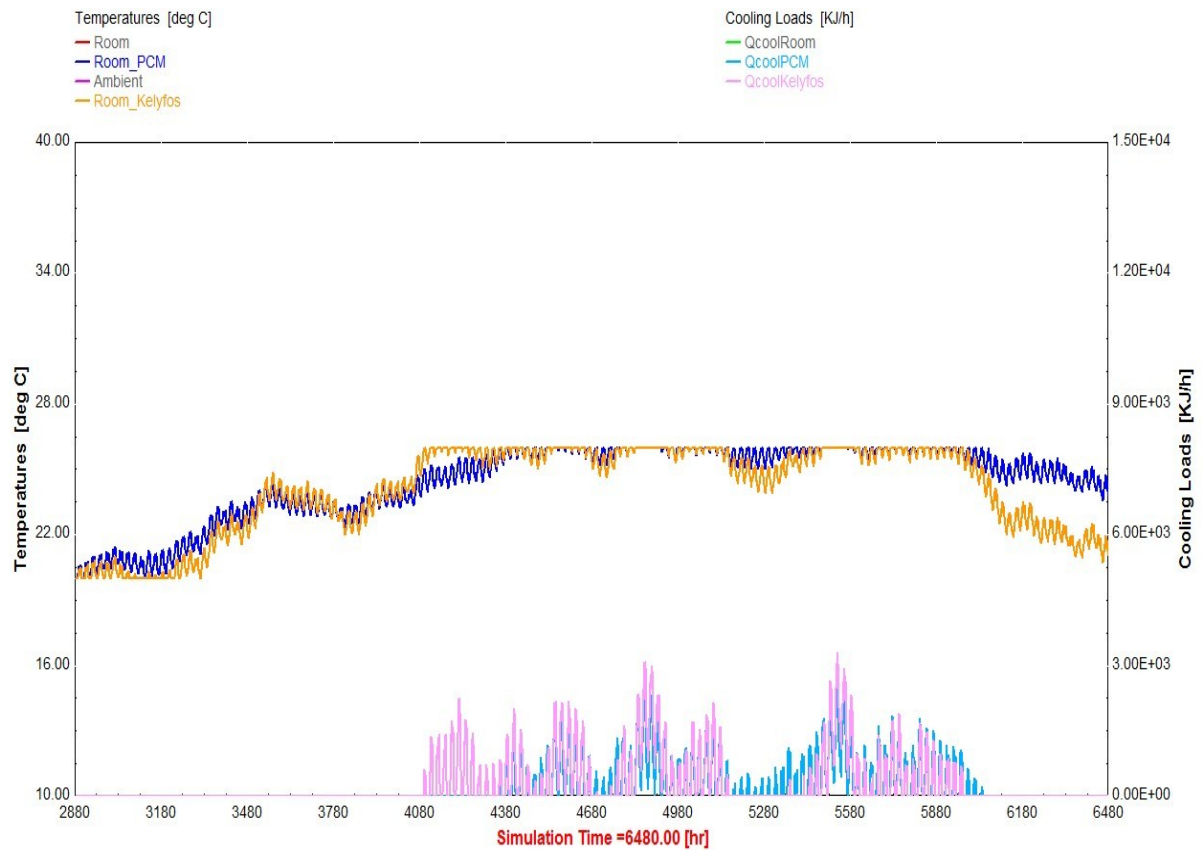
Το μέγιστο ολικό θερμικό φορτίο ,που δέχεται το σύστημα για την περίπτωση κτιρίου με ΥΑΦ ,προκύπτει ίσο 1,3 kW για την ώρα 295 (12 Ιανουαρίου 07:00 π.μ.), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ισούται με ενώ η αντίστοιχη τιμή (για το κτίριο με ΥΑΦ) είναι 0,78 kW. Οι αντίστοιχες υπολογισμένες τιμές για το κτίριο παλαιάς κατασκευής είναι 2,42 kW και 0,92 kW. Άρα προκύπτει μια μεταβολή **46,28%**(μείωση) για το σύστημα θέρμανσης και μείωση **15,2 %** για το σύστημα ψύξης.



Διάγραμμα 7.34: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Ιανουαρίου-Απριλίου (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3 cm). [Καστοριά]



Διάγραμμα 7.35: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα θερμικά φορτία για την περίοδο θέρμανσης Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης και τα οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά]



Διάγραμμα 7.36: Μεταβολή θερμοκρασίας του αέρα στις δύο ζώνες (2 και 3) με τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία (ενεργοποιημένο το σύστημα ψύξης-θέρμανσης και οικιακά εσωτερικά φορτία-Πάχος ΥΑΦ: 3cm). [Καστοριά]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη αυτή είχε ως στόχο τη διερεύνηση της θερμικής απόκρισης κτιρίων με ενσωμάτωση υλικών ΥΑΦ στη δομή τους και χρήση ενεργού συστήματος ψύξης-θέρμανσης. Διαφορετικά είδη κτιρίων, που ανταποκρίνονται στην Ελληνική πραγματικότητα, μελετήθηκαν για τα κλιματολογικά δεδομένα μιας αντιπροσωπευτικής πόλης των κλιματικών ζωνών της Ελλάδας. Εξετάστηκε μέσω προσομοιώσεων η εξοικονόμηση ενέργειας, τόσο σε ότι αφορά τη θέρμανση όσο και τη ψύξη, που μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση μόνωσης και των υλικών ΥΑΦ. Οι προσομοιώσεις των κτιριακών ζωνών που δημιουργήθηκαν πραγματοποιούνται με το εξειδικευμένο λογισμικό PCM express (έκδοση demo) και μέσω του μοντέλου «Type 204» του λογισμικού TRNSYS.

Οι προσομοιώσεις με το λογισμικό PCM express πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να προκύψουν κάποια πρώτα συμπεράσματα για τις δυνατότητες της εφαρμογής ΥΑΦ σε κτίρια για τις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας. Ωστόσο, λόγω των μικρών δυνατοτήτων που παρέχει στο χρήστη κατά τη διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων του μοντέλου προσομοίωσης, της έλλειψης αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων (δεν υπάρχει στη διεθνή βιβλιογραφία επαλήθευση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με πειραματικά) και του μη αναλυτικού τρόπου παρουσίασης των αποτελεσμάτων, επιλέγεται η διενέργεια προσομοιώσεων και μέσω του μοντέλου «Type 204» του λογισμικού TRNSYS. Οι προσομοιώσεις στο λογισμικό TRNSYS συνεισφέρουν στην εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων και ασφαλών συμπερασμάτων για τις δυνατότητες των ΥΑΦ ως μέσα διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια.

8.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ PCM EXPRESS

8.1.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΖΩΝΩΝ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με το λογισμικό PCM express παρατηρούμε ότι η ενσωμάτωση ΥΑΦ είχε σαν αποτέλεσμα την προσθήκη επιπλέον θερμικής μάζας στην αντίστοιχη ζώνη, μειώνοντας με αυτό το τρόπο τη θερμοκρασιακή διακύμανση του εσωτερικού αέρα.

Πόλη	ΕΥΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ		
	Ζώνη με ΥΑΦ	Συμβατική ζώνη	Μεταβολή (μείωση)
Χανιά	17-23 °C	15-22,5 °C	1,5 °C
Αθήνα	17,4-22,8 °C	15,8-22,8 °C	1,3 °C
Θεσσαλονίκη	16-23 °C	15-23 °C	1 °C

Πίνακας 8.1: Επίδραση της τοποθέτησης ΥΑΦ στο εύρος θερμοκρασιακής διακύμανσης.

Γενικά η εφαρμογή ΥΑΦ σε κτίρια έχει αποδειχτεί, έπειτα από πειραματικές μετρήσεις, ότι επιτυγχάνει μείωση του εύρους θερμοκρασιακής διακύμανσης μέχρι 5,5 °C

[Khudhair et al., 2007]. Συνεπώς τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που παρουσιάζονται στον πίνακα 8.1 κρίνονται ως ικανοποιητικά. Από τις περιπτώσεις που διερευνήθηκαν, προκύπτει ότι η μεγαλύτερη μείωση του εύρους διακύμανσης της θερμοκρασίας της ζώνης, ενσωματώνοντας ΥΑΦ, επιτυγχάνεται για τα κλιματικά δεδομένα των Χανίων. Στη περίπτωση της Αθήνας, η αντίστοιχη μείωση εμφανίζεται οριακά χαμηλότερη (κατά 0,2 °C), ενώ στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης παρατηρείται η μικρότερη βελτίωση, καθώς το θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο κυμαίνεται η ζώνη με ΥΑΦ είναι ελαττωμένο κατά 1 °C.

Στον πίνακα 8.2 δίνονται τα στοιχεία που σχετίζονται με την επίδραση της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στη συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης για τις πόλεις που μελετήθηκαν.

	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ			
	Ζώνη με ΥΑΦ		Συμβατική ζώνη	
Πόλη	Ώρες εντός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C)	Ώρες εκτός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C)	Ώρες εντός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C)	Ώρες εκτός του εύρους θερμοκρασιών (21-26 °C)
	(hr)	(hr)	(hr)	(hr)
Χανιά	5.580	3.180	2.321	6.349
Αθήνα	5.641	3.119	2.435	6.325
Θεσσαλονίκη	5.484	3.276	1.918	6.842

Πίνακας 8.2: Επίδραση της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στη συχνότητα εμφάνισης συνθηκών θερμικής άνεσης (21-26 °C).

Τα παραπάνω στοιχεία επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι η αύξηση της θερμικής μάζας ενός κτιρίου μέσω της ενσωμάτωσης ΥΑΦ υποστηρίζει την θερμική άνεση στο κτίριο, αφού προκαλείται ελάττωση του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους στο εσωτερικό του σε σχέση με το εύρος της διακύμανσης της θερμοκρασίας του συμβατικού κτιρίου. Βάσει των εξαγομένων αποτελεσμάτων, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή ΥΑΦ σε κτίριο για τα κλιματολογικά δεδομένα της Θεσσαλονίκης αποτελεί την χειρότερη περίπτωση με 5.484 h, εφόσον η αντίστοιχη τιμή για την Αθήνα είναι αυξημένη κατά 2,8% (5.641 h), ενώ για τα Χανιά αυξημένη κατά 1,7% (5.580 h).

Σύμφωνα με τα παραπάνω η επίδραση των ΥΑΦ στα κτίρια είναι σημαντική αφού περιορίζει την μείωση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του χειμώνα και την αύξηση της το καλοκαίρι, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο συνθήκες θερμικής άνεσης για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα του έτους σε όλες τις περιπτώσεις.

8.1.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΖΩΝΩΝ

Τα υλικά ΥΑΦ, όπως συνάγεται από την αξιολόγηση της θερμικής συμπεριφοράς των δύο ζωνών στην παραπάνω παράγραφο, επιτυγχάνουν καλύτερες θερμοκρασιακές συνθήκες στα κτίρια όπου εφαρμόζονται και κατ'επέκταση στους χρήστες των χώρων αυτών. Ωστόσο ο ρόλος που διαδραματίζουν τα υλικά αυτά είναι διττός, καθώς η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων με ενσωματωμένα ΥΑΦ καθίσταται βέβαιη. Στους πίνακες 8.3 και 8.4 που ακολουθούν, αποτυπώνεται ο ποσοτικός

προσδιορισμός της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων με ΥΑΦ(πάχος υλικού: 1,5 cm).

	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ		
Πόλη	Συνολική ενέργεια για ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kWh)	Μεταβολή	
	Ζώνη με ΥΑΦ	Συμβατική ζώνη	
Χανιά	5.485,76	6.812,81	20% (μείωση)
Αθήνα	5.725,17	7.080,67	19,1% (μείωση)
Θεσσαλονίκη	7.227,72	8.495,15	15% (μείωση)

Πίνακας 8.3: Επίδραση της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση.

	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΨΥΞΗ		
Πόλη	Συνολική ενέργεια για ΨΥΞΗ (kWh)	Μεταβολή	
	Ζώνη με ΥΑΦ	Συμβατική ζώνη	
Χανιά	1.018,15	1.122,03	9,3 % (μείωση)
Αθήνα	1.064,84	1.166,36	8,7% (μείωση)
Θεσσαλονίκη	915,23	1.016,51	10% (μείωση)

Πίνακας 8.4: Επίδραση της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στην απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη.

Διαπιστώνεται για τη θέρμανση, ότι τα απαιτούμενα φορτία είναι κατά απόλυτη τιμή αισθητά αυξημένα στη Θεσσαλονίκη σε σχέση με την Αθήνα και τα Χανιά. Η απόδοση του ΥΑΦ παρουσιάζεται ως η χειρότερη των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν με την ενέργεια που μπορεί να εξοικονομηθεί να φτάνει στο 15% (σε αντίθεση με το 19,1% που παρατηρείται στις κλιματικές συνθήκες της Αθήνας και το 20% της περίπτωσης των Χανίων) .

Αντίθετα με τα αποτελέσματα για τη θέρμανσης, σε ότι αφορά τη ψύξη, οι απαιτήσεις σε ενέργεια είναι παραπλήσιες και στις τρεις κλιματικές ζώνες με τη μεγαλύτερη επιτευχθείσα μείωση να παρατηρείται στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Συγκεκριμένα το ΥΑΦ συμπεριφέρεται οριακά καλύτερα στη Θεσσαλονίκη (παρατηρείται εξοικονόμηση 10% της ενέργειας ψύξης) σε σχέση με τα Χανιά (9,3%) και την Αθήνα (8,7%).

Πρόσφατη μεταπτυχιακή διατριβή, η οποία σχετίζεται με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων με χρήση ΥΑΦ (σημείο τήξης 23 °C) ενσωματωμένων στη δομή του κτιρίου για τα κλιματολογικά δεδομένα της Αθήνας έδειξε την επίδραση του πάχους του εφαρμοζόμενου ΥΑΦ σε απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία. Τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής εξήχθησαν μέσω προσομοιώσεων στο λογισμικό TRNSYS και παρατίθενται στον πίνακα 8.4.

Πάχος Εφαρμοζόμενου ΥΑΦ (cm)	Απαιτούμενα Φορτία		Διαστασιολόγηση Συστημάτων Θέρμανσης-Ψύξης	
	Μεταβολή Θερμικών φορτίων (% μείωση)	Μεταβολή Ψυκτικών φορτίων (% μείωση)	Σύστημα Θέρμανσης (% μείωση)	Σύστημα Ψύξης (% μείωση)
1.5	24.8	11.9	12.5	4
2	29.2	17.7	18	4.1
3	47.3	21.8	24.9	4.2
4	47.4	35.4	24.9	4.2
5	47.5	42.7	25.0	4.2
6.5	47.9	59.6	25.1	4.3
7.5	48.1	63.2	25.1	4.3

Πίνακας 8.5: Επίδραση πάχους εφαρμοζόμενου ΥΑΦ σε απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία (για παρομοίωση κτιρίου στην Αθήνα μέσω TRNSYS).[Λημναίος,2010]

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό PCM express για την Αθήνα, με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 8.4 παρατηρείται μια διαφοροποίηση (περίπου 5,5%) στην μεταβολή που επιτυγχάνουν τα ΥΑΦ (πάχος 1,5 cm) στα θερμικά φορτία και (περίπου 3%) για την αντίστοιχη μεταβολή στα ψυκτικά φορτία. Οι όποιες διαφορές επισημαίνονται παραπάνω οφείλονται στο γεγονός της προσομοίωσης των ΥΑΦ μέσω διαφορετικών λογισμικών, στις ρυθμίσεις των βασικών παραμέτρων του κτιρίου (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, εσωτερικά φορτία) στη κάθε περίπτωση και την αξιοπιστία των βάσεων κλιματολογικών δεδομένων κάθε λογισμικού.

Όσον αφορά τη περίπτωση των Χανίων καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η διαφοροποίηση στις μεταβολές των απαιτούμενων φορτίων, εκτός των προαναφερθέντων αιτιών, είναι αποτέλεσμα των τοπικών κλιματικών συνθηκών. Για τη περίπτωση της Θεσσαλονίκης εκτός των τοπικών κλιματολογικών συνθηκών σημαντικό ρόλο παίζει και η επιλογή ΥΑΦ με σημείο τήξης 23 °C.

8.1.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΥΑΦ

Όπως προκύπτει και από τα παραπάνω τα ΥΑΦ έχουν τη δυνατότητα να αποτελούν μέσα εξοικονόμησης ενέργειας. Ωστόσο για να αποτελέσει η ενσωμάτωση ΥΑΦ στα κτίρια ανταγωνιστική επιλογή σε ένα πλήθος εφαρμογών εξοικονόμησης ενέργειας (π.χ.ηλιακός κλιματισμός) πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω μέσω τεχνοοικονομικών μελετών οι δυνατότητες των ΥΑΦ. Στον πίνακα 8.5 παρατίθεται τα αποτελέσματα της οικονομικής αποδοτικότητας κτιρίου με ΥΑΦ (πάχος 1,5 cm) για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, ενώ στους πίνακες 8.6 και 8.7 αναλύεται για την περίπτωση της Θεσσαλονίκης ο τρόπος υπολογισμού της οικονομικής απόδοσης ενός συστήματος ΥΑΦ.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ		
Πόλη	Χρόνος αποπληρωμής(έτη)	Απόδοση επένδυσης(€)
Χανιά	10	4.872
Αθήνα	10,2	4.955
Θεσσαλονίκη	11,5	4.180

Πίνακας 8.6:Οικονομική αποδοτικότητα εφαρμογής ΥΑΦ στα κτίρια

Οι εσωτερικές επιφάνειες του υπό μελέτη κτιρίου είναι 216 m². Σύμφωνα με τη έρευνα αγορά που έχει διενεργηθεί το μεγαλύτερο πιθανό κόστος τοποθέτησης γυψοσανίδας με ΥΑΦ ισούται με 45 €/ m².Δηλαδή η τοποθέτηση ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο κοστίζει 10.000 €.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ			
	Σύστημα με ΥΑΦ		Συμβατικό σύστημα
Συνολική επένδυση	10.000 € (για 20 έτη)		7.000 € (για 20 έτη)
Κόστος θέρμανσης	0,07 €/kWh		0,07 €/kWh
Απαιτήσεις θέρμανσης	7.227,72 kWh/έτος		8.495,15 kWh/έτος
Κόστος ψύξης	0,09 €/kWh		0,09 €/kWh
Απαιτήσεις ψύξης	915,23 kWh/ έτος		1.016,51 kWh/ έτος
Τρέχοντα κόστη	0 % της επένδυσης		2 % της επένδυσης
ΑΥΞΗΣΕΙΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ			
Κόστος θέρμανσης:	10 %		
Κόστος ψύξης:	7 %		
Κόστος επένδυσης:	2 %		
Τρέχοντα κόστη:	4 %		
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
Χρόνος αποπληρωμής συστήματος:	11,5 έτη	Απόδοση κεφαλαίου στα 20 έτη	4.180 €

Πίνακας 8.7 : Οικονομική αποδοτικότητα της εφαρμογής ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο. (Θεσσαλονίκη).

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΉ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ				
		1ο χρόνος	Μετα το πέρας 20 ετών	Αυξήσεις τιμολόγησης
A	Επένδυση (σύστημα ΥΑΦ)			
	Συνολική επένδυση	-10.000	0	2 %
B	Επένδυση (συμβατικό σύστημα)			
	Συνολική επένδυση	7.000	0	2 %
Γ	Πάγια κόστη (σύστημα ΥΑΦ)			
	Κόστος θέρμανσης:	-506	-2.124	10 %
	Κόστος ψύξης:	-82	-204	7 %
	Κόστος επένδυσης:	0	0	2 %
	Τρέχοντα κόστη:	0	0	4 %
	Άθροισμα	-588	-2.328	
Δ	Πάγια κόστη (συμβατικό σύστημα)			
	Κόστος θέρμανσης:	595	2.496	10 %
	Κόστος ψύξης:	91	227	7 %
	Κόστος επένδυσης:	0	0	2 %
	Τρέχοντα κόστη:	140	202	4 %
	Άθροισμα	826	2.926	
E	Σύγκριση συστημάτων			
	Πάγια κόστη (σύστημα ΥΑΦ)	-588	-2.328	
	Πάγια κόστη (συμβατικό σύστημα)	826	2.926	
	αποτέλεσμα	238	598	
	Καθαρή απόδοση	7,93 %	19,92 %	
	Οικονομική ροή	-2.762	598	

Πίνακας 8.8 : Οικονομική ανάλυση της απόδοσης της εφαρμογής ΥΑΦ στο υπό μελέτη κτίριο. (Θεσσαλονίκη).

8.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ TRNSYS

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι ανεξάρτητα με το είδος του κτιρίου, η ενσωμάτωση υλικών ΥΑΦ στη δομή του ως μέσα διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα και βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση του.

8.2.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΜΕ ΥΑΦ.

Πόλη	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ (kWh)		
	Κτίριο με ΥΑΦ	Κτίριο σύγχρονης κατασκευής	Κτίριο παλαιότερης κατασκευής
Χανιά	330,35	765,24	1.377,55
Αθήνα	605,93	1.310	2.204,36
Θεσσαλονίκη	1.439,7	2.241,02	3.903,15
Καστοριά	3.137,17	3.533,38	5.508

Πίνακας 8.9 : Επίδραση της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση.

Πόλη	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΨΥΞΗ (kWh)		
	Κτίριο με ΥΑΦ	Κτίριο σύγχρονης κατασκευής	Κτίριο παλαιότερης κατασκευής
Χανιά	451,7	602,4	955,024
Αθήνα	469,4	607,4	965,14
Θεσσαλονίκη	186,813	312,81	565,38
Καστοριά	222,72	200,85	260,3

Πίνακας 8.10 : Επίδραση της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση.

Σε ότι αφορά κτίρια σύγχρονης κατασκευής, εξετάστηκε η απόκριση της ζώνης μέσω της αντικατάστασης του εσωτερικού κονιάματος με γυψοσανίδα ΥΑΦ (πάχους 3 cm, σημείο τήξης: 23°C). Η παρέμβαση αυτή, βάσει των αποτελεσμάτων, συντελεί στον περιορισμό της απαιτούμενης ενέργειας για την θέρμανση και ψύξη του κτιρίου. Στο πίνακα 8.11 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που αναδεικνύουν το ποσοστό επίδρασης της ενσωμάτωσης υλικών ΥΑΦ στο συμβατικό κτίριο για τις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Πόλη	Απαιτούμενα Φορτία		Διαστασιολόγηση Συστημάτων Θέρμανσης-Ψύξης	
	Μεταβολή Θερμικών φορτίων (% μείωση)	Μεταβολή Ψυκτικών φορτίων (% μείωση)	Σύστημα Θέρμανσης (% μείωση)	Σύστημα Ψύξης (% μείωση)
Χανιά	56	25	27,85	4,84
Αθήνα	53,7	22,72	30,3	4,6
Θεσσαλονίκη	35,76	40,3	28,6	8,3
Καστοριά	10,21	-10	23,5	-7,7

Πίνακας 8.11 : Επίδραση της τοποθέτησης ΥΑΦ σε κτίριο συμβατικής κατασκευής στα απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία καθώς επίσης και στη διαστασιολόγηση των συστημάτων ψύξης-θέρμανσης.

Συγκεκριμένα, διαπιστώνεται για τη θέρμανση, ότι τα απαιτούμενα φορτία είναι κατά απόλυτη τιμή αισθητά αυξημένα στην Καστοριά σε σχέση με αντίστοιχα για τις υπόλοιπες πόλεις που εξετάζονται. Η απόδοση του επιλεγμένου ΥΑΦ στην Καστοριά, εμφανίζεται ως η χειρότερη των προσομοιώσεων που έλαβαν χώρα με την ενέργεια που μπορεί να εξοικονομηθεί να προσεγγίζει το 10,21 % (σε αντίθεση με το 35,76% που παρατηρείται στις κλιματικές συνθήκες της Θεσσαλονίκης, το 53,7 % της Αθήνας και το 56 % της περίπτωσης των Χανίων). Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 8.4 παρατηρείται ότι οι διαφορές έγκεινται στις διαφορετικές ρυθμίσεις του μοντέλου.

Προχωρώντας στην περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων, καθίσταται σαφές ότι οι γυψοσανίδες με ΥΑΦ (πάχος: 3cm, σημείο τήξης: 23°C) επιτυγχάνουν σημαντική μείωση στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση για τις κλιματικές συνθήκες της Θεσσαλονίκης, της Αθήνας και των Χανίων. Στις περιπτώσεις όμως της Θεσσαλονίκης (μέση τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά την περίοδο θέρμανσης είναι 10 °C) και της Καστοριάς (μέση τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά την περίοδο θέρμανσης είναι 6,3°C), τα ΥΑΦ επιδρούν σε μικρότερο βαθμό στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου με συνέπεια τη μικρότερη συμβολή τους στον περιορισμό των απαιτήσεων ενέργειας θέρμανσης. Τα αποτελέσματα για τη Θεσσαλονίκη και την Καστοριάς οφείλονται κυρίως:

- Στις τοπικές κλιματικές συνθήκες.
- Στην επιλογή τοποθέτησης ΥΑΦ με σημείο τήξης 23 °C. Γενικά, το σημείο τήξης του ΥΑΦ καθορίζει τη βέλτιστη ικανότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας του τοίχου κατά τη διάρκεια μίας ημέρας. Στις εξεταζόμενες περιπτώσεις η χαμηλή μέση τιμή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος (συνεπώς και της θερμοκρασίας του τοίχου) κατά την περίοδο θέρμανσης δεν αποτελεί ευνοϊκή παράμετρο για την λειτουργία του ΥΑΦ. Θεωρείται βέβαιο ότι η επιλογή ΥΑΦ με τιμή σημείου τήξης μικρότερη από την επιλεγμένη για τις

προσομοιώσεις (23 °C) θα είχε βελτιωμένα αποτελέσματα στην εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση στις πόλεις αυτές.

Οι ανασταλτικοί για την μείωση των απαιτούμενων θερμικών φορτίων παράγοντες που αναλύονται παραπάνω αναδεικνύουν την ανάγκη ορθολογικού σχεδιασμού (λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους που αναμένεται να επηρεάσουν τη συμπεριφορά) του πολύπλοκου συστήματος που λέγεται κτίριο.

Αντίθετα με τα αποτελέσματα για τη θέρμανση, σε ότι αφορά τη ψύξη, οι απαιτήσεις σε ενέργεια είναι μειωμένες σε μεγαλύτερο βαθμό στη Θεσσαλονίκη. Ειδικότερα, το ΥΑΦ συμπεριφέρεται βέλτιστα στη Θεσσαλονίκη (παρατηρείται εξοικονόμηση 40,3 % της ενέργειας ψύξης) σε σχέση με τα Χανιά (25 %) και την Αθήνα (22,72 %).

Στην περίπτωση της Καστοριάς οι ενεργειακές ανάγκες ψύξης είναι **αυξημένες** κατά 10 %. Η παρατηρούμενη αύξηση προκύπτει λόγω της μη λειτουργίας του νυχτερινού αερισμού κατά την περίοδο ψύξης, με αποτέλεσμα το ΥΑΦ να μην μπορεί να αποφορτιστεί και ουσιαστικά να υφίσταται αδρανοποίηση των δυνατοτήτων του. Αναλυτικότερα, ο νυχτερινός αερισμός κατά την περίοδο ψύξης προσφέρει στο ΥΑΦ τις κατάλληλες συνθήκες λειτουργίας ώστε να ολοκληρώνεται με σταθερότητα ο κύκλος φόρτισης - αποφόρτισης του. Ωστόσο μελετώντας στο παράρτημα παρακάτω τα αποτελέσματα για τις κλιματικές συνθήκες της Καστοριάς με τη λειτουργία νυχτερινού αερισμού διαπιστώνεται ότι αυξάνονται οι απαιτήσεις για θέρμανση. Ως εκ τούτου η απόκριση του ΥΑΦ στην Καστοριά αναδεικνύει την ανάγκη σχεδιασμού συστήματος αερισμού κατάλληλης λειτουργίας ώστε τα ΥΑΦ να έχουν ουσιαστική συνεισφορά.

Όσον αφορά τη Θεσσαλονίκη το επιλεγόμενο ΥΑΦ (πάχος: 3cm, σημείο τήξης: 23°C) είναι πιο αποδοτικό, στη μείωση των ψυκτικών απαιτήσεων σε σχέση με τη μεταβολή που επιτυγχάνει στις απαιτήσεις θέρμανσης του συμβατικού κτιρίου. Ενώ στις περιπτώσεις της Αθήνας και των Χανίων, το ΥΑΦ (πάχος: 3cm, σημείο τήξης: 23°C) επιδρά σε μικρότερο βαθμό για τη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας ψύξης, σε αντίθεση με τη συμπεριφορά του για θέρμανση .

Συμπερασματικά σε ότι αφορά την ψύξη καταλήγουμε ότι η χρήση ΥΑΦ (πάχος: 3cm, σημείο τήξης: 23°C) καθίσταται αποτελεσματικό στη Θεσσαλονίκη, γεγονός που οφείλεται στην ικανότητα του ΥΑΦ, για τις συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες, να εκμεταλλεύεται τις θερμοκρασιακές μεταβολές για να αποφορτιστεί.

Στις περιπτώσεις της Αθήνας και των Χανίων εάν είναι επιθυμητή η μείωση των αναγκών ενέργειας ψύξης ενδείκνυται η χρήση ΥΑΦ με υψηλότερη θερμοκρασία αλλαγής φάσης. Επίσης αξίζει να αναφερθεί, ότι η βελτίωση της συμπεριφοράς του κτιρίου σε ότι αφορά την ψύξη προϋποθέτει τη χρήση μηχανισμού αποφόρτισης του ΥΑΦ με την απόδοση και την λειτουργία του να εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

8.2.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΠΑΛΙΑΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

Για τα κτίρια παλαιάς κατασκευής μελετήθηκαν δύο διαφορετικές περιπτώσεις. Η πρώτη περίπτωση αφορούσε την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μια παλαιάς κατασκευής με την τοποθέτηση στρώματος μόνωσης στο κτίριο (εξωτερική τοιχοποιία και οροφή) ενώ η δεύτερη σχετίζεται με την μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων μέσω της τοποθέτησης μόνωσης και στρώματος ΥΑΦ. Και οι δυο παρεμβάσεις στο κέλυφος του παλαιάς κατασκευής κτιρίου συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στον περιορισμό της απαιτούμενης ενέργειας για την θέρμανση και ψύξη του κτιρίου. Στους πίνακες 8.9 και 8.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που καταδεικνύουν τη σημασία της θερμομόνωσης των κτιρίων και τη περαιτέρω βελτίωση που μπορεί να επιτευχθεί ως αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης ΥΑΦ σε κτίρια.

Πόλη	Απαιτούμενα Φορτία		Διαστασιολόγηση Συστημάτων Θέρμανσης-Ψύξης	
	Μεταβολή Θερμικών φορτίων (% μείωση)	Μεταβολή Ψυκτικών φορτίων (% μείωση)	Σύστημα Θέρμανσης (% μείωση)	Σύστημα Ψύξης (% μείωση)
Χανιά	44,45	36,92	32,5	16,2
Αθήνα	40,57	37	34	19,7
Θεσσαλονίκη	42,58	44,67	31,7	20
Καστοριά	35,85	22,83	29,75	21,74

Πίνακας 8.12 : Επίδραση της τοποθέτησης απλής μόνωσης σε κτίριο παλαιάς κατασκευής στα απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία καθώς επίσης και στη διαστασιολόγηση των συστημάτων ψύξης-θέρμανσης

Πόλη	Απαιτούμενα Φορτία		Διαστασιολόγηση Συστημάτων Θέρμανσης-Ψύξης	
	Μεταβολή Θερμικών φορτίων (% μείωση)	Μεταβολή Ψυκτικών φορτίων (% μείωση)	Σύστημα Θέρμανσης (% μείωση)	Σύστημα Ψύξης (% μείωση)
Χανιά	76	52,7	51	20,3
Αθήνα	62,54	51,26	54	21,3
Θεσσαλονίκη	63,11	67	51,22	26,7
Καστοριά	43	14,4	46,28	15,2

Πίνακας 8.13 : Επίδραση της τοποθέτησης ΥΑΦ και απλής μόνωσης σε κτίριο παλαιάς κατασκευής στα απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία καθώς επίσης και στη διαστασιολόγηση των συστημάτων ψύξης-θέρμανσης

Οι θερμικές απώλειες προκαλούνται σε ένα κτίριο από την μετάδοση της θερμότητας ενός εσωτερικού χώρου προς την ατμόσφαιρα ή προς ψυχρότερους γειτονικούς χώρους. Είναι γνωστό ότι ανάμεσα σε δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες, προκαλείται μια συνεχής ροή από το θερμότερο προς το ψυχρότερο, κάτι που συμβαίνει το χειμώνα από το εσωτερικό του κτιρίου προς τον εξωτερικό κρύο αέρα, αλλά και το καλοκαίρι, από τον εξωτερικό θερμό αέρα προς τον δροσερότερο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτή η ροή θερμότητας είναι αδύνατο να εμποδιστεί τελείως και μπορεί μόνο να περιοριστεί ως προς την ένταση και τη διάρκεια της με την προσθήκη απλής μόνωσης.

Η βελτίωση στην ενεργειακή απόδοση (θέρμανσης) της παλαιού τύπου κατασκευής μέσω της προσθήκης απλής μόνωσης κυμαίνεται περίπου στα ίδια επίπεδα στην Αθήνα, στη Θεσσαλονίκη και στα Χανιά με τις όποιες διαφορές να είναι αποτέλεσμα των τοπικών κλιματικών συνθηκών. Στην περίπτωση της Καστοριάς η μείωση που επιτυγχάνεται (35,85 %) είναι επίσης αποτέλεσμα των τοπικών κλιματικών συνθηκών. Εξετάζοντας την εξοικονόμηση ψυκτικής ενέργειας, παρατηρούνται αντίστοιχα με την περίπτωση της σύγκρισης συμβατικού κτιρίου και κτιρίου με ΥΑΦ φαινόμενα, δηλαδή οι απαιτήσεις ψυκτικών φορτίων στη Θεσσαλονίκη και στις υπόλοιπες πόλεις ελαττώνονται ανάλογα με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που αφορούν την τοποθέτηση συνδυασμού μόνωσης και ΥΑΦ στο παλαιότερης κατασκευής κτίριο, συμπεραίνεται η ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων ψύξης - θέρμανσης του ενεργοβόρου κτιρίου. Οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι η μείωση θερμικών και ψυκτικών φορτίων στα Χανιά και στην Αθήνα κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με τις μικρές διαφοροποιήσεις που απαντώνται να προέρχονται λόγω των τοπικών κλιματικών συνθηκών.

Η Καστοριά ακολουθεί τις τάσεις μείωσης των θερμικών φορτίων σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τις τάσεις μείωσης των ψυκτικών και όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα οι κλιματολογικές συνθήκες και η μη λειτουργία του νυχτερινού αερισμού διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο.

Αντίστροφη είναι η τάση μεταβολής θερμικών και ψυκτικών φορτίων στην Θεσσαλονίκη, καθώς παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση στα ψυκτικά φορτία η οποία όπως έχει επεξηγηθεί και παραπάνω (σύγκριση κτίριο με ΥΑΦ-κτίριο σύγχρονης κατασκευής) λαμβάνει χώρα λόγω των κλιματικών συνθηκών, του προγραμματισμού λειτουργίας του αερισμού και της επιλογής ΥΑΦ με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Σημαντική παράμετρος η οποία αξίζει να διερευνηθεί είναι η αναλογία μόνωσης και ΥΑΦ με παραμετρικές προσομοιώσεις, αφού θα έδινε στοιχεία για την βελτιστοποίηση της απόδοσης των ΥΑΦ .

Η βελτίωση που επιτυγχάνεται στη συνολική απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης και ψύξης από την προσθήκη στρωμάτων μόνωσης και ΥΑΦ στο εσωτερικό παλαιών κτιρίων είναι σημαντική όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ωστόσο προκείμενου να εκτιμήσουμε το κατά πόσο θα μπορούσε να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση σε περίπτωση ανακαινίσεων καλό θα ήταν να τη συγκρίνουμε με μία ήδη υπάρχουσα μέθοδο.

8.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ TRNSYS ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PCM EXPRESS.

Προκειμένου να υπάρξει μια πιο καλή εκτίμηση και ρεαλιστική αξιολόγηση των δυνατοτήτων των ΥΑΦ για τις συνθήκες της Ελλάδας θεωρήθηκε σκόπιμη η προσομοίωση με δυο διαφορετικά μοντέλα (TRNSYS και PCM express).

Παρά το γεγονός ότι το PCM express είναι ένα πρόγραμμα, η χρήση του οποίου εξασφαλίζει γρήγορα αποτελέσματα που αναδεικνύουν τις δυνατότητες των ΥΑΦ για την εξοικονόμηση ενέργειας και βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς, μειονεκτεί καθώς παρέχει μικρό αριθμό επιλογών κατά τη ρύθμιση των παραμέτρων (όπως αερισμός, εσωτερικά φορτία κλπ.) και δεν επιτρέπει την εξωτερική ρύθμιση των προκαθορισμένων τιμών ορισμένων παραμέτρων.

Ο αντίκτυπος των μειονεκτημάτων του λογισμικού στα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι οι υψηλές τιμές θερμικών και ψυκτικών φορτίων για χώρο 60m². Ωστόσο οι ποσοστιαίες μεταβολές που προκύπτουν για απαιτήσεις ενέργειας αποτυπώνουν σε σημαντικό βαθμό την αναμενόμενη συμπεριφορά ενός κτιρίου με ενσωματωμένα ΥΑΦ (πάχος: 1,5 cm, σημείο τήξης: 23 °C).

Οι προσομοιώσεις στο TRNSYS παρέχουν αρκετές δυνατότητες στο χρήστη (ρύθμιση παραμέτρων θέρμανσης, αερισμού, ψύξης κ.α.) παρέχοντας αξιόπιστα αποτελέσματα που επίσης προσεγγίζουν με σχετική ακρίβεια τα αναμενόμενα (πίνακας 8.4).

Ωστόσο η μελέτη της απόκρισης συστημάτων μέσω προσομοιώσεων μπορεί να μας δώσει συχνά μια ικανοποιητική εικόνα για την συμπεριφορά ενός συστήματος που στην περίπτωση μας είναι ένα κτίριο. Δεν μπορεί ωστόσο σε καμία περίπτωση να αντικαταστήσει τις πειραματικές μετρήσεις. Η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης πειραματικά μέσω παρέμβασης σε ένα ήδη υπάρχον κτίριο θα αποτελούσε ένα σημαντικό βήμα για την πλήρη κατανόηση της βελτίωσης που η ενσωμάτωση ΥΑΦ μπορεί να έχει στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων. Ταυτόχρονα τα πειραματικά δεδομένα που θα μπορούσαν να καταγραφούν σε σχέση με την απόκριση του ΥΑΦ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου.

Συνοψίζοντας η μελέτη αυτή έδειξε ότι:

- (α) μέσω της ενσωμάτωσης ΥΑΦ στη δομή του κτιρίου είναι δυνατή η επίτευξη σημαντικής βελτίωσης στην ενεργειακή του απόδοση.
- (β) η βελτίωση αυτή προϋποθέτει την κατάλληλη επιλογή του ΥΑΦ (εύρος θερμοκρασιών αλλαγής φάσης, λανθάνουσα ενέργεια, πάχος υλικού κ.α.), της στρατηγικής αποφόρτισής του κατά την καλοκαιρινή περίοδο (νυχτερινός αερισμός, σωλήνες ψυχρού νερού κ.α.) αλλά και του τρόπου εφαρμογής του (π.χ. ανάγκη προσθήκης μόνωσης σε παλαιότερα κτίρια).
- (γ) οι ανωτέρω παράγοντες επηρεάζονται σημαντικά από το κλίμα της περιοχής όπου βρίσκεται το κτίριο
- (δ) προκειμένου να γίνουν οι ανωτέρω επιλογές θα πρέπει να διεξαχθούν παραμετρικές μελέτες μέσω δυναμικής προσομοίωσης της θερμικής απόκρισης του

κτιρίου. Η προσομοίωση αυτή προϋποθέτει την ύπαρξη μοντέλων για την απόκριση του ΥΑΦ με επαρκή ακρίβεια.

(ε) η αποπληρωμή μιας εφαρμογής ΥΑΦ σύμφωνα με τις υπάρχουσες τιμές είναι περίπου 10-12 χρόνια.

(στ)ο ενεργειακός σχεδιασμός ενός κτιρίου πρέπει να λαμβάνει υπόψη μια σύνθεση δεδομένων που αφορούν τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής, την τοποθεσία, την θερμική και οπτική άνεση των ενοίκων, για το σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων και χώρων αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος.

8.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Όπως έδειξαν οι προσομοιώσεις το υφιστάμενο μοντέλο ΥΑΦ είναι πολύπλοκο και η ανάπτυξη ενός πιο απλού μοντέλου (μίας διάστασης), το οποίο θα προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό την πραγματικότητα ενώ ταυτόχρονα η εφαρμογή του θα είναι εύκολη και γρήγορη είναι πολύ σημαντική δεδομένου ότι η εφαρμογή των ΥΑΦ απαιτεί τη διεξαγωγή παραμετρικών μελετών με βάση τα χαρακτηριστικά τους και τον τρόπο εφαρμογής τους.

Προκειμένου να έχουμε μια πιο καλή εκτίμηση για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν στην παρούσα εργασία θα έπρεπε να γίνει σύγκρισή τους με πειραματικά μέσω παρέμβασης σε ένα ήδη υπάρχον κτίριο με στόχο την πλήρη κατανόηση της βελτίωσης που η ενσωμάτωση ΥΑΦ μπορεί να έχει στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων.

Επίσης, στην παρούσα εργασία δεν λάβαμε υπόψη σημαντικούς παράγοντες στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου όπως ο προσανατολισμός, η (κινητή ή σταθερή) σκίαση, κ.α. Η επίδραση των παραμέτρων αυτών στην απόδοση του προστιθέμενου ΥΑΦ θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να διερευνηθεί.

Επιπλέον όπως αποδεικνύεται σε αρκετές περιπτώσεις στη παρούσα διπλωματική εργασία ότι η κατάλληλη επιλογή του ΥΑΦ (εύρος θερμοκρασιών αλλαγής φάσης, λανθάνουσα ενέργεια, πάχος υλικού κ.α.) αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ενεργειακή απόκριση του κτιρίου που εφαρμόζεται. Για τις πόλεις που εξετάστηκαν, θα ήταν ενδιαφέρουσα η μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου με το εφαρμοζόμενο ΥΑΦ να λαμβάνει διαφορετικές τιμές σημείου τήξης του κάθε φορά και διαφορετικές τιμές πάχους.

Μια ακόμη ενδιαφέρουσα πρόταση θα ήταν η διαδικασία βελτιστοποίησης λειτουργικών παραμέτρων του κτιρίου που επηρεάζουν άμεσα τη συνεισφορά του ΥΑΦ στο ενεργειακό ισοζύγιο του όπως ο αερισμός.

Τέλος, θα ήταν σημαντική η συγκριτική αξιολόγηση από ενεργειακή, οικονομική, θερμική και περιβαλλοντική άποψη της εφαρμογής ΥΑΦ σε κτίρια με άλλες μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας(π.χ. ηλιακός κλιματισμός, κ.α.).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ahmad Maha, Bontemps Andre , Sallee Hebert , Quenard Daniel Experimental investigation and computer simulation of thermal behaviour of wallboards containing a phase change material, *Energy and Buildings*, Vol 38(2006).
2. Boese R., Weiß H.-C., Bläser D.: The Melting Point Alternation in the Short-Chain n-Alkanes: Single-Crystal X-Ray Analyses of Propane at 30 K and of n-Butane to n-Nonane at 90 K. *Angew. Chem. Int. Ed.* **38**, No. 7, 988-992 (1999).
3. Cabeza L., Mehling H., Hiebler S., Ziegler F.: Heat transfer enhancement in water when used as PCM in thermal energy storage. *Applied Thermal Engineering* **22**, 1141 – 1151 (2002).
4. Cabeza L.F., Castellón C., Nogués M., Medrano M., Leppers R., Zubillaga O.: Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings. *Energy and Buildings* 39, 113–119 (2007).
5. DuPont. Luxembourg.
6. Farid M.M., Khudhair A.M., Razack S.A.K., Al-Hallaj S.: A review on phasechange energy storage: materials and applications. *Energy Conversion and Management* 45,1597–1615 (2004).
7. Ghonein,A.A, Building Walls Using Phase Change Materials,Solar Energy, Vol 47 No.3, (1991).
8. Hackeschmidt K, Khelifa N, Girlich D.: Verbesserung der Nutzbaren Wärmeleitung in Latentspeichern durch offenporige Metallschäume, *KI Kälte – Luft – Klimatechnik*, 33-36 (2007).
9. Hafner B., Schwarzer K.: Improvement of the Heat Transfer in a Phase-Change-Material Storage. Presented at 4th Workshop IEA ECES Annex 10 “Phase change materials and chemical reactions for thermal energy storage”, Benediktbeuern, Germany, 28.-29. Oktober 1999. www.fskab.com/annex10.
10. Haussmann T., Schossig P.: Baustoffe mit Phasenwechselmaterialien als Kältespeicher für energieeffiziente Gebäude: Statusseminar “Thermische Energiespeicherung – mehr Energieeffizienz zum Heizen und Kühlen”, Freiburg, 2-3 November 2006.
11. Heim, D. & Clarke, J.A.. Numerical modelling and thermal simulation of phase change materials with ESP-r. 8th International IBPSA Conference, Netherlands (2004).
12. Huang M., Eames P., Phase change materials for limiting temperature rise in building integrated photovoltaic, *Int. J. Solar Energy*,(2006).
13. Ibanez M., Lazaro Ana , Zalba Belen , Cabeza Luisa F.. “An approach to the simulation of PCMs in building applications using TRNSYS”, *Applied Thermal Engineering*. (2005).

-
-
14. Ismail K. A. R., Henríquez J. R., "Thermally effective windows with moving phase change material curtains", Applied Thermal Engineering. (2001).
 15. Khudhair A.M., Farid M.M., Chen J.J.J. Thermal energy storage in buildings using PCM: computer simulation.(2007).
 16. Lane G.A.: Solar Heat Storage: Latent Heat Material - Volume I: Background and Scientific Principles. CRC Press, Florida (1983).
 17. Lane G.A.: Solar Heat Storage: Latent Heat Material - Volume II: Technology. CRC Press, Florida (1986).
 18. Lane G.A: Phase change materials for energy storage nucleation to prevent subcooling. Solar Energy Mater Solar Sells 27,135–160 (1991).
 19. Lin K., Zhang Y., Experimental study of under-floor electric heating system, with shape-stabilized PCM plates, Energy and Buildings, Vol 37,(2004).
 20. Lindner F.: Latentwärmespeicher - Teil 1: Physikalisch-technische Grundlagen. Brennst.-Wärme-Kraft **36**, Nr. 7-8 (1984).
 21. Mehling Harald, Cabeza Luisa F., «Heat and cold storage with PCM», Springer-Verlag Berlin Heidelberg,(2008).
 22. Mehling H., Hiebler S., Ziegler F.: Latent heat storage using a PCM/graphite composite material: advantages and potential applications. Presented at 4th Workshop IEA ECES Annex 10 "Phase change materials and chemical reactions for thermal energy storage", Benediktbeuern, Germany, 28.-29. Oktober 1999. www.fskab.com/annex10
 23. Mehling, H., Cabeza, L. F., Phase Change Materials and their basic properties. In: Thermal Energy Storage For Sustainable Energy Consumption: Fundamentals, Case Studies And Design (Ed. H. O. Paksoy). Kluwer Academic Publishers Group. 2007, pp. 257-278.
 24. Mehling H.. "Strategic concept: Innovative PCM-technology-results and future perspectives", 8th expert meeting and workshop Kizkalesi, Turkey. (2004).
 25. Metivaud V., Ventola L., Thermal Insulation of Buildings using Phase Change Materials, Energy and Buildings, Vol 36(2005).
 26. Pedersen C.O.. "Advanced zone simulation in EnergyPlus: Incorporation of variable properties and phase change material (PCM) capability", Building Simulation. (2007).
 27. Rose, Jørgen Lahme Andreas, Christensen Niels Uhre, Heiselberg Per, Hansen Magne, and Grau Karl. "Numerical method for calculating latent heat storage in constructions containing phase change material", Building Simulation. (2009).
 28. Sari A., Kaygusuz K.: Some fatty acids used for latent heat storage: thermal stability and corrosion of metals with respect to thermal cycling. Renewable Energy, Volume 28, Issue 6, 939-948 (2003)
 29. Setterwall F.: PCM in insulated containers gives Passive Temperature Control door-to-door. Presented at 8th Workshop IEA ECES Annex 17 "Advanced thermal energy storage techniques – Feasibility studies and demonstration projects", Kizkalesi, Turkey, 18 - 20 April (2005).
 30. Shapiro M., Feldman D., Hawes D., Banu D.: PCM thermal storage in drywall using organic phase change material. Passive Solar J 4, 419-438 (1987).

31. Takeda S., Nagano K., Nakayama K., Shimakura K.: Study on a floor supply air conditioning system with thermal energy storage using granulated PCM. Proc. Of ECOSTOCK, 10th International Conference on Thermal Energy Storage, Stockton, USA,(2006).
32. Tan F., Tso C., Cooling of mobile electronic devices using pcm, Applied thermal engineering, Vol 24 (2007).
33. Tomlinson J., What are the benefits of including latent storage in common wallboard, Conf.920801/7, Oak Ridge National Laboratory, Florida, U.S.A, 1992.
34. Tyagi Vineet Veer, Buddhi D.:«PCM thermal storage in buildings:A state of the art.»,August 2005.
35. TRNSYS 16 manual
36. Vasiliev L., Burak V., latent storage modules for preheating internal combustion petrol engines, Applied Engineering, Vol 20 (2000).
37. Velraj R., Seeniraj R.V., Hafner B., Faber C., Schwarzer K.: Heat transfer enhancement in a latent heat storage system. Solar Energy, vol. 65, No. 3, 171–180 (1999).
38. Zalba B., Martin J., Free-cooling of buildings with phase change materials, International journal of refrigeration, Vol 27 ,(2005).
39. Αθανασίου Δημήτριος,«Ενεργειακή απόδοσή στα κτίρια: θεσμικό πλαίσιο και εφαρμογή στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκή ένωσης »,Ευώνυμος οικολογική βιβλιοθήκη, Νοέμβριος 2006.
40. Αξαρλή Κλειώ,«Γενικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού»,Έκδοση ΤΕΕ κεντρικής Μακεδονίας για το σεμινάριο «Ενεργειακός σχεδιασμός νέων και υφιστάμενων κτιρίων»,Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2009.
41. Λάζαρη Ευγενία, «Βιοκλιματικός σχεδιασμός στην Ελλάδα, ενεργειακή απόδοση και κατευθύνσεις εφαρμογής» ,εκδόσεις ΚΑΠΕ, Σεπτέμβριος 2002.
42. Λημναίος Γεώργιος, Μεταπτυχιακή Διατριβή: «Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων με χρήση υλικών αλλαγής φάσης ενσωματωμένων στη δομή του κτιρίου», Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Φεβρουάριος 2010.
43. Λύκος Δημήτριος ,Διπλωματική εργασία: Αριθμητικές μέθοδοι μοντελοποίησης υλικών αλλαγής φάσης, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Ε.Μ.Π. ,(2007).
44. [N.3661/08]
45. Παπαδόπουλος Άγης,«Θερμική άνεση στα κτίρια, νέα πρότυπα και βελτίωση της θερμικής άνεσης στα κτίρια»,παρουσίαση στην ημερίδα: Ποιότητα περιβάλλοντος στο εσωτερικό των κτιρίων, Μάιος 2006.
46. Τζιβανίδης Χρήστος, « Σημειώσεις για το μάθημα Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων », Σημειώσεις Ε.Μ.Π., σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, Μάιος 2006.\
47. Τσούτσος Θεοχάρης, «Σημειώσεις για το μάθημα Ανανεώσιμες πηγές και Περιβάλλον», Σημειώσεις Πολυτεχνείου Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Άνοιξη 2008.

INTERNET SITES

- 1) http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm (16/7/2009)
- 2) http://www.cres.gr/kape/education/bioclimatic_brochure.pdf (19/7/2009)
- 3) http://www.elinyae.gr/el/category_details.jsp?cat_id=972 (23/3/2010)
- 4) <http://www.heatmanagement.com/kunze/00english/products/frameset.html>
(10/11/2009)
- 5) <http://www.teappcm.com/applications.html> (10/3/2010)
- 6) <http://www.outlast.com> (10/5/2009)
- 7) <http://www.climator.com> (27/11/2009)
- 8) <http://www.valentin.de> (5/8/2009)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παράρτημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας προσομοίωσης με το λογισμικό TRNSYS για τις κλιματικές συνθήκες της Καστοριάς με τονυχτερινό αερισμό να βρίσκεται σε λειτουργία.

ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	768,9	0,000	0,000	87,82	126,2
Φεβρουάριος	690,1	0,000	0,000	91,82	114,0
Μάρτιος	505,6	0,000	0,000	132,3	126,2
Απρίλιος	174,5	0,000	0,000	147,3	122,1
Μάιος	463,1	0,000	-505,3	166,5	126,2
Ιούνιος	167,1	0,000	-348,7	173,5	122,1
Ιούλιος	37,89	0,688	-274,1	183,4	126,2
Αύγουστος	50,96	0,873	-280,0	183,3	126,2
Σεπτέμβριος	214,8	0,000	-354,0	144,5	109,9
Οκτώβριος	133,4	0,000	0,000	125,7	126,2
Νοέμβριος	490,4	0,000	0,000	87,13	122,1
Δεκέμβριος	757,0	0,000	0,000	84,77	126,2
Ετησίως	4.453,75	1,561	-1.762,1	1.608,04	1.473,6

ΦΟΡΤΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΥΑΦ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	530,9	0,000	0,000	87,82	126,2
Φεβρουάριος	451,7	0,000	0,000	91,82	114,0
Μάρτιος	306,1	0,000	0,000	132,3	126,2
Απρίλιος	956,8	0,000	0,000	147,3	122,1
Μαίος	448,7	0,000	-504,9	166,5	126,2
Ιούνιος	181,9	0,000	-343,2	173,5	122,1
Ιούλιος	49,21	0,000	-255,3	183,4	126,2
Αύγουστος	50,96	0,000	-261,4	183,3	126,2
Σεπτέμβριος	21,48	0,000	-348,1	144,5	109,9
Οκτώβριος	67,62	0,000	0,000	125,7	126,2
Νοέμβριος	321,2	0,000	0,000	87,13	122,1
Δεκέμβριος	501,2	0,000	0,000	84,77	126,2
Ετησίως	4.301,25	0,000	-1.713	1.608,04	1.473,6

ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ιανουάριος	1.164	0,000	0,000	87,82	126,2
Φεβρουάριος	1.064	0,000	0,000	91,82	114,0
Μάρτιος	789	0,000	0,000	132,3	126,2
Απρίλιος	302,6	0,000	0,000	147,3	122,1
Μάιος	477,2	0,000	-506,2	166,5	126,2
Ιούνιος	152,7	0,460	-358,1	173,5	122,1
Ιούλιος	26,27	13,07	-293,0	183,4	126,2
Αύγουστος	46,16	14,25	-294,7	183,3	126,2
Σεπτέμβριος	22,12	0,173	-357,3	144,5	109,9
Οκτώβριος	246,5	0,000	0,000	125,7	126,2
Νοέμβριος	759,1	0,000	0,000	87,13	122,1
Δεκέμβριος	1147	0,000	0,000	84,77	126,2
Ετησίως	6.196,65	27,953	-1.809,3	1.608,04	1.473,6