



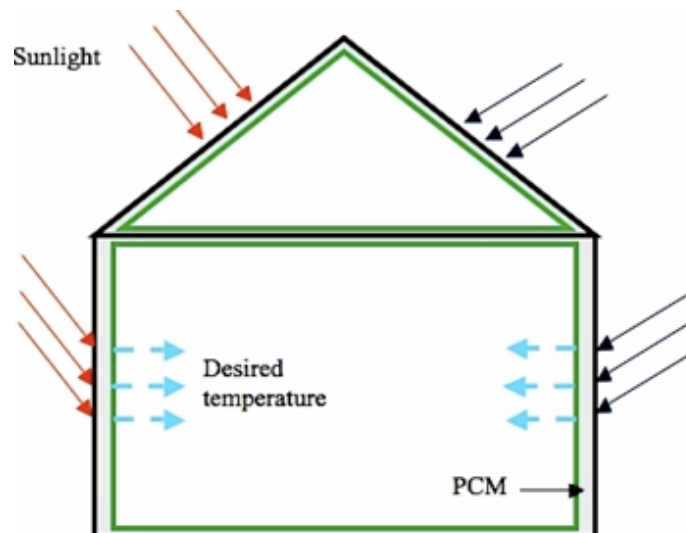
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΘΜΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΚΤΙΡΙΑΚΕΣ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ-

DEGREE OF EFFICIENCY OF PHASE CHANGE MATERIALS (PCM) IN BUILDING
APPLICATIONS



ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΚΟΡΟΖΗ ΑΝΤΩΝΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ: ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ Α. ΚΙΜΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μια νέα τεχνολογία δομικών υλικών στα πλαίσια της αποθήκευσης θερμότητας έχουν κάνει τα τελευταία χρόνια την εμφάνιση τους στη διεθνή αγορά και μας απασχολούν όλο και περισσότερο διότι λόγω του ενεργειακού προβλήματος που πλήττει τον πλανήτη αποτελεί μια πολύ ελκυστική λύση. Τα υλικά αυτά είναι γνωστά ως ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM). Στην παρούσα εργασία γίνεται μια εκτενής μελέτη και αναφορά σε αυτά. Για λόγους καλύτερης κατανόησης έχουμε χωρίσει την εργασία σε τρία μέρη.

Το πρώτο μέρος είναι πολύ γενικό και προσπαθούμε εν συντομία να περιγράψουμε τους λόγους οι οποίοι καθιστούν τα υλικά αλλαγής φάσης αναγκαία στις μέρες μας. Αναφερόμαστε στις μορφές ενέργειας με ιδιαίτερη έμφαση στην ηλιακή εφόσον χρησιμοποιείται άμεσα στις εφαρμογές που περιλαμβάνουν τα υλικά αλλαγής φάσης, στον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας στο κτίριο κυρίως με βάσει τις υπάρχουσες και νέες τεχνολογίες όπως είναι ο βιοκλιματικός σχεδιασμός. Ταυτόχρονα δεν παραλείπουμε να αναφέρθουμε στα δομικά υλικά, τόσο στα συμβατικά όσο και στα νέα κάνοντας έτσι μια μικρή εισαγωγή για τα υλικά αλλαγής φάσης.

Το δεύτερο μέρος μας ασχολείται αποκλειστικά με τα υλικά αλλαγής φάσης. Κατανοούμε τι είναι τα υλικά αυτά, μαθαίνουμε την εξέλιξη τους στο χρόνο μέσα από τις μελέτες και εφαρμογές διάφορων ερευνητών, τον τρόπο και τις μεθόδους με τις οποίες χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές όπως τα κτίρια και όχι μόνο. Συν τοις άλλοις εμβαθύνοντας σε αυτά τα ταξινομούμε σε επιμέρους κατηγορίες με βάσει τις ιδιότητες τους και παραθέτουμε τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματα τους. Στο τελευταίο κεφάλαιο αυτού του μέρους κλείνουμε με μια αναφορά στο πώς «στέκονται» τα υλικά αλλαγής φάσης στη σημερινή αγορά.

Συγκεκριμένα τα υλικά αλλαγής φάσης αποθηκεύουν θερμότητα με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας και την αποδίδουν ετεροχρονισμένα συμβάλλοντας στο γεγονός να διατηρείται η θερμοκρασία σταθερή σε ένα χώρο καθόλη τη διάρκεια της μέρας. Κατατάσσονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες που είναι τα οργανικά και τα ανόργανα υλικά αλλαγής φάσης καθώς και οι παραφίνες και τα εύηκτα μίγματα. Από αυτές πιο πολύ χρησιμοποιούμενα είναι τα οργανικά υλικά και οι παραφίνες λόγω των πλεονεκτημάτων που συγκεντρώνουν ως προς τις άλλες δυο κατηγορίες. Κυρίως έχουν να κάνουν με τη χημική σταθερότητα τους, την αντίδραση τους με τα άλλα δομικά υλικά και τον τρόπο συσκευασίας τους.

Το τρίτο και τελευταίο μέρος της παρούσης εργασίας είναι το υπολογιστικό μας κομμάτι. Στην ουσία υποθέτουμε μια εφαρμογή των υλικών αυτών σε ένα τοίχο νότιου προσανατολισμού. Ο τοίχος αυτός βρίσκεται σε ένα δωμάτιο με μόνη πηγή θερμότητας την ακτινοβολία του ήλιου που εισέρχεται από ένα υαλοπίνακα στην απέναντι πλευρά του υπό μελέτη τοίχου. Όλοι οι τοίχοι θεωρούνται μονωμένοι έτσι ώστε να μη διαφεύγει θερμότητα προς το εξωτερικό περιβάλλον. Ο τοίχος με το υλικό αλλαγής φάσης έχει τη μόνωση στην εξωτερική του πλευρά. Μέσα από μια παραμετρική μελέτη προσπαθούμε να βελτιστοποιήσουμε τη χρήση των υλικών αλλαγής φάσης. Με τη φράση «βελτιστοποίηση της χρήσης» εννοούμε πως με μόνη πηγή θερμότητας τις ακτίνες που προσπίπτουν στο υλικό, αυτό να μπορεί να μεταβαίνει από την υγρή φάση στη στερεή και το αντίστροφο σε διάστημα ενός μόνο 24ωρου και όλο αυτό να επαναλαμβάνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα (ουσιαστικά για πάντα). Στην αρχή χρησιμοποιούμε ένα εμπορικό υλικό το RT20 της RUBITHERM. Γρήγορα αντιλαμβανόμαστε ότι με το εν λόγω υλικό δεν έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα όπως αυτά διατυπώθηκαν. Γι αυτό το λόγο κάνουμε μια έρευνα και αλλάζοντας τις διάφορες παραμέτρους που εμπλέκονται στο πρόβλημα (θερμοκρασίες αλλαγής φάσης, θερμοχωρητικότητες, ειδική θερμότητα, πυκνότητα του υλικού αλλά και τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον) καταφέρνουμε να έχουμε μια επιτυχή εφαρμογή από ένα υλικό. Το υλικό αυτό όμως προς το παρόν είναι ιδεατό και κάνουμε την παραδοχή πως μπορούμε να το πετύχουμε εργαστηριακά. Στο τέλος και για λόγους πληρότητας της εργασίας δείχνουμε πως μεταβάλλονται και άλλα δυο κοινά εμπορικά υλικά αλλαγής φάσης, το RT27 και το SP25A8, τα οποία όμως είχαν παρόμοια συμπεριφορά με το αρχικό γεγονός που οφείλεται κυρίως στο μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης και στο περιορισμένο χρόνο που τους δίνεται για να εκτελέσουν τόσο το στάδιο της φότισης όσο και της αποφόρτισης.

ABSTRACT

A new technology of structural materials in the frames of heat storage they have made the last years their appearance in the international market and they occupy us more and more as they constitute a very attractive solution because of the energy problem that affects the planet. These materials are known as PHASE CHANGE MATERIALS (PCM). In the present work an extensive study and report has become to them. For reasons of better comprehension we have separated the work in three parts.

The first part is very general and we try briefly to describe the reasons which render the materials of phase change necessarily in our days. We report in the forms of energy, with particular accent in solar energy provided that this is also the one that is used immediately in the applications that include the materials of phase change, in the way with which we can have saving of energy in the building mainly with the existing and new technologies as it is the bioclimatic planning. At the same time we do not omit to make reference to the structural materials, both in the conventional ones and the news making thus a small import on the materials of phase change.

Our second part deals exclusively with the materials of phase change. We comprehend what are these materials, learn their development in the time through the studies and applications of various researchers, the way and the methods with which they are used in various building applications and not only. Plus deepening in this theme we categorize them in individual categories according to their attributes and we also mention both their advantages and disadvantages. In the last capital of this part we close with a report of the materials of phase change in correlation with the current market.

Specifically, the phase change materials store heat in the form of latent heat and they attribute it with delay in a different time so as to keep the temperature constant at a space throughout the day. PCM are classified into four main categories which are the organic and inorganic phase change materials, paraffins and fusible mixtures. Of these categories organic materials and paraffins are used more because of the benefits they have in comparison with the other two categories. This happens mostly because of their chemical stability, their reaction with other building materials and type of packaging.

The third and last part of the present work is our calculating piece. We suppose an application of these materials in a south-facing wall. This wall is located in a room where the only source of heat is radiation of the sun entering through a panel of glass on the opposite side of the wall that we study. All walls are considered insulated so that no heat escapes to the outside environment. The wall of the phase change material has its insulation outside. Through a parametric study we try to optimise their use. With the phrase "optimize their use" we mean that with solar rays being the only source of heat the material has to pass from the liquid phase to solid and vice versa in a single 24 hour period and all this must be repeated for a long time (essentially forever). In the beginning we use a commercial material the RT20 of RUBITHERM. In the beginning we conceived that with the specific material we do not have the desirable results as expressed. For this reason we make a research and by changing the various parameters that are involved in the problem (phase change temperatures, heat capacities, specific heat, density of the material and the conditions at the internal and external environment) we have a successful application from a material. This material however which is ideal at present and we make the admission that we can achieve it in the laboratory. In the end and for reasons of plenitude of work we show the behavior of two other common commercial materials of phase change, RT27 and the SP25A8, which however had similar behavior with the initial mainly due to the wide temperature range of phase change and the limited time they are given to perform both the stage of charging and the discharge.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κύριο Κίμωνα Α. Αντωνόπουλο, Καθηγητή Ε.Μ.Π., για την αποδοχή του και την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω τη διπλωματική εργασία μου στον τομέα του διευκολύνοντας το έργο μου με κάθε τρόπο. Θεωρώ πως δεν είναι πλέον συχνό φαινόμενο να δέχεσαι πρόθυμα εξυπηρέτηση κατά την περίοδο των διακοπών και το εκτιμώ ιδιαίτερα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ όμως και όχι μόνο θα ήθελα να δώσω στους ανθρώπους που ήταν κάθε λεπτό δίπλα μου και δεν είναι άλλοι από την οικογένεια μου. Δεν είναι τόσο το κομμάτι της διπλωματικής που με στήριξαν αλλά όλα αυτά τα πέντε χρόνια σπουδών. Τόσο η σχολή των μηχανολόγων όσο και οι κουραστικοί ρυθμοί της πόλης στους οποίους δεν ήμουν συνηθισμένη με εξουθένωναν και κάθε φορά που λύγιζα και έλεγα «Δεν πάει άλλο» εκείνοι ήταν εκεί και με στήριζαν. Ακόμα ηχεί στα αυτιά μου η φράση «Λίγο ακόμα Τονάκι...» . Σήμερα πιστεύω ότι τα κατάφερα. Ήταν ένα όνειρο και παράλληλα μια πρόκληση να τελειώσω τη σχολή και να παραδώσω τη διπλωματική μου στα πέντε χρόνια χωρίς να στερηθώ τίποτα και ιδιαίτερα το κομμάτι του αθλητισμού! Ειλικρινά ευχαριστώ για όλη αυτή την καρτερικότητα και την υπομονή απέναντι στη νευρικότητα και την ανυπομονησία μου. Ήταν ένα όνειρο του μπαμπά. Σαν μηχανολόγος μηχανικός που είναι ήθελε ένα παιδί του να συνεχίσει τη δουλειά του. Συν τοις άλλοις λοιπόν του αφιερώνω αυτή την εργασία και τον ευχαριστώ που σε αυτή την κοινωνία που ζούμε όπου τα πάντα είναι τόσο επισφαλή εκείνος φρόντισε να μου δώσει το πάτημα για να ξεκινήσω.

ΣΤΟ ΜΠΑΜΠΑ ΜΟΥ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελ:

ΜΕΡΟΣ Α : ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	12
1.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	12
1.1.1. ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	13
1.1.2. ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ).....	14
1.1.3. ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	15
1.1.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ- ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΚΡΙΣΗ- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ.....	16
1.2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	18
1.2.1. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	18
1.2.2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	18
1.2.2.1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	18
1.2.2.1.1. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	19
1.2.2.1.2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	20
1.2.2.1.3. ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	21
1.2.2.1.4. ΚΕΛΥΦΟΣ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	23
1.2.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ – ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	23
1.2.3.1. ΟΡΘΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	23
1.2.3.2. ΤΟΜΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	25
1.2.3.2.1. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ.....	26
1.2.3.2.1.1. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	26
1.2.3.2.1.2. ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ – ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	26
1.2.3.2.1.3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ.....	27
1.2.3.2.1.4. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	27
1.2.3.3. ΑΠΛΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	27
1.2.4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΧΤΙΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ».....	27
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο :ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ	29
2.1 ΚΤΙΡΙΑ.....	29
2.2 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ.....	29
2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	30
2.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	30
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ, ΔΟΜΙΚΑ και ΥΛΙΚΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	32
3.1. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	32
3.2. ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	33
3.3. ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ.....	33
3.4. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	34
3.4.1. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	36
3.5. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	37
3.5.1. ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ.....	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	37
ΜΕΡΟΣ Β: ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM).....	38
ΕΙΣΑΓΩΓΗ: ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΑΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΟΡΙΣΜΟΣ.....	41
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....	44
5.1. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	44
5.2. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	44
5.3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	45
5.3.1. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	45
5.3.2. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	45
5.3.2.1. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....	46
5.3.2.1.1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ STEFAN	46
5.3.2.1.2. ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ STEFAN.....	46
5.3.2.1.3. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	47
5.3.2.1.4. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ.....	47
5.3.2.1.5. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΛΥΣΗ.....	49
5.3.3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΑΦ.....	54
6.1. ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	54
6.2. ΤΑ (ΥΑΦ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ) ΩΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	55
6.3. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	58
6.3.1. ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΝΑΣΑ.....	60
6.3.2. ΥΑΦ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	60

6.3.2.1. Dr MARIA TELKES, ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ.....	61
6.3.2.2. ΠΕΙΡΑΜΑ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΥΑΦ.....	61
6.3.2.3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΕΡΑ ΤΩΝ ΩΡΩΝ ΑΙΧΜΗΣ	62
6.3.2.4. ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΜΕΓΑΛΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΥΑΦ.....	62
6.3.3. ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΟ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ	62
6.3.4. ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΤΑ ΥΑΦ ΑΠΟ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ.....	63
6.3.5. ΔΥΤΙΚΗ ΓΕΡΜΑΝΙΑ.....	63
6.3.6. ΔΑΝΙΑ.....	64
6.3.7. ΣΟΥΗΔΙΑ.....	64
6.3.8. ΓΑΛΛΙΑ.....	64
6.3.9. ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ.....	64
6.3.10. ΙΑΠΩΝΙΑ.....	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 6 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 :ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ.....67

7.1. ΥΛΗ.....	67
7.1.1. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΥΛΗΣ.....	67
7.1.2. ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ.....	67
7.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΑΦ.....	68
7.2.1. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ.....	70
7.2.1.1. ΠΑΡΑΦΙΝΕΣ.....	70
7.2.1.2. ΒΙΟΓΕΝΗ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ.....	72
7.2.1.3. ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ.....	72
7.2.1.4. ΚΟΚΟΦΙΝΙΚΕΛΑΙΟ.....	73
7.2.1.5. ΜΗ - ΠΑΡΑΦΙΝΕΣ.....	73
7.2.2. ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ.....	75
7.2.2.1. ΕΝΥΔΡΑ ΑΛΑΤΑ.....	75
7.2.2.2. ΜΕΤΑΛΛΑ.....	78
7.2.3. ΕΥΤΗΚΤΑ ΜΙΓΜΑΤΑ	79
7.2.4. ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ (SS - PCM).....	80
7.3. ΣΥΝΟΨΗ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΥΑΦ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	80
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 7 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΑΦ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥΣ85

8.1. ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΥΑΦ.....	86
8.2. ΑΥΞΗΣΗ ΟΓΚΟΥ ΤΩΝ ΥΑΦ - ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ	89
8.3. ΦΥΣΙΚΟ-ΧΗΜΙΚΗ ΜΑΚΡΟΠΡΟΣΘΕΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ.....	89
8.3.1. ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ (UNIVERSITY OF LEIDA AND UNIVERSITY OF ZARAGOZA - SPAIN).....	90

8.3.2.	ΡΕΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ (UNIVERSITY OF ZARAGOZA – SPAIN).....	90
8.3.3.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΟΨΥΞΗΣ (TREFLE – FRANCE).....	90
8.3.4.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ (TREFLE – FRANCE).....	92
8.3.5.	ΕΡΕΥΝΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΤΑΡΕΟΤΗΤΑΣ (WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY – POLAND).....	94
8.4.	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	95
8.4.1.	ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ ΝΑΝΟΜΕΤΡΟΥ (TREFLE – FRANCE AND UNIVERCITY OF BARCELONA).....	95
8.5.	ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	95
8.5.1.	ΟΥΣΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ.....	95
8.5.2.	ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	96
8.5.2.1.	ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (DTA).....	97
8.5.2.2.	DCS (ΨΗΦΙΑΚΟ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ).....	100
8.5.2.2.1.	ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	100
8.5.2.2.2.	ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΣΟΘΕΡΜΙΚΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ.....	101
8.5.2.3.	ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ – ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ (TREFLE – FRANCE).....	102
8.5.2.4.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ – ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ (TREFLE – FRANCE).....	103
8.5.2.5.	ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΔΥΜΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ (CUKUROVA UNIVERSITY – TYRKEY).....	104
8.5.2.6.	ΜΕΘΟΔΟΣ T-HISTORY (UNIVERSITY OF ZARAGOZA – SPAIN, EMPA - SWITZERLAND).....	106
8.5.2.7.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ PANEL TEST (EMPA - SWITZERLAND).....	107
8.5.2.8.	ΑΠΛΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY – POLAND).....	107
8.5.2.9.	ΤΕΣΤ – BOX (UNIVERSITY OF LEIDA- SPAIN).....	109
8.5.2.10.	ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ.....	109
8.5.3.	ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΧΥΣΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	110
8.5.3.1.	ΕΜΠΟΡΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	110
8.5.3.2.	ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	111
8.5.3.3.	ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ (CERTES – FRANCE, POLYMER INSTITUTE OF SLOVAK ACADEMY OF SCIENCLES – SLOVAKIA).....	112
8.5.3.4.	ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΚΑ.....	113
8.5.3.5.	ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ.....	114
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 8 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	115
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΜΕ ΥΑΦ.....	116
9.1.	ΕΝΘΥΛΑΚΩΣΗ ΤΩΝ ΥΑΦ.....	116
9.1.1.	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΚΑΜΠΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ – ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.....	117
9.1.2.	ΥΛΙΚΑ ΣΦΡΑΓΙΣΗΣ.....	118
9.1.3.	ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΥΑΦ.....	119
9.1.3.1.	ΠΛΑΚΕΣ.....	120

9.1.3.2. ΜΠΑΛΕΣ.....	120
9.1.3.3. ΘΗΚΕΣ.....	120
9.1.3.4. ΣΩΛΗΝΕΣ.....	121
9.2. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΥΑΦ.....	122
9.2.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	123
9.2.1.1. ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ.....	123
9.2.1.2. ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΑΕΡΑ.....	126
9.2.1.3. ΗΛΙΑΚΕΣ ΕΣΤΙΕΣ.....	128
9.2.1.4. ΗΛΙΑΚΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.....	129
9.2.1.5. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	132
9.2.1.6. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	133
9.2.1.7. ΚΤΙΡΙΑ.....	135
9.2.1.7.1. ΜΕΤΡΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΜΕΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ.....	136
9.2.1.7.2. ΤΟΙΧΟΙ.....	142
9.2.1.7.2.1. ΠΑΘΗΤΙΚΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ.....	142
9.2.1.7.2.2. ΤΟΙΧΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΑΝΘΑΝΟΥΣΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	143
9.2.1.7.2.3. ΤΟΙΧΟΣ ΤΡΟΜΒΕ.....	143
9.2.1.7.2.4. ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ.....	145
9.2.1.7.2.5. ΓΥΨΟΣΑΝΙΔΕΣ ΑΠΟ ΥΑΦ.....	145
9.2.1.7.2.6. ΤΟΙΧΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ (T-MASS).....	146
9.2.1.7.3. ΥΠΕΔΑΠΕΔΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.....	146
9.2.1.7.4. ΟΡΟΦΕΣ.....	148
9.2.1.7.4.1. ΕΛΑΦΡΕΣ ΣΤΕΓΕΣ.....	149
9.2.1.7.4.2. ΨΕΥΔΟΡΟΦΕΣ.....	149
9.2.1.7.5. ΠΟΡΤΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΘΥΡΑ.....	151
9.2.1.7.5.1. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ.....	152
9.2.1.7.5.2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ.....	152
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 9 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΛΑΙΟΥ.....	154
ΚΕΦΑΛΛΑΙΟ 10 : ΑΓΟΡΑ ΚΑΙ ΥΑΦ.....	155
10.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΩΝ ΚΕΛΥΦΩΝ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΥΑΦ.....	156
10.2. ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΙΜΩΝ ΥΑΦ.....	159
10.2.1. ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΥΑΦ.....	159
10.3. ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	161
10.4. ΟΡΙΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΥΑΦ.....	161
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 10 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΛΑΙΟΥ.....	162

ΜΕΡΟΣ Γ: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ.....	163
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 : ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	164
11.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ.....	165
11.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ (THERMAL DELAY METHOD)- ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΟΣ.....	167
11.2.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	172
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 11 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	175
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 : ΒΑΘΜΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΥΑΦ- ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΥΑΦ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ.....	176
12.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ ΥΑΦ.....	176
12.2. ΕΞΗΓΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ.....	177
12.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	191
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 12 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	329

ΜΕΡΟΣ Α

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

1.1 Τι είναι ενέργεια [2]

Ζωή και ενέργεια είναι δυο έννοιες άρρηκτα συνδεδεμένες. Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί για να επιζήσουν απαιτούν ενέργεια, αλλά και οι φυσικές όπως και οι ανθρωπογενείς διαδικασίες απαιτούν ενέργεια. Οτιδήποτε κινείται ή προκαλεί κίνηση διαθέτει ενέργεια. Για παράδειγμα ο ήλιος ακτινοβολεί την ενέργειά του, όταν καίμε ξύλα στο τζάκι απελευθερώνεται ενέργεια που τη νιώθουμε σαν ζέστη, οι πυλώνες της ΔΕΗ μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια, στους πυρηνικούς αντιδραστήρες η πυρηνική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Δεν μπορούμε πάντοτε να την παρατηρήσουμε, αλλά αισθανόμαστε πάντα την επίδρασή της σε εμάς και γενικότερα στον κόσμο μας. Η ενέργεια λοιπόν υπάρχει παντού, μας περιβάλλει, αλλά εμφανίζεται και μέσα στους οργανισμούς μας.

Ενέργεια ονομάζεται η ικανότητα παραγωγής έργου ή ακόμη η ικανότητα οργάνωσης ή αλλαγής της ύλης.

Ενέργεια (σύνθετη λέξη): εν + έργο, δηλαδή έργο μέσα σε κάποιο σώμα.

Τι είναι ενέργεια;

En + έργο
δηλ.. έργο μέσα σε κάτι

Η ενέργεια έχει έργο μέσα της κι εμείς τη χρησιμοποιούμε για να πάρουμε αυτό το έργο.

Η ενέργεια δεν είναι ορατή, δεν είναι απτή, δεν έχει μάζα ούτε καταλαμβάνει χώρο, αλλά την αντιλαμβανόμαστε μερικές φορές από το έργο που παράγεται. Γιατί κάθε φορά που παράγουμε έργο, δαπανούμε ενέργεια.

Τις περισσότερες φορές όμως δε γίνεται άμεσα αντιληπτή όπως π.χ. η ενέργεια που συντελεί στην ανάπτυξη των οργανισμών ή όταν εξαιτίας της ηλιακής ενέργειας συντελείται ο κύκλος του νερού. Αρα...

...ενέργεια υπάρχει παντού!

ΣΧΗΜΑ 1.1 Τι είναι ενέργεια [2]

Το **έργο** σχετίζεται με την αλλαγή, την κίνηση ή τη στήριξη και ισοδυναμεί με την ενέργεια που δόθηκε στο αντικείμενο. Η ύλη, όταν προσλάβει ενέργεια, μπορεί να αποκτήσει διαφορετική οργάνωση στη δομή της (από στερεή να γίνει υγρή ή αέρια), ακόμη και να αλλάξει τη δομή της π.χ. με χημική αντίδραση.

Η ενέργεια είναι φυσική ποσότητα που μπορεί να μετρηθεί και καθορίζει ποιες αλλαγές, γεγονότα ή φυσικά φαινόμενα είναι δυνατόν (χωρίς να είναι σίγουρο) να συμβούν. Για παράδειγμα, η απαραίτητη συνθήκη για να θερμανθεί το περιβάλλον από ένα θερμό σώμα (το οποίο διαθέτει αποθηκευμένη ενέργεια) είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος να είναι χαμηλότερη από αυτή του θερμού σώματος.

Η ενέργεια περικλείεται ή εμπεριέχεται, αποθηκεύεται, εκπέμπεται, μεταβιβάζεται, απορροφάται, μετατρέπεται, διατηρείται, υποβαθμίζεται, ρέει.

1.1.1. Μορφές Ενέργειας



ΣΧΗΜΑ 1.2 Μορφές ενέργειας [2]

Από φυσικής άποψης διακρίνονται σε δύο είδη οι πρωταρχικές μορφές ενέργειας:

✓ **Κινητική ενέργεια**: είναι η ενέργεια που έχει ένα υλικό όταν κινείται και αναφέρεται στην ικανότητά του να παράγει έργο.

✓ **Δυναμική ενέργεια**: είναι η ενέργεια που έχει το σώμα όταν βρίσκεται σε κάποιο πεδίο δυνάμεων. Διακρίνεται σε ενέργεια **θέσεως** (π.χ. η βαρύτητα) και ενέργεια **μορφής**. Η δεύτερη εμφανίζεται όταν συστρέφουμε, συμπιέζουμε, τεντώνουμε ή λυγίζουμε ένα υλικό αλλάζοντας τη φυσική του μορφή π.χ. το παραμορφωμένο μέταλλο ή λάστιχο.

Η Κινητική και η Δυναμική ενέργεια αποτελούν τη **Μηχανική ενέργεια**. Εκτός των πρωταρχικών μορφών ενέργειας, κινητικής και δυναμικής, εμφανίζονται και άλλες εκφράσεις ειδικών περιπτώσεων ή συνδυασμών των πρωταρχικών μορφών ενέργειας. Κάποιες από αυτές γίνονται εύκολα αισθητές, όπως το φως, η θερμότητα, η πυρηνική ενέργεια και άλλες όχι. Αυτές οι μορφές ενέργειας είναι:

✓ **Θερμική ενέργεια**: το σύνολο της κινητικής ενέργειας των σωματιδίων που συγκροτούν τα υλικά σώματα, καθώς αυτά κινούνται στο εσωτερικό τους. Με τον όρο θερμότητα εννοούμε ειδικά την ενέργεια

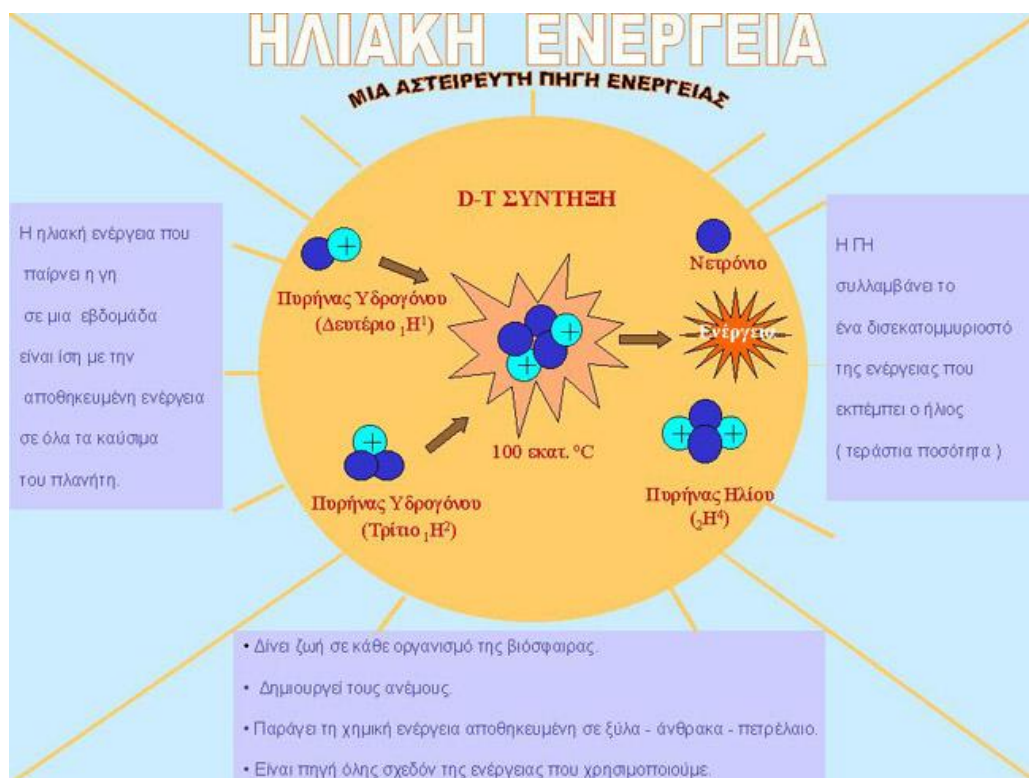
που μεταφέρεται από ένα σώμα υψηλής θερμοκρασίας σε άλλο με χαμηλότερη θερμοκρασία, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η κινητική ενέργεια των σωματιδίων του.

✓ **Ηλεκτρική ενέργεια:** αναφέρεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα), λόγω της ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού.

✓ **Χημική ενέργεια:** το σύνολο της δυναμικής ενέργειας που απαιτήθηκε για τη συγκρότηση μορίων χημικών ουσιών από διάφορα άτομα, κάτω από την αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων. Η χημική ενέργεια αποδίδεται συνήθως ως θερμική ή ηλεκτρική, όταν τα μόρια διασπώνται και πάλι σε άτομα ή μετασχηματίζεται στους οργανισμούς σε θερμική και κινητική, με βιολογικούς μηχανισμούς, και ονομάζεται ζωική ενέργεια.

✓ **Πυρηνική ενέργεια:** είναι η δυναμική ενέργεια που είναι εγκλεισμένη στους πυρήνες των ατόμων λόγω της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων που τα συνιστούν και απελευθερώνεται κατά τη σχάση ή τη σύντηξη των πυρήνων.

✓ **Ηλιακή ενέργεια:** είναι η πυρηνική ενέργεια που προέρχεται από τη σύντηξη πυρήνων υδρογόνου στον ήλιο, ενώ **φωτεινή ενέργεια** χαρακτηρίζεται η ενέργεια που μεταφέρεται ως ορατό ηλεκτρομαγνητικό κύμα, δηλαδή φως και αποτελεί μέρος της ηλιακής ενέργειας (την ηλιακή ενέργεια και την προσφορά της θα αναλύσουμε στα επόμενα κεφάλαια).



ΣΧΗΜΑ 1.3 Ηλιακή ενέργεια [2]

1.1.2 Πηγές Ενέργειας (Ανανεώσιμες και Μη Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας)

Οι «αποθήκες» ενέργειας ονομάζονται «Πηγές Ενέργειας» και διακρίνονται σε αυτογενείς (πυρήνες ατόμων, ήλιος, γαιάνθρακες ή πετρέλαιο) και τεχνητές (ταμιευτήρες, ηλεκτρικοί συσσωρευτές). Διακρίνονται ακόμα σε πρωτογενείς πηγές που περιλαμβάνουν τη δυναμική ενέργεια των πυρήνων και δευτερογενείς που είναι όλες οι άλλες μορφές / πηγές ενέργειας.

Όσον αφορά τα αποθέματα ενέργειας (ενεργειακό δυναμικό), οι πηγές ενέργειας διακρίνονται σε συμβατικές ή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι αυτογενείς ή πρωταρχικές πηγές ενέργειας είναι αποθηκευμένες ή υπάρχουν στη φύση. Ο ήλιος είναι η πρωταρχική και η βασική πηγή ενέργειας της γης. Η ενέργειά του είναι αποθηκευμένη και σε άλλες πρωταρχικές πηγές, όπως στο κάρβουνο, στο πετρέλαιο, στο φυσικό αέριο στη βιομάζα και προκαλεί τον υδρολογικό κύκλο και την ενέργεια του ανέμου. Άλλες πρωταρχικές πηγές ενέργειας που υπάρχουν στη γη είναι η πυρηνική ενέργεια των ραδιενεργών στοιχείων, η θερμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο εσωτερικό της γης και βέβαια η δυναμική ενέργεια. Για να είναι χρήσιμη μια πηγή ενέργειας είναι αναγκαίες ορισμένες προϋποθέσεις:

- ✓ Η ενέργεια να είναι άφθονη και η πρόσβαση στην ενεργειακή πηγή εύκολη.
- ✓ Να μετατρέπεται χωρίς δυσκολία σε μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα σύγχρονα μηχανήματα.
- ✓ Να μεταφέρεται εύκολα.
- ✓ Να αποθηκεύεται εύκολα.

Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: αποκαλούνται έτσι γιατί δεν είναι δυνατό να ανανεώσουν σε ύψολογο, για τον άνθρωπο, χρονικό διάστημα την αποθηκευμένη τους ενέργεια. Η διαδικασία σχηματισμού τους διήρκεσε εκατομμύρια χρόνια. Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν :

- ✓ Τα στερεά καύσιμα των γαιανθράκων, όπως λιγνίτη, ανθρακίτη, τύρφη.
- ✓ Τα υγρά καύσιμα που παίρνουμε με κατεργασία, όπως μαζούτ, πετρέλαιο, βενζίνη, κηροζίνη κλπ.
- ✓ Τα αέρια καύσιμα όπως το φυσικό αέριο, υγραέριο κλπ.
- ✓ Την πυρηνική ενέργεια που παίρνουμε από τη σχάση ραδιενεργών υλικών.

1.1.3 Φυσικοί Πόροι και Ενέργεια

Η έννοια του φυσικού πόρου είναι ευρύτερη της ενεργειακής πηγής και περιλαμβάνει καθετί που χρειάζεται ένας οργανισμός για την επιβίωσή του και προέρχεται από τη φύση. Ιδιαίτερα για τις ανθρώπινες κοινωνίες σαν φυσικοί πόροι ορίζονται όλα τα υπάρχοντα στη γη υλικά ή προϊόντα που είναι χρήσιμα για τη ζωή και τις δραστηριότητες του ανθρώπου.

Επειδή οι περισσότεροι φυσικοί πόροι είναι και αποθεματικοί, δημιουργούν δηλαδή αρχικά απόθεμα ύλης και ενέργειας που περικλείεται μέσα σ' αυτή, μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες. Τους ανανεώσιμους φυσικούς πόρους, που διαρκούν για πάντα ή ανανεώνονται συνεχώς, όταν γίνεται σωστά η διαχείρισή τους, και τους μη ανανεώσιμους που εξαντλούνται σε τέτοιο σημείο ώστε η ανανέωσή τους είναι αδύνατη ή πολύ δαπανηρή.

Οι ανανεώσιμοι πόροι δημιουργούνται συνήθως από τα σύγχρονα βιοτικά συστήματα (γεωργικές καλλιέργειες, αλιεύματα, δασική ξυλεία κλπ.) και μαζί με την ηλιακή, την αιολική, τη γεωθερμική και την υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελούν τους ενεργειακούς ανανεώσιμους πόρους. Αντίστοιχα οι μη ανανεώσιμοι πόροι είναι αποθέματα που προέρχονται από αβιοτικά συστήματα (μέταλλα, νερό, μάρμαρα) ή από πρώην βιοτικά συστήματα (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο).

Όλοι οι φυσικοί πόροι διακρίνονται σε ανακυκλώσιμους και μη ανακυκλώσιμους, ανάλογα με το αν μπορούν ή όχι να ανανεωθούν με τεχνητές διεργασίες ανακύκλωσης ή μέσα από τους φυσικούς κύκλους.

Αν ένας πόρος δεν είναι ανανεώσιμος ούτε ανακυκλώσιμος, τότε η εξαφάνισή του είναι ζήτημα χρόνου.

Φυσικοί πόροι	Ανανεώσιμοι	Μη ανανεώσιμοι
Ανακυκλώσιμοι	Νερό, χαρτί, ξυλεία, φυσικά υφαντουργικά προϊόντα	Μέταλλα, γυαλί, μάρμαρα
Μη ανακυκλώσιμοι	Καυσόξυλα, φυτικά καύσιμα, τροφές	Πετρέλαιο, κάρβουνο, ουράνιο, πλαστικά

ΣΧΗΜΑ 1.4 Ταξινόμηση των φυσικών πόρων [2]

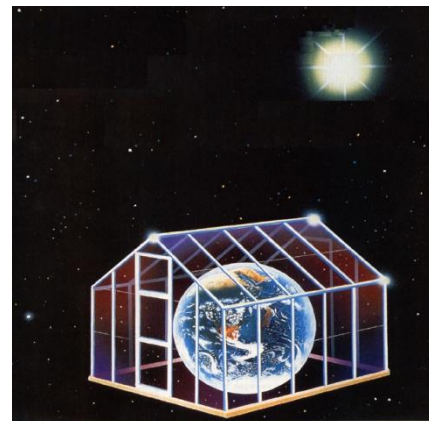
1.1.4 Αποτελέσματα Χρήσης Μη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας-Οικολογική Κρίση – Περιβαλλοντική Επιβάρυνση

Η χρήση των ορυκτών καυσίμων και της πυρηνικής ενέργειας επηρέασε αρνητικά τις κλιματικές συνθήκες του πλανήτη. Συγκεκριμένα συσσωρεύσε αέριους ρύπους στην ατμόσφαιρα, ρύπανε σε σημαντική έκταση τα επιφανειακά ύδατα του πλανήτη, μείωσε τη βιοποικιλότητα και μόλυνε περιοχές λόγω των πυρηνικών αποβλήτων.

Η χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προκάλεσε και συνεχίζει να προκαλεί έντονη περιβαλλοντική επιβάρυνση (προβλήματα όπως αιθαλομίχλη < αιθάλη και διοξείδιο του άνθρακα από την καύση υδρογονανθράκων).



(α)



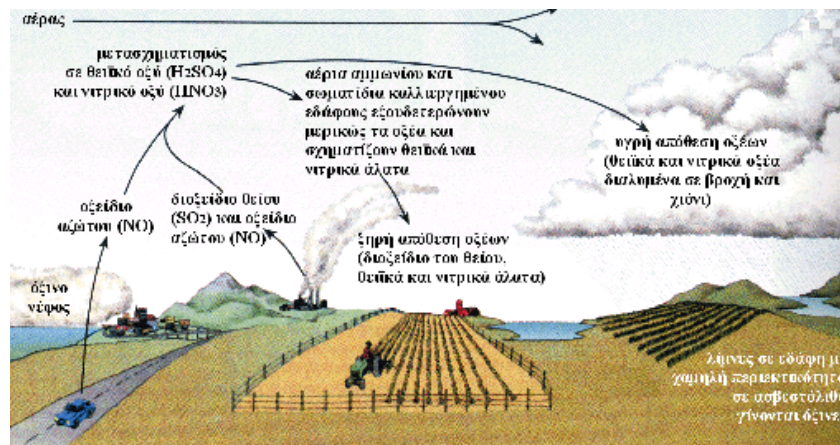
(β)

ΣΧΗΜΑ 1.5 Φαινόμενο θερμοκηπίου (α) φυσική περιγραφή του φαινομένου (β) εικονική παρουσίαση του φαινομένου [2]

Εκτός από την αέρια ρύπανση, η έρευνα για ανακάλυψη κοιτασμάτων φυσικού αερίου και η εκμετάλλευσή τους συνοδεύεται από σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που αφορούν τη γη, τη θάλασσα κ.λ.π. (π.χ. προβλήματα από απόρριψη λάσπης λόγω γεώτρησης στη θάλασσα για φυσικό αέριο).

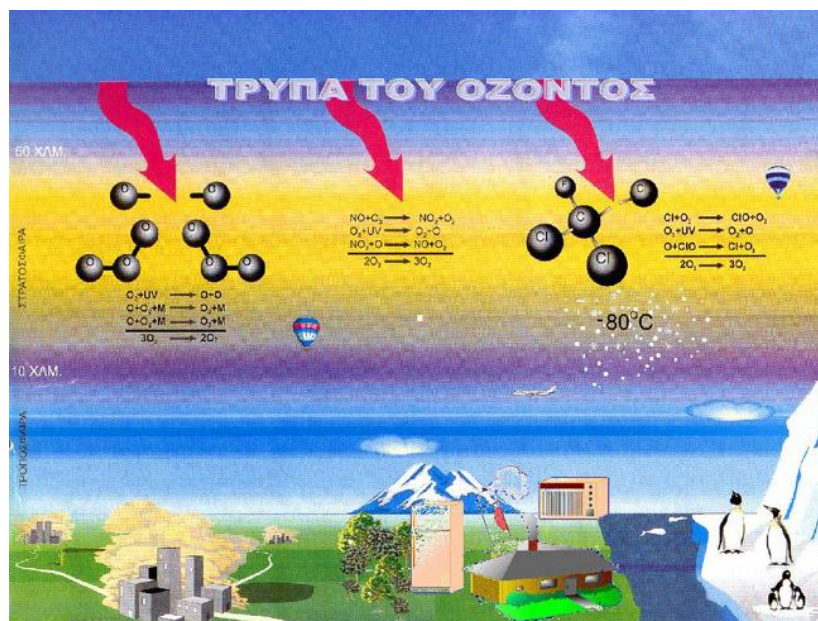
Ακόμα, τα οξείδια του θείου και του αζώτου σχηματίζουν με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας οξέα τα οποία με το νερό της βροχής επιστρέφουν στη γη ως όξινη βροχή, προκαλώντας μεγάλες ζημιές στα δάση του πλανήτη μας, διάβρωση και ερημοποίηση των γόνιμων εδαφών καθώς και αλλοιώσεις στη σύσταση των υπόγειων και πόσιμων νερών. Επίσης εμφανείς είναι οι καταστροφές στα μαρμάρινα αριστουργήματα (γυψοποίηση) που διασώθηκαν ως τις μέρες μας. Σοβαρό πρόβλημα σήμερα αποδείχθηκε και η χρήση των χλωροφθορανθράκων (CFC) ως ψυκτικά σε κλιματιστικά και ψυγεία, ως προωθητικά σε σπρέι, ως καθαριστικά ηλεκτρονικών συσκευών, αποστειρωτικά για νοσοκομειακά όργανα και ως μονωτικά υλικά και υλικά συσκευασίας. Αν και δεν προέρχονται άμεσα από την καύση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

(ένα μέρος τους παράγεται από την καύση της βιομάζας), αποτελούν ωστόσο προϊόντα που η παρασκευή τους απαιτεί σημαντική κατανάλωση ενέργειας.



ΣΧΗΜΑ 1.6 Σχηματισμός όξινης βροχής [2]

Η απελευθέρωση επίσης των αερίων CFC στην ατμόσφαιρα από τα κουτιά των σπρέι που πετιούνται ή από διαρροές των ψυκτικών και κλιματιστικών συσκευών ή από την παραγωγή και καύση προϊόντων με πλαστικό αφρό έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωσή τους στη στρατόσφαιρα και στη συνέχεια την καταστροφή του στρώματος του όζοντος της ατμόσφαιρας.



ΣΧΗΜΑ 1.7 Σχηματισμός της τρύπας του όζοντος [2]

Δεν θα πρέπει να παραβλέψουμε επίσης και τα ατυχήματα κατά τη μεταφορά πετρελαίου με πλοία, που έχουν προκαλέσει και προκαλούν ανυπολόγιστες **οικολογικές καταστροφές** στις θάλασσες και στις ακτές. Σήμερα, ως γνωστό, οι ενεργειακές μας ανάγκες καλύπτονται σε μεγάλο βαθμό τόσο από τη θερμική ενέργεια της καύσης γαιανθράκων και πετρελαίου, όσο και από την πυρηνική (θερμική) ενέργεια της σχάσης των πυρήνων. Οι πηγές ενέργειας αυτές αποδεικνύονται καταστροφικές για το περιβάλλον, ή

τουλάχιστον "μη καθαρές", αφού το επιβαρύνουν. Θα πρέπει να αναφέρουμε επίσης την ηχητική αλλά και την αισθητική επιβάρυνση του περιβάλλοντος που προκαλείται από τις μονάδες παραγωγής ενέργειας, τους μηχανισμούς και τα συστήματα μεταφοράς της, όπως π.χ. τα εργοστάσια, ορυχεία, συστήματα άντλησης, διυλιστήρια και τους ηλεκτρικούς πυλώνες.

1.2 Εναλλακτικές Πηγές Ενέργειας [1],[2],[3],[4]

1.2.1 Αναγκαιότητα Χρήσης Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας

Όπως είδαμε η εντατική χρήση των ορυκτών καυσίμων (γαιάνθρακες, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και της πυρηνικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια, ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για τα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας και τα οποία έχουν άμεσο αντίκτυπο στις κλιματικές συνθήκες και γενικά στις συνθήκες ζωής πάνω στον πλανήτη. Είναι φανερό ότι οι ενεργειακές ανάγκες συνεχώς θα αυξάνονται, αφού ο πληθυσμός της γης αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς αλλά και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου πολλαπλασιάζει τις δραστηριότητές του, οι οποίες τελικά απαιτούν κατανάλωση ενέργειας.

Η ανθρωπότητα καλείται να απαντήσει στο βασικό ερώτημα, αν θα συνεχίσει να καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες κυρίως με τα ορυκτά καύσιμα (μέχρι αυτά να εξαντληθούν) με την επακόλουθη περιβαλλοντική επιβάρυνση ή θα αναζητήσει σύντομα άλλες λύσεις.

Η μόνη απάντηση που προς το παρόν διαφαίνεται ότι θα περιορίσει δραστικά τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε). Αν και η τεχνολογία έχει κάνει σημαντικά βήματα προς τον τομέα αυτό, η εφαρμογή των Α.Π.Ε βρίσκεται σε ακόμη σε πρώιμο στάδιο. Η εκμετάλλευση του ήλιου, του ανέμου, του νερού, της γεωθερμίας και της βιομάζας, που αποτελούν πηγές ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον, μπορούν και πρέπει να γίνουν οικονομικά εκμεταλλεύσιμες ώστε να συμβάλλουν στην αειφόρο ανάπτυξη, εφόσον είναι ανανεώσιμες και ρυπαίνουν ελάχιστα ή καθόλου. Στη χώρα μας υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης αυτών των πηγών ενέργειας, γιατί και σημαντική ηλιοφάνεια έχουμε και αιολικό δυναμικό υπάρχει, ιδιαίτερα στα νησιά, αλλά και υδάτινο δυναμικό στις ορεινές περιοχές.

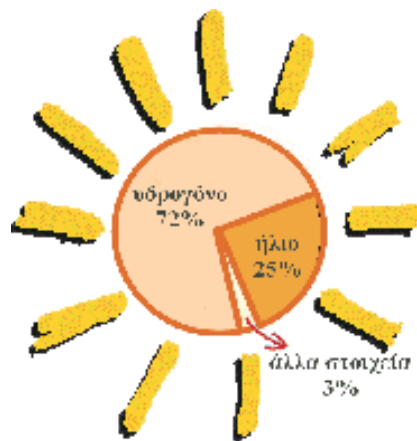
1.2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Παρακάτω θα παραθέσουμε για λόγους πληρότητας ονομαστικά τις Α.Π.Ε αλλά θα εστιάσουμε μόνο στην ηλιακή ενέργεια που θα είναι και το σημείο στο οποίο θα εστιάσουμε στην πορεία της παρούσης εργασίας:

- ✓ Ηλιακή Ενέργεια
- ✓ Αιολική Ενέργεια
- ✓ Γεωθερμική Ενέργεια
- ✓ Βιομάζα
- ✓ Μικρές Υδροηλεκτρικές Μονάδες

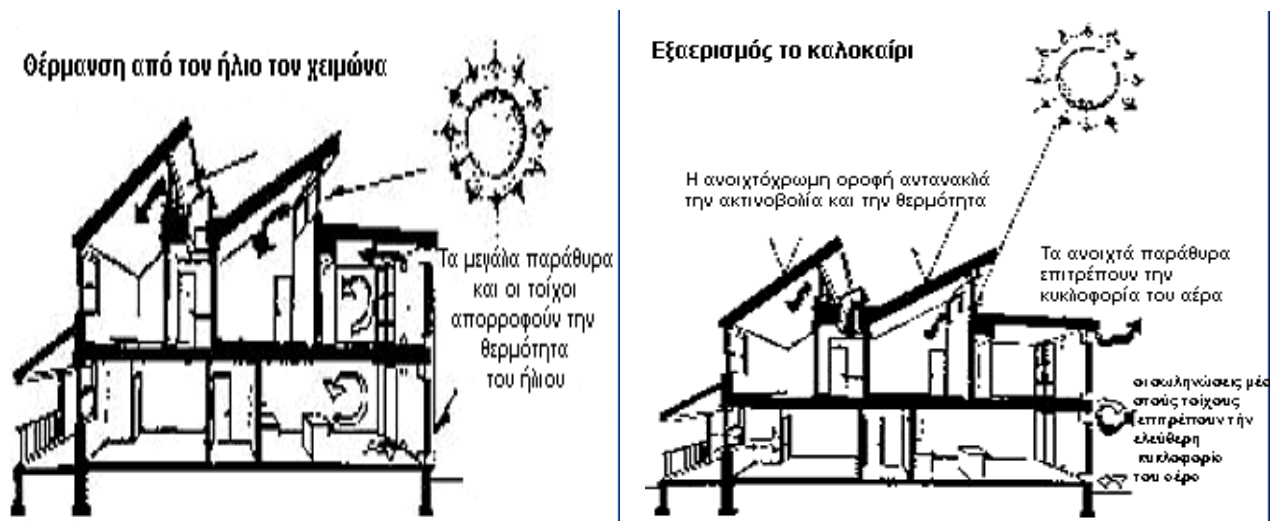
1.2.2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Όπως είδαμε ο ήλιος είναι η βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας. Ο Ήλιος (εκ του αβέλιος - αέλιος - ηέλιος = ο ακτινοβολών, ο πυρπολών) είναι απλανής αστέρας μέσου μεγέθους και τα στοιχεία που τον συνθέτουν αναπτύσσουν πολύ μεγάλες θερμοκρασίες. Σ' αυτές τις θερμοκρασίες πραγματοποιείται στην ουσία πυρηνική αντίδραση -σύντηξη πυρήνων- η οποία είναι εξώθερμη και χαρακτηρίζεται από τη γνωστή μας έκλυση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας ή θερμότητας ή όπως συνηθίζεται να λέγεται, ηλιακής ενέργειας, που ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα.



ΣΧΗΜΑ 1.8 Οι αναλύσεις των ακτίνων του ήλιου έδειξαν ότι αποτελείται κυρίως από υδρογόνο και ήλιο [2]

Αν και αυτό συμβαίνει συνεχώς εδώ και πέντε δισεκατομμύρια χρόνια περίπου, ο ήλιος διαθέτει τεράστιες ποσότητες υδρογόνου και δεν αναμένεται να υπάρξει μείωση της ενέργειας που ακτινοβολείται από αυτόν. Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητά της στην επιφάνεια κάθε τόπου εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική του θέση, την εποχή και την κάλυψη του νέφους. Η έρημος, για παράδειγμα, δέχεται περίπου το διπλάσιο ποσό ηλιακής ενέργειας από άλλες περιοχές. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρα μας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2.700 ώρες το χρόνο. Επομένως, η Ελλάδα αποτελεί μία από τις πλέον κατάλληλες περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για εφαρμογές εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.



ΣΧΗΜΑ 1.9 Κατοικίες σχεδιασμένες για την καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας [3]

1.2.2.1.1 Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας

Σήμερα αξιοποιούμε με πολλούς τρόπους την ευεργετική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας:

1. Με τη χρήση των θερμικών ηλιακών συστημάτων που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα σε κάποια θερμομονωμένη δεξαμενή, όπου την αποθηκεύουν. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται ενεργητικά ηλιακά συστήματα.

2. Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των οικοδομικών κατασκευών (κτιρίων) που υποβοηθούν την καλύτερη, άμεση ή έμμεση, εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κτιρίων το χειμώνα είτε για το δροσισμό τους το καλοκαίρι.
3. Με την κατευθείαν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.



ΣΧΗΜΑ 1.10 Φωτοβολταϊκά σε κατοικίες [4]

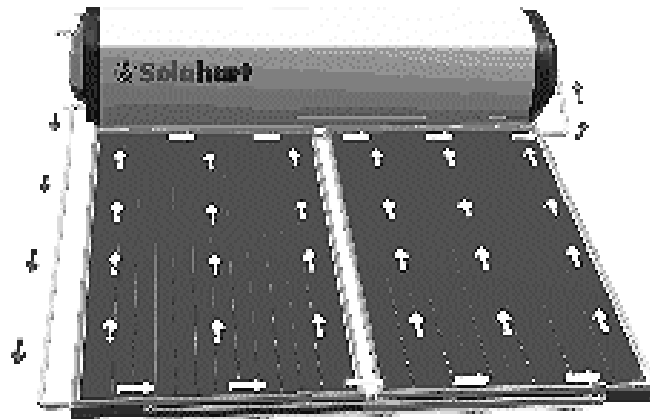
1.2.2.1.2 Ενεργειακά Ηλιακά Συστήματα

Η «καρδιά» ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος είναι ο ηλιακός συλλέκτης που είναι συνήθως τοποθετημένος στην ταρατσα ή στη στέγη ενός κτιρίου.



ΣΧΗΜΑ 1.11 Ηλιακός συλλέκτης [4]

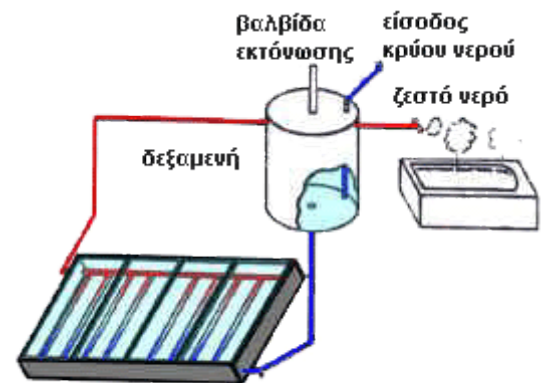
Ο συλλέκτης αυτός περιλαμβάνει μια μαύρη, συνήθως επίπεδη μεταλλική επιφάνεια, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα (συνήθως από γυαλί ή πλαστικό) που παγιδεύει τη θερμότητα (φαινόμενο θερμοκηπίου).



ΣΧΗΜΑ 1.12 Σχηματική απεικόνιση της ροής μέσα στο συλλέκτη [4]

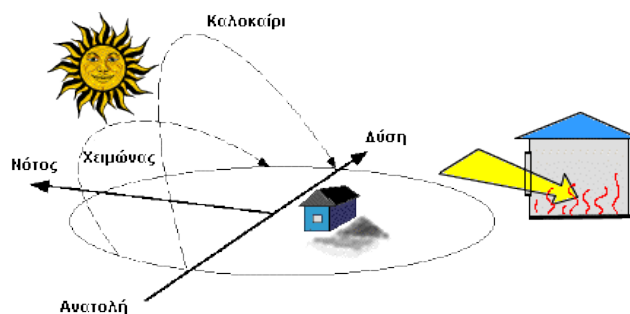
Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια τοποθετούνται λεπτοί σωλήνες μέσα στους οποίους διοχετεύεται κάποιο υγρό, που απάγει την θερμότητα και τη μεταφέρει, με τη βοήθεια μικρών αντλιών (κυκλοφορητές), σε μια μεμονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης.

Το πιο απλό και διαδεδομένο σήμερα ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνα.



ΣΧΗΜΑ 1.13 Διάγραμμα ηλιακού θερμοσίφωνα[4]

1.2.2.1.3 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα



ΣΧΗΜΑ 1.14 Νότιος προσανατολισμός του κτιρίου [2]

Πρόκειται για συστήματα που παρέχουν στο κτίριο θέρμανση από την εκμετάλλευση των φυσικών πηγών ενέργειας, πάντα με σκοπό την δημιουργία ικανοποιητικής θερμικής άνεσης. Η θερμική εκμετάλλευση σε μία κατοικία ξεκινάει από το στάδιο του σχεδιασμού. Η τοποθέτηση του κτιρίου σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο, ο νότιος προσανατολισμός, η μορφή του είναι οι πρώτες κινήσεις που συντελούνται προς αυτή την κατεύθυνση. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν αρχιτεκτονικά

στοιχεία τα οποία συγκεντρώνουν, αποθηκεύουν, μεταδίδουν και διαχέουν θερμότητα, ρυθμίζοντας τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι τα εξής:

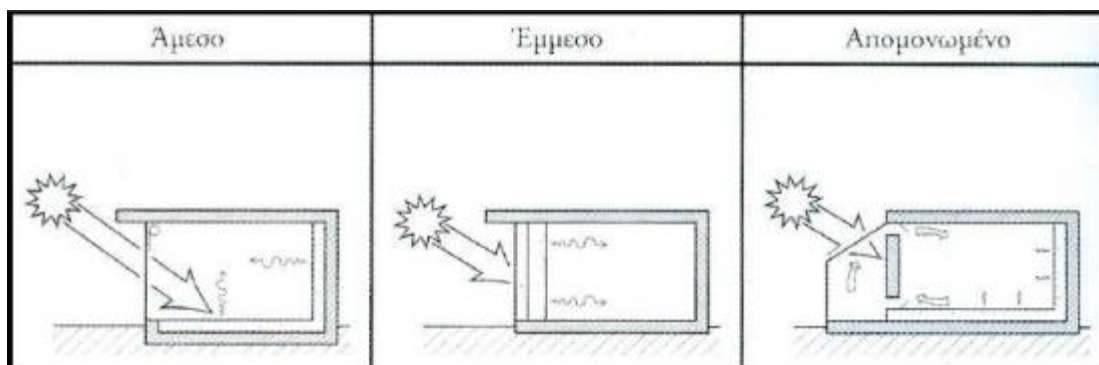
- ✓ Τα γυάλινα ανοίγματα
- ✓ Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης
- ✓ Τα προσαρτημένα στο κτίριο θερμοκήπια
- ✓ Οι προσαρτημένες ηλιακές καμινάδες
- ✓ Τοποθέτηση σκιάστρων απαιτούμενης γεωμετρίας
- ✓ Η δημιουργία ενεργειακής σκεπής
- ✓ Τα κατάλληλα δομικά στοιχεία (μονώσεις, χρώματα, κονιάματα, υαλοπίνακες, στοιχεία τοιχοποιίας)
- ✓ Η διαμόρφωση του εξωτερικού περιβάλλοντος χώρου (βλάστηση).

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους από θερμική άποψη, κατατάσσονται ως εξής:

- **Συστήματα άμεσου ή απευθείας ηλιακού κέρδους:** Στις διατάξεις άμεσου κέρδους, οι ηλιακές ακτίνες εισέρχονται απευθείας μέσα στο κτίριο, απορροφώνται από τη θερμική μάζα και αποδίδονται στο χώρο διαβίωσης.

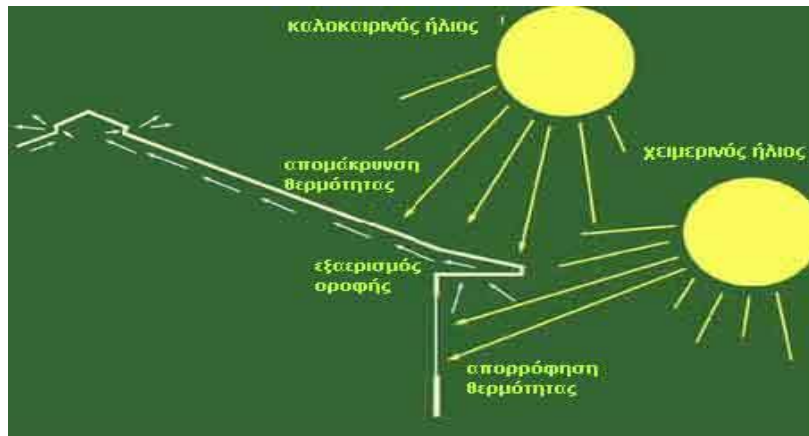
- **Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους:** Στις διατάξεις έμμεσου κέρδους, οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν στην περίμετρο του κτιρίου που αποτελεί τη θερμική μάζα, και στη συνέχεια μεταδίδονται μέσα στο χώρο διαβίωσης.

- **Συστήματα απομονωμένου ηλιακού κέρδους:** Στις διατάξεις απομονωμένου κέρδους, οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν σε χώρο που είναι προσαρτημένος στο κτίριο και η θερμότητα μεταφέρεται μέσα στο χώρο διαβίωσης (θερμοκήπιο, θερμοσιφωνικό πάνελο κλπ).



ΣΧΗΜΑ 1.15 Διαχωρισμός παθητικών ηλιακών συστημάτων [2]

Ένα κτίριο που περιλαμβάνει παθητικά συστήματα θέρμανσης, δροσισμού ή ακόμη και φυσικού φωτισμού, κατασκευασμένο εξ αρχής ή τροποποιημένο, ονομάζεται "**βιοκλιματικό κτίριο**" και είναι δυνατό να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών του αναγκών από την άμεση ή έμμεση αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.



ΣΧΗΜΑ 1.16 Βιοκλιματική θέρμανση και ψύξη [2]

1.2.2.1.4 Κέλυφος και Ηλιακή Ενέργεια

Για την επιτυχή εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, η διαμόρφωση του κελύφους του κτιρίου πρέπει να είναι τέτοια που να επιτρέπει:

- ✓ Τη μέγιστη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας
- ✓ Τη μέγιστη δυνατότητα για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας
- ✓ Τις ελάχιστες θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον
- ✓ Την εφαρμογή στρατηγικών εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας (προϋπόθεση είναι η ύπαρξη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας / θερμικής προστασίας και χρήση υλικών με μεγάλη μάζα ικανά να συγκρατήσουν και να αποθηκεύσουν τη συλλεχθείσα θερμότητα (τα σχετικά με τις θερμομονωτικές ιδιότητες των υλικών αναφέρονται στην τεχνική οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων»)




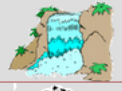




1.3 Αποτελεσματική Χρήση- Εξοικονόμηση Ενέργειας [1],[2]

1.3.1 Ορθή Χρήση και Εκμετάλλευση της Ενέργειας

Ήδη γνωρίσαμε ότι οι πηγές ενέργειας που κυρίως χρησιμοποιούμε - πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο και πυρηνική ενέργεια - ρυπαίνουν το περιβάλλον και δημιουργούν σοβαρά προβλήματα, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όξινη βροχή, ραδιενεργή ρύπανση. Αν λάβουμε υπόψη τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες της ανθρωπότητας σε ενέργεια και ότι τα συμβατικά αποθέματα ενέργειας θα εξαντληθούν σε μερικές δεκάδες ή και εκατοντάδες χρόνια, καταλαβαίνουμε ότι το πρόβλημα της ορθής χρήσης της ενέργειας παίρνει μεγάλες διαστάσεις. Είναι ανάγκη πλέον να αλλάξει η αντίληψη που θέλει την ενέργεια ως εμπορεύσιμο προϊόν που πρέπει όπως όλα τα προϊόντα να πουλιέται σε όλο και μεγαλύτερες ποσότητες και να γίνει πια λόγος για διαχείριση της ενέργειας στην κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Μέχρι η αντίληψη αυτή να αλλάξει, το καλύτερο που μπορούμε να κάνουμε είναι να μειώσουμε την κατανάλωση της ενέργειας ή να κάνουμε ορθολογική χρήση της. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να χρησιμοποιούμε λιγότερη ενέργεια από μη ανανεώσιμες πηγές όπου είναι δυνατόν και να καταφεύγουμε στις ανανεώσιμες πηγές. Όπως έχει φανεί το μέλλον ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που είναι ανεξάντλητες (θα υπάρχουν όσο ακτινοβολεί ο ήλιος) και είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Ήδη τα τελευταία χρόνια σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες γίνονται σημαντικά βήματα για την αξιοποίησή τους. Στο μεταβατικό λοιπόν στάδιο μέχρι την πλήρη αντικατάσταση των συμβατικών πηγών ενέργειας από τις

ανανεώσιμες, η μόνη εφικτή λύση είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Με τον όρο **εξοικονόμηση ενέργειας** εννοούμε τη χρήση μικρότερης ποσότητας ενέργειας στην πορεία μιας ορισμένης χρονικής περιόδου (**εξοικονόμηση της ποσότητας της ενέργειας**).

	Πηγή ενέργειας	Θετικές πλευρές	Αρνητικές πλευρές
	Ήλιος	Μηδέν εκπομπές Ανανεωσιμότητα Επάρκεια	Αστάθεια Ακριβή τεχνολογία (εκτός από τη θέρμανση)
	Ανεμος	Μηδέν εκπομπές Ανανεωσιμότητα Επάρκεια	Δεσμεύει εκτεταμένες περιοχές Προβλήματα συντήρησης
	Βιοκαύσιμα	Ελάχιστες εκπομπές Ανανεωσιμότητα	Μεταφορά βιομάζας Χρήση νερού στην παραγωγή βιομάζας. Πιθανές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα
	Υδατοπτώσεις	Μηδέν εκπομπές Δωρεάν πρώτη ύλη	Χαμηλό λειτουργικό κόστος Υψηλό κόστος κατασκευής Επιπτώσεις στο τοπίο Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα
	Ανθρακας	Σταθερότητα Επάρκεια στην αγορά	Υψηλές εκπομπές CO ₂ , SO ₂ Μη ανανεώσιμη πηγή Συσώρευση υπολειμμάτων
	Πετρέλαιο	Αναπτυγμένη τεχνολογία Εξαιρετικά ευέλικτο καύσιμο	Περιορισμένη διαθεσιμότητα Κόστος μεταφοράς ιδιαίτερα όταν μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις Μη ανανεώσιμη πηγή. Εύφλεκτο Υψηλές εκπομπές CO ₂ , NO _x
	Φυσικό αέριο	"Σχετικά" φιλικό προς το περιβάλλον Καύσιμο υψηλής ενεργειακής αξίας με εύκολο χειρισμό	Περιορισμένη διαθεσιμότητα Σχετική ρύπανση. Μη ανανεώσιμη πηγή. Εκτεταμένο δίκτυο διανομής Εκπομπές CO ₂
	Πυρηνική ενέργεια	Αφθονία πρώτης ύλης Μεταφορά πρώτων υλών	Απόβλητα Κίνδυνος εξάπλωσης πυρηνικών όπλων Ραδιενέργεια από λειτουργία και ατυχήματα

ΣΧΗΜΑ 1.17 Πηγές ενέργειας και περιβαλλοντικό αντίκτυπο [2]

ΜΗΝ ΞΟΔΕΥΕΤΕ ΑΣΚΟΠΑ ΤΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Να τοποθετήσουμε σε όλα τα δωμάτια οικονομικούς ηλεκτρικούς λαμπτήρες



- Να χρησιμοποιούμε στο μπάνιο μπαταρίες νερού χαμηλής κατανάλωσης
- Να σβήνουμε τα φώτα όταν βγαίνουμε από το δωμάτιο
- Να ανάβουμε τον θερμοσίφωνα μόνον όποτε τον χρειαζόμαστε

ΜΗΝ ΣΠΑΤΑΛΑΤΕ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εκείνο που θα πρέπει να μας ενδιαφέρει, στην περίπτωση της εξοικονόμησης με βάση την ποιότητα, είναι να βρούμε την κατάλληλη μορφή ενέργειας για την κάθε χρήση. Έτσι, μειώνουμε τις απώλειες και αυξάνουμε την απόδοση. Για παράδειγμα, είναι λάθος να ζεσταίνουμε ένα χώρο με ηλεκτρική θερμάστρα. Το καλοριφέρ, η σόμπα με ξύλα, ακόμη και ένα καλά σχεδιασμένο τζάκι, ξοδεύουν λιγότερη ενέργεια για το ίδιο αποτέλεσμα. Άλλα ενδιαφέροντα παραδείγματα εξοικονόμησης ενέργειας σύμφωνα με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής είναι:



- η χρήση φυσικού αερίου ή υγραερίου για το μαγείρεμα (αντί του ηλεκτρικού)
- η χρήση αιολικής ενέργειας
- η χρήση ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση νερού στα κτίρια

ΣΧΗΜΑ 1.18 Εξοικονόμηση της ποσότητας της ενέργειας [2]

Εκείνο που μας ενδιαφέρει, είναι να βρούμε την κατάλληλη μορφή ενέργειας για την κάθε χρήση. Έτσι, μειώνουμε τις απώλειες και αυξάνουμε την απόδοση, γιατί σύμφωνα με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, όσο περισσότερες μετατροπές υφίσταται η ενέργεια τόσο μεγαλύτερες ποσότητες της υποβαθμίζονται με τη μορφή απώλειας θερμότητας η οποία δεν είναι πλέον ικανή να παράγει έργο.

Για παράδειγμα το καλοριφέρ, η σόμπα με ξύλα, ακόμη και ένα καλά σχεδιασμένο τζάκι ξοδεύουν λιγότερη ενέργεια για τη θέρμανση ενός χώρου, από ότι ξοδεύει μια ηλεκτρική θερμάστρα για να ζεστάνει τον ίδιο χώρο (εξοικονόμηση της ποιότητας της ενέργειας).

Η εξοικονόμηση ενέργειας αναμένεται να συμβάλλει θετικά:

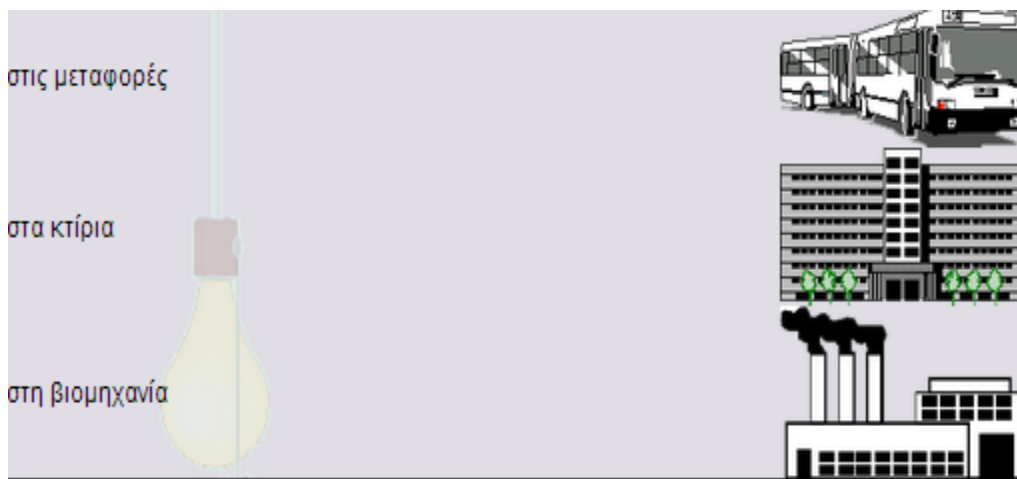
- ✓ Στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την αλόγιστη χρήση των ορυκτών καυσίμων.
- ✓ Στη διαφύλαξη τους για τις επόμενες γενιές.
- ✓ Στη μείωση της εξάρτησης των πετρελαιοπαραγωγών χωρών, καθώς και στη μείωση της εκροής συναλλάγματος και συνεπώς του κόστους των προϊόντων.
- ✓ Στη διαφύλαξη του πετρελαίου ως πρώτη ύλη για φάρμακα και προϊόντα καθημερινής χρήσης, όπως απορρυπαντικά, σακούλες, πλαστικά κ.λπ.

Τα πλεονεκτήματα αντίστοιχα από τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα συμβάλλουν θετικά:

- ✓ Στη βελτίωση της ποιότητας ζωής λόγω της μείωσης της ρύπανσης.
- ✓ Στην ανάπτυξη της εγχώριας τεχνογνωσίας, όπως χαρακτηριστικά συμβαίνει στη χώρα μας με τον κλάδο των κατασκευαστών ηλιακών θερμοσιφώνων, που είναι ιδιαίτερα δυναμικός.

1.3.2 Τομείς Εξοικονόμησης Ενέργειας

Εφόσον αλλάξουμε συνήθειες και μάθουμε να ζούμε χωρίς σπατάλη και υπερβολές, υπάρχουν μεγάλα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας.



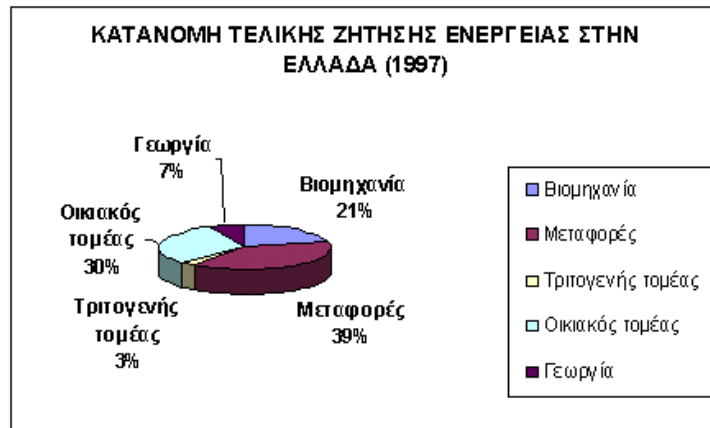
ΣΧΗΜΑ 1.19 Κυρίαρχοι Τομείς Εξοικονόμησης Ενέργειας [2]

Από αυτούς τους τρεις τομείς που παρουσιάζονται στο σχήμα 1.19 εμείς θα εμβαθύνουμε στα κτίρια.

1.3.2.1 Εξοικονόμηση Ενέργειας Στα Κτίρια

Για τη θέρμανση, την ψύξη και το φωτισμό των κτιρίων στις σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνεται περίπου το 1/3 της συνολικής ενέργειας και παράγεται το 40 % του διοξειδίου του άνθρακα.

Η σπατάλη που γίνεται στην ενέργεια είναι μεγάλη και μπορεί να περιορισθεί σημαντικά αν ληφθούν τα μέτρα που αναφέρονται στη συνέχεια.



ΣΧΗΜΑ 1.20 Η μεγαλύτερη κατανάλωση της ενέργειας γίνεται στις μεταφορές (39%) και στον οικιακό τομέα (30%). [2]

1.3.2.1.1 Θερμομόνωση Κτιρίων

✓ Βελτίωση της θερμομόνωσης των σπιτιών με τη χρήση δομικών υλικών που περιορίζουν τη ροή της θερμότητας, π.χ. οι απώλειες ενέργειας από μεγάλες γυάλινες επιφάνειες, μειώνονται αν χρησιμοποιηθούν διπλά τζάμια, όπου ο αέρας που παρεμβάλλεται μεταξύ των τζαμιών λειτουργεί ως μονωτικό. Η τοποθέτηση επίσης στις οροφές, τα δάπεδα και τους τοίχους των κτιρίων ειδικών μονωτικών υλικών, μειώνουν σημαντικά τις απώλειες θερμότητας. Ένα καλά μονωμένο σπίτι 100m² μπορεί να εξοικονομήσει μέχρι και 1000 λίτρα πετρελαίου το χρόνο.

✓ Η ρύθμιση των θερμοστατών στους 18 - 19°C, η τακτική συντήρηση και ρύθμιση του καυστήρα (1-2 φορές το χρόνο) και η αντικατάσταση παλιών λεβήτων των οικιακών συστημάτων κεντρικής θέρμανσης με άλλους σύγχρονης τεχνολογίας, προσφέρουν οικονομία στα καύσιμα.

✓ Αποφυγή της χρήσης ηλεκτρικών θερμαντικών σωμάτων και θερμοσυσσωρευτών που καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από το καλοριφέρ, γιατί απαιτούν περισσότερες μετατροπές της ενέργειας, άρα και μεγαλύτερες απώλειες λόγω του 2^{ου} νόμου της θερμοδυναμικής.

1.3.2.1.2 Δροσισμός - Κλιματισμός Κτιρίων

✓ Για το δροσισμό των κτιρίων το καλοκαίρι, μπορούμε να χρησιμοποιούμε φυσικούς τρόπους όπως τοποθέτηση σκιάστρων, αναρριχώμενα φυτά σε πέργολες και τοίχους, δέντρα σε αυλές - κήπους - πεζοδρόμια, ανοιχτόχρωμα χρώματα στους εξωτερικούς τοίχους, ώστε να εξασφαλίζουμε περισσότερη δροσιά και να αποφεύγουμε τη χρήση των κλιματιστικών που καταναλώνουν ενέργεια και μπορούν να βλάψουν την υγεία.

✓ Εξοικονόμηση ενέργειας στον κλιματισμό με επεμβάσεις "νοικοκυρέματος", όπως εγκατάσταση ανεμιστήρων, αερισμό σπιτιού ή χώρων εργασίας το βράδυ, τοποθέτηση τεντών κ.λπ., που μειώνουν τις ανάγκες για κλιματισμό.

1.3.2.1.3 Περιορισμός της Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Σπίτι

✓ Με την επιλογή των πιο ενεργειακά αποδοτικών οικιακών ηλεκτρικών συσκευών που εξασφαλίζει η σύγχρονη τεχνολογία, τη χρήση της κατάλληλης συσκευής για κάθε συγκεκριμένη δουλειά, τη διατήρηση σε καλή κατάσταση και τη σωστή χρήση τους (δεν ανοιγοκλείνουμε άσκοπα τις πόρτες του ψυγείου, θέτουμε σε λειτουργία το πλυντήριο πιάτων ή ρούχων μόνο όταν γεμίσουν, αποφεύγουμε το ηλεκτρικό στέγνωμα των ρούχων ή των μαλλιών προτιμώντας το φυσικό, μαγειρεύουμε και πλένουμε σε χαμηλότερες θερμοκρασίες), επιτυγχάνουμε σημαντική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ειδικά για το φωτισμό των κτιρίων, αν σβήνουμε όσα φώτα δεν χρειάζονται, αντικαθιστούμε τους κοινούς λαμπτήρες με λαμπτήρες χαμηλής κατανάλωσης, υψηλής απόδοσης και μεγαλύτερης διάρκειας ζωής και αν τοποθετούμε τα γραφεία ή τους πάγκους εργασίας δίπλα στα παράθυρα, το αποτέλεσμα θα φανεί στο λογαριασμό της ΔΕΗ.

1.3.2.1.4 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική με τις παρεμβάσεις της στο σχεδιασμό, στον τρόπο και στα υλικά κατασκευής, ικανοποιεί τις ανάγκες των κτιρίων για θέρμανση, φωτισμό και δροσισμό, τα εναρμονίζει με το φυσικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας στοιχεία από αυτό, και εξασφαλίζει την εξοικονόμηση ενέργειας.

1.3.3 Απλά Μαθήματα Εξοικονόμησης Ενέργειας

1) Συντήρηση καυστήρων.

2) Σταθερές θερμοκρασίες 19-20°C.

3) Τα ηλεκτρικά σώματα/οι θερμοσυσσωρευτές καταναλώνουν διπλάσια ενέργεια και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται αλόγιστα.

4) Μόνωση: Θερμομόνωση σε ταράτσες, στέγες, δωμάτια, δάπεδα, τοίχους, διπλά κουφώματα και τζάμια. Ένα καλά μονωμένο σπίτι 100 m² έχει κέρδος περίπου 1000 lt. πετρέλαιο το χρόνο. Εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

5) Σκίαστρα, σωστή λειτουργία του κλιματισμού ή αντικατάστασή του με ανεμιστήρες. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των κτιρίων, δηλαδή παρεμβάσεις στην αρχιτεκτονική ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες των κτιρίων για θέρμανση, δροσισμό και φωτισμό, αλλά και η χρήση υλικών από το φυσικό περιβάλλον ώστε να εναρμονίζεται με αυτό, μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

6) Χρήση ηλιακών θερμοσίφωνων για ζεστό νερό.

7) Περιορισμός στις μετακινήσεις με αυτοκίνητα και χρησιμοποίηση τράμ, τρόλεϊ, ηλεκτρικών τρένων που καταναλώνουν λιγότερα καύσιμα.

8) Ηλεκτρικές συσκευές: Σωστή χρήση - έλεγχος και συντήρηση για καλή λειτουργία.

9) Στις αγροτικές καλλιέργειες πρέπει να αποφεύγεται η κατασπατάληση του φυσικού πλούτου και να περιορίζονται στο ελάχιστο δυνατόν οι εισροές σε ενέργεια και σε συνθετικές αγροχημικές ουσίες με εφαρμογή της οικολογικής (βιολογικής) γεωργίας.

1.4 Πρόγραμμα «Χτίζοντας το μέλλον» [1]

Τον Ιούλιο του 2010, το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής ανακοίνωσε τους άξονες των αναπτυξιακών παρεμβάσεων του για το διάστημα 2010–2020. Το συνολικό πρόγραμμα προέβλεπε επενδύσεις του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα ύψους 41 δισεκατομμυρίων ευρώ και τη

δημιουργία 200.000 θέσεων εργασίας κατά την περίοδο αυτή. Σημαντικό κομμάτι αυτών των παρεμβάσεων ήταν η εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα.

Το πρόγραμμα αφορά σε παρεμβάσεις που θα γίνουν στα υπάρχοντα κτίρια με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Το πρόγραμμα αυτό ξεκίνησε από τις αρχές του 2011 και θα διαρκέσει μέχρι το 2020, όπου στο διάστημα αυτό θα πραγματοποιηθούν 3.100.000 ενεργειακές παρεμβάσεις σε κτίρια (μονοκατοικίες, διαμερίσματα και εμπορικά κτίρια), ενώ το όφελος για τους πολίτες από της εξοικονόμηση ενέργειας θα είναι 9 δις ευρώ.

Οι πόροι αυτοί αφενός θα επιτρέψουν στην χώρα μας να επιτύχει τους στόχους της για εξοικονόμηση ενέργειας κατά 20% μέχρι το 2020 με τη δημιουργία κτιρίων χαμηλής ενέργειας, αφετέρου θα αποτελέσουν έναν κινητήριο μοχλό για την παραπέρα ανάπτυξη και εξειδίκευση του κλάδου των οικοδομικών κατασκευών και της βιομηχανίας δομικών υλικών και ενεργειακών προϊόντων.

Τα κτίρια στην Ελλάδα καταναλώνουν περίπου το 40% της τελικής ενέργειας, επιβαρύνοντας κατά μεγάλο ποσοστό τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, γεγονός που όλοι αγνοούμε, καθώς τόσα χρόνια δεν έχουμε εκπαιδευτεί σε ζητήματα ατομικής ενεργειακής πολιτικής. Δεδομένων των κλιματικών μας συνθηκών, τα κτίριά μας αποτελούν ίσως τα πιο ενεργοβόρα της Ευρώπης.

Αν δεν προβούμε στην **ενεργειακή και περιβαλλοντική αναβάθμισή** τους, τότε μέχρι το 2020 θα υπάρξει αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 19%, σε σχέση με το 2010, που σημαίνει ότι θα έχουμε πληρώσει 21 δις ευρώ για επιμέρους κτιριακές επεμβάσεις και 70 δις ευρώ για να καλύψουμε τις ενεργειακές μας ανάγκες. Το πρόγραμμα «Χτίζοντας το Μέλλον» έρχεται να δώσει λύση στο πρόβλημα, καθώς οι στόχοι του είναι:

- ✓ Να μειωθεί σημαντικά η ενεργειακή κατανάλωση των ελληνικών νοικοκυριών και των εμπορικών κτιρίων και το ενεργειακό τους κόστος.
- ✓ Να βελτιωθεί η ποιότητα ζωής των πολιτών και να μειωθεί το κόστος διαβίωσης.
- ✓ Να αυξηθεί η οικονομική δραστηριότητα στον κατασκευαστικό τομέα.
- ✓ Να βελτιωθεί η ανταγωνιστικότητα της κατασκευαστικής βιομηχανίας.
- ✓ Να δημιουργηθεί μεγάλος αριθμός νέων θέσεων εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ:

- [1] <http://socialactivism.gr/index.php/kales-praktikes/77-oriktakafsima2iliakienergeia>
- [2] http://kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/human_activities/contents.htm
- [3] <http://plinet.kas.sch.gr/project/attachments/article/129/projectb.pdf>
- [4] <http://www.enforce-ee.eu/wp/gre/wp-content/uploads/2012/05/Tzanakaki-B-02.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ

2.1 Κτίρια [1],[3]

Όταν το 72% της καταναλισκόμενης ενέργειας μέσα σε ένα κτίριο δαπανάται για την θέρμανση του, την ψύξη του και το ζεστό νερό χρήσης, είναι προφανές ότι η δραστική μείωση αυτού του ποσοστού με πρακτικές ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου αποτελεί τον μόνο και σίγουρο δρόμο οικονομίας στην ενέργεια. Τόσο οι πρακτικές όσο και η τεχνογνωσία υπάρχει σήμερα άπλετη. Η αποδεδειγμένα πιο αποτελεσματική είναι αυτή της εφαρμογής της μεθοδολογίας των παθητικών κτιρίων. Μια μεθοδολογία που σχεδιάζει, υλοποιεί και πιστοποιεί εξοικονόμηση ενέργειας σε υπάρχοντα κτίρια, που μπορεί να φτάσει μέχρι και το 75%.

Τα κτίρια αποτελούν ένα μεγάλο ενεργειακό καταναλωτή που, ταυτοχρόνως, διαθέτει υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και οικονομικά αποτελεσματικών τεχνολογιών είναι δυνατή η επίτευξη σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων με αντίστοιχα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.

2.2 Βιοκλιματικός Σχεδιασμός- Αρχές Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής [2],[3],[4]

Ιδιαίτερη σημασία για την ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου έχει η χρήση τεχνικών βιοκλιματικού σχεδιασμού. Με τον όρο αυτό περιγράφεται ο σχεδιασμός, ο οποίος, λαμβάνοντας υπόψη το τοπικό κλίμα, επιδιώκει την επίτευξη των βέλτιστων συνθηκών εσωτερικής άνεσης, με την αξιοποίηση των διαθέσιμων φυσικών πηγών και την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Βασικές τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν:

✓ η θερμική προστασία του κτιριακού κελύφους

1) Εξασφάλιση ηλιοπροστασίας το καλοκαίρι προκειμένου να επιτυγχάνεται μείωση των θερμικών κερδών, άρα και μείωση της ανάγκης για ψυκτικό φορτίο.

2) Βελτίωση του μικροκλίματος γύρω από το κτίριο.

3) Βελτίωση και ρύθμιση των εσωτερικών συνθηκών ενός χώρου για επίτευξη θερμικής άνεσης των ατόμων.

✓ τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης και δροσισμού (συστημάτων ηλιοπροστασίας και φυσικού και υβριδικού αερισμού αναλόγως των συνθηκών και της εποχής)

1) Εξασφάλιση ηλιασμού και μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ώστε να αξιοποιείται η ηλιακή ενέργεια για την θέρμανση των χώρων.

2) Εκμετάλλευση των δροσερών ανέμων για φυσικό αερισμό και δροσισμό.

✓ τα συστήματα φυσικού φωτισμού

1. Αξιοποίηση του ήλιου για φυσικό φωτισμό.

Η **θερμική προστασία** του κελύφους εξασφαλίζεται, κυρίως, με τη χρήση κατάλληλων δομικών και μονωτικών υλικών, την αποφυγή θερμογεφυρών, τη χρήση επιχρισμάτων και χρωματισμών ψυχρών βαφών μεγάλης ανακλαστικότητας (για τις προσήλιες τους θερινούς μήνες εξωτερικές επιφάνειες τοίχων και ταρατσών), τη χρήση διπλών υαλοπινάκων και αεροστεγών κουφωμάτων για τον περιορισμό των σημαντικότερων απωλειών των ανοιγμάτων και τέλος την φύτευση των δωματίων όπου αυτό είναι εφικτό.

Τα **παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης** αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των χώρων ενός κτιρίου. Για το σκοπό αυτό, το πλέον σημαντικό στοιχείο είναι ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων. Για παράδειγμα, τα ανοίγματα με νότιο προσανατολισμό είναι αυτά που δέχονται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα και συνιστώνται για χώρους με μεγαλύτερη ανάγκη για θέρμανση. Εκτός, όμως, από αυτό το σύστημα άμεσου κέρδους, υπάρχουν και συστήματα έμμεσου κέρδους, όπως οι ηλιακοί τοίχοι, οι ηλιακοί χώροι (θερμοκήπια) και τα ηλιακά αίθρια.

Με τα **παθητικά συστήματα δροσισμού** επιδιώκεται η μείωση των θερμικών φορτίων του κτιρίου κατά τους θερινούς μήνες και επιτυγχάνεται με κατάλληλη σκίαση των ανοιγμάτων, ανάλογα με τον προσανατολισμό τους. Μεγάλη συμβολή στο δροσισμό του κτιρίου έχει και ο φυσικός αερισμός του, που, εξαρτάται επίσης από τη θέση των ανοιγμάτων και ο οποίος μπορεί να ενισχύεται με τη χρήση μηχανικών μέσων όπως οι ανεμιστήρες οροφής (υβριδικά συστήματα) και να επιφέρει το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα με πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας. Η ελεύθερη ψύξη (free cooling) ή αλλιώς ο νυκτερινός δροσισμός, συνίσταται στην ανανέωση του αέρα με φυσικό ή τεχνητό τρόπο τις νυχτερινές ή πρωινές ώρες, κατά τις οποίες η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου.

Η **ηλιακή ακτινοβολία** μπορεί να εξυπηρετήσει με φυσικό τρόπο και τις ανάγκες για φωτισμό. Η επάρκεια του φυσικού φωτισμού και η κατανομή του εξαρτώνται από τη γεωμετρία των ανοιγμάτων και του φωτιζόμενου χώρου, αλλά και από τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά τόσο των αδιαφανών επιφανειών (το χρώμα τους) όσο και των υαλοπινάκων (ανακλαστικότητα, φωτεινή διαπερατότητα).

Συνεπώς, για να κατασκευαστεί και να λειτουργήσει αποτελεσματικά ένα βιοκλιματικό κτίριο, πρέπει να κατανοηθούν πλήρως οι τοπικές κλιματικές συνθήκες και να σταθμιστούν τα κλιματικά οφέλη και οι περιορισμοί. **Το κτίριο θα πρέπει να είναι ικανό να συλλέγει και να αποθηκεύει θερμότητα όταν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση, να λειτουργεί ως φυσικός συλλέκτης δροσισμού και ως αποθήκη ψύξης, όταν χρειάζεται ψυκτικά φορτία.** Να είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να πραγματοποιείται φυσική ανανέωση αέρα, προσκειμένου να προσφέρει στους χρήστες άνετο θερμικό εσωτερικό κλίμα.

Πεδίο μελέτης της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι και η χρήση των τοπικών δομικών υλικών μιας περιοχής, φιλικών προς το περιβάλλον, μετά από μελέτη των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων τους.

Βασικά κριτήρια για την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού πρέπει να είναι η απλότητα χρήσης των εφαρμογών και η αποφυγή περίπλοκων συστημάτων και τεχνικών, ώστε να είναι περιορισμένη η συμβολή του χρήστη στη λειτουργία τους, καθώς και η χρήση ευρέως εφαρμοσμένων συστημάτων.

2.3 Εφαρμογές της Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής στην Ελλάδα [2]

Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 180 βιοκλιματικά κτίρια. Από αυτά ο μεγαλύτερος αριθμός των κτιρίων βρίσκεται στην περιοχή της Αττικής (58 περιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένου του Ηλιακού Χωριού) και στην Μακεδονία (41 περιπτώσεις κτιρίων). Με ένα μέσο αριθμό εφαρμογών έχουν καταγραφεί βιοκλιματικά κτίρια στην υπόλοιπη Στερεά Ελλάδα και Εύβοια (17), στην Κρήτη (17), στην Πελοπόννησο (14) και λιγότερα στις υπόλοιπες περιοχές.

2.4 Ενεργειακή Απόδοση Βιοκλιματικού Σχεδιασμού στην Ελλάδα [2]

Στην Ελλάδα τα βιοκλιματικά κτίρια, όπως προκύπτει από μετρήσεις, ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις, παρουσιάζουν εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30% σε σχέση με συνήθη συμβατικά κτίρια, ενώ σε σχέση με παλαιότερα αμόνωτα κτίρια η αντίστοιχη εξοικονόμηση ενέργειας ανέρχεται σε ποσοστό της τάξης του 80%.

Πραγματοποιώντας εφαρμογή και χρήση των κατά περίπτωση δυνατών παθητικών και ενεργειακών συστημάτων που υπαγορεύει ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των κτιρίων επιτυγχάνεται η βέλτιστη προσέγγιση του φυσικού κλιματισμού των χώρων ελαχιστοποιώντας τις απαιτήσεις τεχνητού κλιματισμού. Συνεπώς ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου συμβάλλει σημαντικά στην μείωση της

κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου και κατ' επέκταση στο οικονομικό όφελος των χρηστών. Πέρα από την ποιότητα ζωής που εξασφαλίζεται στον χώρο και το οικονομικό όφελος που αποφέρει, η εξοικονόμηση ενέργειας διαδραματίζει ρόλο καταλυτικό για το περιβάλλον. Η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων διασφαλίζει παράλληλα και τη διαρκή μείωση εκπομπών καυσαερίων και ρύπων που μολύνουν ανεπανόρθωτα πλέον το περιβάλλον. Στην εποχή μας ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των κτιρίων καθίσταται αναγκαίος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1] <http://www.eipak.org/enerphit>

[2] <http://plinet.kas.sch.gr/project/attachments/article/129/projectb.pdf>

[3] <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=282&language=el-GR>

[4] <http://www.enforce-eeen.eu/wp/gre/wp-content/uploads/2012/05/Tzanakaki-B-02.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ, ΔΟΜΙΚΑ και ΥΛΙΚΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Το κτίριο το οποίο στο μέλλον θα είναι αναγκαίο και αυτονόητο, μπορεί να κατασκευαστεί σήμερα. Με υπάρχουσες τεχνολογίες αλλά και δομικά υλικά και με μια φιλοσοφία φιλική προς το περιβάλλον, θα διαχειρίζεται με τον βέλτιστο τρόπο την ενέργεια και θα αναβαθμίζει σημαντικά το περιβάλλον ζωής των χρηστών του, είτε αυτοί εργάζονται, είτε κατοικούν σε αυτό. Το ελληνικό «πράσινο» σπίτι μπορεί να γίνει ο βασικός πυλώνας της ελληνικής «πράσινης» ανάπτυξης, να δώσει και πάλι ζωή άμεσα στον κατασκευαστικό τομέα, να προσθέσει αξία σε νέα και υπάρχοντα κτίρια, να συμβάλλει στην αλλαγή νοοτροπίας των πολιτών στο θέμα της κατανάλωσης της ενέργειας και τελικά να δώσει χειροπιαστά αποτελέσματα όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Τόσο στα θερμομονωτικά υλικά όσο και στα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου, οι προσπάθειες προσανατολίζονται σε δύο κατευθύνσεις.

1. Αρχικά επιδιώκεται η ανεύρεση υλικών που θα έχουν βελτιωμένες ιδιότητες οι οποίες θα αξιοποιούνται για την αύξηση της απόδοσης ενός κτιρίου, όσον αφορά τη συλλογή, αποθήκευση και μετάδοση της θερμότητας. Οι ιδιότητες των υλικών που σχετίζονται με αυτές τις λειτουργίες είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα και η θερμοαγωγιμότητα, οι οποίες είναι χαρακτηριστικές για κάθε υλικό.

2. Επιπροσθέτως όμως, παρουσιάζεται η ανάγκη ανεύρεσης δομικών υλικών που να είναι επίσης και οικολογικά. Ένα από τα κριτήρια στα οποία υπακούει ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι η επιλογή και η χρήση τοπικών οικοδομικών υλικών, που να είναι φιλικά προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο, μετά από μελέτη των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων τους.

3.1 Κριτήρια Επιλογής Δομικών Υλικών [1]

Τα «σωστά» υλικά που πρέπει να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός κτιρίου, πρέπει να πληρούν τις εξής προϋποθέσεις:

1. Να είναι ανακυκλώσιμα και να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.
2. Να είναι φυσικά και όχι αποτέλεσμα της χημικής βιομηχανίας, να βρίσκονται σε αφθονία ή να είναι ανανεώσιμα.
3. Η παρασκευή τους στοχεύει στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και στην μείωση των αερίων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.
4. Να είναι τοπικά διαθέσιμα υλικά, ώστε να αποφεύγεται η κατανάλωση ενέργειας για μεταφορά στον τόπο χρήσης τους.
5. Να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.
6. Δεν είναι τοξικά.
7. Να έχουν καθόλου ή ελάχιστο ποσοστό χημικών εκπομπών (π.χ. οι πτητικές ουσίες).
8. Να αντέχουν στην υγρασία, ώστε να μην εμφανίζεται το φαινόμενο της «μούχλας» στα κτίρια.
9. Η συντήρησή τους δεν εμπεριέχει χημικές διεργασίες.
10. Να συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια.

11. Να βελτιώνουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και γενικότερα να συμβάλλουν στη δημιουργία υγιούς περιβάλλοντος για τους ενοίκους.

3.2 Οικολογικά Δομικά Υλικά [1],[3],[4]

Πρόκειται για ένα περιορισμένο αριθμό προϊόντων, που χρησιμοποιούνταν παραδοσιακά στις κατασκευές και δεν περιέχουν συνθετικά υλικά, ενώ προέρχονται από φυσικούς πόρους που υπάρχουν σε αφθονία.

1. **Ωμή άργιλος:** Είναι ένα άριστο οικοδομικό υλικό με πολύ καλές ιδιότητες όσον αφορά στη μηχανική αντοχή, στη θερμομόνωση και στην «αναπνοή» των εξωτερικών τοίχων. Χρησιμοποιούνταν παραδοσιακά στην περιοχή της Μεσογείου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα σχηματισμένη με τη μορφή ωμοπλίνθων ή χυτή σε καλούπια που μοιάζουν με αυτά του σκυροδέματος. Ένα κτίριο από ωμοπλίνθους μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει το ίδιο σκάμμα για την θεμελίωση της ανωδομής περιορίζοντας την επίπτωση των οικοδομικών εργασιών στο περιβάλλον.

2. **Ασβέστης:** Επιτρέπει την ανταλλαγή αέρα μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού χώρου, επιτρέποντας έτσι την «αναπνοή» του κτιρίου και έχει το πλεονέκτημα να γίνεται εύκολα η ανακατασκευή του σε τμήματα που υφίσταται φθορές με το χρόνο. Απορροφά διοξείδιο του άνθρακα από τον αέρα και εξισορροπεί την υγρασία.

3. **Ξύλο:** Πρόκειται για ένα από τα κυριότερα υλικά μιας οικοδομής. Είναι ανανεώσιμο, απαιτεί μικρή επεξεργασία και αποτελεί ένα ζωντανό υλικό για τη κατασκευή. Προκειμένου, όμως, να χαρακτηρίζεται ως οικολογικό πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις που αφορούν στην προέλευση του, στη διαδικασία παραγωγής του και στον τύπο της επεξεργασίας που υφίσταται. Για το λόγο αυτό οικολογικές οργανώσεις παρέχουν πιστοποίηση (FSC -ForestStewardship Council-) που εγγυάται ότι τα προϊόντα ξύλου που χρησιμοποιούνται προέρχονται από δάση των οποίων η διαχείριση δεν αντιτίθεται στα κριτήρια για την ανάπτυξη τους.

4. **Ξύλο εμποτισμένο με μαγνήσιο:** Πρόκειται για οικολογικό υλικό με καλή θερμική και ακουστική μόνωση, που μπορεί να «αναπνέει». Είναι, επίσης, ηλεκτρικά ουδέτερο και μη ραδιενεργό. Προκύπτει από τον εμποτισμό ινών του ξύλου με θειικό μαγνήσιο και οξείδιο του μαγνησίου σε υψηλή θερμοκρασία.

5. **Κόλλα από καουτσούκ:** Οι συνήθεις κόλλες από συνθετικές ρητίνες μπορούν να γίνουν αιτία πρόκλησης επιβλαβών για την ανθρώπινη υγεία αναθυμιάσεων. Η κόλλα από καουτσούκ είναι φυσικό, μη τοξικό προϊόν, με σταθερές συγκολλητικές ιδιότητες στο χρόνο.

6. **Κερί από μέλισσες:** Οικολογικό προϊόν που μπορεί να αξιοποιηθεί για το φινιρίσμα και την προστασία των ξύλινων δαπέδων και γενικότερα των ξύλινων κατασκευών.

7. **Πλέγμα γιούτας:** Πρόκειται για φυτικές κλωστικές ίνες που εξάγονται από το βλαστό μερικών φυτών των τροπικών χωρών. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή εσωτερικών μονωτικών επιχρισμάτων, έτσι ώστε να απορροφούνται οι τάσεις, λόγω της συστολής του νερού του κονιάματος.

8. **Φελλός:** Έχει άριστες μονωτικές και ηχοαπορροφητικές ιδιότητες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπιεσμένος σε φύλλα, ή τριμμένος σε κόκκους. Είναι φυσικό υλικό και μη τοξικό.

9. **Οστενιτικός χάλυβας:** Λόγω της χαρακτηριστικής του σύνθεσης, είναι μη-μαγνητικός και ανοξείδωτος. Μοναδικό μειονέκτημα του το υψηλό του κόστους.

3.3 Ανακυκλωμένα και Επαναχρησιμοποιημένα Υλικά [1],[5]

Σχετικές μελέτες έχουν δείξει ότι σε ορισμένες περιπτώσεις ως και 30% των δομικών υλικών που φτάνουν στο εργοτάξιο καταλήγουν ως στέρεα απόβλητα, κυρίως λόγω κακής διαχείρισης. Το ποσοστό αυτό είναι υψηλό και η μείωση του είναι επιθυμητή τόσο για περιβαλλοντικούς όσο και για οικονομικούς

λόγους. Η επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών είναι το πρώτο μέτρο στην ιεραρχία της βιώσιμης διαχείρισης αποβλήτων, αφού δεν προϋποθέτει επιπρόσθετη επεξεργασία των υλικών. Η επαναχρησιμοποίηση αφορά πληθώρα δομικών υλικών όπως τούβλα, πλακίδια, μονωτικά υλικά, είδη υγιεινής, αλλά και διάφορα στοιχεία δόμησης με αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον.

Ένα δεύτερο μέτρο είναι η ανακύκλωση υλικών, μέσα από σχετική επεξεργασία. Σε αυτήν παρεμβάλλονται τόσο η ανακύκλωση δομικών υλικών όσο και άλλων υλικών όπως ελαστικών και γυαλιού που προέρχονται από άλλες βιομηχανίες για χρήση στον κατασκευαστικό τομέα.

Το φάσμα των δομικών υλικών με ανακυκλωμένο περιεχόμενο διευρύνεται συνεχώς. Τα υλικά αυτά εκτός από τη θετική περιβαλλοντική απόδοση, τις περισσότερες φορές παρέχουν και υψηλή αισθητική. Για παράδειγμα διαδεδομένη είναι η μείξη των ανακυκλώσιμων στοιχείων του γυαλιού, του αργίλου, του μαρμάρου, της άμμου και του γρανίτη με ρητίνες για την παραγωγή πλακιδίων τοιχοποιίας εσωτερικών αλλά και εξωτερικών χώρων.

3.4 Θερμομονωτικά Υλικά [1],[4],[6]

Από τις πιο σημαντικές παρεμβάσεις που μπορούμε να κάνουμε στο σπίτι μας, ιδίως για τη θερμομονωτική προστασία του, δηλαδή τη δυνατότητά του να συγκρατεί τη θερμότητα κατά τους χειμερινούς μήνες και ταυτόχρονα να εμποδίζει την είσοδο κρύων ρευμάτων αέρα, είναι η μόνωση με τα κατάλληλα για κάθε περίπτωση στεγανωτικά και μονωτικά υλικά.

Βασική είναι η χρησιμοποίηση μονωτικών υλικών όχι μόνο στους εξωτερικούς τοίχους αλλά και στην πλάκα του δώματος καθώς και σε τυχόν κεραμιδοσκεπή. Η σωστή μόνωση είναι ο καλύτερος τρόπος για να διασφαλίσουμε την μείωση των θερμικών απωλειών το χειμώνα και την αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

Όπως κάθε άνθρωπος έχει ένα δελτίο ταυτότητας με κάποιο χαρακτηριστικό αριθμό, έτσι και κάθε υλικό χαρακτηρίζεται από ένα συγκεκριμένο μέγεθος, που ονομάζεται συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και συμβολίζεται με το γράμμα λ . Ο συντελεστής όμως εκφράζει την ποσότητα θερμότητας που περνάει μέσα σε μία ώρα από ένα υλικό πάχους ενός μέτρου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο παράλληλων επιφανειών του υλικού είναι ένας βαθμού Κελσίου. Έτσι, όσο πιο μικρός είναι ο συντελεστής ενός υλικού, τόσο λιγότερη θερμότητα περνάει μέσα από το συγκεκριμένο υλικό.

Πρακτικά, η ποιότητα ενός υλικού εξαρτάται από τον θερμικό συντελεστή λ , που αυξάνεται με το πάχος του υλικού και την υδροαπορροφητικότητά του. Δηλαδή ισχύει ο γενικός κανόνας ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος ενός υλικού, τόσο μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα έχει. Το μειονέκτημα των περισσότερων θερμομονωτικών υλικών είναι ότι η επαφή με την υγρασία μειώνει τον αρχικό συντελεστή λ και σταδιακά χάνουν τις θερμομονωτικές τους ιδιότητες.

Τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι η διογκωμένη πολυστερίνη (φελιζόλ), η εξηλασμένη πολυστερίνη και ινώδη υλικά, όπως ο πετροβάμβακας και ο υαλοβάμβακας.

Ο ακίνητος αέρας είναι το υλικό με τον μικρότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Γι αυτό και όλα τα θερμομονωτικά υλικά κατασκευάζονται έτσι ώστε να περιλαμβάνουν στον όγκο τους μεγάλο αριθμό πολύ μικρών πόρων (κυψελίδων), που περιέχουν παγιδευμένο αέρα.

Τα θερμομονωτικά υλικά διαχωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Ανόργανα υλικά: Τέτοια υλικά είναι ο διογκωμένος περλίτης (εμπορική ονομασία: Perlomin), ο υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας, ο ορυκτοβάμβακας, τα θερμομονωτικά τούβλα κ.λπ.

2. Οργανικά υλικά: Τέτοια υλικά είναι το ξυλόμαλλο (εμπορική ονομασία: Heraklith), η πολυμεθάνη, η φαινολική ρυτίνη, η διογκωμένη πολυστερίνη (εμπορική ονομασία: Felizol), η εξηλασμένη πολυστερίνη (εμπορική ονομασία: Styrofoam ή Fibrostir) κ.λπ.

3. Μονωτικά σκυροδέματα: Έχουν ως συνδετική ύλη το τσιμέντο και τα αδρανή υλικά, που εξασφαλίζουν την παρουσία κυψελίδων αέρα. Τα σπουδαιότερα μονωτικά σκυροδέματα είναι το ελαφρό μπετόν (εμπορική ονομασία: *foam-mill*), το περλομπετόν και το κισσηρομπετόν.

4. Οικολογικά υλικά: Θεωρούνται εκείνα τα θερμομονωτικά υλικά, που καλύπτουν τα παρακάτω κριτήρια:

- ✓ Δεν απαιτούν μεγάλη ενέργεια για την παραγωγή τους.
- ✓ Είναι ανακυκλώσιμα.
- ✓ Δεν μολύνουν το περιβάλλον κατά τη διάρκεια παραγωγής τους.
- ✓ Δεν περιέχουν τοξικούς\καρκινογόνους ρύπους, επικίνδυνους για την υγεία του ανθρώπου και δεν εκλύουν τέτοιους ρύπους κατά τη διάρκεια εφαρμογής τους και μέχρι την καταστροφή τους.

Ο πίνακας που ακολουθεί με όλα τα οικολογικά οικοδομικά υλικά βαθμολογεί την ποιότητα του καθενός σύμφωνα με τις ακόλουθες ιδιότητες.

A = Πηγή Προέλευσης

Θ = Αντίσταση στα Μικροκύματα

B = Βιολογική Διάρκεια Ζωής

I = Διαπνοή

Γ = Οικολογική Συμβατότητα

ΙΑ = Υγρασία / Χρόνος Στεγνώματος

Δ = Κατανάλωση Ενέργειας

ΙΒ = Αφομοίωση

E = Ραδιενέργεια

ΙΓ = Τοξικές Πτητικές Ουσίες

Στ = Ηλεκτρικές Ιδιότητες

ΙΔ = Οσμές

Z = Θερμικές Ιδιότητες

ΙΕ = Τεστ Αντίστασης του Δέρματος (ohms)

H = Ακουστικές Ιδιότητες

ΙΖ = Βιολογικό Τεστ

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 Ποιότητα Οικοδομικών Υλικών [6]

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

ΥΛΙΚΟ	A	B	Γ	Δ	E	ΣΤ	Z	H	Θ	I	ΙΑ	ΙΒ	ΙΓ	ΙΔ	ΙΕ	ΙΖ	Μέσος όρος
ΞΥΛΟ	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ΦΕΛΛΟΣ	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ΑΡΓΙΛΟΣ	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ΚΕΡΙ ΜΕΛΙΣΣΑΣ	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ΤΟΥΒΛΟ	2	3	3	2	2	3	2	3	3	2	1	3	2	3	3	-	2,5
ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ	2	2	3	2	3	3	1	2	-	2	3	2	2	3	2	-	2,3
ΦΥΣΙΚΟ ΛΙΝΕΛΑΙΟ	1	2	3	2	3	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	-	2,3
ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΤΥΠΟΥ PORTLAND	1	0	2	1	0	3	1	2	-	1	2	0	1	3	1	-	1,3
ΠΛΑΚΑ ΑΜΙΑΝΤΟΥ	1	0	0	1	1	-	2	2	0	1	2	3	-	3	1	0	1,2
ΕΥΝΟΗΤΙΚΟΣ ΓΥΨΟΣ	0	0	0	1	0	-	1	2	0	2	2	3	-	3	1	0	1,1
ΓΥΑΛΙ	0	1	1	0	3	0	0	0	-	0	0	3	0	3	3	-	1
ΑΣΦΑΛΤΟΠΑΝΟ	1	0	1	1	3	3	-	-	0	0	0	-	-	0	0	-	0,8
ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ	0	0	0	0	3	0	3	3	0	1	0	3	0	0	0	0	0,8
PVC	0	0	0	0	3	0	1	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0,6
ΕΥΝΟΗΤΙΚΗ ΚΟΛΛΑ	0	0	0	0	3	0	-	-	0	0	0	0	0	3	0	0	0,4
ΒΕΤΑΝΑΜΕ	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0,4
ΕΥΝΟΗΤΙΚΟ ΒΕΡΝΙΚΙ	0	0	0	0	3	0	-	-	-	0	0	-	0	0	0	-	0,3

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ

0 = Να αποφεύγεται η χρήση του

1= Δε συνίσταται

2= Αμφίβολη Χρήση

3 = Συνίσταται η χρήση του

Ένας άλλος διαχωρισμός των μονωτικών υλικών ανάλογα με την προέλευση και την επεξεργασία που υφίστανται φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 Διαχωρισμός των θερμομονωτικών υλικών ανάλογα με την προέλευση και την επεξεργασία που υφίστανται. [4]

Τύποι Θερμομονωτικών Υλικών	Υλικά
Ανόργανα φυσικά	Αμιάντος, κίσηρης
Ανόργανα τεχνητά	Βερμικουλίτης, υαλοβάμβακας, σκωριόμαλλο, περλίτης, κυψελοειδές γυαλί, μονωτικά τούβλα, ορυκτοβάμβακας
Οργανικά φυσικά	Φυσικός φελλός, πλάκες τύρφης, καλάμια, πλάκες αγύρου, γιούτα
Οργανικά τεχνητά	Επεξεργασμένος φελλός, διογκωμένος φελλός, ξυλόμαλλο, κλουτσούκ, συνθετικά πλαστικά, πολυουρεθάνη, πολυστερίνη, PVC, φαινολικά μονωτικά
Σκυροδέματα φυσικά	Κίσηροδέμα, σκωριόδεμα, αμιαντοσκυροδέμα
Σκυροδέματα τεχνητά	Αερομεπτόν, κυψελομεπτόν

3.4.1 Θερμομονωτικά Υλικά στην Ελλάδα

- ✓ Εξηλασμένη πολυστερίνη (Προέρχεται από μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας υδρογονανθράκων).
- ✓ Πολυουρεθάνη (Προέρχεται από μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.)
- ✓ Υαλοβάμβακας / πετροβάμβακας (Μη ανανεώσιμα (εκτός της υάλου) που προέρχονται από υλικά σε αφθονία στη φύση (άμμος, βασάλτης κλπ)).
- ✓ Περλίτης (Μη ανανεώσιμη πηγή, με μεγάλη όμως διαθεσιμότητα στη φύση, μερική ανακύκλωσή του.)
- ✓ Το ξυλόμαλλο (Heraklith) (Αποδεκτό υλικό, ανανεώσιμο)
- ✓ Ο διογκωμένος φελλός (Ανανεώσιμη πηγή, ανακυκλώσιμο κατά 100%.)

Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες (Γαλλία, Ελβετία, Ιταλία) χρησιμοποιούνται τα εξής εξαιρετα οικολογικά θερμομονωτικά υλικά:

- ✓ Λιναρόμαλλο
- ✓ Ρολό από ίνες κοκκοφοίνικα
- ✓ Μονωτικό ρολό από υπολείμματα βαμβακιού (τύπου ISO COTTON)
- ✓ Τζίβα (σε φύλλα και λωρίδες) και
- ✓ Διογκωμένο (σε κόκκους) άργιλο

Και τα πέντε παραπάνω υλικά, κοστίζουν ελάχιστα, είναι 100% ανακυκλώσιμα, και 100% φιλικά προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Η Ελλάδα διαθέτει και λινάρι και βαμβάκι και άργιλο. Ωστόσο η ελληνική αγορά δεν είναι αρκετά ώριμη για να καταφύγει στην χρήση τους.

3.5 Εναλλακτικά Υλικά [2]

3.5.1 Υλικά Αλλαγής Φάσης

Είναι γνωστό ότι η αλλαγή φάσης ενός υλικού από στερεό σε υγρό ή από υγρό σε αέριο ακολουθείται από ταυτόχρονη ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον, η οποία είναι αποτέλεσμα της αναδιάταξης της μοριακής του κατάστασης. **Με τον όρο «Υλικά Αλλαγής Φάσης» ορίζονται εκείνα τα υλικά, τα οποία μπορούν να αποθηκεύουν και να ελευθερώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας, ως αποτέλεσμα της αλλαγής φάσης στη μοριακή τους δομή.** Πρόκειται για ανόργανα άλατα και παραφίνες (θα ακολουθήσει εκτενής μελέτη εφόσον αποτελούν και το αντικείμενο της παρούσης εργασίας) των οποίων η χρήση αυξάνει τη θερμική αποθήκευση των δομικών στοιχείων μιας κατασκευής. Σε θερμοκρασία δωματίου τα υλικά αλλαγής φάσης είναι στέρεας μορφής. Όταν η θερμοκρασία ανέβει, το υλικό υγροποιείται καθώς απορροφά και αποθηκεύει θερμότητα. Η θερμότητα που απορροφάται κατά τη διάρκεια τήξης του υλικού απελευθερώνεται με καθυστέρηση κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν η εσωτερική θερμοκρασία πέφτει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το δροσισμό των κτιρίων. Αν υποθεθεί ότι ένα τέτοιο υλικό το οποίο έχει σημείο τήξης στους 24°C αντί στους 0°C είναι τοποθετημένο στην εσωτερική επιφάνεια ενός δωματίου, σε επικοινωνία με τον αέρα, τότε καθώς η θερμοκρασία του αέρα ανεβαίνει υψηλότερα από τους 24°C, η θερμότητα θα διαπεράσει το υλικό αλλαγής φάσης αναγκάζοντας το να λιώσει, αντί η θερμοκρασία μέσα στο χώρο να ανέβει. Ιδανική κατάσταση σε αυτή την περίπτωση είναι να υπάρχει αρκετό υλικό αλλαγής φάσης ώστε να συνεχίσει να λιώνει μέχρι την κορύφωση της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου. Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι η διάρκεια δροσισμού του ίδιου δωματίου θα είναι μεγαλύτερη αφού κατά την τήξη του υλικού, η λανθάνουσα θερμότητα που έχει απορροφηθεί από το υλικό θα επιστραφεί στο δωμάτιο. Τα υλικά αλλαγής φάσης προσφέρονται συνήθως σε σφραγισμένες πλαστικές συσκευασίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται με μεταλλικά συστήματα στήριξης, είναι όμως διαθέσιμα και σε μορφή επιστρώσεων τοίχων.

Καθώς η ανάγκη για μια οικολογικά ευαίσθητοποιημένη δόμηση γίνεται όλο και πιο επιτακτική, η βιομηχανία υλικών ανταποκρίνεται τόσο με νέα υλικά, όσο και με τεχνολογίες που αποσκοπούν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιδράσεων μέσα από διαδικασίες ανακύκλωσης και επεξεργασίας φυσικών υλικών. Η χρήση αυτών των προϊόντων σε πολλές περιπτώσεις συνεπάγεται και ένα διαφορετικό τρόπο σχεδιασμού, ο οποίος αναγνωρίζει ως ζητούμενο τη συνύπαρξη της αισθητικής, της λειτουργικότητας και της άρτιας περιβαλλοντικής συμπεριφοράς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] (Φοίβος 2005, <http://www.ntua.gr/vitruvius/ecomat.pd>)
- [2] <http://www.ktirio.gr/innet/UsersFiles/sa/documents/articles/2009-07-184.pdf>
- [3] <http://www.eipak.org>
- [4] <http://medilab.pme.duth.gr/Tzika.pdf>
- [5] <http://blogs.sch.gr>
- [6] <http://www.texnikos.gr/>

ΜΕΡΟΣ Β

ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΑΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Όπως αναλύσαμε στο πρώτο μέρος η συνεχής αύξηση του επιπέδου των εκπομπών των αέριων του θερμοκηπίου καθώς και η αύξηση στις τιμές των καυσίμων είναι οι κινητήριες δυνάμεις που κινούν τις προσπάθειες να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικότερα οι διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε πολλά μέρη του κόσμου η άμεση ηλιακή ακτινοβολία θεωρείται μια από την πιο ελπιδοφόρες πηγές ενέργειας. Οι επιστήμονες σε όλο τον κόσμο θέτουν άξονες προς τις νέες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. *Μια από τις επιλογές τους είναι η ανάπτυξη συσκευών ενεργειακής αποθήκευσης, οι οποίες είναι τόσο σημαντικές όσο το να αναπτύξουμε νέες πηγές ενέργειας. Η αποθήκευση της ενέργειας μέσα σε κατάλληλες μορφές, οι οποίες μπορούν συμβατικά να μετατραπούν στην απαιτούμενη μορφή, είναι η παρούσα πρόκληση για τους τεχνολόγους.* Η ενεργειακή αποθήκευση όχι μόνο μειώνει την ανισότητα μεταξύ της ζήτησης και της κατανάλωσης αλλά και βελτιώνει την απόδοση και την αξιοπιστία των ενεργειακών συστημάτων και παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ενέργειας. Οδηγεί στην αποταμίευση των βασικών καυσίμων και κάνει το σύστημα οικονομικά πιο αποδοτικό μειώνοντας τις απώλειες της ενέργειας και το κύριο κόστος. Μια από τις ενδεχόμενες τεχνικές αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας είναι η εφαρμογή των **Υλικών Αλλαγής Φάσης (PCMs)**.

Τα ΥΑΦ έχουν αναπτυχθεί για διάφορες εφαρμογές εξαιτίας των διαφορετικών διαστημάτων αλλαγής φάσης: υλικά που λιώνουν κάτω από τους 15°C χρησιμοποιούνται για να διατηρήσουν μια δροσερή θερμοκρασία σε κλιματιζόμενες εφαρμογές, ενώ υλικά που λιώνουν πάνω από τους 90°C χρησιμοποιούνται για να μειώσουν τη θερμοκρασία αν υπάρχει απότομη αύξηση στη θερμότητα για να αποφύγουμε την ανάφλεξη. Τα υλικά με ενδιάμεσα σημεία τήξης μπορούν να εφαρμοστούν στην ηλιακή θέρμανση για εφαρμογές που ανεβάζουν θερμικό φορτίο. Τα υλικά που μελετώνται τα τελευταία 40 χρόνια περιλαμβάνουν τα ένυδρα άλατα, τις παραφίνες κεριού, τα λιπαρά οξέα και τα εύτηκτα μείγματα οργανικών και ανόργανων ενώσεων. Παρόλα αυτά τα ΥΑΦ δε μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν απευθείας σε πρακτικές εφαρμογές εξαιτίας της αδύναμης θερμικής τους σταθερότητας, του υψηλού φαινομένου υπέρψυξης και της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας. Επομένως βελτιωμένα ΥΑΦ έχουν αναπτυχθεί για να ξεπεράσουμε αυτές τις δυσκολίες.

Για εφαρμογές στα δομικά υλικά, τα ΥΑΦ απαιτούν ειδικές συσκευές αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας σε διαφορετικά σχήματα ή στοιχεία όπως κελυφωτούς και σωληνοειδής εναλλάκτες θερμότητας ΥΑΦ ή πολλά τενεκεδάκια για να τα ενθυλακώσουμε αφού αλλάζουν από στέρεο σε υγρό κατά τη διάρκεια της περιόδου αποθήκευσης ενέργειας. Αν και η χρήση τέτοιων υλικών λύνει το πρόβλημα της διαρροής των ΥΑΦ κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης από στερεό σε υγρό, αυξάνεται όχι μόνο η θερμική αντίσταση αλλά επίσης και το κόστος των συστημάτων αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Παρόλα αυτά, αυτά τα προβλήματα μπορούν να ξεπεραστούν χρησιμοποιώντας μικρο/νανοκάψουλες – ΥΑΦ οι οποίες μπορούν να ετοιμαστούν με ενθυλάκωση των ΥΑΦ σε μια δομή πολυμερούς.

Τα ΥΑΦ, ως μέσον αύξησης της ικανότητας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, εφαρμόζονται στα κτίρια στους τοίχους, τα δάπεδα, τις οροφές, ακόμη και στα κουφώματα. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε η/μ συστήματα που υποστηρίζουν τις λειτουργίες κτιρίων (θέρμανση, κλιματισμός, ζεστό - κρύο νερό). Χρήση όμως βρίσκουν και σε εφαρμογές που δεν έχουν σχέση με τον κτιριακό τομέα.

Όμως παρόλο που τα ΥΑΦ είναι γνωστά εδώ και αρκετά χρόνια δεν είναι ευρέως διαδεδομένα σε εφαρμογές στα κτίρια. Κάποιες ελλείψεις στην τεχνολογία τους, το σχετικά υψηλό κόστος τους και η περιορισμένη πληροφόρηση για τις εφαρμογές τους δικαιολογούν εν μέρει αυτή τη διαπίστωση. Από την άλλη πλευρά, τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν εγγυώνται ότι στο μέλλον η χρήση τους θα διευρυνθεί.

Τα ΥΑΦ είναι χρήσιμα σε εύκρατα κλίματα, όπου οι ημερήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασίας συχνά υπερβαίνουν τα όρια θερμικής άνεσης. Η χρησιμότητά τους είναι πιο έντονη το καλοκαίρι, όταν οι υψηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας προκαλούν υπερθέρμανση των κτιρίων. Είναι συνεπώς υλικά που αξίζει να έχουμε υπόψη και να παρακολουθούμε την εξέλιξή τους. Είναι εξαιρετικά πιθανό ότι σύντομα στο μέλλον θα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της ενεργειακής και περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των κτιρίων μας.

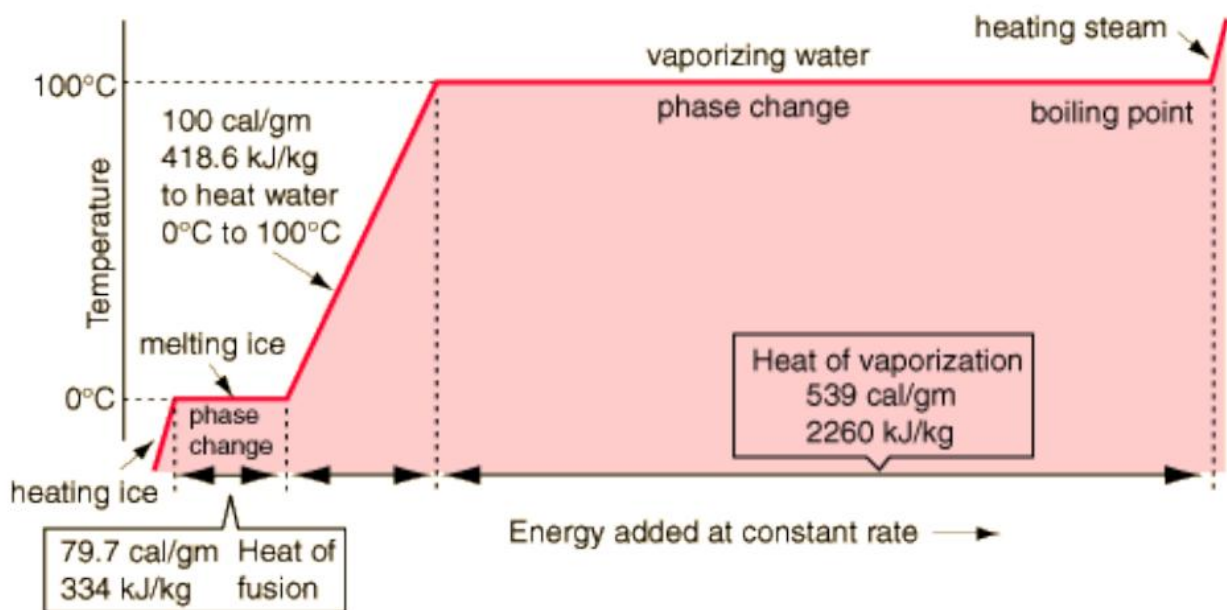
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΟΡΙΣΜΟΣ [1],[3]

Ένα δομικό στοιχείο το οποίο απαγορεύει την αλλαγή της εσωτερικής θερμοκρασίας ενός κτιρίου πέρα από κάποια προκαθορισμένα όρια περίπου κοντά στη θερμοκρασία δωματίου. Μια άκαμπτη πορώδη δομή πλέγματος βρίσκεται σε θερμική επικοινωνία με το εσωτερικό του κτιρίου. Η δομή πλέγματος εμποτίζεται με αποθήκευση ΥΑΦ. Το τελευταίο έχει ένα σημείο τήξης μέσα στα θερμοκρασιακά όρια έτσι ώστε το υλικό να λιώνει όταν η εσωτερική θερμοκρασία τα υπερβαίνει. Η τήξη του υλικού απορροφά θερμότητα και μειώνει την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου μέχρις ότου λιώσει ολόκληρο το υλικό. Αντίθετα το υλικό παγώνει όταν η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου πέφτει κάτω από τα θερμοκρασιακά όρια απελευθερώνοντας θερμότητα και ανεβάζοντας τη θερμοκρασία του χώρου μέχρις ότου να παγώσει όλο το υλικό. Η τοποθέτηση του ΥΑΦ γίνεται μέσα στην πλεγματική δομή έτσι ώστε το υλικό να υφίσταται επαναλαμβανόμενες αλλαγές στη φάση του από στέρεο σε υγρό συνήθως. Έτσι απορροφώντας θερμότητα όταν υπάρχει πολύ θερμότητα και απελευθερώνοντας θερμότητα όταν αυτή υπάρχει σε μικρή ποσότητα, το δομικό αυτό στοιχείο διατηρεί την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου μέσα σε προκαθορισμένα όρια.

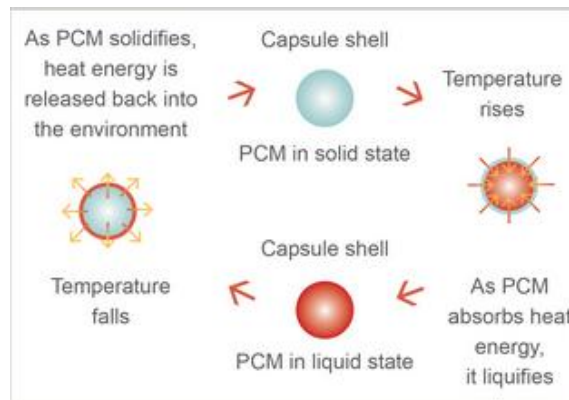
✓ **ΦΑΣΗ:** είναι ένα σύνολο καταστάσεων ενός μακροσκοπικού φυσικού συστήματος που έχει σχετικά μοιόμορφη χημική σύνθεση και φυσικές ιδιότητες (δηλ. πυκνότητα, κρυσταλλική δομή, δείκτη διάθλασης, κ.λπ...).

✓ **ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ:** είναι ο μετασχηματισμός ενός θερμοδυναμικού συστήματος από μια φάση σε άλλη. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της μετάβασης φάσης είναι μια απότομη αλλαγή σε μια ή περισσότερες φυσικές ιδιότητες, όπως στην θερμοχωρητικότητα, με μια μικρή αλλαγή σε μια θερμοδυναμική μεταβλητή όπως η θερμοκρασία.

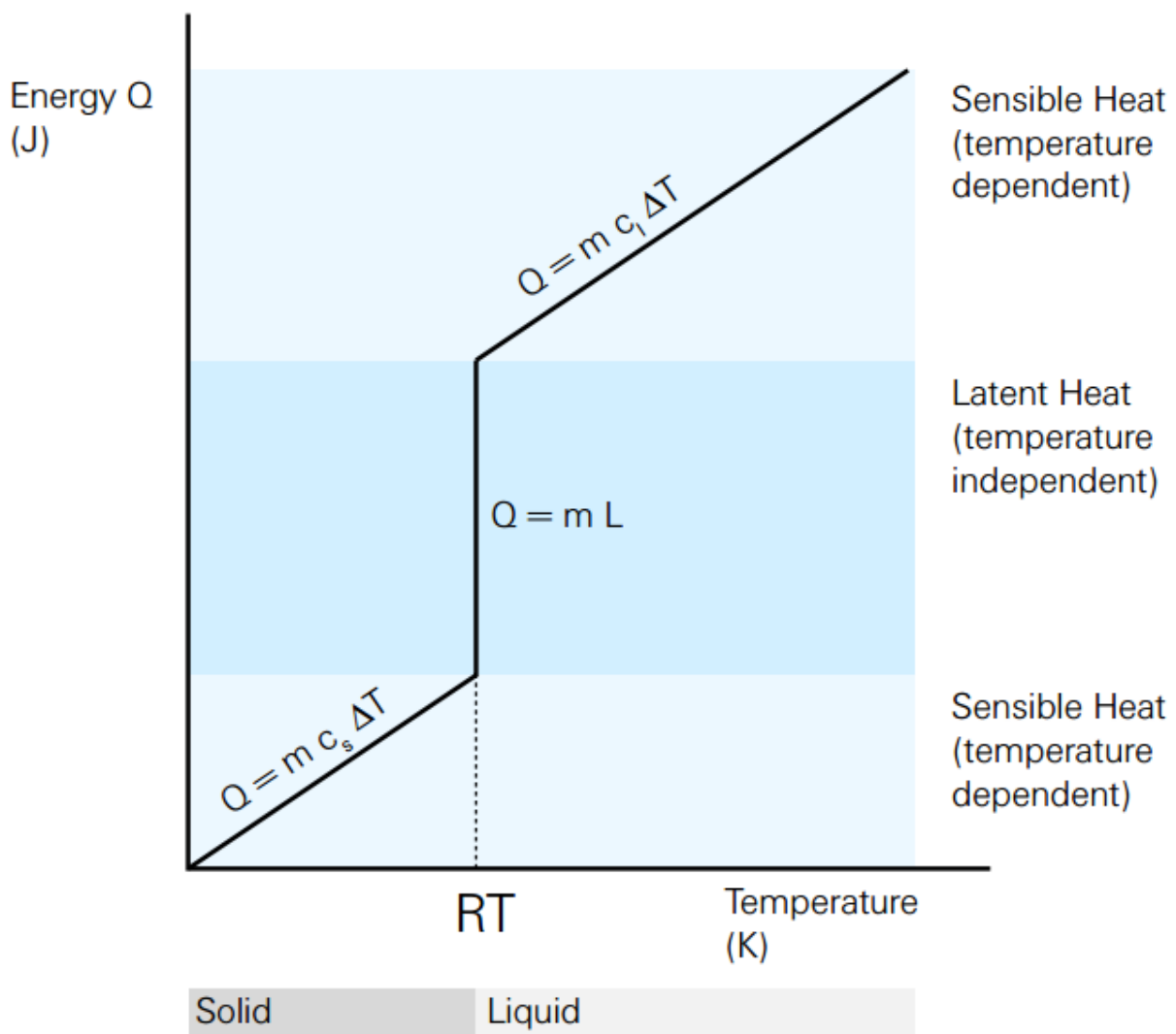


ΣΧΗΜΑ 4.1 Η φάση είναι μια συνάρτηση της θερμοκρασίας [4]

✓ **ΥΛΙΚΟ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ:** είναι μια ουσία με μια υψηλή θερμότητα τήξης που, τηκόμενο και στερεοποιούμενο σε ορισμένες θερμοκρασίες, είναι ικανή να αποθηκεύσει ή να απελευθερώσει μεγάλα ποσά ενέργειας.



ΣΧΗΜΑ 4.2 Τρόπος λειτουργίας των ΥΑΦ [2]



ΣΧΗΜΑ 4.3 Διάγραμμα αλλαγής φάσης [4]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1] <http://el.wikipedia.org>

[2] <http://www.leaderexpo.gr>

[3] Methods, apparatus, and compositions for storing heat for the heating and cooling of buildings
US 4259401 A

[4] <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic260272.files/Group07.PhaseChangeMaterials.pdf>

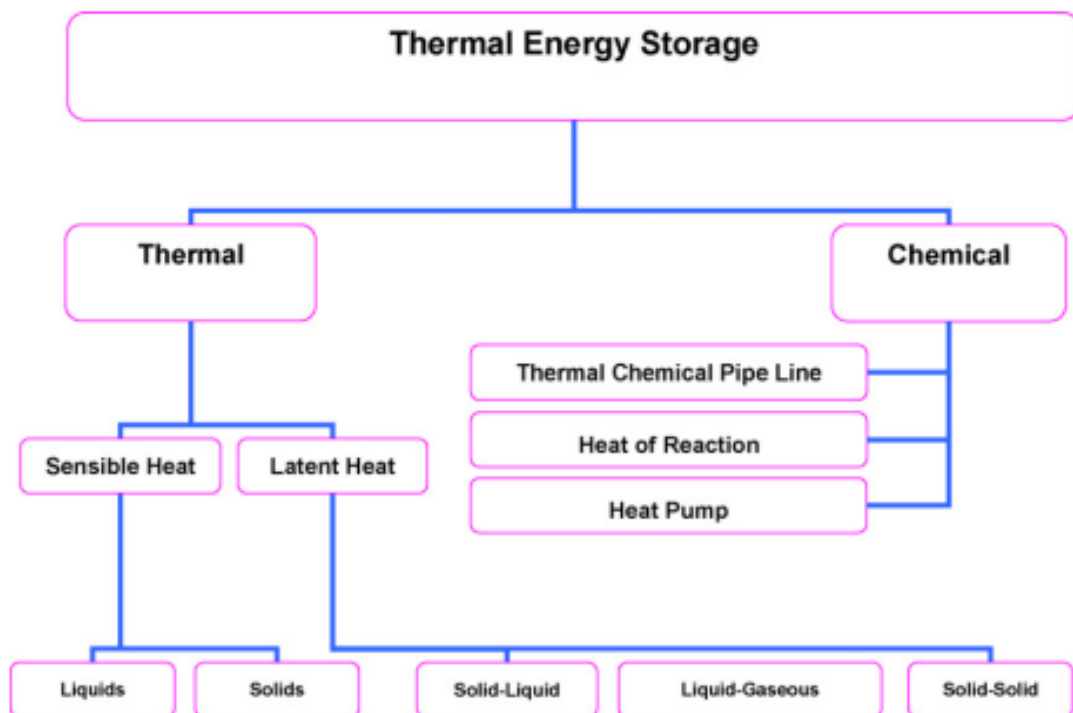
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Οι διαφορετικές μορφές ενέργειας που μπορούν να αποθηκευτούν περιλαμβάνουν τη μηχανική, ηλεκτρική και θερμική ενέργεια.

5.1 Αποθήκευση Μηχανικής Ενέργειας [1]

Τα συστήματα αποθήκευσης μηχανικής ενέργειας περιλαμβάνουν την αποθήκευση της ενέργειας βαρύτητας ή την αποθήκευση της αντλημένης υδροενέργειας (PHPS) και την αποθήκευση ενέργειας συμπιεσμένου αέρα (CAES) και των σφονδύλων. Οι τεχνολογίες της PHPS και της CAES μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ενεργειακή χρήση μεγάλης κλίμακα, ενώ οι σφόνδυλοι είναι πιο κατάλληλοι για ενδιάμεση αποθήκευση. Η αποθήκευση πραγματοποιείται όταν ενέργεια χαμηλής ζήτησης είναι διαθέσιμη, π.χ., τη νύχτα ή τα Σαββατοκύριακα. Η αποθηκευμένη ενέργεια ελευθερώνεται όταν απαιτείται ενέργεια εξαιτίας της έλλειψης ενέργειας από τις μονάδες βάσης.



ΣΧΗΜΑ 5.1 Διαφορετικοί τύποι αποθήκευσης της θερμότητας της ηλιακής ενέργειας [1]

5.2 Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας [1]

Η ενεργειακή αποθήκευση μέσω των μπαταριών είναι μια επιλογή για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Μια μπαταρία φορτίζεται όταν τη συνδέσουμε σε μια πηγή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος και όταν αποφορτίζεται η αποθηκευμένη χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Οι πιθανές εφαρμογές των μπαταριών είναι η χρησιμοποίηση στην ενέργεια χαμηλού φορτίου, εξισορρόπηση φορτίων, και

αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανεμογεννήτριες ή φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Ο πιο κοινός τύπος από τις μπαταρίες αποθήκευσης είναι το οξύ μολύβδου και Ni-Cd.

5.3 Αποθήκευση Θερμικής Ενέργειας [1],[3]

Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας μπορεί να υλοποιηθεί και να αποθηκευτεί ως αλλαγή στην εσωτερική ενέργεια ενός υλικού ως αισθητή θερμότητα, λανθάνουσα θερμότητα και θερμοχημική ή συνδυασμός αυτών.

5.3.1 Αποθήκευση Αισθητής Θερμότητας

Στην αποθήκευση αισθητής θερμότητας (SHS), η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ενός στερεού ή υγρού. Το σύστημα SHS χρησιμοποιεί την ικανότητα θέρμανσης και την αλλαγή θερμοκρασίας του υλικού κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης και αποφόρτισης. Το ποσό θερμότητας που αποθηκεύεται εξαρτάται από την ειδική θερμότητα του μέσου, της αλλαγής θερμοκρασίας και της ποσότητας του υλικού αποθήκευσης.

(5.1)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 Λίστα επιλεγμένων στερεού-υγρού υλικών για αποθήκευση αισθητής θερμότητας [1]

Medium	Fluid type	Temperature range (°C)	Density (kg/m ³)	Specific heat (J/kg K)
Rock		20	2560	879
Brick		20	1600	840
Concrete		20	1900–2300	880
Water		0–100	1000	4190
Caloria HT43	Oil	12–260	867	2200
Engine oil	Oil	Up to 160	888	1880
Ethanol	Organic liquid	Up to 78	790	2400
Proponal	Organic liquid	Up to 97	800	2500
Butanol	Organic liquid	Up to 118	809	2400
Isotunaol	Organic liquid	Up to 100	808	3000
Isopentanol	Organic liquid	Up to 148	831	2200
Octane	Organic liquid	Up to 126	704	2400

Η ικανότητα αποθήκευσης αισθητής θερμότητας κάποιου επιλεγμένου στερεού –υγρού υλικού παρουσιάζεται στον πίνακα 5.1. Το νερό εμφανίζεται να είναι το καλύτερο διαθέσιμο υγρό για την αποθήκευση της αισθητής θερμότητας επειδή είναι φτηνό και έχει υψηλή ειδική θερμότητα. Εντούτοις επάνω από 100°C, τα έλαια, τα λειωμένα άλατα και τα υγρά μέταλλα, κ.λ.π. είναι αυτά που χρησιμοποιούνται.

5.3.2 Αποθήκευση Λανθάνουσας Θερμότητας

Η λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας (LHS) βασίζεται στην απορρόφηση ή στην απελευθέρωση θερμότητας όταν ένα υλικό υποβάλλεται σε αλλαγή φάσης από στερεό σε υγρό ή από υγρό σε αέριο ή αντίστροφα. Η ικανότητα αποθήκευσης του συστήματος λανθάνουσας θερμότητας με ένα Υλικό Αλλαγής Φάσης δίνεται από την εξίσωση:

(5.2)

5.3.2.1 Μεταφορά Θερμότητας στα Συστήματα Αποθήκευσης Λανθάνουσας Θερμικής Ενέργειας και Υλικά

Η έρευνα των χαρακτηριστικών μετάδοσης θερμότητας της διαδικασίας τήξης και στερεοποίησης είναι επίσης μια από τις πιο ελκυστικές περιοχές σύγχρονης έρευνας στη μεταφορά θερμότητας.

5.3.2.1.1 Το πρόβλημα Stefan

Το 1989 ο Stefan στη δουλειά του στην πήξη του εδάφους έθεσε και έλυσε το παρακάτω πρόβλημα:

Το υλικό θερμικής αγωγιμότητας απαιτεί χώρο $-1 < x < 1$. Στην αρχή η υγρή φάση γεμίζει το τμήμα $0 < x < 1$ σε θερμοκρασία $T_1 > 0^\circ\text{C}$ ενώ η στερεά φάση απαιτεί χώρο $-1 < x < 0$ σε θερμοκρασία $T_S < 0^\circ\text{C}$. Στο $x=0$ διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία $T < 0^\circ\text{C}$, κάτω από την επίδραση της οποίας η στερεοποίηση συμβαίνει σε θερμοκρασία $T_m = 0^\circ\text{C}$ χωρίς υπέρψυξη και η αγωγή είναι ο τρόπος μετάδοσης θερμότητας του υλικού. Η ενεργειακή εξίσωση στην επιφάνεια στερεού-υγρού που δίνεται από τον Stefan είναι

$$\rho_s L \frac{dx}{dt} = k_s \frac{dT_s}{dx} - k_l \frac{dT_l}{dx}$$

Η εξίσωση (5.3) προκύπτει από την παρουσία αλλαγής φάσης και εκφράζει την διατήρηση της ενέργειας κατά μήκος της επιφάνειας. Στη βιβλιογραφία αυτό το όριο στερεού-υγρού είναι γνωστό σαν Stefan ή κινούμενο οριακό πρόβλημα.

5.3.2.1.2 Διαφορετικές Τεχνικές Επίλυσης του Προβλήματος Stefan

Το πρόβλημα της πρόβλεψης της συμπεριφοράς αλλαγής φάσης των συστημάτων είναι δύσκολο εξαιτίας της μη γραμμικής τους φύσης στην κινούμενη επιφάνεια και επιπλέον οι δυο φάσεις έχουν διαφορετικές θερμοφυσικές ιδιότητες. Κλασικά το πρόβλημα Stefan προσεγγίστηκε αρχικά σαν καθαρή αγωγή σε ημιάπειρο μέσο και αργότερα η φυσική αγωγή λήφθηκε υπόψη κατά τη διάρκεια της τήξης και της στερεοποίησης των υλικών αλλαγής φάσης. Οι διαφορετικές προσεγγίσεις της διαθέσιμης λύσης του προβλήματος είναι αναλυτικές και αριθμητικές. Πολλές προσεγγιστικές αναλυτικές τεχνικές υπάρχουν, όπως η τεχνική της ενιαίας θερμικής ισορροπίας, η τεχνική της ισοθερμικής μετατόπισης, η μέθοδος της πηγής και καταβόθρας και η περιοδική λύση. Ένα τυπικό μειονέκτημα αυτών των προσεγγιστικών τεχνικών είναι ότι περιορίζονται στη μονοδιάστατη ανάλυση και γίνονται πολύ πολύπλοκα όταν εφαρμόζονται σε πολυδιάστατα προβλήματα. Οι αριθμητικές μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών και πεπερασμένων στοιχείων εμφανίζονται πιο δυνατές στην λύση του κινούμενου οριακού προβλήματος. Γενικά μια χρονική μεταβλητή της προσέγγισης με πλέγμα προσφέρει καλή ακρίβεια αλλά είναι περιορισμένη σε απλά προβλήματα και γεωμετρίες. Η ενθαλπία του υλικού είναι πιο απλή στην πρακτική εφαρμογή. Ένα κοινό πρόβλημα στην αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας είναι η φτωχή αγωγιμότητα των ΥΑΦ. Κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης η διεπιφάνεια στερεού-υγρού μετακινείται μακριά από την επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας. Ένας από τους τρόπους να αυξήσουμε την ωφέλιμη επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας είναι ότι οι πλευρικές επιφάνειες του δοχείου, που περιέχει ΥΑΦ, από υλικό υψηλής θερμικής αγωγιμότητας να βρίσκονται σε μικρή απόσταση. Η δυσκολία στην επίλυση ενός προβλήματος αλλαγής φάσης είναι η παρουσία ενός κινούμενου ορίου ή περιοχής στο οποίο/-α οι συνθήκες ισορροπίας θερμότητας και μάζας πρέπει να συμπίπτουν.

Γενικά, δυο προσεγγίσεις των τεχνικών πεπερασμένων διαφορών και πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιούνται για να λύσουμε το πρόβλημα αλλαγής φάσης αριθμητικά. Μια από αυτές τις μεθόδους επίλυσης του προβλήματος είναι ο σχηματισμός της ενθαλπίας. Η μέθοδος ενθαλπίας χρησιμοποιείται με έναν ιδιαίτερο τρόπο έτσι ώστε η μόνη άγνωστη μεταβλητή να είναι η θερμοκρασία αλλαγής φάσης του

υλικού και η στερεοποίηση συμβαίνει σε μια ομοιόμορφη θερμοκρασία. Η μέθοδος της ενθαλπίας μεταχειρίζεται την ενθαλπία σαν εξαρτώμενη μεταβλητή της θερμοκρασίας και βρίσκει τη ροή λανθάνουσας θερμότητας μέσα από την ολοκλήρωση όγκου με τη χρήση της ενθαλπίας του συστήματος. Η μεταφορά θερμότητας με το κινούμενο όριο αλλαγής φάσης είναι πολύ σημαντικό σε εφαρμογές αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας, π.χ. για σχηματισμό πάγου, κατάψυξη φαγητού, χύτευση, μεταλλουργία, ανάπτυξη κρυστάλλων και διάφορων άλλων τεχνικών στερεοποίησης. Η πρόβλεψη της θερμοκρασίας διανομής και του ρυθμού τήξης ή στερεοποίησης είναι πολύ σημαντική για τη σχεδίαση ενός τέτοιου συστήματος αποθήκευσης. Ένας αριθμός θεωρητικών προσπαθειών έγιναν για να μελετήσουν τη θερμική απόδοση των συστημάτων αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Η περισσότερη δουλειά που έγινε περιορίστηκε στη μελέτη του προβλήματος κινούμενου ορίου για συγκεκριμένες συνθήκες και σχέδια.

5.3.2.1.3 Αριθμητική Προσομοίωση των Συστημάτων Αποθήκευσης Λανθάνουσας Θερμότητας

Οι παρακάτω υποθέσεις έγιναν για να αναλύσουμε τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας:

- A) Ένα ΥΑΦ είναι αρχικά στη στέρεα φάση
- B) Το ΥΑΦ είναι ομοιογενές και ισότροπο
- Γ) Ο τρόπος μεταφοράς θερμότητας είναι μόνο η αγωγή

5.3.2.1.4 Σχηματισμός Ενθαλπίας

Εισάγοντας μια μέθοδο ενθαλπίας, το πρόβλημα αλλαγής φάσης γίνεται πολύ απλούστερο και έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Η εξίσωση που το διέπει είναι παρόμοια με την εξίσωση μιας φάσης.
2. Δεν υπάρχει καμία συνθήκη να ικανοποιείται στη διεπιφάνεια μεταξύ στερεού-υγρού καθώς υπακούει αυτόματα σε αυτήν.
3. Ο σχηματισμός ενθαλπίας επιτρέπει μια ευαίσθητη ζώνη ανάμεσα στις δυο φάσεις.

Τα προβλήματα αλλαγής φάσης συνήθως επιλύονται με πεπερασμένες διαφορές ή πεπερασμένα στοιχεία. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι ότι δεν απαιτεί σαφή μεταχείριση του κινούμενου ορίου. Για να κατανοήσουμε το σχηματισμό, ορίζουμε μια συνάρτηση ενθαλπίας h σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας και εξισώσεις εφαρμόζονται σε όλο το δομημένο πρόβλημα, όπως δόθηκε από τον Voller. Για μια διαδικασία αλλαγής φάσης που περιλαμβάνει είτε την τήξη, είτε την πήξη, η διατήρηση της ενέργειας μπορεί να εκφραστεί στα πλαίσια της ογκομετρικής ενθαλπίας και θερμοκρασίας για σταθερές θερμοφυσικές ιδιότητες όπως ακολούθως:

Όπου:

στην περίπτωση ισοθερμικής αλλαγής φάσης το κλάσμα υγρού δίνεται από:

Σύμφωνα με τις εξισώσεις (5.4) και (5.5) η ενθαλπία του ΥΑΦ γίνεται:

Η εξίσωση (5.7. α) αναπαριστά την αισθητή ενθαλπία από την αρχική θερμοκρασία (T_{init}) στη θερμοκρασία τήξης (T_m). Επιλύοντας την εξίσωση (5.7) για τη θερμοκρασία του ΥΑΦ, κάποιος παίρνει:

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις _____ μια εναλλακτική μορφή της εξίσωσης (5.3) για διδιάστατο πρόβλημα μεταφοράς θερμότητας μπορεί να προκύψει από:

— — — — —

Και για το υλικό του δοχείου του εναλλάκτη θερμότητας είναι:

— — — — —

5.3.2.1.5 Αριθμητική Λύση

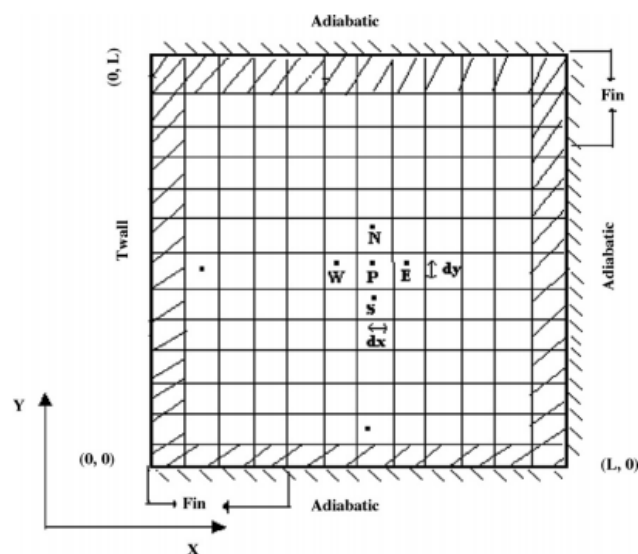
Για να πάρουμε τις αλγεβρικές εξισώσεις χρησιμοποιώντας την τεχνική ελέγχου όγκου που αναπτύχθηκε από τους Voller και Patankar, ήταν απαραίτητο να χωρίσουν το κομμάτι σε στοιχείωδεις

όγκους ελέγχου και μετά να ολοκληρώσουν την εξίσωση σε αυτούς. Η εξίσωση έχει επιλυθεί χρησιμοποιώντας μια ρητή μέθοδο πεπερασμένων διαφορών. Η εξίσωση πεπερασμένων διαφορών για τα ΥΑΦ λαμβάνεται με την ολοκλήρωση πάνω σε κάθε όγκο ελέγχου. Ο διαχωρισμός της εξίσωσης για $Dx=Dy$ οδηγεί στο ακόλουθο σχήμα:

Όπου:

Και

Η εξίσωση έχει λυθεί χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο τριδιαγώνιου πίνακα (TDMA). Το κύριο χαρακτηριστικό του παρών τυποποιημένου πλέγματος της μεθόδου ενθαλπίας είναι ο όρος πηγής Q . Εδώ τα και αναφέρονται στην ενθαλπία και στο κλάσμα τήξης αντίστοιχα από το προηγούμενο χρονικό βήμα. Ο όρος πηγής κρατά αρχείο της εξέλιξης της λανθάνουσας θερμότητας και το στοιχείο που τον καθοδηγεί είναι το κλάσμα τήξης. Έτσι μετά την $(k+1)$ επανάληψη της αριθμητικής λύσης της εξίσωσης της ενθαλπίας του κόμβου P μπορεί να επαναπροσδιοριστεί:



ΣΧΗΜΑ 5.2 Διδιάστατο μητρώο [1]

Αν η αλλαγή φάσης συμβαίνει στον κόμβο P (π.χ. $0 \leq f \leq 1$) ο $(k+1)$ εκτιμά το κλάσμα τήξης που χρειάζεται να αναβαθμιστεί έτσι ώστε η αριστερή πλευρά της εξίσωσης να μηδενιστεί. π.χ.

Έτσι η εξίσωση μπορεί να τροποποιηθεί:

Το νέο κλάσμα τήξης από την εξίσωση εφαρμόζεται σε κάθε κόμβο μετά τη $(k+1)$ λύση της εξίσωσης για την αισθητή ογκομετρική ενθαλπία (h) μαζί με την κατάλληλη διόρθωση (εμπρός ή πίσω) π.χ.

Περισσότερες λεπτομέρειες που αφορούν την αριθμητική εφαρμογή της παρούσας μεθόδου ενθαλπίας μπορεί να βρεθεί στη σχετική βιβλιογραφία. Η σύγκλιση σε δεδομένο χρονικό βήμα επιτυγχάνεται όταν η διαφορά στη συνολική ενθαλπία πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο ανοχής.

Οι Sharma et al και ο Chen ανέπτυξαν ένα διδιάστατο θεωρητικό μοντέλο βασισμένο στο σχηματισμό ενθαλπίας για τον προσδιορισμό της τηκόμενης διεπιφάνειας των ΥΑΦ. Τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των διάφορων υλικών των εναλλακτών θερμότητας δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 Θερμοφυσικά χαρακτηριστικά διάφορων υλικών δοχείων [1]

Name of material	Thermal conductivity (W/m °C)	Density (kg/m ³)	Specific heat (kJ/kg °C)
Glass	0.78	2700	0.840
Stainless steel	7.7	8010	0.500
Tin	64	7304	0.226
Aluminum mixed	137	2659	0.867
Aluminum	204	2707	0.896
Copper	386	8954	0.383

Για να αναλύσουμε την απόδοση των συστημάτων αποθήκευσης με ΥΑΦ οι συγγραφείς μελετούν την επίδραση των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των ΥΑΦ κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τήξης στο κλάσμα τήξης. Ένα πλέγμα 32*32 (2mm*2mm) με χρονικό βήμα 20s χρησιμοποιήθηκε, όταν το πλέγμα για τα ΥΑΦ ήταν 30*30. Τα ΥΑΦ θεωρήθηκαν 5°C λιγότερο από τη θερμοκρασία τήξης και η θερμοκρασία του θερμαινόμενου τοίχου ρυθμίστηκε 15°C υψηλότερα από τη θερμοκρασία τήξης. Υπολογισμοί έγιναν για να μελετήσουμε την επίδραση των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των διαφορετικών ΥΑΦ με διαφορετικού τύπου υλικά εναλλάκτη θερμότητας στην απόδοση των συστημάτων αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας.

Οι Sharma et al., επίσης, όπως θα δούμε και παρακάτω, διεξήγαγαν μια έρευνα για να μελετήσουν τις επιδράσεις των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών στα υλικά εναλλακτών θερμότητας στη θερμική απόδοση του συστήματος αποθήκευσης. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η θερμική αγωγιμότητα, η ειδική θερμότητα και η πυκνότητα των υλικών του δοχείου εναλλάκτη θερμότητας αυξάνονται με το πέρασμα του χρόνου καθώς το ΥΑΦ κατά την τήξη μειώνεται. Τα συμπεράσματα της παραπάνω αναφοράς δίνονται παρακάτω:

1. Η επιλογή της θερμικής αγωγιμότητας των υλικών των δοχείων εναλλακτών θερμότητας και η ωφέλιμη θερμική αγωγιμότητα των ΥΑΦ είναι πολύ σημαντική καθώς αυτές οι παράμετροι έχουν επίδραση στο κλάσμα τήξης.
2. Καθώς η θερμική αγωγιμότητα των υλικών των δοχείων αυξάνει, ο απαιτούμενος χρόνος για την πλήρη τήξη των ΥΑΦ μειώνεται.
3. Η επίδραση του πάχους των υλικών των δοχείων των εναλλακτών θερμότητας στο κλάσμα μάζας είναι άμεσα σημαντική.
4. Η αρχική θερμοκρασία του ΥΑΦ δεν έχει πολύ σημαντική επιρροή στο κλάσμα τήξης ενώ η θερμοκρασία του ορίου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τήξης και έχει δυνατή επίδραση στο κλάσμα μάζας.

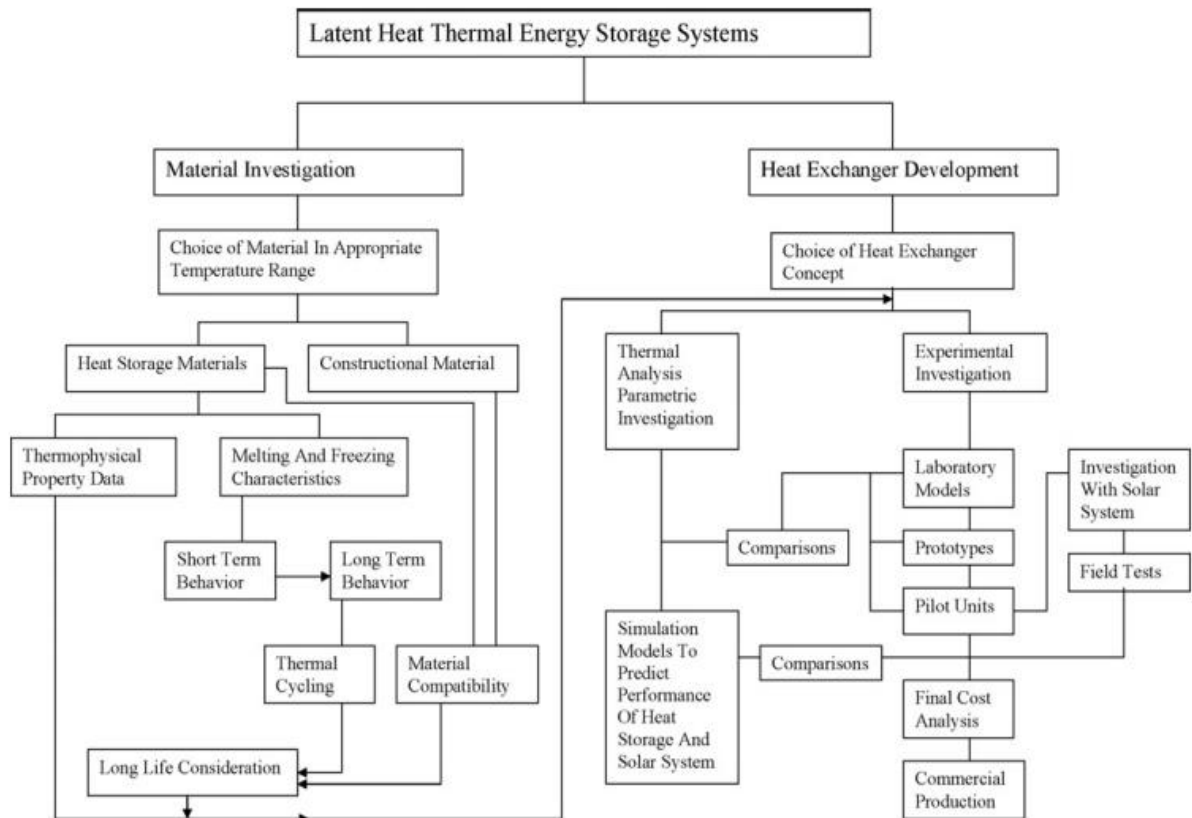
Τελικά από τα θεωρητικά αποτελέσματα μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι για το σύστημα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας, η παράμετρος σχεδίασης των υλικών των δοχείων εναλλακτών θερμότητας πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά για να βελτιστοποιήσουμε την απόδοση του συστήματος αποθήκευσης. Η υψηλότερη τιμή της θερμικής αγωγιμότητας του υλικού του δοχείου δε συνεισφέρει σημαντικά στο κλάσμα τήξης εκτός από τις πολύ χαμηλές θερμικές αγωγιμότητες.

5.3.3 Αποθήκευση Θερμοχημικής Ενέργειας

Τα θερμοχημικά συστήματα βασίζονται στην ενέργεια που απορροφάται και απελευθερώνεται στο «σπάσιμο» και στην αναδημιουργία μοριακών δεσμών σε μια απολύτως αντιστρέψιμη χημική αντίδραση. Σε αυτή την περίπτωση η θερμότητα που αποθηκεύεται εξαρτάται από την ποσότητα του υλικού αποθήκευσης, το πόσο ενδόθερμη είναι η αντίδραση και το όριο της μετατροπής.

(5.17)

Από τις παραπάνω τεχνικές αποθήκευσης θερμότητας, η λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας είναι ιδιαίτερα ελκυστική λόγω της ικανότητας της να παρέχει υψηλή πυκνότητα ενεργειακής αποθήκευσης και να αποθηκεύει θερμότητα σε σταθερή θερμοκρασία που ανταποκρίνεται στην θερμοκρασία αλλαγής φάσης των υλικών αλλαγής φάσης. Στα επόμενα κεφάλαια θα δούμε αναλυτικά την έρευνα και την ανάπτυξη των ΥΑΦ στο πέρασμα των τελευταίων χρόνων, τις κατηγορίες στις οποίες τα κατατάσσουμε, τις ιδιότητες τους καθώς και τα κριτήρια επιλογής τους, ενώ θα εστιάσουμε και στις εφαρμογές τους δίνοντας όμως έμφαση στις κτιριακές εφαρμογές που μας ενδιαφέρουν.



ΣΧΗΜΑ 5.3 Διάγραμμα Ροής που παρουσιάζει τα διάφορα στάδια που εμπλέκονται σε ένα σύστημα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. [2]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] <http://www.seas.upenn.edu/~meam502/project/reviewexample2.pdf>
- [2] <http://www.sustainablehealthybuildings.org/PDF/4th/korean/5.pdf>
- [3] <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic260272.files/Group07.PhaseChangeMaterials.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Ιστορική Αναδρομή στην Έρευνα και την Υλοποίηση των ΥΑΦ

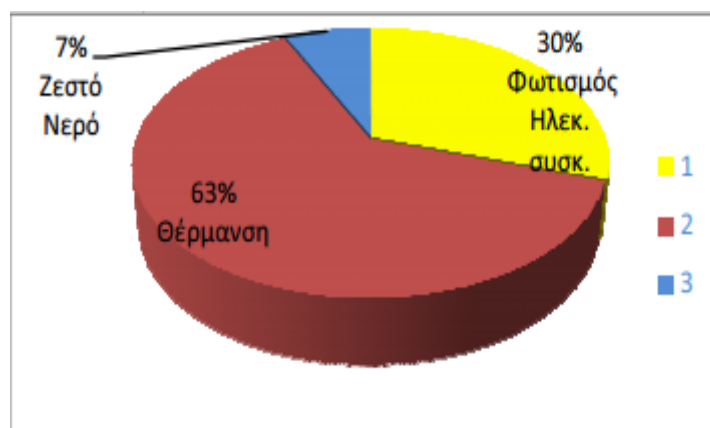
6.1 Προσανατολισμός προς τη Λανθάνουσα Αποθήκευση Θερμότητας [1], [2], [4]

Η διακυβερνητική επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών στην αλλαγή κλίματος που αποτελείται πάνω από 300 κορυφαίους επιστήμονες δήλωσε στη διάσκεψη του 1992 σχετικά με την αλλαγή κλίματος ότι, για να «παγώσει» το επίπεδο εκπομπών του CO₂ μέχρι το έτος 2005, μια μείωση της τάξης του 60% όλων των καυσίμων που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να εφαρμοστεί.

Αυτό αντιπροσωπεύει μια ιδιαίτερη αλλαγή στον τρόπο που τα καύσιμα χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή με πάνω από 50% των καυσίμων να χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία και την θέρμανση κτιρίων εκ των οποίων το 60% των εκπομπών προκαλείται από τη θέρμανση και το φωτισμό των κατοικημένων ιδιοκτησιών. Κατά συνέπεια, ιδιαίτερη χρηματοδότηση λαμβάνει χώρα για την ανάπτυξη της ανανεώσιμης ενέργειας που χρησιμοποιείται και στα κατοικήσιμα και στα εμπορικά κτίρια. Επιπλέον, το τμήμα περιβάλλοντος σχεδιάζει προς το παρόν τις πολιτικές για να συντηρήσει τα καύσιμα και την ενέργεια εν μέγω όλων των μελλοντικών εξελίξεων οικοδόμησης.

Τα τελευταία 30 έτη, η έρευνα στα υλικά λανθάνουσας ενέργειας για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας έχει αναπτυχθεί ραγδαία. Μέσω του μεγάλου ερευνητικού προγράμματος που εκτελείται από πολλές ευρωπαϊκές χώρες συμπεριλαμβανομένων των ΗΠΑ και της Ιαπωνίας που οδηγούν τις εξελίξεις όπως θα δούμε αναλυτικά παρακάτω, η λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας έχει γίνει επιστημονικά αποδεκτή ώστε να γίνεται λόγος για την αποθήκευση της ανανεώσιμης ενέργειας για τη θέρμανση τόσο των κατοικιών όσο και των εμπορικών κτιρίων.

Ο λόγος για αυτές τις έρευνες και την ανάπτυξη είναι προς απάντηση στην ανάγκη για περισσότερες ενεργειακές συνειδητές μορφές θέρμανσης, μειώνοντας γρήγορα τα αποτελέσματα της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Άλλες τέτοιες εξελίξεις στον κλάδο της ανανεώσιμης ενέργειας περιλαμβάνουν τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας, την αξιοποίηση της βιομάζας και της γεωθερμικής ενέργεια που διαμορφώνουν μια βάση για τις μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες.



ΣΧΗΜΑ 6.1 Κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα. (Ημερίδα Ενέργεια και κλίμα Πράσινες απαντήσεις στη κλιματική κρίση. Ηράκλειο 2009) [3]

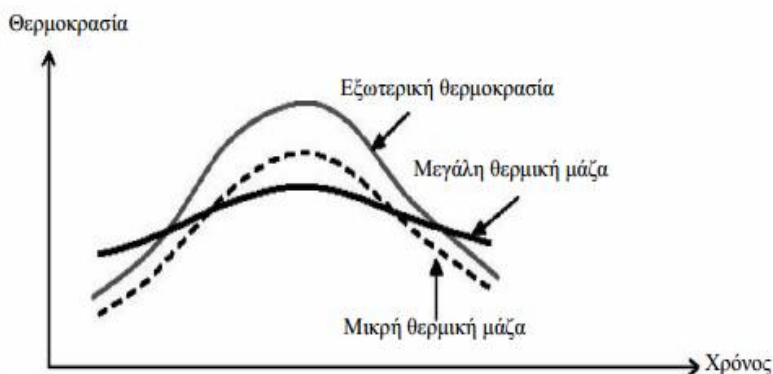
Από όλες τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν στην αποθήκευση θερμότητας, η λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας βρέθηκε να είναι το ευνοϊκότερο μέσο αποθήκευσης λόγω της μεγάλης ικανότητας να αποθηκεύσει τη θερμότητα.

Το κύριο εμπόδιο οποιασδήποτε ηλιακής συσκευής σχεδιασμένη να παρέχει θέρμανση σε μια κατοικία είναι η ανάγκη να αποθηκευτεί η ενέργεια θερμότητας που συλλέγεται σε μεταγενέστερο στάδιο. Η λανθάνουσα ενεργειακή αποθήκευση θερμότητας παρέχει ένα πρακτικό μέσο για χρήση τη νύχτα ή όποτε προκύπτει ανάγκη της συλλεχθείσας ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Τα λανθάνοντα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης θερμότητας που αποτελούνται από τα υλικά αλλαγής φάσης (PCM), αποτέλεσαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον πολλών επιστημόνων που ασχολούνται με τον τομέα της ηλιακής ενέργειας λόγω των μεγάλων συγκεκριμένων λανθανουσών ιδιοτήτων θερμικής χωρητικότητας, έναντι άλλων δομικών υλικών.

Αυτό μπορεί να αποδειχθεί σε σύγκριση με το σκυρόδεμα που διαθέτει μια ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας $0,784 \text{ kWh/m}^3$, ενώ ενός τυπικού ΥΑΦ κυμαίνεται μεταξύ 38 έως 105 kWh/m^3 κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης. Επομένως τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης που ενσωματώνουν το ΥΑΦ περιλαμβάνουν σημαντικά μικρότερους όγκους όταν συγκρίνονται με τα εναλλακτικά υλικά που αποθηκεύουν μόνο τη αισθητή θερμότητα.

Η θερμοχωρητικότητα (θερμική μάζα) των δομικών στοιχείων και υλικών που απαρτίζουν ένα κτίριο επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη θερμική συμπεριφορά και την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου. Με την *ενσωμάτωση Υλικών Αλλαγής Φάσης* στα δομικά υλικά επιτυγχάνεται αύξηση της θερμικής μάζας ενός κτιρίου. Την άνοιξη ή το φθινόπωρο η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί παθητικά με την αποθήκευση της ηλιακής ακτινοβολίας στα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η αυξημένη θερμική μάζα μπορεί να αποτρέψει την αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας πάνω από τα επίπεδα άνεσης ενώ κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και κατά τους χειμερινούς μήνες. Σε κάθε περίπτωση ως αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης υλικών αλλαγής φάσης στα δομικά υλικά προκύπτει μείωση της διακύμανσης της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων.



ΣΧΗΜΑ 6.2 Επίδραση της θερμικής μάζας στην ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση στο εσωτερικό κτιρίων (International Energy Agency – Annex 17) [3]

6.2 Τα ΥΑΦ ως Αντικείμενο Έρευνας [5]

Τα ΥΑΦ έχουν ληφθεί υπόψη για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας στα κτίρια από το 1980. Ενσωματώνοντας τα ΥΑΦ στις γυψοσανίδες, στο πλαστικό, στο μπετό ή σε άλλα δομικά υλικά, η αποθήκευση θερμικής ενέργειας γίνεται μέρος της κτιριακής δομής και συν τοις άλλοις χρησιμεύει στο να καθιστά το κτίριο πιο ελαφρύ. Με την ενσωμάτωση των ΥΑΦ σε γυψοσανίδες, επιχρίσματα τοιχοποιίας, τσιμέντο και άλλα δομικά στοιχεία έγινε προσπάθεια να ενισχυθεί ο ρόλος των δομικών υλικών ενός κτιρίου στην εξοικονόμηση ενέργειας. Μέχρι και το 2008 οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονταν στην ενσωμάτωση των ΥΑΦ σε γυψοσανίδες. Πολλοί τύποι αυτών των υλικών χρησιμοποιήθηκαν και

ενσωματώθηκαν ποικιλοτρόπως. Παρόλα αυτά η χρήση των ΥΑΦ σε μορφή μικροκάψουλας παρουσίαζε τα περισσότερα πλεονεκτήματα και είχε γίνει η πλέον ενδεδειγμένη. Σήμερα οι έρευνες στρέφονται και σε άλλες κατευθύνσεις μιας και η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς.

Οι Koschenz et al. περιέγραψαν την ανάπτυξη ενός θερμικού πλαισίου ενσωματωμένου στο ταβάνι. Το σχέδιο για τα νέα πάνελ οροφής εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες της παραφίνης σαν ΥΑΦ. Η υψηλή θερμική αποθηκευτική του ικανότητα κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης –(πάνω από $300\text{Wh/m}^2 \text{ day}$) – κάνει το συνολικό πάχος του πάνελ να περιοριστεί σε μόλις 5cm. Οι υπολογισμοί προσομοίωσης και οι εργαστηριακές δοκιμές έγιναν για να δείξουν ότι ένα στρώμα ενθυλακωμένων ΥΑΦ πάχους 5cm (25% κατά βάρος) και ο γύψος αρκούν για να διατηρήσουν μια άνετη θερμοκρασία δωματίου σε τυπικά κτίρια γραφείων.

Οι Ahmad et al. περιέγραψαν την κατασκευή της τοιχοποιίας από εμπορικά πάνελ για να μειώσουν τα έξοδα επένδυσης, μετά τις γυψοσανίδες που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη προσπάθεια. Οι απαραίτητες προϋποθέσεις ήταν να αποκτήσουμε ένα πάχος τοίχου λιγότερο από 5cm και να διαλέξουμε εμπορικά ελαφριά πάνελ με σκοπό να ελαχιστοποιήσουμε την επένδυση. Για να εκμεταλλευτούμε την υψηλή αποθηκευτική ικανότητα θερμότητας, αυτά τα πάνελ ήταν γεμάτα με ΥΑΦ, πρώτα με κοκκία παραφίνης και μετά με PEG600.

Οι Halawa et al. ανέπτυξαν την αριθμητική ανάλυση της τήξης και της πήξης ενός κομματιού αποθήκευσης θερμότητας με ΥΑΦ με κυμαινόμενη θερμοκρασία τοίχου. Η θερμική μονάδα αποθήκευσης αποτελείτο από αρκετά στρώματα από λεπτές πλάκες ΥΑΦ. Οι πλάκες τέθηκαν σε συνθήκες αγωγής καθώς ο αέρας έρεε μεταξύ των πλακών. Η τήξη ή η πήξη των ΥΑΦ μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια: α) κατά κύριο λόγο στην ανταλλαγή αισθητής θερμότητας, όπου η μεγαλύτερη μεταφορά θερμότητας λαμβάνει χώρα, β) στην ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας με σχεδόν σταθερό ρυθμό και γ) στην ανταλλαγή αισθητής θερμότητας με πολύ χαμηλό ρυθμό μεταφοράς.

Οι Xu et al. υποστήριξαν ότι τα ΥΑΦ σταθεροποιημένου σχήματος (SSPCM) έχουν τα ακόλουθα εξέχοντα χαρακτηριστικά: μεγάλη ειδική θερμότητα για το εύρος της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης και κατάλληλη θερμική αγωγιμότητα. Ένα μοντέλο ανάλυσης της θερμικής απόδοσης αυτών των υλικών αναπτύσσεται στο δάπεδο για να εξετάσουμε την επιρροή των διάφορων παραγόντων στη θερμική απόδοση του δωματίου. Η ανάλυση οδηγεί στα εξής συμπεράσματα : α) με σκοπό να μειώσουμε την κύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας αέρα, η κατάλληλη θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ είναι σχεδόν ίση με τη μέση εσωτερική θερμοκρασία αέρα των χειμερινών ημερών με ήλιο, β) η διάχυση θερμότητας και η θερμική αγωγή των ΥΑΦ θα έπρεπε να ήταν μεγαλύτερη από 120 kJ/kg και $0,5\text{W/mK}$ αντίστοιχα, γ) το πάχος των πλακών από αυτό το υλικό κάτω από το δάπεδο δε θα έπρεπε να ξεπερνά τα 20mm, δ) το πλακάκι ή το μέταλλο είναι καλύτερα από το ξύλο σαν υλικό κάλυψης και ε) το κενό αέρα μεταξύ των πλακών ΥΑΦ και το δάπεδο θα έπρεπε να είναι όσο το δυνατό μικρότερο.

Οι Weinlader et al. διαπίστωσαν ότι οι διπλοί υαλοπίνακες συνδυασμένοι με ΥΑΦ οδηγούν σε πιο φωτεινά στοιχεία με υποσχόμενες ιδιότητες. Μεταφορά φωτός εύρους 0,4 μπορεί να επιτευχθεί με τέτοια πάνελ πρόσοψης. Συγκρινόμενα με διπλούς υαλοπίνακες χωρίς ΥΑΦ, ένα πάνελ πρόσοψης με ΥΑΦ παρουσιάζει περίπου 30% λιγότερες απώλειες θερμότητας στις νότιες προσανατολισμένες προσόψεις. Επιπλέον τα ηλιακά θερμικά κέρδη μειώνονται κατά 50%. Σαν αποτέλεσμα τα πάνελ πρόσοψης με ΥΑΦ είναι ένα καλό πρόσθετο στα συμβατικά παράθυρα. Τα πάνελ πρόσοψης με ΥΑΦ είναι καλύτερα εγκαταστημένα σε μέρη όπου καθόλου οπτική επαφή με το περιβάλλον δε χρειάζεται, παρέχουν ομοιογενή φωτισμό και θερμική απόδοση με πολύ χαμηλές θερμικές απώλειες.

Οι Shilei et al. περιέγραψαν το σχηματισμό ενώσεων αλλαγής φάσης στην τοιχοποιία σε συνδυασμό με γυψοσανίδες με ΥΑΦ. Αντιπαραθέτοντας το αποτέλεσμα στο εσωτερικό θερμικό περιβάλλον ανάμεσα στον τοίχο αλλαγής φάσης και τον κανονικό τοίχο δωματίου σε μια χειμερινή περίοδο δοκιμής, μπορεί να αποδειχθεί ότι οι τοίχοι αλλαγής φάσης μπορούν να εξασθενήσουν την εσωτερική διακύμανση του αέρα, να μειώσουν τη μεταφορά της θερμότητας στον εξωτερικό αέρα και να βελτιώσουν την εσωτερική θερμική άνεση διατηρώντας τη ζέστη. Επιπλέον το δωμάτιο με τοίχο αλλαγής φάσης μειώνει την κλίμακα του

απαιτούμενου εξοπλισμού θέρμανσης και του σχετικού κόστους επένδυσης και έτσι παίζει το ρόλο της «απομάκρυνσης των αιχμών» στην ζήτηση ηλεκτρισμού. Επομένως η εφαρμογή των τοίχων με ΥΑΦ στα δωμάτια είναι ιδιαίτερα επωφελής στον τομέα της διατήρησης της κτιριακής ενέργειας.

Οι De Grassia et al. προσπάθησαν να εκτιμήσουν το κέρδος από την εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται μέσω της ενσωμάτωσης των ΥΑΦ μέσα σε τοίχους σε μια σημαντική προσπάθεια να ποσοτικοποιήσουν τα πλεονεκτήματα άνεσης που μπορούν να προέλθουν από τη χρήση τέτοιων υλικών. Τα αποτελέσματα που πήραμε παρέχουν επιπρόσθετες πληροφορίες υποστήριξης όταν προσπαθούμε να ερμηνεύσουμε τη χρονική δυναμικότητα της ανταλλαγής θερμότητας. Από μια εμπειρική άποψη, η χρήση μοντέλου αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για να επαληθεύσουμε την παρουσία των ΥΑΦ μέσα στους τοίχους και τη συνεισφορά τους στην βελτίωση των συνθηκών άνεσης στα κτίρια.

Οι Carbonari et al. περιγράφουν ένα πεπερασμένο στοιχείο αριθμητικού αλγορίθμου για την προσομοίωση διδιάστατων προβλημάτων μεταφοράς θερμότητας με αλλαγή φάσης συγκρίνοντας τα αριθμητικά αποτελέσματα με τα αντίστοιχα πειραματικά τα οποία προέρχονται από δοκιμές που έχουν διεξαχθεί σε δυο διαφορετικά είδη πάνελ που περιέχουν ΥΑΦ. Η προσέγγιση που πηγάζει από τα αριθμητικά αποτελέσματα φαίνεται ότι μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ δυνατό εργαλείο για οποιοδήποτε είδος δομικού στοιχείου που περιέχει ΥΑΦ. Η δοκιμή των υλικών αλλαγής φάσης στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων έχει δείξει ότι η χρήση ΥΑΦ μπορεί να είναι χρήσιμη για την εξομάλυνση της θερινής συμπεριφοράς των ελαφριών κελυφών χάρη στη δυνατότητα απορρόφησης της εισερχόμενης θερμικής ροής. Αυτό συμβαίνει σταθεροποιώντας τη θερμοκρασία στο ενδιάμεσο στρώμα του τοίχου σε τιμές που συμπίπτουν με τη θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ.

Οι Darkwa et al. περιγράφουν την αποτελεσματικότητα της ενσωμάτωσης των ΥΑΦ στα υλικά των κτιρίων για να ελαχιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας και την απελευθέρωση εκπομπών CO₂ στον κτιριακό τομέα. Για να εκτιμήσουμε τη θερμική αποτελεσματικότητα αυτής της ιδέας, σύνθετα δείγματα γυψοσανίδας με ΥΑΦ έχουν εφαρμοστεί σε ένα παθητικό μοντέλο ηλιακού κτιρίου. Συμπεράναν ότι ο χωρισμένος σε στρώματα τοίχος, με μια στενή περιοχή αλλαγής φάσης, είναι πιο αποτελεσματικός στη ρύθμιση της νυχτερινής θερμοκρασίας σε ένα παθητικά σχεδιασμένο δωμάτιο.

Οι Huang et al. συνοψίζουν τα αποτελέσματα μιας λεπτομερής θεωρητικής έρευνας και ανάλυσης της αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Σε αυτήν επιτυγχάνεται θερμοκρασιακός έλεγχος χρησιμοποιώντας παθητικά στοιχεία στην κατασκευή κτιρίων που περιέχουν ΥΑΦ. Οι προβλέψεις ορίζουν τις επιδράσεις της χρήσης διάφορων ποσοτήτων διαφορετικών ΥΑΦ με θερμοκρασίες αλλαγής φάσης μεταξύ 28 και 43°C που ενσωματώθηκαν σε μια ποικιλία τοίχων για επιλεγμένες ατμοσφαιρικές συνθήκες θερμοκρασίας και μόνωσης. Σαν αποτέλεσμα συγκριτικές αναλύσεις συστημάτων τοίχων με κοιλότητες παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα χρήσης της λανθάνουσας θερμότητας και των συστημάτων αποθήκευσης για παθητικό ενεργειακό σχεδιασμό ηλιακών κτιρίων.

Οι Ahmad et al. παρουσιάζουν την απόδοση ενός κελιού-δοκιμής σε μια νέα δομή ελαφριών τοίχων που περιέχουν ΥΑΦ. Οι τοίχοι υπόκεινται σε κλιματική κύμανση και γίνεται σύγκριση με ένα κελί-δοκιμής χωρίς ΥΑΦ. Για να βελτιώσουμε την απόδοση της τοιχοποιίας, ένα πάνελ κενής μόνωσης σχετίστηκε με το πάνελ με ΥΑΦ. Καθώς τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να κατασκευαστεί με κοινώς διαθέσιμα υλικά και εξοπλισμό, η βελτιστοποίηση της χρήσης της ηλιακής συνεισφοράς παραμένει ένα ουσιώδες στοιχείο των προβλημάτων των τρεχόντων ερευνών.

Οι Zhang et al. ερευνούν την εφαρμογή των SSPCM (υλικά αλλαγής φάσης σταθεροποιημένου σχήματος) στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και έφτασαν στα ακόλουθα συμπεράσματα. α) Χρησιμοποιώντας διαφορετική παραφίνη, η θερμοκρασία τήξης των SSPCM μπορεί να προσαρμοστεί, β) για τα δάπεδα ή τους τοίχους από ΥΑΦ που απορροφούν ηλιακή ενέργεια για να μειώσουν τη θερμοκρασιακή κύμανση σε μια χειμερινή μέρα, η κατάλληλη θερμοκρασία τήξης των ΥΑΦ πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερη από τη μέση εσωτερική θερμοκρασία του δωματίου χωρίς ΥΑΦ κατά την περίοδο της ηλιοφάνειας και γ) το στρώμα ΥΑΦ που χρησιμοποιείται στην προαναφερθείσα εφαρμογή δεν πρέπει να ξεπερνά τα 2cm.

Οι Cabeza et al. μελετούν τις θερμικές εκδοχές ενός νέου καινοτόμου μπετόν με ΥΑΦ. Η έρευνα περιλαμβάνει την κατασκευή και την πειραματική εγκατάσταση δυο πλήρους μεγέθους κυψελίδων για να μελετήσουν την επίδραση της συμπερίληψης ενός ΥΑΦ με σημείο τήξης τους 26°C. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν η αποθήκευση ενέργειας στους τοίχους που περιέχουν ΥΑΦ και η σύγκριση με συμβατικό μπετόν χωρίς ΥΑΦ οδηγεί σε μια βελτιωμένη θερμική αδράνεια καθώς και σε μια χαμηλότερη εσωτερική θερμοκρασία.

Οι Kuznik et al. περιγράφουν την πειραματική έρευνα που διεξήχθη γύρω από ένα τοίχο με νέο υλικό αλλαγής φάσης για να βελτιώσουν τη θερμική συμπεριφορά του εφόσον αποτελεί μέρος του εσωτερικού μιας ελαφριάς κατασκευής κτιρίου. Τα ΥΑΦ μειώνουν τη διακύμανση της θερμοκρασίας αέρα δωματίου και ιδιαίτερα κατά την υπερθέρμανση. Αριθμητικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για να ερευνήσουν τη θερμική αποθήκευση ενός τοίχου 5mm με ΥΑΦ. Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ο υπό μελέτη τοίχος φάνηκε να διπλασιάζει την ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί και να απελευθερωθεί.

Οι Zhou et al. περιγράφουν την εφαρμογή των ΥΑΦ σε γυψοσανίδες και των πλακών από SSPCM (υλικά αλλαγής φάσης σταθεροποιημένου σχήματος) σε ένα κτίριο για παθητική ηλιακή θέρμανση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι : α) οι ενώσεις με ΥΑΦ, με ένα στενό εύρος μετάβασης φάσης, παρέχουν καλύτερη θερμική απόδοση, β) και οι δυο τύποι που αναφέρθηκαν εξοικονομούν αποτελεσματικά την εσωτερική διακύμανση της θερμοκρασίας κατά 46% και 56% αντίστοιχα και γ) οι SSPCM πλάκες ανταποκρίνονται πιο γρήγορα από ότι ο σύνθετος τύπος γυψοσανίδας με ΥΑΦ και αποδεικνύονται θερμικά πιο αποτελεσματικές στα πλαίσια χρήσης της λανθάνουσας θερμότητας.

Οι Xiao et al. περιγράφουν την εγκαθίδρυση ενός απλοποιημένου θεωρητικού μοντέλου για να βελτιστοποιήσουν ένα εγκυβωτισμένο ΥΑΦ για την αποθήκευση ενέργειας σε ένα ελαφρύ παθητικό ηλιακό δωμάτιο. Αναλυτικές εξισώσεις παρουσιάζονται για να υπολογίσουν την βέλτιστη θερμοκρασία αλλαγής φάσης και το συνολικό ποσό της χωρητικότητας της λανθάνουσας θερμότητας και να εκτιμήσουν το όφελος του εγκυβωτισμένου ΥΑΦ για αποθήκευση ενέργειας. Τα αναλυτικά αποτελέσματα έδειξαν ότι: α) η ιδανική θερμοκρασία αλλαγής φάσης εξαρτάται από τη μέση εσωτερική θερμοκρασία αέρα και την απορροφημένη ακτινοβολία από τα πάνελ ΥΑΦ, β) τα εγκυβωτισμένα ΥΑΦ έχουν μικρή επίδραση στη μέση εσωτερική θερμοκρασία, γ) η ομαλοποίηση της εσωτερικής διακύμανσης της θερμοκρασίας αέρα εξαρτάται από το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας του προϊόντος της επιφάνειας και την επιφάνεια των πάνελ ΥΑΦ σε ένα ελαφρύ παθητικό ηλιακό δωμάτιο.

Οι Zhou et al. ερευνούν την επίδραση των SSPCM πλακών (πλάκες από υλικά αλλαγής φάσης σταθεροποιημένου σχήματος) συνδυασμένων με νυχτερινό αερισμό το καλοκαίρι. Τα αποτελέσματα τους δείχνουν ότι οι πλάκες από SSPCM θα μπορούσαν να μειώσουν την καθημερινή μέγιστη θερμοκρασία πάνω από 2°C εξαιτίας της αποθήκευσης κρύου κατά τη νύχτα.

Οι Darkwa et al. μελετούν την ανάπτυξη μιας φυλλωτής ένωσης σε γυψοσανίδα από αλουμίνιο/ ΥΑΦ μαζί με δεκαεξάνιο βασισμένης σε προηγούμενη αναλυτική έρευνα. Η έρευνα έδειξε ότι αν και η αποτελεσματική θερμική ικανότητα μειώθηκε κατά 25% σε σύγκριση με το καθαρό δεκαεξάνιο, κάποια από τα τεχνολογικά και τεχνικά φράγματα που σχετίζονταν με την ανάπτυξη των συστημάτων με ενώσεις ΥΑΦ σε ελάσματα για τις γυψοσανίδες μπορούν να ξεπεραστούν.

Οι Castellon et al. παρουσιάζουν το κατά πόσο είναι εφικτή η χρήση ενθυλακωμένων ΥΑΦ σε αντικριστά πάνελ για αύξηση της θερμικής αδράνειας και τη μείωση της τελικής ενεργειακής ζήτησης των κτιρίων.

6.3 Εξέλιξη της Αποθήκευσης της Θερμικής Ενέργειας και Εφαρμογές [1]

Στα υλικά αλλαγής φάσης όμως όπως είπαμε φτάσαμε από την ανάγκη αποθήκευσης της λανθάνουσας θερμότητας. Παρακάτω θα δούμε την εξέλιξη της θερμικής αποθήκευσης αξιοποιώντας την αλλαγή φάσης και τα βήματα που γίνονταν καθώς και τις εφευρέσεις που ενσωμάτωναν υλικά αλλαγής φάσης και χρησιμοποιούνταν σε μεγάλη γκάμα εφαρμογών.

Η αρχή της θερμικής αποθήκευσης σε πάγο για τη διατήρηση αντικείμενων σε μια σταθερή χαμηλή θερμοκρασία είναι αρκετά παλιά. Η χρήση του πάγου ως υλικό αλλαγής φάσης ήταν ένα από τα πρώτα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν. Σπίτια πάγου χτίστηκαν ενσωματώνοντας μεγάλα κομμάτια πάγου κομμένα από τους παγωμένους ποταμούς κατά τη χειμερινή περίοδο και περιελάμβαναν μέσα τους μόνωση πριονιδιού για να παρέχουν τον πάγο προς χρήση στις περιόδους άνοιξης.

Η βιομηχανία τροφίμων, επίσης, έχει χρησιμοποιήσει τις αρχές της θερμικής αποθήκευσης για να διατηρήσει τα προϊόντα τροφίμων σε μια ελεγχόμενη χαμηλή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και της αποθήκευσης. Αυτά τα συστήματα που ονομάζονται «συσσωρευτές κρύου» (cold accumulators) ή «ψυχόμενες πλάκες» (cooling plates) αποτελούνται από επίπεδα μεταλλικά δοχεία γεμισμένα με χαμηλής θερμοκρασίας παγωμένα μίγματα αλάτων που λιώνουν.

Τα εν λόγω άλατα έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης μέσα σε πλαστικά δοχεία για φαρμακευτικά είδη και σε όλη τη βιομηχανία νοσοκομείων για να κρατήσουν τις χημικές ουσίες και τα φάρμακα σε μια ελεγχόμενη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Το κύριο ΥΑΦ που υιοθετήθηκε για τις εφαρμογές χαμηλής θερμοκρασίας ήταν ανόργανα μίγματα αλάτων, όπως τα θειικά άλατα του μαγνησίου και του νατρίου, του καλίου, της αμμωνίας, του ασβεστίου, ή των χλωριδίων μαγνησίου.

Μόλις συνειδητοποιήσαν οι επιστήμονες τη δυνατότητα εφαρμογής της τεχνολογίας αλλαγής φάσης στις καταστάσεις χαμηλής θερμοκρασίας, έρευνα διεξήχθη για να βρεθούν υλικά αλλαγής φάσης με υψηλότερες θερμοκρασίες τήξης για εφαρμογές θέρμανσης.

Σε αυτή τη φάση οι επιστήμονες στράφηκαν περισσότερο στη δυνατότητα χρησιμοποίησης αυτών των υλικών για τους γενικούς καταναλωτές, σε αντιδιαστολή με τα τεχνολογικά προηγμένα συστήματα. Η πρόωρη έρευνα περιελάμβανε ζεστά πιάτα για τους ξενοδόχους και τους ιδιοκτήτες εστιατορίων για την αποθήκευση των τροφίμων κατά τη διάρκεια εξυπηρέτησης των πελατών. Κάτι αντίστοιχο ήταν και η εφεύρεση των ζεστών μπουκαλιών και ρουχισμού επιβίωσης για στρατιωτικούς κυρίως σκοπούς. Ένα τέτοιο σύστημα εφευρέθηκε από τον Bowen προς το τέλος της δεκαετίας του 1940 το οποίο ήταν ένα θεραπευτικό μαξιλάρι και περιέχει μεταβολικό άλας του νατρίου ως θερμικό μέσο.

Ένα παρόμοιο σύστημα αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε από τον D.E.Truelock αποτελούμενο από δύο συσκευές βασισμένες στις ίδιες αρχές αλλά ενσωματώνοντας διαφορετικά ΥΑΦ. Η γενική ιδέα ήταν να παραχθεί ένα προϊόν το οποίο όταν ενεργοποιείται να απελευθερώνει την αποθηκευμένη θερμότητα.

Το πρώτο προϊόν που κυκλοφόρησε αποτελούμενο από ένα κρύο πακέτο αναπτύχθηκε για χρήση από τους αθλητές και τα νοσοκομειακά ιδρύματα για να μειώσει το επίπεδο διόγκωσης και μωλωπισμού στα τραυματισμένα άτομα που είχαν εμπλακεί σε ατύχημα. Το προϊόν αποτελείται από μια πλαστική τσάντα δύο μερών· το ένα μέρος περιέχει ένα ΥΑΦ χαμηλής θερμοκρασίας που σταθεροποιείται σε μια κατάσταση πολύ κρύα, ενώ το άλλο από ένα υλικό αντίδρασης. Η συσκευή ενεργοποιείται όταν η μεμβράνη που χωρίζει τα δύο υλικά σπάει αναγκάζοντας τα να αναμειχθούν με συνέπεια την κρυστάλλωση, απελευθερώνοντας όλη την αποθηκευμένη ενέργεια.

Ομοίως το πακέτο θερμότητας αποτελείτο από το ίδιο σύστημα αλλά είχε εμποτισθεί με ΥΑΦ σε υψηλότερο σημείο τήξης. Τα ζεστά πακέτα έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στον τομέα επιβίωσης συμπεριλαμβανομένων των στρατιωτικών τμημάτων μαζί με τους εξερευνητές που εκτίθενται σε παρατεταμένες κρύες περιόδους.

Η εφεύρεση των «ζεστών μπουκαλιών» που βρέθηκε από τους Crooker και Othmer χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα για πολλά χρόνια και στη συνέχεια αναπτύχθηκε ως μορφή φιάλης, τα γνωστά σε όλους μας πλέον θερμό. Τα συστήματα που αποτελούνταν από ΥΑΦ οξικού νατρίου και θειικού άλατος αναμειγμένα με καλά διαχωρισμένη άμμο περιέχουν μικρά μόρια χαλκικών και μετάλλων σε μια μεταλλική κοιλότητα που περιβάλλει το μπουκάλι.

Το μπουκάλι, όταν «χτυπιέται» κάνει το ΥΑΦ να χτυπάει κατά μήκος της επιφάνειας της κοιλότητας απελευθερώνοντας τα αντιδρώντα υλικά με αποτέλεσμα την κρυστάλλωση. Κάνοντας πειράματα με

διάφορα υλικά αλλαγής φάσης, ο Othmer ανέπτυξε μια φιάλη που θέρμαινε το γάλα των μωρών στη συνιστώμενη θερμοκρασία και βρήκε μεγάλη απήχηση σύντομα αφότου κυκλοφόρησε στην αγορά.

Οι έρευνες όμως δε σταματούν εδώ και σύντομα οι εφευρέτες αντιλήφθηκαν και εκμεταλλεύτηκαν τη δυνατότητα της τεχνολογίας των υλικών αλλαγής φάσης για τη θέρμανση του ανθρώπινου σώματος όταν αυτό εκτίθεται σε παρατεταμένες περιόδους κρύου καιρού. Η πρώτη εφεύρεση αποτελείτο από ένα κοστούμι με θερμαινόμενο σακίδιο πλάτης που εφηύραν οι Mauleos και Davy το 1965. Το κοστούμι που σχεδιάστηκε συγκεκριμένα για χρήση από τους δύτες, τους εξερευνητές και τους αεροπόρους περιείχε ΥΑΦ από υβρίδιο του λίθιου με το νερό να κυκλοφορεί γύρω από το κοστούμι σε έναν εναλλάκτη θερμότητας.

Περαιτέρω προϊόντα κυκλοφόρησαν στην αγορά για δραστηριότητες επιβίωσης όπως ήταν οι τσάντες διάσωσης που περιέχουν λαστιχένια σφουγγάρια εμποτισμένα με μια ανόργανη αλατισμένη ένυδρη ουσία ΥΑΦ με ένα σημείο τήξης μεταξύ 28 - 45 βαθμών.

6.3.1 Διαστημικό Πρόγραμμα της ΝΑΣΑ

Αναγνωρίζοντας τη δυνατότητα των ΥΑΦ να μειώσουν τα θερμικά φορτία και να παρέχουν μεγαλύτερο έλεγχο στην άνεση, ο επιστήμονας που συμμετείχε στο διαστημικό πρόγραμμα καθιέρωσε μια ουσιαστική χρήση τέτοιων υλικών, και εφάρμοσε αργότερα τα διάφορα ΥΑΦ στα πλαίσια του προγράμματος.

Οι επιστήμονες ενδιαφέρθηκαν ιδιαίτερα για συστήματα ικανά για τη διατήρηση του ελέγχου θερμοκρασίας. Ένα από τα πρώτα υλικά αλλαγής φάσης που χρησιμοποιήθηκαν στο διαστημικό πρόγραμμα του απόλλωνα 15 ήταν για να ελεγχθεί το θερμικό φορτίο που απελευθερώθηκε από τους υπολογιστές μαζί με άλλο ηλεκτρικό εξοπλισμό. Η δεύτερη χρήση της τεχνολογίας ΥΑΦ εισήχθη μέσα στο ηλιακό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των χαρακτηριστικών αποθήκευσης θερμότητας.

Οι επιστήμονες πραγματοποίησαν σημαντική έρευνα για να καθιερώσουν το σωστό ΥΑΦ με τις τέσσερις κύριες υποψήφιες ουσίες να είναι οι εξής: τριυδρικό νιτρικό άλας του λίθιου, ακεταμίδιο, μεθυλικό και μυριστικό οξύ.

Περαιτέρω ΥΑΦ ενσωματώθηκαν στον απόλλωνα 15 για να σταθεροποιήσουν τη θερμότητα που διαχεόταν μέσω της μονάδας επεξεργασίας σήματος, της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου κίνησης και της μονάδας επικοινωνιών. Το ΥΑΦ που περιελάμβανε μίγμα παραφίνης, αποθήκευε υπερβολική θερμότητα που παραγόταν από τα τρία συστήματα και την απελευθέρωνε μέσω των κινητών μονωμένων συσκευών που επέτρεπαν στη θερμότητα να διαχέεται με ακτινοβολία.

6.3.2 ΥΑΦ για Θέρμανση και Ψύξη των Κτιρίων

Αν και ουσιαστική έρευνα είχε διεξαχθεί με τα διάφορα προϊόντα που κατασκευάστηκαν, το όλο σύστημα δεν είχε βρει ακόμα ευρεία χρήση στον κατασκευαστικό τομέα όσον αφορά τη «βιομηχανία» των κτιρίων.

Διάφορες προσπάθειες έγιναν, με την πρώτη να επιχειρείται στη δεκαετία του 1920 με την κατασκευή διάφορων τύπων σπιτιών που χρησίμευσαν σα δείγματα ενώ και άλλα κατασκευάστηκαν προς το τέλος της δεκαετίας του 1940 και της δεκαετίας του 1970. Τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν, θεωρήθηκαν επιτυχή αν και οι πρώτες αυτές προσπάθειες δεν οδήγησαν σε καμία ανάπτυξη λόγω της έλλειψης χρηματοδότησης και αυτοπεποίθησης.

Παρακάτω θα απαριθμήσουμε τα πρώτα καινοτόμα συστήματα θερμικής αποθήκευσης με ΥΑΦ για να δώσουμε μια πλήρη παρουσίαση της ιστορίας τους και το πώς έχουν εξελιχθεί μέχρι σήμερα από τα μέχρι τώρα γνωστά μας δεδομένα.

6.3.2.1 Dr. Maria Telkes , Ηνωμένες Πολιτείες

Διεξάγοντας σημαντική έρευνα στα υλικά και τα συστήματα για τη θερμική αποθήκευση με υλικά αλλαγής φάσης, η Dr. Maria Telkes αναγνώρισε τη δυνατότητα των υλικών αυτών να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θέρμανση των κτιρίων.

Το 1946, το προτεινόμενο σπίτι προς δοκιμή που ονομαζόταν «The Dover house» επρόκειτο να κατασκευαστεί σε ένα κτήμα στην πολιτεία του Ντόβερ, 5 μίλια από τη Βοστώνη, στις ΗΠΑ.

Το σπίτι που αποτελείτο από έναν ενιαίο όροφο, με δύο κρεβατοκάμαρες, ήταν σπίτι πέντε δωματίων συνολικής επιφάνειας 135 m². Η θερμική ακτινοβολία συλλέχθηκε με τη χρήση 18 ηλιακών συσσωρευτών που είχαν λεπτές γαλβανισμένες επιφάνειες βαμμένες μαύρες τοποθετημένοι πίσω από πάνελ με διπλάσια επιφάνεια 1,2 X 3.0m. Η θερμότητα που παρήχθη από αυτά τα πάνελ πέρασαν κατά μήκος ενός αγωγού μέσω ενός ανεμιστήρα σε τρία δοχεία αποθήκευσης θερμότητας που είχαν τοποθετηθεί στην άλλη πλευρά των δωματίων.

Τα δοχεία αποθήκευσης θερμότητας περιείχαν στην ουσία άλας του Glauber. Έχοντας στο σύνολο 21 τόνους από το ΥΑΦ, το σύστημα είχε δυνατή ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας 4,7 εκατομμυρίων BTU (11MJ). Τα άλατα του Glauber έχοντας την ικανότητα να αποθηκεύουν το φορτίο 12 ημερών θα παρείχαν μια αποθήκευση αισθητής θερμότητας μεταξύ της θερμοκρασίας δωματίου (32 βαθμούς) και του σημείου τήξης.

Το σπίτι ολοκληρώθηκε το 1948 με κόστος \$20.000 με την ηλιακή συσκευή θέρμανσης να υπολογίζεται στα \$3,000. Η περιοχή επιλέχθηκε από την Telkes επειδή οι ετήσιες ώρες φωτός του ήλιου της ήταν επάνω από το μέσο όρο εγγυώντας τη μέγιστη χρήση του ηλιακού συστήματος στην περιοχή. Τα πρώτα δύο έτη το σύστημα αποδείχθηκε ιδιαίτερα επιτυχές ακόμη και κατά τη διάρκεια των περιόδων μέχρι επτά ημερών με συνεφιασμένο καιρό.

Το σύστημα δούλεψε επιτυχώς, παρέχοντας ένα άνετο εσωτερικό περιβάλλον περίπου 21 βαθμών χωρίς να απαιτεί καμία χρήση οποιουδήποτε επιπλέον συστήματος για την υποβοήθηση της θέρμανσης.

Ένα παρόμοιο κατοικημένο σπίτι σχεδιάστηκε αργότερα και χτίστηκε χρησιμοποιώντας τις ίδες αρχές όπως της Dr. Telkes. Το σπίτι αυτή τη φορά χτίζεται από τον Lawrence Gardshire στο Νέο Μεξικό και περιλαμβάνει έναν όροφο συνολικής επιφάνειας 102 m² ενώ τοποθετήθηκαν συλλέκτες στην κατασκευή της στέγης. Εν αντιθέσει με το σχέδιο της Dr. Telkes που περιελάμβανε τα δοχεία με τα ΥΑΦ που βρίσκονταν στο ισόγειο, τα χαλύβδινα δοχεία αποθήκευσης τοποθετήθηκαν δίπλα στους συλλέκτες. Η μόνη διαφορά στην κατασκευή των δοχείων με ΥΑΦ ήταν η προσθήκη Borex στα άλατα του Glauber για να λειτουργήσει σαν την ουσία που θα αντιδράσει.

Ένα πιο πρόσφατο πρόγραμμα σχεδιάστηκε από το Dr J.W.Hodgins και το Dr T.W.Hoffman στο βασιλικό στρατιωτικό κολλέγιο στον Καναδά, για την κατασκευή μιας κατοικήσιμης ιδιοκτησίας χρησιμοποιώντας την τεχνολογία αποθήκευσης θερμότητας με ΥΑΦ. Η Dr. Telkes επωμίσθηκε τη σχεδίαση των δοχείων αποθήκευσης με χρήση ΥΑΦ λόγω της προηγούμενης εμπειρίας της στον τομέα αυτό.

Το σπίτι ολοκληρώθηκε το 1959 και ήταν συνολικής επιφάνειας δυο ορόφων 111 m² οι οποίοι ενσωμάτωναν 12 τόνους αλάτων του Glauber, αναμειγμένο με πυριτικό άλας νατρίου καθώς και με μια ουσία που ήταν ανασταλτικός παράγοντας διάβρωσης των χρωμικών αλάτων. Παρόμοια με το προηγούμενο σχέδιο, το ΥΑΦ βρισκόταν μέσα σε χαλύβδινα δοχεία διαστάσεων 100 mm X 600 mm. τοποθετημένα κάθετα.

6.3.2.2 Πείραμα Αντλίας Θερμότητας με ΥΑΦ

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950 όταν γίνονταν πειράματα για τη χρήση των ΥΑΦ στις εφαρμογές ηλιακής θέρμανσης, η Μικτή Επιτροπή αντλιών θερμότητας της ένωσης του Edison Illuminating Companies και του Ινστιτούτου Edison Electric, ΗΠΑ, πραγματοποιούσαν δοκιμή για να εισαγάγουν τέτοια

υλικά μέσα σε ένα σύστημα αντλιών θερμότητας. Η μελέτη βασίστηκε στη χρησιμοποίηση της ουσίας Disodium Hydrogen Phosphate Dodecahydrate (DSP) ως μέσο αποθήκευσης.

Το σύστημα αντλιών θερμότητας ενσωμάτωσε μια σειρά επικασιτερωμένων χαλύβδινων δοχείων που περιέχουν DSP ως ΥΑΦ. Τα δοχεία βυθίστηκαν στο νερό που λειτούργησε ως μέσο μεταφοράς θερμότητας. Το σύστημα δε στέφθηκε με ιδιαίτερη επιτυχία με το ΥΑΦ να μην είναι απολύτως αντιστρέψιμο από την τήξη στην κρυστάλλωση μειώνοντας εντυπωσιακά την ικανότητα αποθήκευσης.

Άλλα προβλήματα περιελάμβαναν τη διάβρωση των χαλύβδινων δοχείων και την ακανόνιστη διάθεση της θερμότητας λόγω της ανισόροπης ροής μεταξύ των δοχείων. Το πρόγραμμα εγκαταλείφθηκε το 1954 εξαιτίας των συνεχώς επανεμφανιζόμενων προβλημάτων.

Από την προηγούμενη αυτή δοκιμή η Dr. Telkes βρήκε μια μέθοδο να αντιδράσει το ΥΑΦ από DSP διατηρώντας συνεχώς μια πηγή κρυστάλλων $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ στα δοχεία υλικών αλλαγής φάσης. Το σύστημα κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αργότερα από την ίδια και αργότερα από τον κ. C.S Herrick και του Mr.T.L Etherington της General Electric και βρήκε ευρεία εφαρμογή σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες.

6.3.2.3 Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας πέρα των Ωρών Αιχμής

Η χρήση ΥΑΦ για να παρέχει μια μορφή, εκτός των ωρών αιχμής, ηλεκτρικής αποθήκευσης θερμότητας άρχισε το 1955. Το σύστημα που χρησιμοποιούσε ένα μέσο αποθήκευσης που περιείχε ΥΑΦ από υδροξείδιο του νατρίου είχε τη δυνατότητα για 400.000 btu αποθήκευσης θερμότητας. Το σύστημα που φορτιζόταν από την εκτός των ωρών αιχμής ηλεκτρική ενέργεια εξετάστηκε σε διάφορα σπίτια από την εταιρεία Philadelphia Electric.

6.3.2.4 Το Πρώτο Μεγάλο Ερευνητικό Πρόγραμμα των ΥΑΦ

Από την προηγούμενη έρευνα και τις πειραματικές δοκιμές που διεξήχθησαν στον τομέα της θερμικής αποθήκευσης με αλλαγή φάσης, το πανεπιστήμιο της Πενσυλβανίας αναγνώρισε την ανάγκη για ένα οργανωμένο ερευνητικό πρόγραμμα για να ξεπεράσουν τα πολλά προβλήματα που προέκυπταν προηγουμένως. Το 1971, το ερευνητικό πρόγραμμα εκτελέστηκε από μια ομάδα τριών επιστημόνων στον τομέα της λανθάνουσας θερμότητας με χρηματοδότηση από το National Science Foundation, ΗΠΑ.

Ο στόχος της εν λόγω έρευνας ήταν να ανακαλυφθεί ένας αριθμός οργανικών και ανόργανων υλικών αλλαγής φάσης κατάλληλα για τις εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης, μαζί με λεπτομερή ανάλυση του κόστους αυτών των υλικών, την οικονομική ανάλυση και την ικανότητα αποθήκευσης.

Η μελέτη εστίασε στις ακόλουθες ομάδες υλικών:

- ✓ Ένυδρα άλατα
- ✓ Έυτηκτα μίγματα οργανικών ενώσεων
- ✓ Ένυδροι κλαθρίτες
- ✓ Έυτηκτα μίγματα οργανικών και ανόργανων ενώσεων

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ανόργανο PCM) και ορισμένα κεριά παραφίνης (οργανικό PCM) ήταν καλά για τις εφαρμογές κλιματισμού. Τα δύο πιο υποσχόμενα ΥΑΦ για τη θέρμανση χώρου ήταν $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ και $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (και τα δύο ανόργανα ΥΑΦ).

6.3.3 Περισσότερο Κυβερνητικό Ενδιαφέρον

Το 1973 ήταν ορόσημο για την ανάπτυξη των ΥΑΦ στην τεχνολογία της λανθάνουσας θερμότητας .

Κατά τη διάρκεια πολέμου μεταξύ Αράβων και Ισραηλινών το 1973 και ο επακόλουθος αραβικός αποκλεισμός πετρελαίου κατέστησαν εμφανές ότι ο μελλοντικός ανεφοδιασμός των καυσίμων μπορεί να αντιμετωπίζε ιδιαίτερα προβλήματα λόγω των πολιτικών γεγονότων και συνεπώς τη μείωσης μιας σημαντικής πηγής καυσίμων. Αυτό ώθησε τις πολυάριθμες κυβερνητικές οργανώσεις στην έρευνα προς τις εναλλακτικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ο κύριος τομέας της τεχνολογικής προόδου ήταν ασφαλώς η χρήση της ηλιακής ενέργειας, η αποκατάσταση θερμότητας των αποβλήτων και η αποθήκευση θερμότητας. Η έρευνα γενικά διεξήχθη στο Ηνωμένο Βασίλειο, τις ΗΠΑ, τη Γερμανία και τη Γαλλία χώρες που ασχολούνται αρκετά με την ηλιακή ενέργεια λόγω της έλλειψης προόδου στον τομέα συνολικά.

Από αυτή την περίοδο η έρευνα για την αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας γίνεται ένα σημαντικό μέρος του προγράμματος ανανεώσιμης ενέργειας με την ιδιαίτερη χρηματοδότηση να χορηγείται στην ανάπτυξη της τεχνολογίας θερμικής αποθήκευσης.

6.3.4 Το Ερευνητικό Πρόγραμμα στα ΥΑΦ από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστήμης

Σαν αποτέλεσμα της αυξημένης ανάγκης για την έρευνα στα συστήματα θερμικής αποθήκευσης, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής καινοτόμησαν ως προς το πρώτο ερευνητικό πρόγραμμα μεγάλης κλίμακας που χρηματοδοτήθηκε από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστήμης. Στη Dow Chemical (οδηγητική επιστημονική ομάδα στον τομέα ΥΑΦ εκείνη την περίοδο) ανατέθηκε να πραγματοποιήσει την έρευνα που αποτελείτο από 20.000 περίπου δοκιμές ΥΑΦ.

Λόγω του μεγέθους του ερευνητικού προγράμματος πρόσθετοι επιστήμονες σε ρόλο συμβούλων αναμίχθηκαν από τον Καναδά. Η έρευνα χρησιμοποίησε όλα τα προηγούμενα αποτελέσματα του πανεπιστημίου της Πενσυλβάνιας για να ιδρύσει μια βάση δεδομένων όλων των προηγούμενων ΥΑΦ ως πηγών λανθάνουσας θερμότητας.

Από τα 20.000 ΥΑΦ που δοκιμάστηκαν, μόνο το 1% επιλέχθηκε για την περαιτέρω έρευνα εφόσον τα υλικά αυτά θεωρήθηκαν ως τα πλέον δυνατά υποψήφια. Τα υλικά που επιλέχθηκαν ήταν ένας αριθμός από την ομάδα των ομοιογενών τηκόμενων ένυδρων αλάτων και κάποια κοινά οργανικά υλικά.

Τα ερευνητικά ιδρύματα των ΗΠΑ έχουν επικεντρωθεί κυρίως στα ανόργανα ΥΑΦ, ενώ η έρευνα για τα οργανικά ΥΑΦ λμβάνει χώρα εκτενέστερα στο χώρο της Ευρώπης. Αν και τα ερευνητικά κέντρα στις Ηνωμένες Πολιτείες έχουν ερευνήσει την τεχνολογία θερμικής αποθήκευσης με ΥΑΦ για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα σε σύγκριση με τις άλλες χώρες, στην ουσία οι σημαντικές πρόοδοι έχουν γίνει στην Ευρώπη και την Άπω Ανατολή. Οι χώρες που δραστηριοποιήθηκαν κυρίως σε αυτό τον τομέα ήταν η Ιαπωνία, η Σουηδία, η Δυτική Γερμανία, η Γαλλία, η Ιταλία και η ΕΣΣΔ που συνέβαλε στην έρευνα στον τομέα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας με ΥΑΦ.

6.3.5 Δυτική Γερμανία

Οι επιστήμονες που ερευνούν την τεχνολογία θερμικής αποθήκευσης με ΥΑΦ στη Γερμανία διαθέτουν εκτενή διαγράμματα και πίνακες με τις φυσικές και θερμικές ιδιότητες των ΥΑΦ, των δομικών και των μονωτικών υλικών.

Η κύρια έρευνα έχει εστιάσει γύρω από τις παραφίνες, τα ένυδρα άλατα και τους κλαθρίτες θεωρούμενα ως τα ευνοϊκότερα ΥΑΦ για εφαρμογές κάτω των 100 βαθμών.

Μια ιδιωτική επιχείρηση στη Δυτική Γερμανία διεξήγαγε έρευνα στο ηλιακό σπίτι του BBC για να εξετάσει τη διαφορετική απόδοση των διάφορων ΥΑΦ. Το ηλιακό σπίτι θερμαινόταν από μια αντλία θερμότητας χρησιμοποιώντας το νερό ως μέσο αποθήκευσης. Οι ερευνητές αποφάσισαν να αλλάξουν το μέσο αποθήκευσης πρώτα με πάγο και έπειτα με παραφίνη (σημείο τήξης 18 με 25 βαθμοί) για μία περίοδο τριών εποχών θέρμανσης.

Το πείραμα απέδειξε ότι η παραφίνη παρείχε τη μέγιστη αποδοτικότητα και αύξησε και το συντελεστή ψυκτικής ισχύος από το 2,6 στο 3,3. Επίσης η παραφίνη χρειαζόταν μόνο το μισό όγκο νερού από αυτόν που χρειαζόταν το νερό παρέχοντας έτσι μεγαλύτερη οικονομική αποδοτικότητα.

6.3.6 Δανία

Μια ερευνητική ομάδα στη Δανία έχει εκτελέσει μια ουσιαστική έρευνα τόσο στα ανόργανα άλατα όσο και στα οργανικά υλικά αλλαγής φάσης. Εκεί η έρευνα εστίασε κυρίως στις εξής ουσίες: Άλας του Glauber, άνυδρος υδρογονάνθρακας του νατρίου, τριυδρικό οξύ του νατρίου και φωσφορικό δινάτριο. Ο σκοπός αυτής της έρευνας είναι να επεκτείνει τη χημική ανάλυση αυτών των υλικών.

6.3.7 Σουηδία

Σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογία αποθήκευσης με ΥΑΦ λαμβάνει χώρα στο Studsvik Energiteknik όπου επικεφαλής είναι ο καθηγητής H.Hedman. Η έρευνα εστιάζει γύρω από την εφαρμογή των ένυδρων αλάτων χρησιμοποιώντας τον αέρα σαν ρευστό μέταδοσης θερμότητας. Τα συστήματα ΥΑΦ, που είναι ενσωματωμένα σε μεταλλικές κάψουλες, μοντελοποιήθηκαν και δοκιμάστηκαν και αποδείχθηκαν πιο αποδοτικά από τις δεξαμενές νερού που χρησιμοποιούνται προσωρινά για παθητική ηλιακή θέρμανση σε κατοικήσιμα σπίτια στη Δανία. Ένα σπίτι κανονικής κλίμακας προς επίδειξη χτίστηκε αργότερα ενσωματώνοντας το Energiteknik σαν ΥΑΦ τεχνολογίας θερμικής αποθήκευσης.

Ένα πρόγραμμα που περιλαμβάνει τρεις μεγάλες σουηδικές εταιρείες κατασκευής ανέλαβε να ερευνήσει τη δυνατότητα της ενσωμάτωσης των ΥΑΦ μέσα στα κτίρια. Το πρόγραμμα περιελάμβανε την κατασκευή τριών διαφορετικών συστημάτων θέρμανσης. Το πρώτο ήταν ένα τυποποιημένο σύστημα θέρμανσης καυτού νερού, το δεύτερο χρησιμοποιεί εξαναγκασμένο ζεστό αέρα και το τρίτο, ένα παρόμοιο σύστημα με το δεύτερο, αλλά με τους αερόψυκτους ηλιακούς συσσωρευτές σαν αρχική πηγή θερμότητας.

6.3.8 Γαλλία

Για πολλά έτη, η Γαλλία διεξάγει έρευνα στην τεχνολογία θερμικής αποθήκευσης με ΥΑΦ και μέσω της έρευνας στο Εθνικό Κέντρο του εργαστηρίου Επιστημονικής (CNRS) στη Νίκαια, έχει κατασκευάσει πολλά κτίρια χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνολογία.

Οι δυο κατασκευές αποτελούνται από ένα ηλιακό σπίτι για αστικούς σκοπούς και ένα θερμοκήπιο για παραγωγή τριαντάφυλλων στην περιοχή της Νίκαιας. Εκεί το σύστημα χρησιμοποιεί ως ΥΑΦ 'Clairolithe' αποτελούμενο από $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ αναμεμειγμένο με μια ουσία που αντιδρά ενσωματωμένη σε κελιά τα οποία αποτελούσαν μέρος της δομικής κατασκευής των τοίχων. Το CNRS αναπτύσσει έρευνα στην παραφίνη κεριού δοκιμάζοντας συστήματα που περιέχουν μεταλλικά μείγματα για να αυξήσουν τα χαρακτηριστικά μετάδοσης θερμότητας. Επιστήμονες από το Επιστημονικό και Τεχνολογικό Κέντρο του Batiment στο Παρίσι έχουν καταχωρήσει ως πατέντα συσκευές που περιέχουν υλικά αλλαγής φάσης ενσωματώνοντας ΥΑΦ με σημεία τήξης από 15 έως 40 βαθμούς για να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές κλιματισμού.

6.3.9 Ηνωμένο Βασίλειο

Το Ίδρυμα Βρετανικής Έρευνας έχει και αυτό πραγματοποιήσει έρευνα για πολλά χρόνια πάνω στο θέμα της τεχνολογίας θερμικής αποθήκευσης με υλικά αλλαγής φάσης. Οι A.K.R.Bromley, E.M.McKay και J.P.Wilkins συγκρότησαν την Ομάδα Μελέτης Θερμικής Αποθήκευσης και πραγματοποίησαν έρευνα στην θερμική αποθήκευση με πάγο και στη λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας για εφαρμογές θέρμανσης. Η εν λόγω ομάδα δημοσίευσε αρκετά επιστημονικά φυλλάδια πάνω σε αυτά που ανέπτυξε και όλοι οι επιστήμονες της ομάδας συνεισφέρουν στο Εθνικό Συμβούλιο CIBSE συζητώντας τα επιτεύγματα τους στον τομέα της θερμικής αποθήκευσης.

Έχει γίνει ουσιαστική χρήση της τεχνολογίας των ΥΑΦ στον τομέα της αποθήκευσης με πάγο στο Ηνωμένο Βασίλειο, περιλαμβανομένων και μεγάλων οργανισμών όπως η Baltimore στη Χριστόφια (βρίσκεται σε συνεργασία με την Γαλλία) που εφοδιάζουν συστήματα παγκοσμίως.

Μια μικρή ομάδα επιστημόνων στο Πανεπιστήμιο του Σαλφοντ, πραγματοποίησε μια έρευνα πάνω στις ουσίες Hydrated Disodium Phosphate και Calcium Chloride Hexahydrate μαζί με το Πανεπιστήμιο του Κάρντιφ και ανέπτυξε μια τεχνολογία χρησιμοποιώντας την παραφίνη σαν μέσο αποθήκευσης.

6.3.10 Ιαπωνία

Η Ιαπωνία έχει έναν ηγετικό ρόλο παράλληλα με τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής στην τεχνολογία Θερμικής Αποθήκευσης με ΥΑΦ διαθέτοντας ερευνητικές ομάδες στον τομέα για πολλά χρόνια έχοντας την κυβερνητική υποστήριξη. Οι Ιάπωνες οδήγησαν την έρευνα στον τομέα θερμικής αποθήκευσης με υλικά αλλαγής φάσης με πολλά αρχικά σχέδια που κατασκευάστηκαν αργότερα.

Τα υλικά που βρέθηκαν να είναι τα πιο επιτυχή κατά τη διάρκεια της έρευνας που έγινε από την επιχείρηση της Mitsubishi Electronic Corp. και της Tokyo Electric Power ήταν τα εξής: Hydrated Nitrate Salts, Phosphates, Fluorides and Calcium Chloride. Η έρευνα μέχρι τη δεκαετία του 1970 ήταν επικεντρωμένη στη θερμική αποθήκευση με ΥΑΦ αν και τα πιο σύγχρονα επιτεύγματα έχουν εστιάσει σε ψυκτικές εφαρμογές.

Σημαντική έρευνα και ανάπτυξη πραγματοποιήθηκε σε έναν αριθμό ευτηκτικών ενώσεων του νατρίου για εφαρμογές σε θερμοκρασία δωματίου. Οι Yoneda και Takahashi του τμήματος της Βιομηχανικής και Επιστημονικής Χημείας του Επιστημονικού Πανεπιστημίου του Τόκυο ανέπτυξαν μια σειρά μοντέλων χρησιμοποιώντας έναν απλό εναλλάκτη θερμότητας για να ελέγχουν το σύστημα υλικών αλλαγής φάσης. Τα αρχικά αποτελέσματα έδειχναν ότι το σύστημα ήταν αρκετά αποδοτικό αλλά προβλήματα προέκυπταν όποτε συνδεόταν με ένα ηλιακό συλλέκτη οδηγώντας σε αισθητή μείωση της απόδοσης. Οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής πραγματοποίησαν αργότερα περαιτέρω έρευνα στο πρόγραμμα των Γιαπωνέζων, εντόπισαν τις ανακρίβειες και αργότερα καταχώρησαν σαν πατέντα το όλο σύστημα.

Από τότε οι έρευνες ασφαλώς και δεν έχουν πάψει αλλά συνεχίζονται με ακόμα πιο εντατικούς ρυθμούς καθώς η ανάπτυξη της τεχνολογίας και όχι μόνο είναι ραγδαία και ποικίλες εκθέσεις παρουσιάζονται πολύ συχνά. Παρακάτω θα αναφερθούμε και στη χρήση της νανοτεχνολογίας και πως αυτή συνδέεται με τα υλικά αλλαγής φάσης.

Αυτή η μελέτη στοχεύει να παρέχει μια κατανόηση της τεχνολογίας της λανθάνουσας θερμότητας των ΥΑΦ για την παροχή ενός βιώσιμου συστήματος αποθήκευσης όταν χρησιμοποιείται από κοινού με τις πηγές θερμότητας ανανεώσιμης ενέργειας για τις απαιτήσεις οικιακής θέρμανσης. Ακριβώς επειδή θα μελετήσουμε μόνο τις κτιριακές εφαρμογές η θερμοκρασία αλλαγής φάσης πρέπει να περιοριστεί από τους 15°C στους 70°C.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 6^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] http://freespace.virgin.net/m.eckert/carl_vener%27s_dissertation.htm
- [2] <http://el.wikipedia.org>
- [3] <http://www.leaderexpo.gr>
- [4] http://cyprus.daikineurope.com/vrv-iv/continuous_heating/
- [5] <http://www.sustainablehealthybuildings.org/PDF/4th/korean/5.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ και ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

7.1 ΥΛΗ [4]

7.1.1 Κατάσταση της Ύλης

Η κατάσταση της ύλης ενός σώματος παραδοσιακά περιγράφει το πόσο εύκολα μεταβάλλεται το σχήμα και το μέγεθός του. Υπάρχουν τρεις βασικές καταστάσεις της ύλης η στερεά, η υγρή και η αέρια. Η κατάσταση στην οποία θα βρεθεί ένα σώμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση του περιβάλλοντός του.

Η σύγχρονη περιγραφή της κατάστασης της ύλης γίνεται με σύγκριση των διαφορών σχέσης της κατάστασης των μορίων. Στερεά θεωρούνται τα υλικά στα οποία τα μόρια κρατούνται σε σταθερές θέσεις μεταξύ τους στο χώρο. Υγρά θεωρούνται τα υλικά στα οποία τα μόρια είναι κοντά μεταξύ τους αλλά όχι σε σταθερές θέσεις. Αέρια είναι τα υλικά στα οποία τα μόρια βρίσκονται σε σχετικά μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και η θέση τους δεν επηρεάζεται από τις δυνάμεις αλληλεπίδρασης των μορίων.

7.1.2 Αλλαγή Φάσης

Αν ένα σώμα βρίσκεται σε διαφορετική κατάσταση από αυτήν που αντιστοιχεί στις συνθήκες του περιβάλλοντός, τότε τη μεταβάλλει για να βρεθεί στην κατάλληλη. Ακόμα κι αν φαίνεται ότι είναι στην κατάλληλη κατάσταση, ένα μέρος του μετατρέπεται σε άλλη λόγω διαφοράς στην τάση ατμών. Η μετατροπή του στερεού σε υγρό ονομάζεται τήξη, ενώ η αντίστροφη διαδικασία ονομάζεται πήξη. Η μετατροπή από αέριο σε υγρό ονομάζεται υγροποίηση ή συμπύκνωση, ενώ η μετατροπή από αέριο σε στερεό ονομάζεται συμπύκνωση.

Από	Σε			
	Στερεό	Υγρό	Αέριο	Πλάσμα
Στερεό	-	Τήξη	Εξάχνωση	-
Υγρό	Στερεοποίηση	-	Βρασμός/Ατμοποίηση	-
Αέριο	Εναπόθεση	Συμπύκνωση	-	Ιονισμός
Πλάσμα	-	-	Ανασυνδυασμός	-

ΣΧΗΜΑ 7.1 Ονοματολογίες κατά τη μετάβαση από τη μια κατάσταση στην άλλη [4]

Στις παραπάνω μετατροπές δεν ενδιαφερόμαστε, αν αυτές προκλήθηκαν από την ασυμφωνία τρέχουσας και κατάλληλης κατάστασης ή λόγω μερικών πιέσεων. Όμως, στη μετατροπή υγρού σε αέριο διακρίνουμε δύο διαδικασίες το βρασμό και την εξάτμιση. Ο βρασμός οφείλεται στην ασυμφωνία τρέχουσας και κατάλληλης κατάστασης, ενώ η εξάτμιση γίνεται λόγω της μερικής πίεσης. Για αυτό ο βρασμός εμφανίζεται μόνο σε συγκεκριμένες συνθήκες και συμβαίνει σε όλη την έκταση του υγρού, ενώ η εξάτμιση μπορεί να γίνει σε οποιοσδήποτε συνθήκες και συμβαίνει μόνο στην επιφάνεια του υγρού.

Γενικά, οι αλλαγές φάσεις (που δεν οφείλονται στις μερικές πιέσεις) γίνονται σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης για την κάθε καθαρή ουσία. Για αυτό αυτές αποτελούν χαρακτηριστικές ιδιότητες του κάθε υλικού και μάλιστα αποτελούν τις συνθήκες ισορροπίας δύο διαφορετικών καταστάσεων του. Αντίθετα, στα μίγματα οι συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, που απαιτούνται για τις αλλαγές φάσεων, εξαρτώνται από τις αναλογίες των συστατικών τους, άρα μεταβάλλονται.

7.1.3 Θερμική Ενέργεια στις Αλλαγές Φάσης

Σημαντικό ρόλο στις αλλαγές φάσεις παίζει η θερμική ενέργεια. Συνήθως οι αλλαγές φάσης γίνονται σε κανονική πίεση (μία ατμόσφαιρα ή 760 mm Hg), οπότε οι μετατροπές οφείλονται στην αλλαγή της θερμοκρασίας, άρα και την πρόσληψη ή αποβολή θερμικής ενέργειας. Γενικά ένα σώμα είναι στερεό σε χαμηλές θερμοκρασίες, και καθώς αυτές αυξάνονται το σώμα μετατρέπεται διαδοχικά σε υγρό και έπειτα σε αέριο. Σε αυτήν την περίπτωση η θερμική ενέργεια του σώματος αυξάνεται. Αντίστροφα, ένα σώμα σε υψηλές θερμοκρασίες είναι αέριο και καθώς αυτή μειώνεται το σώμα μετατρέπεται διαδοχικά σε υγρό και έπειτα σε αέριο. Εδώ η θερμική ενέργεια του σώματος μειώνεται. Παρόλα' αυτά, υπάρχει περίπτωση απευθείας μετατροπής από στερεό σε αέριο, η οποία ονομάζεται εξάχνωση.

Κατά την πρόσληψη ή αποβολή θερμικής ενέργειας το σώμα μεταβάλλει τη θερμοκρασία του, εκτός κι αν αλλάζει κατάσταση. Όταν ένα σώμα αλλάζει κατάσταση, τότε η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή, ενώ η ανταλλασσόμενη θερμική ενέργεια αξιοποιείται στη διάλυση ή δημιουργία των διαμοριακών δυνάμεων. Αυτό το φαινόμενο σχετίζεται άμεσα με τη δομή του σώματος σε μικροσκοπικό, μοριακό επίπεδο. Επίσης, αυτή η δομή εξηγεί την ύπαρξη και συμπεριφορά των τριών καταστάσεων της ύλης.

Εκτός από τη θερμότητα, σημαντικό ρόλο παίζει και η πίεση, όταν αυτή μεταβάλλεται. Τότε η μελέτη των αλλαγών φάσεων γίνεται με διαγράμματα φάσεων.

7.2 Ταξινόμηση των ΥΑΦ [1],[2],[3],[6]

Η λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας των ΥΑΦ μπορεί να επιτευχθεί μέσω της αλλαγής φάσης από:

- α) στερεό σε στερεό,
- β) στερεό σε υγρό,
- γ) στερεό σε υγρό και
- δ) υγρό σε αέριο.

Εντούτοις, η μόνη αλλαγή φάσης που *χρησιμοποιείται* για τα ΥΑΦ είναι η αλλαγή από στερεό σε υγρό. Η αλλαγή φάσης από υγρό σε αέριο δεν είναι πρακτική για χρήση σε αποθήκευση θερμικής ενέργειας λόγω των μεγάλων όγκων και των υψηλών πιέσεων που χρειάζεται να αποθηκεύσουν τα υλικά όταν είναι στην αέρια φάση τους. Οι μεταβάσεις από υγρό σε αέριο χρειάζονται υψηλότερη θερμότητα από τις αντίστοιχες μεταβάσεις από στερεό σε υγρό. Οι αλλαγές φάσης από στερεό σε στερεό είναι ουσιαστικά πολύ αργές και έχει μια συγκριτικά χαμηλή θερμότητα μετατροπής.

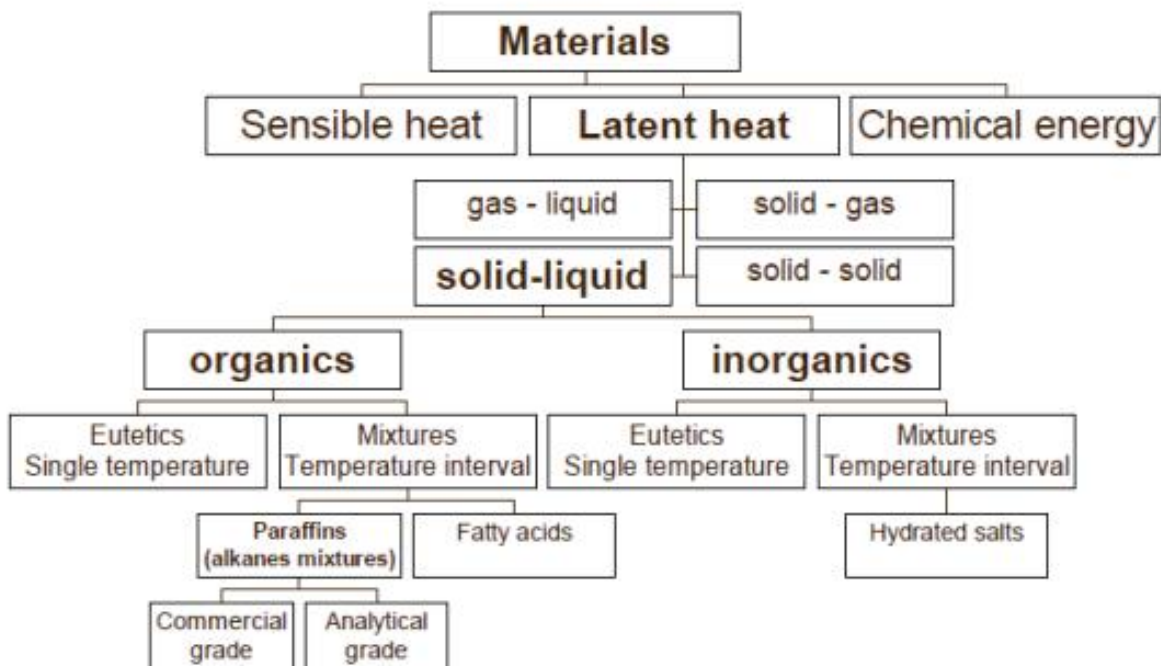
Αρχικά τα υλικά αλλαγής φάσης από στερεό σε υγρό συμπεριφέρονται σαν υλικά αποθήκευσης αισθητής θερμότητας, η θερμοκρασία τους αυξάνει καθώς απορροφούν θερμότητα. Αντίθετα από τα συμβατικά υλικά αποθήκευσης αισθητής θερμότητας όταν τα υλικά αλλαγής φάσης φτάνουν τη θερμοκρασία στην οποία αλλάζουν φάση (τη θερμοκρασία τήξης τους) απορροφούν μεγάλες ποσότητες θερμότητας σε μια σχεδόν σταθερή θερμοκρασία. Το υλικό αλλαγής φάσης συνεχίζει να απορροφά θερμότητα χωρίς σημαντική αύξηση στη θερμοκρασία μέχρις ότου ολόκληρο το υλικό μετασχηματισθεί στην υγρή φάση. Ένας μεγάλος αριθμός των ΥΑΦ είναι διαθέσιμος σε οποιαδήποτε θερμοκρασία απαιτείται από -5 έως 190°C. Με την κλίμακα ανθρώπινης άνεσης να κυμαίνεται από 20 έως 30°C μερικά

ΥΑΦ είναι πολύ αποτελεσματικά. Αποθηκεύουν 5 έως 14 φορές περισσότερη θερμότητα ανά μονάδα όγκου από ότι τα συμβατικά υλικά αποθήκευσης όπως είναι το νερό, η τοιχοποιία ή ο βράχος.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός οργανικών και ανόργανων υλικών τα οποία μπορούν να προσδιοριστούν σαν υλικά αλλαγής φάσης από την άποψη της θερμοκρασίας τήξης τους και τη διάχυση της λανθάνουσας θερμότητας. Παρόλα αυτά στην κλίμακα λειτουργίας η πλειοψηφία των υλικών αλλαγής φάσης δεν ικανοποιεί τα κριτήρια για να θεωρηθεί ένα επαρκές μέσο αποθήκευσης όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Επειδή κανένα υλικό από μόνο του δεν διαθέτει όλες τις ιδιότητες για αποθήκευση θερμότητας, κάποιος θα πρέπει να χρησιμοποιήσει τα διαθέσιμα υλικά και να προσπαθήσει να συνδυάσει τις πτωχές φυσικές ιδιότητες για ένα επαρκές σύστημα σχεδίασης. Για παράδειγμα τα μεταλλικά πτερύγια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξήσουν τη θερμική αγωγιμότητα των ΥΑΦ, ενώ υπέρψυξη μπορεί να επιτευχθεί από την εισαγωγή μιας αντιδρώσας ουσίας στο υλικό αποθήκευσης και η ανομοιογενής τήξη μπορεί να περιοριστεί από τη χρήση κατάλληλου πάχους.

Γενικά οι ανόργανες ενώσεις έχουν σχεδόν τη διπλάσια χωρητικότητα για ικανότητα θερμικής αποθήκευσης ($250\text{--}400\text{ kg/dm}^3$) σε σχέση με τις οργανικές ενώσεις ($128\text{--}200\text{ kg/dm}^3$). Εξαιτίας της πολύ διαφορετικής τους θερμικής και χημικής συμπεριφοράς, οι ιδιότητες της κάθε υποκατηγορίας που επηρεάζει το σύστημα λανθάνουσας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας που χρησιμοποιεί ΥΑΦ αυτής της υποκατηγορίας εξετάζονται στις ενότητες που ακολουθούν.

Το 1983 ο Abhat έδωσε μια χρήσιμη ταξινόμηση των ουσιών που χρησιμοποιούνται στην αποθήκευση της θερμικής ενέργειας. Μια άλλη ταξινόμηση δόθηκε αργότερα από τους Mehling και Cabeza το 1997.



ΣΧΗΜΑ 7.2 Ταξινόμηση υλικών ενεργειακής αποθήκευσης [2]

Ο Dr.George A. Lane, ένας ανώτερος ειδικός επιστήμονας μαζί με άλλους συνεργάτες από το Dow Chemical, Michigan, USA, πραγματοποίησαν μια έρευνα σε περισσότερα από 20.000 πιθανά ΥΑΦ για χρήση σε εφαρμογές θέρμανσης. Τα κριτήρια που επέλεξαν για περισσότερη έρευνα περιελάμβαναν το σημείο τήξης, το διάγραμμα φάσεων, την τοξικότητα, τη σταθερότητα, τη διάβρωση, την ευφλεκτότητα, την ασφάλεια, τη διαθεσιμότητα και το κόστος.

Η δοκιμή που πραγματοποιήθηκε σε πάνω από 20.000 υλικά, όπως προαναφέρθηκε, κατέληξε σε περίπου 200 υλικά (1%) ικανά για περισσότερη έρευνα και τελικά μόνο 40 ΥΑΦ χαρακτηρίστηκαν ως οι πιο κατάλληλες ενώσεις. Μέσα σε αυτά, τα 40 ΥΑΦ που επιλέχθηκαν πολλά πληρούσαν τα σωστά κριτήρια για να χρησιμοποιηθούν στη θέρμανση κτιρίων. Οι κατηγορίες στις οποίες εμπίπτουν αυτά τα υλικά είναι οι ακόλουθες:

1. **Παραφίνες Κεριού** – Οργανική ένωση
2. **Λιπαρά Οξέα** – Οργανική ένωση
3. **Ένυδρα Άλατα** – Ανόργανη ένωση

7.2.1 Οργανικά Υλικά Αλλαγής Φάσης

Τα οργανικά ΥΑΦ συνήθως είναι συνθέσεις οργανικών υλικών όπως είναι οι παραφίνες, τα λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες σακχάρων. Για τις κτιριακές εφαρμογές, τα υλικά αλλαγής φάσης παραφινών είναι αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο για αρκετούς λόγους. Πρώτα από όλα είναι ευθείας αλυσίδας κ-αλκανίων ενώσεις υδρογονανθράκων. Η θερμοκρασία τήξης και η ενθαλπία αλλαγής φάσης αυξάνεται με το μήκος της αλυσίδας άνθρακα. Όταν ο αριθμός των ατόμων άνθρακα στο μόριο παραφίνης είναι μεταξύ 13 και 28 η θερμοκρασία τήξης πέφτει μέσα σε ένα εύρος περίπου -5°C έως 60°C , ένα θερμοκρασιακό εύρος που καλύπτει τις κτιριακές εφαρμογές στα περισσότερα κλίματα σε όλο τον κόσμο. Επιπλέον, τα ΥΑΦ παραφίνης είναι χημικά αδρανή, μη-τοξικά, αξιόπιστα και βιοσυμβατά. Παρουσιάζουν επίσης μια αμελητέα επίδραση υπόψυξης. Τα λιπαρά οξέα αντιπροσωπεύονται από το χημικό τύπο $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COO}$. Τα λιπαρά οξέα έχουν πυκνότητα αποθήκευσης παρόμοια με αυτή των παραφινών και όπως αυτές το σημείο τήξης αυξάνεται με το μήκος του μορίου. Αν και είναι χημικά σταθερές κατά την επανάληψη, τείνουν να αντιδρούν με το περιβάλλον επειδή είναι όξινες από τη φύση τους. Οι αλκοόλες σακχάρων είναι υδρογονωμένες μορφές ενός άνθρακα όπως η D-σορβιτόλη ή η ξυλιτόλη μεταξύ άλλων. Γενικά έχουν υψηλότερη λανθάνουσα θερμότητα και πυκνότητα από τις παραφίνες και τα λιπαρά οξέα. Επειδή έλιωναν σε θερμοκρασίες μεταξύ 90°C και 200°C όμως είναι ακατάλληλες για κτιριακές εφαρμογές.

7.2.1.1 Παραφίνες

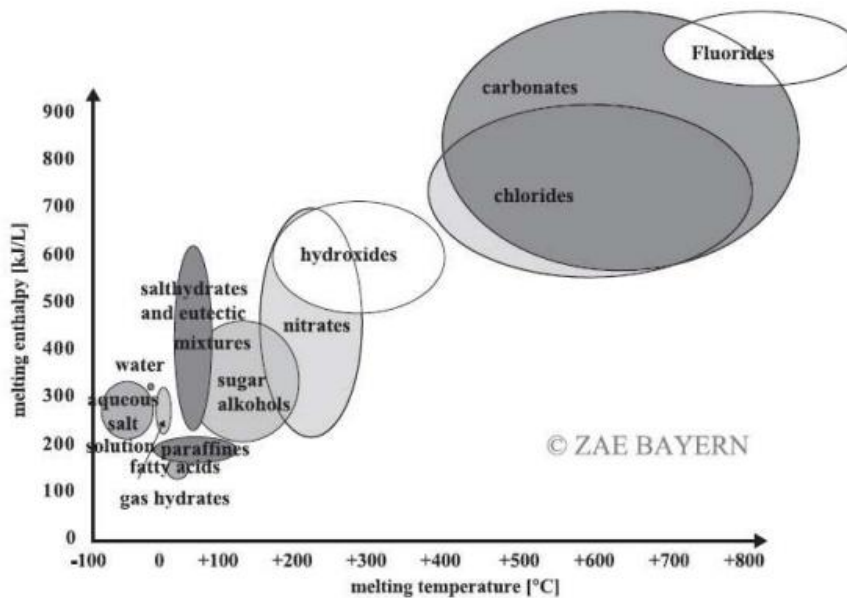
Οι παραφίνες που αποτελούνται από μια σύνθεση κεριών σε θερμοκρασία δωματίου κατατάσσονται στην οργανική οικογένεια. Οι ουσίες αποτελούνται από υδρογονάνθρακες συγκροτημένους σε ευθείες αλυσίδες με τις διακλαδισμένες ομάδες 2-μεθυλίου να βρίσκονται κοντά στο τέλος των αλυσίδων. Η παραφίνη είναι χωρισμένη σε δύο κύριες υποομάδες, τις κανονικές παραφίνες και τις ισο-παραφίνες. Το αν μια παραφίνη εμπίπτει στην πρώτη ή στη δεύτερη ομάδα εξαρτάται από το περιεχόμενο σε αλκάνια μέσα στην ουσία (που κυμαίνεται από 75 - 100%).

Τα κερία παραφίνης αποτελούνται από μίγματα κυρίως κανονικών αλκανίων με χημικό τύπο $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$. Η σταθεροποίηση της αλυσίδας $(\text{CH}_3)-$ απελευθερώνει ένα μεγάλο ποσό λανθάνουσας θερμότητας. Το σημείο τήξης και η λανθάνουσα θερμότητα τήξης αυξάνουν συναρτήσει του μήκους της αλυσίδας.

Οι παραφίνες πληρούν τις προϋποθέσεις σαν υλικά αποθήκευσης θερμότητας τήξης λόγω της διαθεσιμότητας τους σε μια μεγάλη κλίμακα θερμοκρασιών. Εξαιτίας του κόστους τους παρόλα αυτά μόνο οι τεχνητές παραφίνες μπορούν ίσως να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα λανθάνουσας αποθήκευσης θερμότητας. Οι παραφίνες είναι ασφαλείς, αξιόπιστες, προβλέψιμες, λιγότερο ακριβές και μη-διαβρωτικές. Δεν αντιδρούν χημικά και είναι σταθερές κάτω των 500°C , παρουσιάζουν μικρές αλλαγές όγκου κατά την τήξη και διαθέτουν χαμηλή πίεση εξάτμισης στην κατάσταση τήξης. Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών τους, τα συστήματα που χρησιμοποιούν παραφίνες συνήθως έχουν πολύ μεγάλο κύκλο

«πήξης-τήξης». Ο πίνακας 7.1 παρουσιάζει κάποια θερμικά χαρακτηριστικά μερικών τεχνητών παραφινών που είναι ουσιαστικά μίγματα παραφινών και όχι τελείως εξευγενισμένα έλαια. Το σημείο τήξης των αλκανίων αυξάνει με τον αυξανόμενο αριθμό των ατόμων του άνθρακα όπως προαναφέρθηκε. Εκτός από κάποια αρκετά ευνοϊκά χαρακτηριστικά όπως παραλληλισμό της τήξεως και καλές ιδιότητες αντίδρασης οι παραφίνες παρουσιάζουν και μερικά ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά όπως χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, ασυμβατότητα με το πλαστικό δοχείο και είναι κάπως εύφλεκτες. Όλα αυτά τα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά μπορούν μερικώς να περιοριστούν τροποποιώντας ελαφρώς το κερί και το αποθηκευτικό κομμάτι. Μερικές επιλεγμένες παραφίνες παρουσιάζονται στον πίνακα 7.2 μαζί με το σημείο τήξης τους, τη λανθάνουσα θερμότητα τήξης και είναι χωρισμένα σε ομάδες. Τα ΥΑΦ κατηγοριοποιούνται σαν: i) ομάδα I, τα πιο υποσχόμενα, ii) ομάδα II, υποσχόμενα και iii) ομάδα III, λιγότερο υποσχόμενα.

Το σημείο τήξης των παραφινών σχετίζεται κατευθείαν με τον αριθμό των ατόμων του άνθρακα μέσα στη δομή της ύλης με τα αλκάνια να περιέχουν 14-40 άτομα άνθρακα διαθέτοντας σημεία τήξης που κυμαίνονται από 6 έως 80 °C. Αυτές χαρακτηρίζονται ως αγνές παραφίνες και δε θα πρέπει να συγχέονται με τις κέρινες παραφίνες. Οι κέρινες παραφίνες περιέχουν 8-15 άτομα άνθρακα με χαμηλότερα σημεία τήξης κατά 2-45°C.



ΣΧΗΜΑ 7.3 Ομάδες υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν υλικά αλλαγής φάσης σύμφωνα με το χαρακτηριστικό τους εύρος για τη θερμοκρασία τήξης συναρτήσει της ενθαλπίας τήξης. [2]

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1 Φυσικές ιδιότητες κάποιων παραφινών [2]

Paraffin ^a	Freezing point/ range (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)	Group ^b
6106	42–44	189	I
P116 ^c	45–48	210	I
5838	48–50	189	I
6035	58–60	189	I
6403	62–64	189	I
6499	66–68	189	I

^aΚατασκευαστής των παραφινών 6106, 5838, 6035, 6403 and 6499: Ter Hell Paraffin Hamburg, FRG.

^bΟμάδα I, πιο υποσχόμενα, ομάδα II, υποσχόμενα ομάδα III, λιγότερο υποσχόμενα — ανεπαρκή δεδομένα

^cΚατασκευαστής της παραφίνης P116: Sun Company, USA.

Όταν οι παραφίνες φτάνουν το σημείο τήξης μια αλλοτροπική μετατροπή λαμβάνει χώρα με το υλικό να γίνεται μαλακό και το πλαστικό με τους επιμέρους κρυστάλλους να παίρνουν το σχήμα βελόνας. Επιπλέον μια δεύτερη μετατροπή συμβαίνει κάτω από το σημείο τήξης σχηματίζοντας μια εύθραυστη σκληρή δομή (παρόμοια με αυτή του τμήματος ενός σβηστού κεριού) με κρυστάλλους σχήματος δίσκου.

Οι παραφίνες σχηματίζουν ένα ιδανικό ΥΑΦ υποψήφιο για εφαρμογές οικιακής θέρμανσης εξαιτίας της μεγάλης κλίμακας θερμοκρασιών και των διάφορων δομικών τους μορφών που επιτρέπουν σε ορισμένες παραφίνες να επιλεγούν για ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών. Το υλικό, σαν οργανική σύνθεση είναι φτηνό και απαντάται σε τεράστια ποσότητα. Η αποθηκευτική ικανότητα είναι υψηλή σε σχέση με άλλες ενώσεις και συν τοις άλλοις τα υλικά αυτά έχει αποδειχθεί ότι παγώνουν χωρίς υπέρψυξη. (Ολόκληρο το περιεχόμενο του υλικού αλλάζει φάση οδηγώντας σε μια μέγιστη θερμική ικανότητα χωρίς κανένα διαχωρισμό επί μεγάλο διάστημα.)

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2 Παραφίνες: Σημείο τήξης και λανθάνουσα θερμότητα τήξης [2]

No. of carbon atoms	Melting point (°C)	Latent heat of fusion (kJ/kg)	Group ^a
14	5.5	228	I
15	10	205	II
16	16.7	237.1	I
17	21.7	213	II
18	28.0	244	I
19	32.0	222	II
20	36.7	246	I
21	40.2	200	II
22	44.0	249	II
23	47.5	232	II
24	50.6	255	II
25	49.4	238	II
26	56.3	256	II
27	58.8	236	II
28	61.6	253	II
29	63.4	240	II
30	65.4	251	II
31	68.0	242	II
32	69.5	170	II
33	73.9	268	II
34	75.9	269	II

^aΟμάδα I, πιο υποσχόμενα, ομάδα II, υποσχόμενα ομάδα III, λιγότερο υποσχόμενα — ανεπαρκή δεδομένα

7.2.1.2 Βιογενή Υλικά Αλλαγής Φάσης

Τα βιογενή ΥΑΦ τα οποία αποκτώνται από το ζωικό λίπος όπως είναι το βόειο και χοιρινό λίπος και έλαια από φυτά όπως είναι οι φοίνικες, οι καρύδες, και η σόγια είναι μια ανανεώσιμη και πράσινη εναλλακτική των παραφινών. Είναι μη τοξικά και μπορούν να υποστούν πολλές επαναλήψεις χωρίς να υποβαθμιστεί καθόλου το υλικό τους. Επειδή είναι υδρογονωμένοι υδρογονάνθρακες με κορεσμένη ηλεκτρονική διαμόρφωση είναι χημικά σταθεροί και μπορούν να διαρκέσουν για δεκαετίες. Επιπλέον αυτά

τα ΥΑΦ που βασίζονται στα λίπη και στα έλαια προσφέρουν παρόμοια ή βελτιωμένη απόδοση, μεγαλύτερο βαθμό ανθεκτικότητας στην πυρκαγιά και μειωμένα κόστη.

7.2.1.3 Λιπαρά Οξέα

Ανάμεσα σε όλα τα ΥΑΦ που περιλαμβάνουν τα βιογενή ΥΑΦ, τα λιπαρά οξέα έχουν ανώτερα πλεονεκτήματα όπως ομοιόμορφη τήξη και ψύξη, υψηλή λανθάνουσα θερμοκρασία τήξης, χαμηλό κόστος, ανθεκτικότητα έναντι της πυρκαγιάς, πολύ μικρή υπόψυξη και αλλαγή όγκου και καλή χημική και θερμική σταθερότητα μετά από ένα μεγάλο αριθμό θερμικών κύκλων (Sari et al. 2009, Sari 2003). Ένα άλλο εναλλακτικό χαρακτηριστικό είναι ότι οι θερμοκρασίες τήξης μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις επιλέγοντας ένα σωστό συνδυασμό εύτηκτων διφασικών μιγμάτων των λιπαρών οξέων. Τα εύτηκτα μίγματα των λιπαρών οξέων όπως τα ΥΑΦ επίσης ανακτούν τις καλές τους θερμικές σταθερότητες όπως ένα απλό λιπαρό οξύ μετά από επαναλαμβανόμενη θερμική διεργασία (Sari 2005, Sari et al. 2004).

Στην πραγματικότητα αυτά τα βιογενή ΥΑΦ έχουν τη δυνατότητα να αντικαταστήσουν τα ΥΑΦ που αποτελούν παράγωγα του πετρελαίου και να βοηθήσουν στη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα και στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου γενικότερα. Επειδή τα περισσότερα χαρακτηριστικά των παραγώγων των λιπών και των ελαίων είναι παρόμοια με αυτά των παραφινών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε παρόμοιες εφαρμογές. Για παράδειγμα τα προϊόντα κεριού όπως είναι τα κεριά, τα μολύβια, και οι επικαλύψεις οι οποίες κυριαρχούνται σε μεγάλο βαθμό από τις παραφίνες, κατασκευάζονται πλέον χρησιμοποιώντας βιογενή και ανανεώσιμες πρώτες ύλες όπως υδρογονωμένο σογιέλαιο.

7.2.1.4 Κοκοφοινικέλαιο

Η καρύδα είναι το κύριο συστατικό διατροφής εκατομμυρίων ανθρώπων που ζουν στις τροπικές περιοχές του κόσμου. Το κοκοφοινικέλαιο (έλαιο που αποσπάται από τα λίπη των καρυδών) είναι ένας τύπος κορεσμένου λιπαρού οξέος που περιέχει 44%–51% λαυρινικό οξύ ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$). Για τις κτιριακές εφαρμογές, είναι σημαντικό ότι τα λιπαρά οξέα ενθυλακώνονται καλά. Αλλιώς τείνουν να ρέουν παντού όταν υφίστανται αλλαγή φάσης. Οι μικροκάψουλες που χρησιμοποιούν λαυρινικό οξύ σαν πυρήνα και κατάλοιπο μελαμίνης- φορμαλδεΐδης σαν κέλυφος έχουν επιτυχώς προετοιμαστεί σαν ΥΑΦ για λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας με μερικό πολυμερισμό (Bao et al. 2011, Su et al. 2006). Ο Özonur και οι συνεργάτες του (2006) έφτιαξαν επιτυχώς μικροκάψουλες από φυσικό μίγμα λιπαρού οξέος κοκοφοίνικα σαν πυρήνα και αραβική ζελατίνη-κόμμι σαν υλικό κελύφους με μια τεχνητή σύνθετης κροκίδωσης. Ο Chai και οι συνεργάτες του (2007) ενθυλάκωσαν στεαρικό και παλμιτικό οξύ με SiO_2 χρησιμοποιώντας μια μονοβηματική, στέρεας κατάσταση χημική αντίδραση σε χαμηλή θερμοκρασία.

7.2.1.5 Μη- Παραφίνες

Οι οργανικές μη-παραφίνες είναι τα πιο πολυπληθή υλικά αλλαγής φάσης με υψηλά κυμαινόμενες ιδιότητες. Κάθε ένα από αυτά τα υλικά έχει τις δικές του ιδιότητες σε αντίθεση με τις παραφίνες που έχουν όλες παρόμοιες ιδιότητες. Αυτή είναι η μεγαλύτερη κατηγορία των υποψήφιων υλικών για αποθήκευση με αλλαγή φάσης. Οι Abhat et al. και Buddhi και Sawhney πραγματοποίησαν μια εκτενή έρευνα πάνω στα οργανικά υλικά και προσδιόρισαν έναν αριθμό εστέρων, λιπαρών οξέων, αλκοόλης και γλυκόλης κατάλληλα για αποθήκευση ενέργειας.

Αυτά τα οργανικά υλικά κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε λιπαρά οξέα και σε άλλες οργανικές μη-παραφίνες. Αυτά τα υλικά είναι εύφλεκτα και δεν πρέπει να εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες, φλόγες ή οξειδωτικούς παράγοντες. Μερικές μη-παραφίνες παρουσιάζονται στον πίνακα 7.4. Μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτών των οργανικών υλικών είναι τα ακόλουθα: i) υψηλή θερμότητα τήξης, ii)

ευφλεκτότητα, iii) χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, iv) χαμηλά σημεία ανάφλεξης, v) κυμαινόμενο επίπεδο τοξικότητας και vi) αστάθεια σε υψηλές θερμοκρασίες.

Τα λιπαρά οξέα έχουν υψηλή θερμότητα τήξης συγκρινόμενη με αυτή των παραφινών. Τα λιπαρά οξέα παρουσιάζουν επίσης συμπεριφορά ως προς την τήξη και την πήξη που επαναλαμβάνεται χωρίς υπέρψυξη. Ο γενικός τύπος που περιγράφει όλα τα λιπαρά οξέα δίνεται από $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ και πληρούν όλες τις προϋποθέσεις σαν καλά ΥΑΦ. Το μεγαλύτερο τους μειονέκτημα είναι παρόλα αυτά το κόστος τους, το οποίο είναι 2-2,5 φορές μεγαλύτερο από αυτό των εμπορικών παραφινών. Είναι επίσης ελαφρώς διαβρωτικά. Μερικά λιπαρά οξέα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για χαμηλής θερμοκρασίας εφαρμογές αποθήκευσης λανθάνουσας θερμικής ενέργειας παρουσιάζονται στον πίνακα 7.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3 Λιπαρά Οξέα: Σημείο τήξης και λανθάνουσα θερμότητα τήξης [2]

Material	Formula	Melting point (°C)	Latent heat (kJ/kg)	Group ^a
Acetic acid	CH_3COOH	16.7	184	I
Polyethylene glycol 600	$\text{H}(\text{OC}_2\text{H}_4)_n\text{OH}$	20–25	146	I
Capric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	36	152	–
Eladic acid	$\text{C}_8\text{H}_7\text{C}_9\text{H}_{16}\text{COOH}$	47	218	I
Lauric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	49	178	II
Pentadecanoic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{COOH}$	52.5	178	–
Tristearin	$(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_3\text{C}_3\text{H}_5$	56	191	I
Myristic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	58	199	I
Palmatic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	55	163	I
Stearic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69.4	199	I
Acetamide	CH_3CONH_2	81	241	I
Methyl fumarate	$(\text{CHCO}_2\text{NH}_3)_2$	102	242	I

^aΟμάδα I, πιο υποσχόμενα, ομάδα II, υποσχόμενα ομάδα III, λιγότερο υποσχόμενα — ανεπαρκή δεδομένα

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4 Μη- Παραφίνες: Σημείο τήξης και λανθάνουσα θερμότητα τήξης [2]

Material	Melting point (°C)	Latent heat (kJ/kg)	Group ^a
Formic acid	7.8	247	III
Caprylic acid	16.3	149	-
Glycerin	17.9	198.7	III
D-Lactic acid	26	184	I
Methyl palmitate	29	205	II
Camphenilone	39	205	II
Docasyl bromide	40	201	II
Caprylone	40	259	II
Phenol	41	120	III
Heptadecanone	41	201	II
1-Cyclohexyloctadecane	41	218	II
4-Heptadecanone	41	197	II
<i>p</i> -Joluidine	43.3	167	-
Cyanamide	44	209	II
Methyl eicosanate	45	230	II
3-Heptadecanone	48	218	II
2-Heptadecanone	48	218	II
Hydrocinnamic acid	48.0	118	-
Cetyl alcohol	49.3	141	-
α -Nepthylamine	50.0	93	-
Camphene	50	238	III

Camphene	50	238	III
O-Nitroaniline	50.0	93	-
9-Heptadecanone	51	213	II
Thymol	51.5	115	-
Methyl behenate	52	234	II
Diphenyl amine	52.9	107	-
p-Dichlorobenzene	53.1	121	-
Oxolate	54.3	178	-
Hypophosphoric acid	55	213	II
O-Xylene dichloride	55.0	121	-
β-Chloroacetic acid	56.0	147	III
Chloroacetic acid	56	130	III
Nitro naphthalene	56.7	103	-
Trimyristin	33-57	201-213	I
Heptadecanoic acid	60.6	189	II
α-Chloroacetic acid	61.2	130	-
Bee wax	61.8	177	II
Bees wax	61.8	177	II
Glyolic acid	63.0	109	-
Glycolic acid	63	109	-
p-Bromophenol	63.5	86	-
Azobenzene	67.1	121	-
Acrylic acid	68.0	115	-
Dinito toluent (2,4)	70.0	111	-
Phenylacetic acid	76.7	102	-
Thiosinamine	77.0	140	-
Bromcamphor	77	174	-
Durene	79.3	156	-
Benzylamine	78.0	174	-
Methyl brombenzoate	81	126	-
Alpha naphthol	96	163	-
Glutaric acid	97.5	156	-
p-Xylene dichloride	100	138.7	-
Catechol	104.3	207	III
Quinone	115	171	II
Acetanilide	118.9	222	II
Succinic anhydride	119	204	II
Benzoic acid	121.7	142.8	III

^aΟμάδα I, πιο υποσχόμενα, ομάδα II, υποσχόμενα ομάδα III, λιγότερο υποσχόμενα — ανεπαρκή δεδομένα

7.2.2 Ανόργανα Υλικά Αλλαγής Φάσης

Τα ανόργανα ΥΑΦ καλύπτουν μια ευρεία γκάμα θερμοκρασιών. Αν και τα ανόργανα ΥΑΦ έχουν παρόμοια λανθάνουσα θερμότητα ανά μονάδα μάζας, το προκύπτον κρυσταλλικό στερεό έχει χημικό τύπο AB_nH_2O . Κάποια παραδείγματα είναι τα $CaCl_2 \cdot 6H_2O$, $LiNO_3 \cdot 3H_2O$, και $KF \cdot 3H_2O$. Τα ένυδρα άλατα είναι μη-τοξικά, μη-εύφλεκτα και λιγότερα διαβρωτικά με υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα από τα οργανικά ΥΑΦ. Τα ένυδρα άλατα έχουν θερμοκρασίες τήξης εύρους μεταξύ $5^\circ C$ και $130^\circ C$, που αποτελεί ένα κατάλληλο εύρος για κτιριακές εφαρμογές.

7.2.2.1 Ένυδρα Άλατα

Τα ένυδρα άλατα μπορούν να θεωρηθούν σαν κράματα ανόργανων αλάτων και νερού που σχηματίζουν ένα κρυσταλλικό στερεό γενικού τύπου AB_nH_2O . Η μετατροπή από στερεό σε υγρό των ένυδρων αλάτων

είναι στην ουσία μια αφυδάτωση των ένυδρων αλάτων, αν και αυτή η διαδικασία μοιάζει με λιώσιμο ή πάγωμα με θερμοδυναμικό τρόπο. Για παράδειγμα, ένα ένυδρο άλας συνήθως μεταπίπτει (λιώνει) σε ένα ένυδρο άλας με λιγότερα μόρια νερού.

Ή στην άνυδρη μορφή του:

Στο σημείο τήξης οι κρύσταλλοι των ένυδρων αλάτων διαχωρίζονται σε άνυδρα άλατα και νερό ή σε ένα λιγότερο ένυδρο και νερό. Ένα πρόβλημα με τα περισσότερα ένυδρα άλατα είναι αυτό με την ανομοιομορφη τήξη που προκαλείται από το γεγονός ότι το νερό που απελευθερώνεται από την αποκρυσταλλοποίηση δεν είναι αρκετό για να διαλύσει όλο το στερεό της παρούσης φάσης. Εξαιτίας της διαφοράς πυκνότητας, το λιγότερο ένυδρο (ή ένυδρο άλας) κατακάθεται στον πυθμένα του δοχείου.

Τα περισσότερα ένυδρα άλατα έχουν φτωχές ιδιότητες αντίδρασης που οδηγούν σε υπέρψυξη του υγρού πριν λάβει χώρα η κρυσταλλοποίηση. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να προσθέσουμε ένα πυρηνικό παράγοντα για να αντιδράσει. Μια άλλη πιθανότητα είναι να διατηρήσουμε μερικούς κρυστάλλους σε μια μικρή κρύα περιοχή έτσι ώστε να χρησιμεύσουν σαν αντιδρώντα.

Τα ένυδρα άλατα είναι τα πιο σημαντικά από την ομάδα των ΥΑΦ που έχουν μελετηθεί εκτενώς για την χρήση τους σε θερμικά συστήματα λανθάνουσας αποθήκευσης ενέργειας. Οι πιο ελκυστικές ιδιότητες των ένυδρων αλάτων είναι: i) υψηλή λανθάνουσα θερμότητα τήξεως ανά μονάδα όγκου, ii) σχετικά υψηλή θερμική αγωγιμότητα (σχεδόν η διπλάσια από εκείνη των παραφινών) και iii) μικρές αλλαγές όγκου κατά την τήξη. Δεν είναι πολύ διαβρωτικά, είναι συμβατά με το πλαστικό και ελαφρώς τοξικά. Αρκετά ένυδρα άλατα είναι αρκετά ακριβά για χρήση στην αποθήκευση.

Τρία είδη συμπεριφοράς των τηκόμενων αλάτων μπορούν να προσδιοριστούν: ομοιογενής, ανομοιογενής και ημι-ομοιογενής τήξη.

✓ Ομοιογενής τήξη συμβαίνει όταν το ένυδρο άλας είναι τελείως διαλυτό στο νερό της ενυδάτωσης του στη θερμοκρασία τήξης.

✓ Ανομοιογενής τήξη συμβαίνει όταν το άλας δεν είναι εξολοκλήρου διαλυτό στο νερό της ενυδάτωσης του στη θερμοκρασία τήξης.

✓ Ημι-ομοιογενής τήξη συμβαίνει όταν η υγρή και η στέρεα φάση που είναι σε ισορροπία κατά τη διάρκεια μεταβολής της φάσης είναι διαφορετικής σύνθεσης κατά την τήξη λόγω της μετατροπής από ένα ένυδρο σε ένα λιγότερο ένυδρο υλικό μέσα από την απώλεια νερού.

Το κυριότερο πρόβλημα της χρήσης των ένυδρων αλάτων, καθώς τα ΥΑΦ είναι τα περισσότερα εξ' αυτών, αφού κρίνονται ως κατάλληλα για χρήση σε εφαρμογές θερμική αποθήκευση, είναι ότι λιώνουν ανομοιογενώς. Καθώς η μόρια νερού ενυδάτωσης δεν είναι αρκετά για να διαλύσουν ένα μόριο άλατος. Η λύση που συνεπάγεται είναι ο υπερκορεσμός σε θερμοκρασία τήξης. Το στερεό άλας, εξαιτίας της υψηλής πυκνότητας του, κατακάθεται στον πάτο του δοχείου και είναι μη-διαθέσιμο για επανασύνδεση με νερό κατά τη διάρκεια της αντίστροφης διαδικασίας του παγώματος. Αυτό οδηγεί σε μη αντιστρέψιμη διαδικασία τήξης-παγώματος του ένυδρου άλατος το οποίο συνεχίζει να μειώνεται σε κάθε κύκλο φόρτισης – αποφόρτισης.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα κοινό στα ένυδρα άλατα είναι αυτό της υπέρψυξης. Στη θερμοκρασία τήξης, το ποσοστό της αντίδρασης είναι γενικά πολύ χαμηλό. Για να πετύχουμε μια λογική κλίμακα

αντίδρασης θα πρέπει να υπερψύχεται το διάλυμα και έτσι η ενέργεια αντί να απελευθερώνεται στη θερμοκρασία τήξης, θα απελευθερώνεται σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία.

Συνεχίζοντας, ένα ακόμη πρόβλημα που αντιμετωπίζεται με τα ένυδρα άλατα είναι η αυθόρμητη αντίδραση των ένυδρων αλάτων με μικρότερο αριθμό μορίων νερού κατά τη διάρκεια της αποφόρτισης. Η πρόσθεση χημικών μπορεί να εμποδίσει την αντίδραση των λιγότερο ένυδρων αλάτων, κίνηση η οποία αυξάνει ευνοϊκά τη διαλυτότητα των λιγότερο ένυδρων αλάτων έναντι των αυθεντικών ένυδρων αλάτων με αυξημένο αριθμό μορίων νερού.

Το πρόβλημα της ανομοιογενούς τήξης μπορεί να αντιμετωπιστεί με τα ακόλουθα μέσα: i) με μηχανική ανάδευση, ii) με ενσωμάτωση σε μικροκάψουλες των ΥΑΦ για να μειωθεί ο διαχωρισμός, iii) με προσθήκη παραγόντων πάχυνσης που εμποδίζουν τη ρύθμιση των στερεών αλάτων κρατώντας τα σε αναστολή, iv) με χρήση πλεονάζοντος νερού έτσι ώστε οι κρύσταλλοι που λιώνουν να μην παράγουν υπερκορεσμένο διάλυμα, v) με τροποποίηση της χημικής σύνθεσης του συστήματος και μετατρέποντας το ανομοιογενές υλικό σε ομοιογενές.

Για να ξεπεράσουμε το πρόβλημα του διαχωρισμού του άλατος και της υπέρψυξης των ένυδρων αλάτων, οι επιστήμονες της General Electric Co., NY πρότειναν το σύστημα θερμικής αποθήκευσης σε ένα κυλιόμενο κύλινδρο. Το σύστημα αποτελείται από ένα κυλινδρικό δοχείο το οποίο περιστοιχίζεται οριζόντια από δυο σετ κυλίνδρων. Ένας ρυθμός περιστροφής της τάξης των 3RPM παράγει αρκετή κίνηση του στερεού περιεχομένου i) για να δημιουργήσει αποτελεσματική χημική ισορροπία, ii) για να εμποδίσει αντίδραση των στερεών κρυστάλλων με τους τοίχους και iii) για να εξασφαλίσει ταχεία επίτευξη της αξονικής ισορροπίας στους μεγάλους κυλίνδρους. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου των κυλιόμενων κυλίνδρων όπως καταχωρήθηκε από τον Herrick et al. είναι: i) πλήρης αλλαγή φάσης, ii) η λανθάνουσα θερμότητα που απελευθερώνεται είναι της τάξης των 90-100% της θεωρητικής λανθάνουσας θερμότητας, iii) επαναλαμβανόμενη απόδοση για περισσότερες από 200 επαναλήψεις, iv) υψηλά ποσοστά εσωτερικής μετάδοσης θερμότητας, v) ομοιόμορφο πάγωμα. Μια λίστα ένυδρων αλάτων δίνεται στον πίνακα 7.5..

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.5 Ένυδρα άλατα: Σημείο τήξης και λανθάνουσα θερμότητα τήξης [2]

Material	Melting point (°C)	Latent heat (kJ/kg)	Group ^a
K ₂ HPO ₄ ·6H ₂ O	14.0	109	II
FeBr ₃ ·6H ₂ O	21.0	105	II
Mn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	25.5	148	II
FeBr ₃ ·6H ₂ O	27.0	105	II
CaCl ₂ ·12H ₂ O	29.8	174	I
LiNO ₃ ·2H ₂ O	30.0	296	I
LiNO ₃ ·3H ₂ O	30	189	I
Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	32.0	267	II
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	32.4	241	II
KFe(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	33	173	I
CaBr ₂ ·6H ₂ O	34	138	II
LiBr ₂ ·2H ₂ O	34	124	I

Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	36.1	134	III
FeCl ₃ ·6H ₂ O	37.0	223	I
Mn(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	37.1	115	II
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	40.0	279	II
CoSO ₄ ·7H ₂ O	40.7	170	I
KF·2H ₂ O	42	162	III
MgI ₂ ·8H ₂ O	42	133	III
CaI ₂ ·6H ₂ O	42	162	III
K ₂ HPO ₄ ·7H ₂ O	45.0	145	II
Zn(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	45	110	III
Mg(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	47.0	142	II
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	47.0	153	I
Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	47	155	I
Na ₂ SiO ₃ ·4H ₂ O	48	168	II
K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	48	99	II
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	48.5	210	II
MgSO ₄ ·7H ₂ O	48.5	202	II
Ca(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O	51	104	I
Zn(NO ₃) ₂ ·2H ₂ O	55	68	III
FeCl ₃ ·2H ₂ O	56	90	I
Ni(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	57.0	169	II
MnCl ₂ ·4H ₂ O	58.0	151	II
MgCl ₂ ·4H ₂ O	58.0	178	II
CH ₃ COONa·3H ₂ O	58.0	265	II
Fe(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	60.5	126	-
NaAl(SO ₄) ₂ ·10H ₂ O	61.0	181	I
NaOH·H ₂ O	64.3	273	I
Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	65.0	190	-
LiCH ₃ COO·2H ₂ O	70	150	II
Al(NO ₃) ₂ ·9H ₂ O	72	155	I
Ba(OH) ₂ ·8H ₂ O	78	265	II
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	89.9	167	II
KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	91	184	II
MgCl ₂ ·6H ₂ O	117	167	I

^aΟμάδα I, πιο υποσχόμενα, ομάδα II, υποσχόμενα ομάδα III, λιγότερο υποσχόμενα — ανεπαρκή δεδομένα

7.2.2.2 Μέταλλα

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τα μέταλλα χαμηλής τήξης και τα ευτηκτικά μέταλλα. Αυτά τα μέταλλα δεν έχουν ακόμα ληφθεί υπόψη για την τεχνολογία των ΥΑΦ εξαιτίας των κυρώσεων βάρους. Παρόλα αυτά, όταν λαμβάνεται υπόψη ο όγκος, είναι πιθανά υποψήφια εξαιτίας της υψηλής θερμότητας τήξης ανά μονάδα όγκου. Έχουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα, οπότε προσθήκες με περίσσεια βάρους δεν απαιτούνται. Η χρήση των μετάλλων θέτει έναν αριθμό ασυνήθιστων μηχανολογικών προβλημάτων. Μια μεγάλη διαφορά των μετάλλων από τα άλλα ΥΑΦ είναι η υψηλή θερμική αγωγιμότητά τους. Μια λίστα επιλεγμένων μετάλλων δίνεται στον πίνακα 7.6. Κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτών των υλικών είναι τα ακόλουθα: i) χαμηλή θερμότητα τήξης ανά μονάδα βάρους, ii) υψηλή θερμότητα τήξης ανά μονάδα όγκου, iii) υψηλή θερμική αγωγιμότητα, iv) χαμηλή ειδική θερμότητα και v) σχετικά χαμηλή θερμοκρασία εξάτμισης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.6 Μέταλλα: Σημείο τήξης και λανθάνουσα θερμότητα τήξης [2]

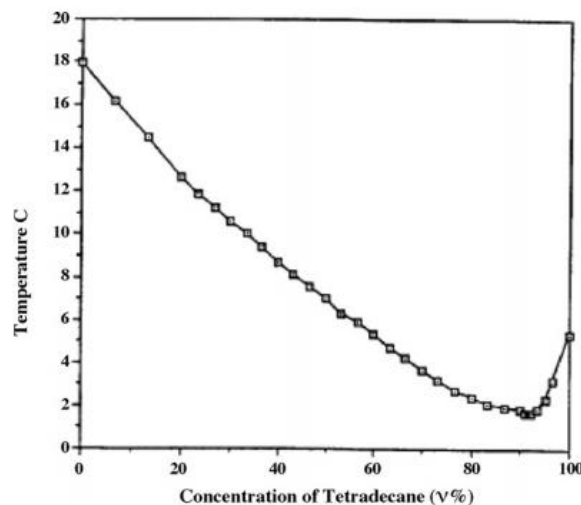
Material	Melting point (°C)	Latent heat (kJ/kg)	Group ^a
Gallium-gallium antimony eutectic	29.8	-	-
Gallium	30.0	80.3	I
Cerrowal eutectic	58	90.9	-
Bi-Cd-In eutectic	61	25	-
Cerrobend eutectic	70	32.6	I
Bi-Pb-In eutectic	70	29	-
Bi-In eutectic	72	25	-
Bi-Pb-tin eutectic	96	-	-
Bi-Pb eutectic	125	-	-

^aΟμάδα I, πιο υποσχόμενα, ομάδα II, υποσχόμενα ομάδα III, λιγότερο υποσχόμενα — ανεπαρκή δεδομένα

7.2.3 Εύτηκτα μίγματα

Ένα εύτηκτο μίγμα είναι μια σύνθεση ελάχιστης τήξης αποτελούμενη από δύο ή περισσότερα συστατικά, καθένα από τα οποία λιώνει και παγώνει ομοιογενώς σχηματίζοντας ένα μίγμα των περιεχόμενων κρυστάλλων κατά την κρυσταλλοποίηση. Τα εύτηκτα μίγματα σχεδόν πάντα λιώνουν και πήζουν χωρίς διαχωρισμό αφού παγώνουν σε ένα οικείο μίγμα κρυστάλλων αφήνοντας μικρή ευκαιρία στα συστατικά τους να χωριστούν. Κατά το λιώσιμο και τα δυο συστατικά υγροποιούνται ταυτόχρονα καθιστώντας και πάλι απίθανο το διαχωρισμό.

Μερικές συνθέσεις ΥΑΦ που διαχωρίζονται έχουν λανθασμένα χαρακτηριστεί εύτηκτα, επειδή λιώνουν ελάχιστα. Επειδή τα συστατικά υφίστανται μια περιτηκτική αντίδραση κατά τη διάρκεια της μεταβολής φάσης θα ήταν προτιμότερο και σωστότερο να χαρακτηριστούν ως περιτηκτικά. Το σημείο πήξης του μίγματος τετραδεκανίου (5,3°C) και του εξαδεκανίου (17,9°C) παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί. Το ευτηκτικό σημείο του μίγματος δεκαεξανίου-τετραδεκανίου εργαστηριακής ποιότητας λαμβάνει χώρα στο 91,67% του τετραδεκανίου και η θερμοκρασία αλλαγής φάσης είναι περίπου 1,7°C. Μια λίστα ευτηκτικών δίνεται στον πίνακα 7.7.



ΣΧΗΜΑ 7.4 Σημείο πήξης του μίγματος τετραδεκανίου-εξαδεκανίου [1]

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.7 Λίστα οργανικών και ανόργανων ευτηκτικών [1]

Material	Composition (wt.%)	Melting point (°C)	Latent heat (kJ/kg)	Group ^a
CaCl ₂ ·6H ₂ O + CaBr ₂ ·6H ₂ O	45 + 55	14.7	140	-
Triethylolthane + water + urea	38.5 + 31.5 + 30	13.4	160	I
C ₁₄ H ₂₈ O ₂ + C ₁₀ H ₂₀ O ₂	34 + 66	24	147.7	-
CaCl ₂ + MgCl ₂ ·6H ₂ O	50 + 50	25	95	II
CH ₃ CONH ₂ + NH ₂ CONH ₂	50 + 50	27	163	II
Triethylolthane + urea	62.5 + 37.5	29.8	218	I
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O + Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	47 + 53	30	136	-
CH ₃ COONa·3H ₂ O + NH ₂ CONH ₂	40 + 60	30	200.5	I
NH ₂ CONH ₂ + NH ₄ NO ₃	53 + 47	46	95	II
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + NH ₄ NO ₃	61.5 + 38.5	52	125.5	I
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + MgCl ₂ ·6H ₂ O	58.7 + 41.3	59	132.2	I
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + MgCl ₂ ·6H ₂ O	50 + 50	59.1	144	-
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	53 + 47	61	148	-
CH ₃ CONH ₂ + C ₁₇ H ₃₅ COOH	50 + 50	65	218	-
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + MgBr ₂ ·6H ₂ O	59 + 41	66	168	I
Napthalene + benzoic acid	67.1 + 32.9	67	123.4	-
NH ₂ CONH ₂ + NH ₄ Br	66.6 + 33.4	76	151	II
LiNO ₃ + NH ₄ NO ₃ + NaNO ₃	25 + 65 + 10	80.5	113	-
LiNO ₃ + NH ₄ NO ₃ + KNO ₃	26.4 + 58.7 + 14.9	81.5	116	-
LiNO ₃ + NH ₄ NO ₃ + NH ₄ Cl	27 + 68 + 5	81.6	108	-

^a Ομάδα I, πιο υποσχόμενα, ομάδα II, υποσχόμενα ομάδα III, λιγότερο υποσχόμενα — ανεπαρκή δεδομένα

7.2.4 Υλικά Αλλαγής Φάσης Σταθεροποιημένου Σχήματος (ss-PCM)

Πρόσφατα ένα καινούριο ΥΑΦ γνωστό σαν σταθεροποιημένου σχήματος (ss) ΥΑΦ έχει αναπτυχθεί το οποίο μπορεί να διατηρήσει την στέρεα δομή του κατά τη μεταβολή φάσης. Το ss-ΥΑΦ είναι ένα σύνθετο του ΥΑΦ με ένα άλλο υλικό αποτελούμενο από παραφίνη ενσωματωμένο σε μικροσκοπικό επίπεδο σε μια πορώδη δομή υποστήριξης όπως είναι το υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο. Τα ss-ΥΑΦ προσφέρουν πολλά οφέλη περιλαμβανομένων και της υψηλής λανθάνουσας χωρητικότητας, κατάλληλη θερμική αγωγιμότητα και καθόλου ανάγκη για δοχείο επειδή τα ss-ΥΑΦ δεν τείνουν να ρέουν έξω από την πορώδη δομή κατά τη διάρκεια της τήξης. Οι Inaba και Hu (1997) δεν παρατήρησαν διαρροή παραφίνης μέσα από ένα δίκτυο υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο για επίπεδα φόρτισης παραφίνης τόσο υψηλά όσο το 75% κατά βάρος. Ο Yinping και οι συνεργάτες του (2006) προετοίμασαν ss-παραφίνη με 80% κατά βάρος φορτίο παραφίνης και βρήκαν ότι κανένα δοχείο δεν απαιτήθηκε (π.χ. δείγματα μπορούν να κοπούν σε κομμάτια χωρίς καμία διοχέτευση)

7.3 Σύνοψη Πλεονεκτημάτων και Μειονεκτημάτων των Επιμέρους ΥΑΦ για Εφαρμογές Θερμικής Αποθήκευσης [3], [5]

Έχοντας ολοκληρώσει την ταξινόμηση των ΥΑΦ σε επιμέρους κατηγορίες θα παρουσιάσω συνοπτικά και με πιο ευκρινή μορφή παρακάτω τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Συνεπώς έχω:

Οργανικά Υλικά Αλλαγής Φάσης (Παραφίνες (C_nH_{2n+2}) και Λιπαρά Οξέα (CH₃(CH₂)_{2n}COOH))

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Πήξη χωρίς πολύ υπέρψυξη
2. Ικανότητα ομοιογενούς τήξης
3. Ιδιότητες αυτοαντίδρασης
4. Συμβατότητα με συμβατικά υλικά κατασκευής

5. Μη-διαχωρισμός
6. Χημικά σταθερά
7. Υψηλή θερμότητα τήξης
8. Ασφαλή και μη-αντιδραστικά
9. Ανακυκλώσιμα

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα στη στερεά κατάστασή τους. Υψηλά ποσοστά μεταφοράς θερμότητας απαιτούνται κατά τη διάρκεια του κύκλου πήξης.
2. Η ογκομετρική χωρητικότητα για αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας είναι χαμηλή.
3. Εύφλεκτα. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί εύκολα από ένα κατάλληλο δοχείο.
4. Για να λάβουμε αξιόπιστα σημεία αλλαγής φάσης, οι περισσότεροι κατασκευαστές χρησιμοποιούν τις τεχνητές παραφίνες που είναι ουσιαστικά μίγμα παραφίνης (-ών) , το οποίο στην ουσία είναι εξευγενισμένο έλαιο οδηγώντας τελικώς σε υψηλά κόστη.

Ανόργανα Υλικά Αλλαγής Φάσης (Ενυδρα Άλατα (M_nH_2O))

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Υψηλή ογκομετρική χωρητικότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας
2. Διαθεσιμότητα και χαμηλό κόστος.
3. Αιχμηρό σημείο τήξης
4. Υψηλή θερμότητα τήξης
5. Όχι εύφλεκτα

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Μεγάλη αλλαγή του όγκου.
2. Η υπέρψυξη είναι μείζον πρόβλημα στη μετατροπή στερεού-υγρού.
3. Αντιδρώντες παράγοντες χρειάζονται και συχνά γίνονται μη λειτουργικοί έπειτα από πολλές επαναλήψεις.

Εύτηκτα μίγματα

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Τα ευτηκτικά έχουν αιχμηρό σημείο τήξης σε σύγκριση με τις αγνές ουσίες.
2. Η ογκομετρική πυκνότητα αποθήκευσης είναι ελαφρώς μεγαλύτερη των οργανικών ενώσεων.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Μόνο περιορισμένα δεδομένα είναι διαθέσιμα σχετικά με τις θερμοφυσικές ιδιότητες τους καθώς η χρήση αυτών των υλικών είναι πολύ πρόσφατη στις εφαρμογές θερμικής αποθήκευσης.

Πολλές ουσίες έχουν μελετηθεί σαν πιθανά ΥΑΦ, αλλά μόνο μερικά από αυτά χρησιμοποιούνται στο εμπόριο για αυτό το σκοπό. Παραπάνω παραθέσαμε τις κατηγορίες στις οποίες υπάγονται τα διάφορα ΥΑΦ ανάλογα με τις ιδιότητες τους (ανόργανα, οργανικά και λιπαρά οξέα έχουν συγκεντρώσει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον) και μελετώνται από πολλούς ερευνητές μέχρι και σήμερα για την πιθανή χρήση τους στη θερμική αποθήκευση.

Υλικά που είναι προς χρήση στην αποθήκευση θερμικής ενέργειας με αλλαγή φάσης πρέπει να έχουν μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα και υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Θα πρέπει να έχουν μια θερμοκρασία τήξης σύμφωνη με την τάξη της πρακτικής εφαρμογής στην οποία θα λειτουργήσουν, να τήκονται ομοιόμορφα με μικρή υπόψυξη και να είναι χημικά σταθερά, χαμηλά σε κόστος, μη-τοξικά και μη-διαβρωτικά. Υλικά τα οποία έχουν μελετηθεί τα τελευταία 40 χρόνια είναι όπως είδαμε τα ένυδρα άλατα, οι παραφίνες κεριού, τα λιπαρά οξέα και τα εύτηκτα μίγματα των οργανικών και ανόργανων ενώσεων.

Σύμφωνα λοιπόν με έρευνες που έχουν γίνει τα χαρακτηριστικά των ΥΑΦ που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στην αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας τα οποία αναδείχθηκαν ως οι πιο επιθυμητά είναι :

✓ Θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά. Τα ΥΑΦ πρέπει να διαθέτουν:

1. Θερμοκρασία τήξης στο επιθυμητό θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας για να εξασφαλίσει την αποθήκευση και την απαγωγή της θερμότητας σε μια εφαρμογή με ένα στάνταρ θερμοκρασιακό εύρος.

2. Υψηλή λανθάνουσα θερμότητα τήξης ανά μονάδα όγκου για να μπορεί να πετύχει υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης σε σύγκριση με την αισθητή αποθήκευση.

3. Υψηλή ειδική θερμότητα για να μπορεί να παρέχει επιπρόσθετη σημαντική αποθήκευση αισθητής θερμότητας,

4. Μεγάλη πυκνότητα και υψηλή θερμική αγωγιμότητα και της στέρεας και της υγρής φάσης ώστε να μπορούν να υποβοηθούν την φόρτιση και την αποφόρτιση της ενέργειας από το αποθηκευτικό σύστημα.

5. Μικρές μεταβολές όγκου κατά τη μεταβολή φάσης και μικρή πίεση εξάτμισης στις θερμοκρασίες λειτουργίας για να μειωθεί το πρόβλημα του δοχείου.

6. Ομοιογενής τήξη του ΥΑΦ για μια συνεχή ικανότητα αποθήκευσης σε κάθε κύκλο τήξης-πήξης

7. Επαναλαμβανόμενη αλλαγή φάσης, δηλαδή χρήση του ΥΑΦ πολλές φορές (συχνά καλείται και σταθερότητα κύκλου)

✓ Κινητικά χαρακτηριστικά

1. Υψηλό ποσοστό αντίδρασης για να αποφύγουμε την υπέρψυξη της υγρής φάσης και για να διαβεβαιώσουμε ότι η τήξη και η πήξη συμβαίνουν στην ίδια θερμοκρασία.

2. Υψηλό ρυθμό κρυσταλλικής ανάπτυξης, έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να πληροί τις απαιτήσεις της θερμικής επαναφοράς από το σύστημα αποθήκευσης.

✓ Χημικά χαρακτηριστικά

1. Χημική σταθερότητα

2. Πλήρη αντιστρέψιμο κύκλο πήξης/τήξης

3. Όχι υποβάθμιση του υλικού μετά από ένα μεγάλο αριθμό κύκλων τήξης/πήξης

4. Μη-διαβρωτικά, μη-τοξικά, μη-εύφλεκτα και μη-εκρηκτικά υλικά για οικολογικούς λόγους και λόγους ασφαλείας

✓ Οικονομικά χαρακτηριστικά

1. Χαμηλό κόστος

2. Διαθεσιμότητα

3. Αποτελεσματικότητα κόστους, δηλαδή να είναι ανταγωνιστικό έναντι άλλων επιλογών για αποθήκευση ζέστης ή κρύου

Στις προηγούμενες παραγράφους παραθέσαμε κάποιους ενδεικτικούς πίνακες με υλικά που μελετήθηκαν ως πιθανά ΥΑΦ κατατάσσοντας τα σε επιμέρους κατηγορίες περιλαμβάνοντας επιπλέον το σημείο τήξης και τη λανθάνουσα θερμότητα τήξης (στη σχετική βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν πίνακες που περιέχουν και άλλες θερμό-φυσικές ιδιότητες όπως θερμική αγωγιμότητα, πυκνότητα, ομοιογενής/ανομοιογενής τήξη, αλλαγές όγκου, ειδική θερμότητα, κλπ.). Μια λίστα των εμπορικών υλικών αλλαγής φάσης που είναι διαθέσιμα στην αγορά αυτή την περίοδο με τις θερμό-φυσικές τους ιδιότητες (σημείο τήξης, θερμότητα τήξης και πυκνότητα) έχει κυκλοφορήσει από τις υπάρχουσες εταιρείες και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Μερικές φυσικές ουσίες, όπως τα ένυδρα άλατα, οι παραφίνες και οι παραφίνες κεριού, τα λιπαρά οξέα και άλλες ενώσεις διαθέτουν την απαιτούμενη λανθάνουσα θερμότητα τήξης σε θερμοκρασία εύρους 0 έως 150°C και αυτά τα υλικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για ηλιακές εφαρμογές αν και έχουν ορισμένες ελλείψεις.

Οι φυσικές παραφίνες είναι ένα μίγμα αγνών αλκανίων τα οποία έχουν ένα ευρύ φάσμα όσον αφορά τη θερμοκρασία τήξης. Αυτές οι παραφίνες έχουν επίσης χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και συνεπώς η επιλογή αυτών των παραφινών που μπορεί να χρησιμεύσουν σε πρακτικές ηλιακές εφαρμογές είναι πολύ περιορισμένη.

Οι εμπορικές παραφίνες κεριού είναι φθηνές με μέτριες θερμικές πυκνότητες αποθήκευσης (~200 kJ/kg or 150 MJ/m³) και ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών τήξης. Υφίσταται αμελητέα υπόψυξη και είναι χημικά αδρανείς και σταθερές χωρίς καθόλου διαχωρισμό φάσης. Παρόλα αυτά έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα (~0.2 W/m·°C), το οποίο οριοθετεί τις εφαρμογές τους.

Ο κύριος περιορισμός των ένυδρων αλάτων είναι η χημική τους αστάθεια όταν ζεσταίνονται, καθώς όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυτά «διαλύονται», χάνοντας λίγο από το περιεχόμενο νερό τους σε κάθε κύκλο θέρμανσης. Επιπλέον μερικά άλατα είναι χημικά «επιθετικά» απέναντι στα δομικά υλικά και έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Κλείνοντας τα ένυδρα άλατα έχουν ένα σχετικά υψηλό βαθμό υπέρψυξης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.8 Εμπορικά υλικά αλλαγής φάσης διαθέσιμα στην αγορά [7]

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

n.a.: not available

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.9 Εμπορικά υλικά αλλαγής φάσης διαθέσιμα στην διεθνή αγορά [7]

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

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 7^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] <http://www.seas.upenn.edu/~meam502/project/reviewexample2.pdf>
- [2] http://www.tu0802.eu/wgroup_01/Docs%2001/D1.1.pdf
- [3] http://freespace.virgin.net/m.eckert/carl_vener%27s_dissertation.htm
- [4] <http://el.wikipedia.org>
- [5] <http://www.leaderexpo.gr>
- [6] http://cyprus.daikineurope.com/vrv-iv/continuous_heating/
- [7] <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/55553.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΑΦ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥΣ

Τα ΥΑΦ είναι υλικά θερμικής αποθήκευσης με υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης για εφαρμογές μικρού θερμοκρασιακού εύρους. Μια τέτοια εφαρμογή είναι η αποθήκευση της φυσικής νυχτερινής δροσιάς για χρήση κατά τη διάρκεια της ημέρας, αποκαλούμενη και «οικονομική ψύξη». Πολύ υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα μπορεί να επιτευχθεί καθώς το κρύο δε χρειάζεται να παραχθεί. Αυτά τα συστήματα είναι ιδιαίτερα ενδιαφέροντα για ελαφρές κατασκευές κτιρίων τα οποία ζεσταίνονται γρήγορα τις ζεστές μέρες εξαιτίας της μικρής θερμικής μάζας της δομικής κατασκευής. Γενικά αυτό θεωρείται μια πολύ υποσχόμενη εφαρμογή των ΥΑΦ, καθώς η αγορά για την ψύξη των κτιρίων επεκτείνεται γρήγορα και τα δωρεάν συστήματα ψύξης μπορούν να τοποθετηθούν στα υπάρχοντα κτίρια.

Οι θερμοκρασιακές διαφορές που είναι διαθέσιμες για φόρτιση και απελευθέρωση της αποθηκευμένης ενέργειας είναι συνήθως μικρότερες από 5°C. Το σχέδιο ενός θερμικού συστήματος αποθήκευσης μέσα σε αυτό το στενό θερμοκρασιακό εύρος πρέπει να βασίζεται σε αξιόπιστες και υψηλής ευκρίνειας δεδομένα των υλικών. Ο ακριβής προσδιορισμός της θερμικής χωρητικότητας των ΥΑΦ σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας είναι συνεπώς πάρα πολύ σημαντική. Ένας άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό των οικονομικών εφαρμογών ψύξης είναι η μετάδοση θερμότητας ανάμεσα στα δομικά υλικά και στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η μετάδοση θερμότητας μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη πτερυγίων μέσα ή έξω, με την ενσωμάτωση σε κάψουλες και την αύξηση της ροής μάζας στο μέσο μετάδοσης θερμότητας. Άμεσες μετρήσεις σε ολόκληρο τον όγκο των αντικείμενων των ΥΑΦ απαιτούνται για να επιβεβαιώσουμε τους υπολογισμούς.

Παρακάτω θα αναπτύξουμε τις μεθόδους μέτρησης και ανάλυσης των ιδιοτήτων των ΥΑΦ καθώς επίσης θα παραθέσουμε και την περιγραφή κάποιων πειραματικών διατάξεων για οικονομική ψύξη όπως αυτές έχουν αναπτυχθεί στα διάφορα ερευνητικά κέντρα ανά τον κόσμο. Κάποιες από αυτές τις ιδιότητες των οποίων ο προσδιορισμός είναι αναγκαίος είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Σημείο τήξης
- ✓ Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- ✓ Ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση
- ✓ Λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης-στερεοποίησης
- ✓ Φυσικό-χημική Σταθερότητα
- ✓ Συμβατότητα με άλλα υλικά
- ✓ Βαθμός υπόψυξης/υπέρψυξης
- ✓ Βαθμός διαχωρισμού των φάσεων
- ✓ Βαθμός διάβρωσης σε διάφορα «κοινά» υλικά, κοκ

Το είδος του υλικού που χρησιμοποιείται κάθε φορά και η ιδιότητα την οποία θέλουμε να προσδιορίσουμε καθορίζουν κάθε φορά την επιλογή του κατάλληλου μετρητικού συστήματος και της διαδικασίας που θα ακολουθήσουμε. Λόγω του ότι τα υλικά αλλαγής φάσης διαθέτουν εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης της θερμότητας σε πολύ μικρό θερμοκρασιακό εύρος μέχρι και πριν από λίγα χρόνια δεν υπήρχε κάποια τυποποιημένη διαδικασία προσδιορισμού των εν λόγω ιδιοτήτων και στη συνέχεια την γραφική παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Πολλές προσπάθειες καταβλήθηκαν για την εξεύρεση κατάλληλων μετρητικών διαδικασιών που δεν θα επηρεάζονταν από τέτοιου είδους

προβλήματα. Σήμερα, οι ιδιότητες των υλικών αλλαγής φάσης εξετάζονται κυρίως με δυο διαφορετικά είδη μεθόδων:

- ✓ Μέθοδοι που στηρίζονται στη μελέτη των ιδιοτήτων σε περιορισμένο χρονικό διάστημα και για ένα μόνο κύκλο φόρτισης του υλικού.
- ✓ Μέθοδοι που στηρίζονται στη μελέτη των ιδιοτήτων σε μεγάλο χρονικό διάστημα και για πολλούς κύκλους φόρτισης του υλικού.

8.1 Δυσκολίες Μετρήσεων των ΥΑΦ [5]

Οι μετρήσεις στα ΥΑΦ εμφανίζουν επιπλέον προβλήματα και δυσκολίες, πέραν των ήδη αναφερθέντων για τα υπόλοιπα υλικά, λόγω της υψηλής ενθαλπίας τους κατά την αλλαγή φάσης.

Το πιο σημαντικό από όλα σχετίζεται με τη δειγματοληψία. Στις μεθόδους θερμικής ανάλυσης απαιτείται προσοχή κατά την προετοιμασία του δείγματος για μέτρηση, καθώς θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το δείγμα πρέπει να εκπροσωπεί το υλικό που διερευνάται. Μερικά ΥΑΦ είναι ανομοιογενή ή σύνθετα υλικά, ή περιέχουν παράγοντες αντίδρασης που δεν μπορούν να διαλυθούν στην υγρή φάση. Προκείμενου να είναι σίγουρο ότι το δείγμα έχει τη σωστή φυσική και χημική σύνθεση αντιπροσωπευτική του μεγαλύτερου μέρους του υλικού, ο όγκος του θα πρέπει να είναι κάποια cm^3 ή περισσότερο, αν είναι δυνατόν. Ακόμα η εμφάνιση της υπόψυξης είναι πολύ πιο συχνή σε μικρά δοχεία. Καθώς το ΥΑΦ για αποθήκευση θερμότητας και κρούς εφαρμόζεται σε ποσότητες κιλών ή τόνων, το μέγεθος του δείγματος συνεπάγεται ότι θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερο. Το φαινόμενο αυτό λοιπόν εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του δείγματος, γι' αυτό και η επιλογή του τελευταίου θα πρέπει να γίνεται κατάλληλα ανάλογα με την εφαρμογή.

Συν τοις άλλοις τίθεται το πρόβλημα ως προς τον ορθό καθορισμό της συναλλασσόμενης θερμότητας και της θερμοκρασίας του δείγματος, τα ΥΑΦ τείνουν να δίνουν υψηλό σήμα στο θερμοκρασιακό εύρος τήξης τους και μικρό εκτός αυτού. Έτσι, οι διαδικασίες βαθμονόμησης θα πρέπει να πραγματοποιούνται για υψηλά σήματα.

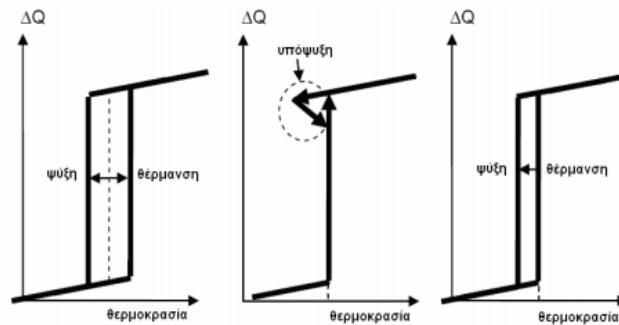
Ως προς τη θερμοδυναμική ισορροπία, οι μετρήσεις στα υλικά αλλαγής φάσης εμφανίζουν επίσης αρκετά προβλήματα. Για την επίτευξή της, ο ρυθμός θέρμανσης ή ψύξης θα πρέπει να διατηρείται σε μικρό βαθμό, διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος υπόψυξης.

Ακόμη και η ισοθερμικότητα του δείγματος παρουσιάζει δυσκολία, καθώς μπορεί να διαρκέσει για μεγάλο χρονικό διάστημα κατά την αλλαγή φάσης, λόγω των μεγάλων ποσών θερμότητας και της μικρής θερμικής αγωγιμότητας των ΥΑΦ.

Ένα ακόμη πρόβλημα, που αξίζει να αναφερθεί, είναι η υστέρηση (hysteresis). Πιο συγκεκριμένα, η μέτρηση της θερμοκρασίας ενός δείγματος γίνεται μετρώντας απλά τη θερμοκρασία της επιφάνειάς του, η οποία παρουσιάζει απόκλιση σε σχέση με την πραγματική θερμοκρασία της μάζας του δείγματος. Η απόκλιση αυτή οδηγεί σε εσφαλμένες μετρήσεις της συναλλασσόμενης θερμότητας, πολύ χαμηλές κατά την ψύξη και πολύ υψηλές κατά τη θέρμανση. Το φαινόμενο αυτό περιορίζεται σημαντικά εκτός του θερμοκρασιακού εύρους τήξης του υλικού, αφού σε αυτή τη φάση λαμβάνει χώρα η αποθήκευση μόνο αισθητής θερμότητας.

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι δυο τρόποι μέτρησης, ανά διαστήματα και σε βήματα, δεν θεωρούνται κρίσιμοι για την εμφάνιση διαφορετικών αποτελεσμάτων κατά τη θέρμανση και κατά την ψύξη, αφού οι ισοθερμικές συνθήκες τελικά επιτυγχάνονται μετά το πέρας αρκετού χρόνου. Στο δυναμικό τρόπο μέτρησης που θα δούμε παρακάτω, όμως, λόγω του πλήθους των δεδομένων στο θερμοκρασιακό εύρος τήξης και στερεοποίησης του ΥΑΦ, παρατηρούνται διαφορές στα ληφθέντα αποτελέσματα. Οι διαφορές αυτές δημιουργούν το φαινόμενο της υστέρησης, ένα φαινόμενο που χαρακτηρίζει το υλικό-δείγμα. Εάν οι διαφορές οφείλονται εξ' ολοκλήρου σε μετρητικά σφάλματα, τότε το φαινόμενο ονομάζεται φαινομενική υστέρηση. Οι λόγοι πρόκλησης της υστέρησης σε ένα δείγμα είναι αρκετοί, με σημαντικότερο

και συχνότερο το φαινόμενο της υπόψυξης. Στο σχήμα 8.1 φαίνονται ενδεικτικά παραδείγματα υστέρησης και των αιτιών εμφάνισής της.

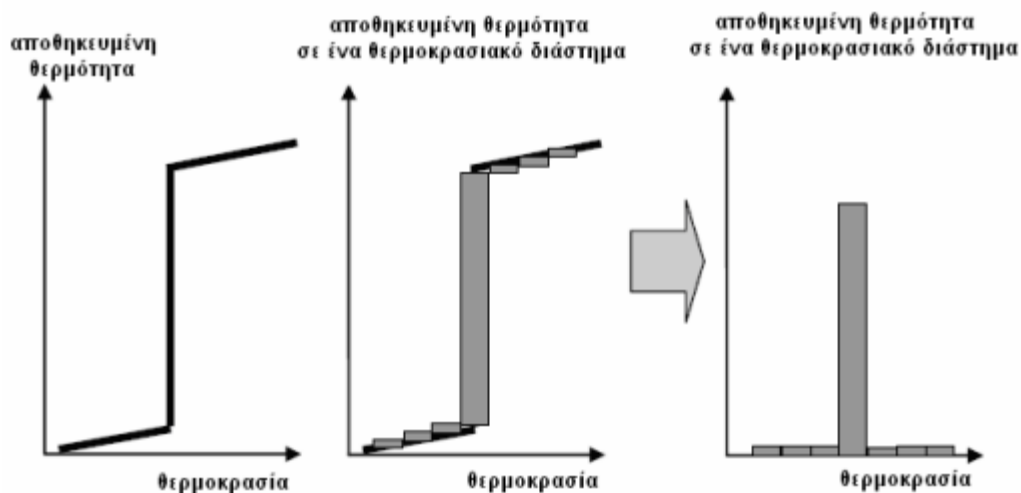


ΣΧΗΜΑ 8.1 Αριστερά: Φαινομενική υστέρηση λόγω μη-ισοθερμικών συνθηκών. Κέντρο: Πραγματική υστέρηση, ιδιότητα του υλικού, λόγω υπόψυξης. Δεξιά: Πραγματική υστέρηση λόγω αργού ρυθμού απελευθέρωσης θερμότητας ή πραγματικής διαφοράς μεταξύ των θερμοκρασιών αλλαγής φάσης [5]

Η μελέτη και μέτρηση της αποθηκευμένης θερμότητας σε ένα υλικό, ειδικότερα όταν αυτό δεν υπόκειται σε αλλαγή φάσης, είναι μια αρκετά εύκολη διαδικασία, καθώς η θερμότητα αυτή είναι αισθητή και χαρακτηρίζεται από έναν και μόνον αριθμό, τη θερμοχωρητικότητα. Κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης του υλικού τα πράγματα δυσχεραίνουν και η περιγραφή της κατάστασης απαιτεί τη μέτρηση πολλών διαφορετικών παραγόντων. Στην περίπτωση των ΥΑΦ, υλικών που συνήθως προέρχονται από ανάμιξη περισσότερων της μιας ουσιών, οι τιμές ενδιαφέρουν κυρίως είναι η θερμοκρασία αλλαγής φάσης, η αντίστοιχη ενθαλπία και οι θερμοχωρητικότητες στη στερεή και υγρή κατάσταση.

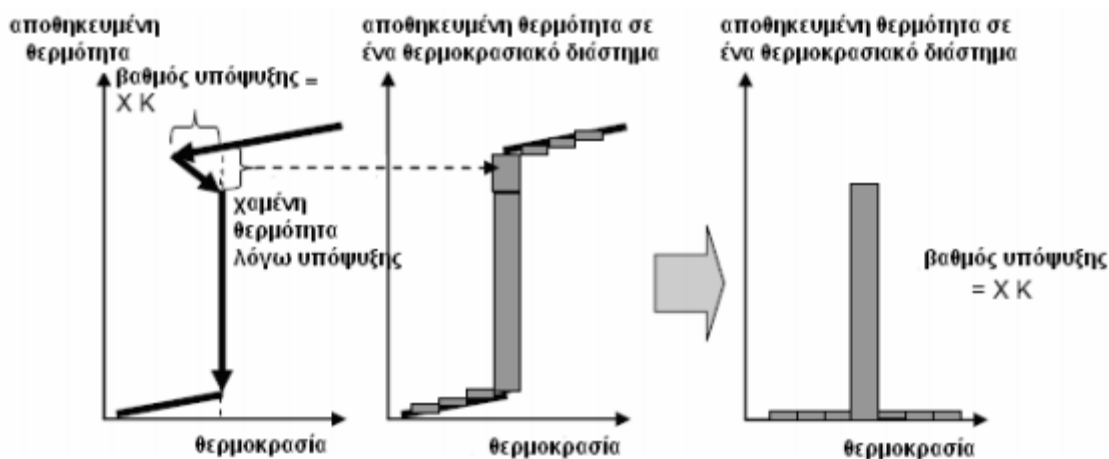
Συνεχίζοντας όσον αφορά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων το πρώτο πρόβλημα που εμφανίζεται, σχετίζεται ακριβώς με το γεγονός ότι τα ΥΑΦ δεν είναι καθαρές ουσίες αλλά προσμίξεις περισσότερων, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία τήξης τους να μην έχει συγκεκριμένη τιμή αλλά να κυμαίνεται μέσα σε ένα θερμοκρασιακό εύρος. Εάν ένα ΥΑΦ εμφανίζει μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης αλλά οι πίνακες δεδομένων δίνουν μια συγκεκριμένη τιμή θερμοκρασίας τήξης, μπορούν να προκύψουν σημαντικά λάθη στο σχεδιασμό ενός συστήματος. Ο τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος ανάγεται στον πρωταρχικό στόχο περιγραφής της αποθήκευσης θερμότητας, δηλαδή στην έκφραση της θερμότητας που αποθηκεύεται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ($\Delta Q/\Delta T=C$). Η έκφραση αυτή αναφέρεται στο πραγματικό πρόβλημα αποθήκευσης και μεταφοράς ενέργειας χωρίς να δίνει πληροφορίες για συγκεκριμένη θερμοκρασία τήξης, σταθερή θερμοχωρητικότητα ή να διαχωρίζει την αισθητή από τη λανθάνουσα θερμότητα. Έτσι λοιπόν, προτείνεται η απόδοση της αποθηκευμένης θερμότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας σε δοσμένα θερμοκρασιακά διαστήματα προς αποφυγήν του αρχικού προβλήματος. Ο τρόπος υπολογισμού της θερμότητας αυτής παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Άλλο ένα πρόβλημα κατά την παρουσίαση δεδομένων στα ΥΑΦ είναι το φαινόμενο της υστέρησης. Σε αυτή την περίπτωση, όπως ήδη αναλύθηκε, τα δεδομένα των μετρήσεων κατά τη θέρμανση και ψύξη του ίδιου δείγματος διαφέρουν είτε ως αποτέλεσμα της μετρητικής διαδικασίας είτε επειδή η υστέρηση χαρακτηρίζει ως ιδιότητα το υλικό. Προς επίλυση του προβλήματος αυτού ενδείκνυται η παρουσίαση της αποθηκευμένης θερμότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας σε δοσμένα θερμοκρασιακά διαστήματα τόσο για το πείραμα της θέρμανσης όσο και για εκείνο της ψύξης.



ΣΧΗΜΑ 8.2 : Γραφική απεικόνιση υπολογισμού της αποθηκευμένης θερμότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας σε δοσμένα θερμοκρασιακά διαστήματα. [5]

Τελευταίο φαινόμενο, που προκαλεί προβλήματα υπολογισμού και παρουσίασης των δεδομένων στα ΥΑΦ, είναι η εμφάνιση υπόψυξης στο μελετώμενο δείγμα. Η ύπαρξη υπόψυξης, όπως εναλλακτικά ονομάζεται το φαινόμενο, είναι αρκετά συχνή και υποδηλώνει την παρουσία διαφορετικών δομών στην ίδια θερμοκρασία, τουλάχιστον για κάποιο μικρό θερμοκρασιακό εύρος. Για το λόγο αυτό, είναι αδύνατον να βρεθεί η αποθηκευμένη θερμότητα ως μια μοναδική τιμή για ένα διάστημα ακόμη κι όταν η θέρμανση και η ψύξη αντιμετωπιστούν χωριστά. Επιπροσθέτως, η υπόψυξη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου και του μεγέθους δείγματος, κάτι που κάνει την εμφάνισή της απρόβλεπτη. Ο μοναδικός τρόπος αποφυγής του προβλήματος είναι η απαλοιφή του φαινομένου από τα δεδομένα αποθηκευμένης θερμότητας – θερμοκρασίας και η απόδοση ενός βαθμού υπόψυξης ως επιπλέον ξεχωριστή πληροφορία. Η διαδικασία απαλοιφής απεικονίζεται στο σχήμα Β.5.3.



ΣΧΗΜΑ 8.3 Καθορισμός αποθηκευμένης θερμότητας συναρτήσει θερμοκρασίας σε γνωστά θερμοκρασιακά διαστήματα και βαθμός υπόψυξης [5]

Τον τελευταίο καιρό πέραν της χρήσης διαγραμμάτων, η αποθηκευμένη θερμότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας πινακοποιείται σταδιακά, απλοποιώντας σημαντικά την ανάγνωση των δεδομένων από

ανθρώπους χωρίς επιστημονικό υπόβαθρο. Από τους πίνακες αυτούς εύκολα γίνεται ο υπολογισμός της θερμότητας που αποθηκεύεται στο δείγμα, για οποιοδήποτε αυθαίρετο θερμοκρασιακό διάστημα. Λόγω της πρόσφατης ανάπτυξης του συστήματος πινακοποίησης, ελάχιστα δεδομένα είναι διαθέσιμα προς το παρόν.

8.2 Αύξηση Όγκου των ΥΑΦ – Υλικό και Μέθοδος [2]

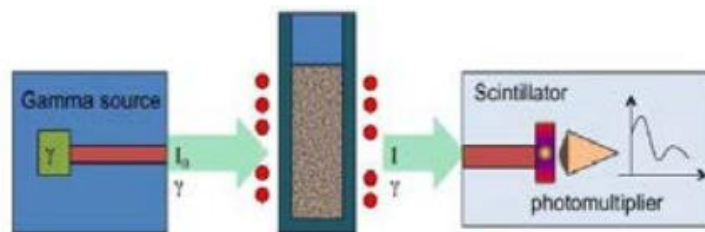
Πρόσφατα πολύ δουλειά έχει γίνει στην ανάπτυξη ΥΑΦ σταθεράς μορφής. Μια παράμετρος κλειδί που πρέπει να ληφθεί υπόψη στην εξέλιξη τέτοιων υλικών είναι η αύξηση όγκου των ΥΑΦ όταν λιώνουν. Η μέτρηση μιας τέτοιας παραμέτρου είναι συνήθως δύσκολη εργασία κυρίως για ΥΑΦ που λιώνουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Μία νέα και αποδοτική μέθοδος για αυτό το λόγο έχει αναπτυχθεί. Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται σε τεχνικές ακτίνων γ . Ένα δείγμα υλικών γνωστής γεωμετρίας θερμαίνεται μέχρι να φτάσει τη θερμοκρασία λειτουργίας T . Όταν έχουμε θερμική ισορροπία, το δείγμα υφίσταται στην μπροστινή του επιφάνεια μια δέσμη ακτίνων γ γνωστής έντασης I_0 και η ένταση της μεταβαλλόμενης δέσμης της έντασης μετράται από την άλλη πλευρά. Η μείωση της έντασης δίνεται από το νόμο Beer Law:

(8.1)

Όπου: $\rho(T)$ αναπαριστά την πυκνότητα του δείγματος σε θερμοκρασία T

d είναι το πάχος του δείγματος και

μ είναι μια σταθερά που εξαρτάται από τον ατομικό αριθμό του υλικού.



ΣΧΗΜΑ 8.4 Σχέδιο της πειραματικής εγκατάστασης για τη μέτρηση της αύξησης του όγκου [2]

Η δοκιμή ενός ΥΑΦ περιλαμβάνει δυο σειρές μετρήσεων:

1. Μετρήσεις με άδεια την κυψελίδα σε διαφορετικές θερμοκρασίες
2. Μετρήσεις με γεμάτη την κυψελίδα με ΥΑΦ

8.3 Φυσικό-Χημική Μακροπρόθεσμη Σταθερότητα [2]

Η ανεπαρκής μακροπρόθεσμη σταθερότητα των υλικών αποθήκευσης και των δοχείων είναι ένα πρόβλημα που έχει περιορίσει την ευρεία χρήση της αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Αυτή η αστάθεια οφείλεται σε δυο παράγοντες κυρίως: αστάθεια λόγω των ιδιοτήτων των υλικών εξαιτίας των θερμικών επαναλήψεων και/ή λόγω της κακής συμβατότητας μεταξύ των ΥΑΦ και των δοχείων.

8.3.1 Συμβατότητα (UNIVERSITY OF LEIDA & UNIVERSITY OF ZARAGOZA - SPAIN)

Χημική συμβατότητα ανάμεσα στο ΥΑΦ, τα σταθερού σχήματος ΥΑΦ, τα παχύρρευστα ΥΑΦ και τα υλικά που τα περιέχουν συνήθως υφίστανται διαβρωτικές δοκιμές που ακολουθούν συγκεκριμένους κανόνες όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια. Για τα ανόργανα ΥΑΦ η διάβρωση των μεταλλικών δοχείων δίνεται σαν ποσοστό διάβρωσης. Διαφορετικά όταν λαμβάνονται υπόψη πλαστικά δοχεία, η τοποθέτηση του ΥΑΦ μέσα στο δοχείο και η προσρόφηση του νερού μέσα από τον πλαστικό τοίχο εκτιμάται συνήθως από βαρυμετρική ανάλυση αφού ανακυκλώσουμε το ΥΑΦ.

8.3.2 Ρεολογική Συμπεριφορά (UNIVERSITY OF ZARAGOZA - SPAIN)

Μια συσκευή οργάνων TA AR- G2 (ελεγχόμενο ροόμετρο πίεσης) χρησιμοποιείται για μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των υλικών. Ανάλογα με το αντικείμενο, διαφορετικές έρευνες μπορούν να αναπτυχθούν. Για αυτά τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στις πραγματικές εφαρμογές, λαμβάνονται καμπύλες συνεκτικότητας συναρτήσεως ποσοστών μεριδίου και συναρτήσεως της θερμοκρασίας. Για αυτά τα υλικά που παραμένουν αδρανή οι καμπύλες συνεκτικότητας συναρτήσεως της θερμοκρασίας προκύπτουν με τα ποσοστά ανάμειξης να είναι κοντά στο μηδέν. Αυτές οι τελευταίες μετρήσεις μπορούν να συμπληρωθούν με μετρήσεις που γίνονται με τη μέθοδο των ταλαντώσεων.

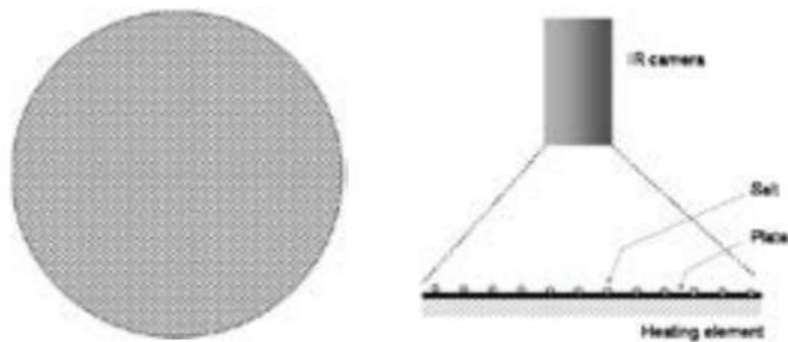
8.3.3 Ανάλυση Υπόψυξης (TREFLE - FRANCE)

Μια νέα συσκευή εμφανίστηκε για ανάλυση υπόψυξης βασισμένη σε τεχνικές υπέρυθρης θερμογραφίας. Παρέχει ένα αποτελεσματικό τρόπο για ποσοτική ανάλυση της υπόψυξης χρησιμοποιώντας ένα αρκετά μεγάλο πλήθος σταγονιδίων ΥΑΦ τοποθετημένα πάνω σε μια μικρή πλάκα. Μερικές βελτιώσεις της πειραματικής συσκευής βρίσκονται ακόμα σε στάδιο εξέλιξης. Κυρίως ενδιαφέρονται για την προετοιμασία του δείγματος και της διαδικασίας που περιλαμβάνει μια συσκευή για να ελέγχει τόσο τον όγκο όσο και τα μόρια του δείγματος και το διαχωρισμό τους στην πλάκα. Η αρχή της πειραματικής συσκευής φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Περιλαμβάνει:

1. Ένα δείγμα το οποίο αποτελείται από πολυάριθμους και μικρούς κρυστάλλους του δείγματος τυχαία τοποθετημένους πάνω στην πλάκα.
2. Ένα στοιχείο θέρμανσης στην πίσω πλευρά πάνω στο πιάτο καθώς και ένα σύστημα για έλεγχο της θερμοκρασίας.
3. Μια υπέρυθρη κάμερα για παρατήρηση της θερμικής συμπεριφοράς των μορίων του δείγματος (κρυστάλλους ή σταγόνες)

Δυο κύρια βήματα μπορούν να ξεχωρίσουν στο πειραματικό κομμάτι:

- ✓ Μια περίοδος για την τήξη των κρυστάλλων του δείγματος
- ✓ Μια περίοδος ψύξης για ανάλυση υπόψυξης. Η θερμοκρασία του δείγματος ελέγχεται έτσι ώστε να ακολουθεί μια κλίση. Ο ρυθμός ψύξης πρέπει να είναι αρκετά χαμηλός ώστε να εξασφαλίσει ομοιόμορφη θερμοκρασία μέσα στο δείγμα οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Η θερμική εξέλιξη του δείγματος καταγράφεται από μια κάμερα υπέρυθρων.

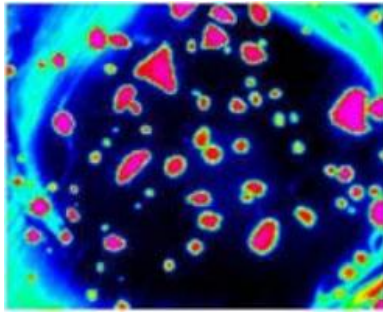


ΣΧΗΜΑ 8.5 Η πειραματική συσκευή για την ανάλυση της υπόψυξης. (Αριστερά): Η πρόσοψη των κρυστάλλων του άλατος (εδώ) στο λεπτό πιάτο (Δεξιά): Όψη όλης της συσκευής [2]

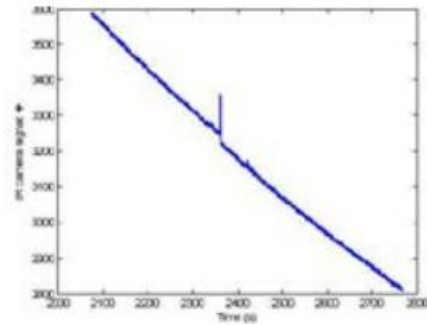
Η πραγματική εγκατάσταση περιλαμβάνει μια μικρή εστία, ένα λέιζερ και μια κάμερα υπέρυθρων. Για την ανάλυση υπόψυξης μόνο η εστία και η κάμερα απαιτούνται. Η εστία περιλαμβάνει ένα κεραμικό δοχείο, ένα ηλεκτρικό στοιχείο θέρμανσης και ένα θερμικό διασκορπιστή. Το δείγμα τοποθετείται στην εστία και ένα θερμοζεύγος προστίθεται στην πίσω πλευρά για θερμικό έλεγχο.

Το κλείσιμο της εστίας είναι αεροστεγές, έτσι ώστε οι δοκιμές να εκτελούνται χρησιμοποιώντας αδρανές αέριο. Αυτό είναι σημαντικό για να αποφύγουμε αποτελέσματα ακαθαρσιών ή οποιοδήποτε είδος τροποποίησης των ενδιάμεσων ελευθέρων ενεργειών. Στο τέλος του πειράματος, οι χάρτες θερμοκρασιών που καταγράφονται από την κάμερα υπέρυθρων κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης χρησιμοποιούνται για ανάλυση. Στο σχήμα 8.6 (α) φαίνεται ένας από αυτούς τους χάρτες όπου τα μόρια των αλάτων εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα. Η καμπύλη της θερμοκρασίας καταδεικνύει τη «μέση θερμοκρασία» μιας σταγόνας/κρυστάλλου σε χρόνο t . Η τυπική συμπεριφορά των σημάτων της συνάρτησης της θερμοκρασίας κατά την περίοδο ψύξης παρουσιάζεται στο σχήμα 8.6 (β) και (γ). Μπορεί να περιγραφεί σαν μια σχεδόν γραμμική τάση με μια τοπική κορυφή. Πριν και μετά την στερεοποίηση η θερμοκρασία της σταγόνας/κρυστάλλου παραμένει ίση με ορισμένη θερμοκρασία, ενώ κατά τη διάρκεια της κρυστάλλωσης η ενέργεια που προέρχεται από τη σταγόνα οδηγεί σε τοπική αύξηση της θερμοκρασίας και προκαλεί μια ξαφνική και σημαντική κορυφή στο σήμα. Τα σήματα της θερμοκρασίας μας εφοδιάζουν με αρκετές πληροφορίες για τον καθορισμό της θερμοκρασίας κρυστάλλωσης καθεμίας από τις σταγόνες των αλάτων. Για αυτόματη μεταχείριση, είναι προτεινόμενο να χρησιμοποιούμε χρονικά παράγωγα του χρόνου αντί για τα σήματα των θερμοκρασιών. Όπως φαίνεται στη (δ) η παρουσίαση της παραγώγου της μέσης θερμοκρασίας συναρτήσεως της ορισμένης θερμοκρασίας που προαναφέραμε επιτρέπει εύκολο προσδιορισμό της θερμοκρασίας κρυστάλλωσης. Εφαρμόζοντας αυτή τη μεταχείριση σε κάθε σταγόνα, η συνάρτηση συχνότητας (καμπύλη πιθανοτήτων) ή συνάρτηση αθροιστικής συχνότητας για τη θερμοκρασία κρυστάλλωσης μπορεί να καθοριστεί.

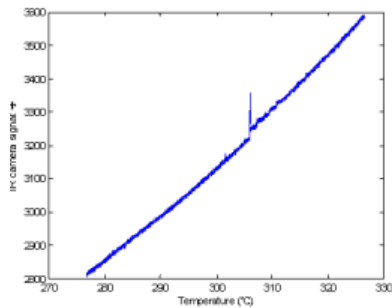
Η πειραματική συσκευή απαιτεί ακόμα κάποιες βελτιώσεις. Αυτές αφορούν ακόμα την προετοιμασία του δείγματος και περιλαμβάνουν μια συσκευή για έλεγχο τόσο του όγκου των μορίων των αλάτων και του διασκορπισμού τους στην πλάκα.



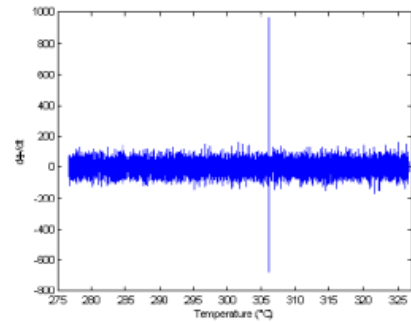
(α)



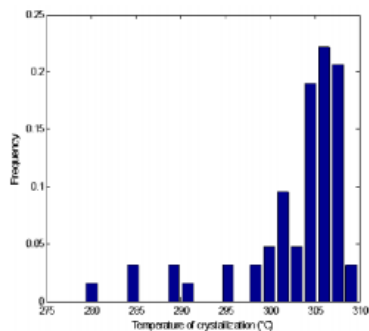
(β)



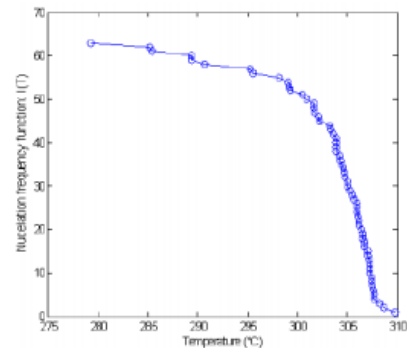
(γ)



(δ)



(ε)



(ζ)

ΣΧΗΜΑ 8.6 (α) Κατανομή (x,y,t) σε δεδομένη στιγμή, **(β)** Τυπική συμπεριφορά της t συναρτήσεως του χρόνου **(γ)** Τυπική συμπεριφορά της t συναρτήσεως της θερμοκρασίας, **(δ)** τυπική συμπεριφορά της χρονικής παραγώγου της t συναρτήσεως της θερμοκρασίας, **(ε)** καμπύλες συχνοτήτων για τις θερμοκρασίες κρυστάλλωσης, **(ζ)** καμπύλες αθροιστικών συχνοτήτων για τις θερμοκρασίες κρυστάλλωσης. [2]

8.3.4 Ανάλυση Επιταχυνόμενης Γήρανσης (TREFLE - FRANCE)

Η μακροπρόθεσμη σταθερότητα των νέο-σταθεροποιημένου σχήματος ΥΑΦ πρέπει να δοκιμάζεται. Μια νέα πειραματική συσκευή για ανάλυση επιταχυνόμενης γήρανσης είναι υπό ανάπτυξη. Οι κύριοι στόχοι είναι:

1. Να προσομοιώσουμε τη ζωή των υλικών σε σύντομο κατά προτίμηση χρόνο (μερικές μέρες). Η συσκευή πρέπει να μπορεί να υποβάλλει το δείγμα του υλικού σε όσο περισσότερες επαναλήψεις τήξης/κρυστάλλωσης απαιτούνται ώστε να γίνεται η δοκιμή σημαντική. Υποθέτοντας 30 χρόνια ζωής και ένα κύκλο φόρτισης/ αποφόρτισης ανά μέρα, αντιπροσωπευτικές δοκιμές περιλαμβάνουν 10.950 μέρες.

2. Για να πραγματοποιήσουμε τη διάγνωση επιτόπου όπως για παράδειγμα την εκτίμηση της καμπύλης ενθαλπίας - θερμοκρασίας μετά από κάθε κύκλο τήξης / κρυστάλλωσης. Υπενθυμίζουμε ότι η καμπύλη είναι ένας άριστος τρόπος για να ανιχνεύσουμε τον υποβιβασμό των ΥΑΦ και για εξήγηση της φύσης του υποβιβασμού (π.χ. διαρροή, διαχωρισμός, αποτελέσματα ακαθαρσιών, υπερπίεση, κλπ.).

3. Να δοκιμάζουμε αντιπροσωπευτικά δείγματα. Αυτό σημαίνει ότι το δείγμα πρέπει να είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το στοιχειώδη αντιπροσωπευτικό όγκο του υλικού.

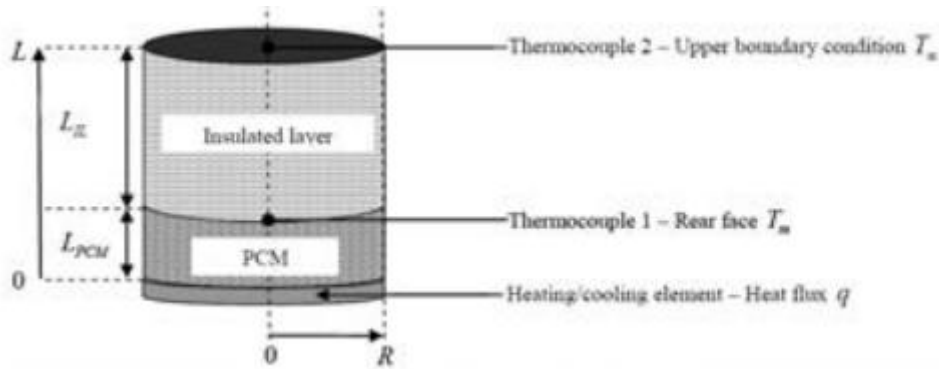
Η πειραματική συσκευή (και η μέθοδος εκτίμησης) ταιριάζει καλύτερα στο δεύτερο και τρίτο στόχο. Αντιθέτως, δεν μπορεί να εκτελέσει περισσότερους από 2 κύκλους τήξης / κρυστάλλωσης ανά μέρα καθιστώντας έτσι την προσομοίωση της ζωής του υλικού πολύ μεγάλη χρονικά (περίπου 15 χρόνια). Για να ικανοποιήσουμε τον πρώτο στόχο μια σημαντική μείωση των δειγμάτων απαιτείται καθώς επίσης και χρήση θερμικών/ψυκτικών συσκευών με λιγότερη θερμική αδράνεια από την εστία.

Η έμπνευση της πειραματικής συσκευής που έχει αναπτυχθεί στηρίζεται σε πειραματικές συσκευές γνωστές σαν μέθοδος «Hot Plate» («Ζεστή Πλάκα») για θερμικό χαρακτηρισμό των υλικών. Όπως φαίνεται στα σχήματα, περιλαμβάνει (από τον πάτο στην κορυφή):

- ✓ Μια θερμική/ψυκτική συσκευή που επιτρέπει την επιτάχυνση του κύκλου/επανάληψης.
- ✓ Ένα ροόμετρο. Το ροόμετρο που είναι σε άμεση επαφή με το δείγμα αποτελεί απαιτούμενη πληροφορία για τις εκτιμήσεις των καμπύλων ενθαλπίας-θερμοκρασίας.
- ✓ Ένα αρκετά παχύ (μέγιστο 1-2 cm), σχήματος δίσκου, επίπεδο-παράλληλο δείγμα υλικού προς δοκιμή. Το δείγμα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο για να είναι αμελητέες οι πλευρικές του θερμικές απώλειες.
- ✓ Ένα παχύ στρώμα μόνωσης με γνωστές θερμικές ιδιότητες.
- ✓ Δύο θερμοζεύγη. Το πρώτο είναι κεντραρισμένο στην πάνω πλευρά του δείγματος και παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τη θερμική εξέλιξη του δείγματος. Το δεύτερο βρίσκεται στην κορυφή του στρώματος της μόνωσης. Μετράει μια συνοριακή συνθήκη. Οι θερμοκρασίες που καταγράφονται από αυτά τα θερμοζεύγη απαιτούνται για την εκτίμηση των καμπύλων ενθαλπίας-θερμοκρασίας.
- ✓ Πλευρική μόνωση για να μειώσουμε όσο είναι δυνατόν τις πλευρικές θερμικές απώλειες ολόκληρης της συσκευής.

Ένα τεστ γήρανσης περιλαμβάνει:

- ✓ Υποβολή του δείγματος σε διαδοχικούς κύκλους τήξης κρυστάλλωσης χρησιμοποιώντας ένα στοιχείο θέρμανσης/ψύξης της συσκευής.
- ✓ Μέτρηση της εφαρμοζόμενης θερμοροής στο δείγμα χρησιμοποιώντας ένα ροόμετρο που βρίσκεται ανάμεσα στο στοιχείο θέρμανσης/ψύξης και το δείγμα.
- ✓ Μέτρηση της θερμοκρασίας στο κέντρο του πίσω μέρος του δείγματος.
- ✓ Εκτίμηση της καμπύλης ενθαλπίας – θερμοκρασίας του δείγματος μετά από κάθε κύκλο τήξης/κρυστάλλωσης από την καταγραφείσα θερμοροή και τα δεδομένα θερμοκρασιών.



ΣΧΗΜΑ 8.7 Σχήμα της πρώτης πειραματικής συσκευής [2]

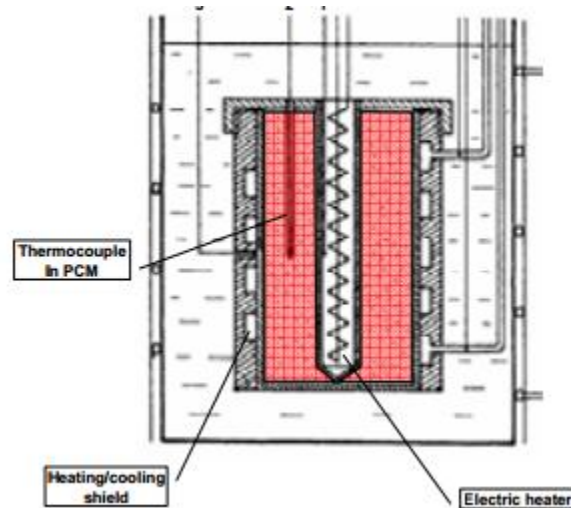
8.3.5 Έρευνα Θερμικής Σταθερότητας (WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - POLAND)

Το θερμιδόμετρο σχεδιάστηκε για την εκτέλεση γρήγορης τήξης και στερεοποίησης (κύκλου) των υλικών αλλαγής φάσης και της έρευνας της σταθερότητας των θερμοφυσικών ιδιοτήτων τους. Επειδή ο όγκος των δοχείων των δειγμάτων είναι της τάξης των cm^3 , τα αποτελέσματα είναι αντιπροσωπευτικά για πραγματικά στοιχεία με ΥΑΦ τα οποία χρησιμοποιούνται σε περιοχές αποθήκευσης θερμότητας. Το εύρος της θερμοκρασίας είναι περιορισμένο στους 20-150°C, κυρίως επειδή στη συσκευή χρησιμοποιείται το σύστημα ψύξης. Το σχέδιο του κυρίως θερμιδομέτρου φαίνεται στο σχήμα Β.5.8. Δείγμα του ΥΑΦ τοποθετείται σε κυλινδρικό δοχείο με εσωτερική ηλεκτρική θερμάστρα. Το θερμαινόμενο/ψυχόμενο κέλυφος, το οποίο είναι σε επαφή με υγρό μετάδοσης θερμότητας, τοποθετείται στην εξωτερική επιφάνεια του δοχείου. Δυο θερμοστάτες, ένας με υψηλή θερμοκρασία υγρού και ένας άλλος με χαμηλή θερμοκρασία υγρού, συνδέονται στο θερμαινόμενο/ψυχόμενο κέλυφος μέσω από μια τρίοδο βαλβίδα. Πολλά θερμοζεύγη χρησιμοποιούνται για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία:

1. Στην επιφάνεια της ηλεκτρικής θερμάστρας
2. Μέσα στο υπό μελέτη υλικό
3. Στην εξωτερική επιφάνεια του δοχείου

Επιπρόσθετα θερμοζεύγη χρησιμοποιούνται για να ελέγχουμε τη θερμοκρασία των υγρών μετάδοσης θερμότητας.

Οι επαναληπτικές δοκιμές αποτελούνται από δυο διαδοχικές φάσεις, οι οποίες είναι επαναλαμβανόμενες από αρκετές έως και εκατοντάδες φορές, ανάλογα με τη θερμική συμπεριφορά του υλικού. Κατά τη διάρκεια της φάσης θέρμανσης, η ηλεκτρική θερμάστρα είναι σε λειτουργία και το εξωτερικό κέλυφος είναι συνδεδεμένο με ένα θερμοστάτη υψηλής θερμοκρασίας (θερμοκρασία του υγρού μετάδοσης θερμότητας είναι υψηλότερη από το σημείο τήξης του ΥΑΦ). Επειδή το υλικό θερμαίνεται και από τις δύο πλευρές η τήξη πραγματοποιείται πολύ γρήγορα. Αυτή η φάση τελειώνει όταν η θερμοκρασία που δείχνει το θερμοζεύγος που βρίσκεται ενσωματωμένο στο ΥΑΦ ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Μετά ξεκινά η φάση ψύξης. Η ηλεκτρική θερμάστρα τίθεται εκτός λειτουργίας και η τρίοδη βαλβίδα ανοίγει ώστε το χαμηλής θερμοκρασίας υγρό μετάδοσης θερμότητας, από το δεύτερο θερμοστάτη, να ρέει μέσω του εξωτερικού κελύφους. Αυτή η φάση τελειώνει όταν η θερμοκρασία μέσα στο ΥΑΦ δείξει ότι πέσει ουσιαστικά κάτω από το σημείο τήξης το οποίο είναι ένα μέτρο της συνολικής στερεοποίησης. Αυτό το επίπεδο της θερμοκρασίας καθορίζεται πειραματικά για να ληφθεί υπόψη πιθανή υπόψυξη του υλικού.



ΣΧΗΜΑ 8.8 Το σχέδιο του θερμιδόμετρου για γρήγορες δοκιμές της σταθερότητας των θερμικών ιδιοτήτων των ΥΑΦ κατά τη διάρκεια διαδοχικών κύκλων τήξης και στερεοποίησης. [2]

8.4 Μηχανικές Ιδιότητες [2]

8.4.1 Μηχανικός Χαρακτηρισμός στην Κλίμακα Νανομέτρου (TREFLE - FRANCE & UNIVERSITY OF BARCELONA)

Η τεχνική με πλέγμα εγκοπών έχει χρησιμοποιηθεί για την απομόνωση των μηχανικών ιδιοτήτων ενός σύνθετου υλικού. Αυτή η τεχνική είναι ένα πανίσχυρο εργαλείο για εξέταση των ιδιοτήτων των φάσεων των συστατικών ανεξάρτητα το ένα από το άλλο σε στη σύνθετη μικροδομή του υλικού χωρίς να υπάρχει ανάγκη να παρατηρούμε τα αποτυπώματα των υπολειμμάτων. Επιπλέον, μπορούμε να απομονώσουμε τις μηχανικές ιδιότητες για κάθε φάση, όπως επίσης και κλάσματα του όγκου της επιφάνειας στην κλίμακα νανομέτρου. Αυτή η τεχνική και η στατιστική ανάλυση από τη διαδικασία αποσυνέλιξης επιτρέπει την παρουσίαση των μηχανικών ιδιοτήτων για κάθε φάση σαν μια κατανομή κανονικής πυκνότητας. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και σε άλλα σύνθετα υλικά που περιέχουν μίγματα των φάσεων των συστατικών τυχαία διασκορπισμένα. Για να ολοκληρωθεί ο μηχανικός χαρακτηρισμός, πρέπει να γίνει και ένας μηχανικός χαρακτηρισμός της μακροδομής ακριβώς όπως έγινε και με τη μικροδομή.

8.5 Θερμοφυσικές Ιδιότητες [1], [2],[5],[6],[7],[8],[9]

8.5.1 Ουσίες που Χρησιμοποιούνται για τον Έλεγχο των Διατάξεων Δοκιμών

Οι θερμοφυσικές ιδιότητες των ΥΑΦ παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες που καθιστούν σημαντική την επιλογή επαρκούς ουσίας αναφοράς για επαλήθευση των δειγμάτων. Αυτό το θέμα δεν είναι καθόλου ασήμαντο.

Οι τυποποιημένες θερμικές μέθοδοι ανάλυσης είναι σχεδιασμένες να εξετάζουν καθαρές ουσίες οι οποίες δεν εμφανίζουν καθόλου υπόψυξη και καμία θερμοκρασιακή αλλαγή κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης από στερεό σε υγρό. Επίσης άλλες δοκιμαστικές τεχνικές τροποποιούνται μερικώς για δοκιμή στη στερεά και στην υγρή φάση. Έπειτα η βεβαιότητα αυτών των μετρήσεων δεν μπορεί να καθοριστεί χρησιμοποιώντας στερεές ουσίες αναφοράς, έτσι άλλες υγρές ουσίες αναφοράς πρέπει να βρεθούν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1 Ουσίες που χρησιμοποιούνται σα σημείο αναφοράς [2]

Substances	Properties
water	PCM VOLUME EXPANSION
standard oil S60 from Canon Instruments Company	viscosity
octadecane	h-T curve $c_{p,solid}$ $c_{p,liquid}$
water	h-T curve $c_{p,solid}$ $c_{p,liquid}$
gallium	h-T curve $c_{p,solid}$ $c_{p,liquid}$
hexadecane	h-T curve $c_{p,solid}$ $c_{p,liquid}$
RT27	h-T curve $c_{p,solid}$ $c_{p,liquid}$

8.5.2 Καμπύλες Ενθαλπίας συναρτήσει Θερμοκρασίας

Οι συνηθέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του σημείου τήξης, της λανθάνουσας θερμότητας και της ειδικής θερμοχωρητικότητας, είναι:

- ✓ Συμβατική θερμιδομετρική μέθοδος (Conventional Calorimetry Method)
- ✓ Ψηφιακό Θερμιδόμετρο (Differential Scanning Calorimetry - DSC)
- ✓ Διαφορική θερμική ανάλυση (Differential Thermal Analysis - DTA)
- ✓ Μέθοδος T-History

Στις πρώτες μεθόδους είναι εμφανής η χρήση θερμιδόμετρων. Όταν μετράμε την αποθηκευμένη θερμότητα μέσα στα ΥΑΦ χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε είδος θερμιδόμετρου πρέπει να λάβουμε υπόψη κάποιους σημαντικούς και γενικούς παράγοντες.

- ✓ Χρειαζόμαστε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα.
- ✓ Η προετοιμασία του δείγματος είναι πολύ σημαντική και πρέπει να γίνεται σωστά και επαναλαμβανόμενα.
- ✓ Πρέπει να γίνεται μια σωστή μέτρηση της θερμοκρασίας από αισθητήρα.
- ✓ Η ροή της θερμότητας πρέπει να μετράται σωστά.

Η θερμοδυναμική ισορροπία στο δείγμα πρέπει να έχει εξασφαλιστεί. Αυτό απαιτεί ότι το δείγμα πρέπει να είναι ισόθερμο, αλλιώς η ροή θερμότητας δεν μπορεί να αποδοθεί σε μια μόνο θερμοκρασία που δείχνει ο αισθητήρας. Συνεχίζοντας το δείγμα πρέπει να είναι σε ενεργή ισορροπία, έτσι ώστε να μην υπάρχει υπόψυξη του δείγματος. Μια άλλη τεχνική που έχει αναπτυχθεί για την ανάλυση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης είναι η μέθοδος T-History. Διαγράμματα της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου σχεδιάζονται και οι ιδιότητες που εκτιμώνται συγκρίνονται με γραφήματα άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται σαν υλικά αναφοράς (πιο συχνά το καθαρό νερό). Τα

αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι στη μορφή καμπύλων ενθαλπίας – θερμοκρασίας. Παρακάτω θα ακολουθήσει μια εκτενής αναφορά στις μεθόδους αυτές.

Για τις πρώτες τρεις μεθόδους που είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες (η τελευταία είναι η πιο νέα σχετικά) έχει διαπιστωθεί ότι πλεονεκτούν στην ακρίβεια των μετρούμενων μεγεθών, ενώ μειονεκτούν στα εξής:

✓ Το δείγμα που χρησιμοποιείται είναι πολύ μικρό, γεγονός που είναι αντίθετο με τη γνώση ότι ορισμένες ιδιότητες των ΥΑΦ επηρεάζονται από το μέγεθος του δείγματος ή από το αν το ΥΑΦ είναι συσκευασμένο ή όχι. Επιπλέον αν το υλικό είναι μη ομογενές είναι δύσκολη έως αδύνατη η επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος .

✓ Σε μία μέτρηση δεν μπορούν να μετρηθούν ταυτόχρονα πολλά δείγματα αλλά θα πρέπει να επαναλαμβάνεται το πείραμα για κάθε καινούριο δείγμα.

✓ Ο εξοπλισμός που απαιτείται για τη διεξαγωγή των πειραμάτων και των μετρήσεων είναι πολύπλοκος και πολυδάπανος.

8.5.2.1 Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA)

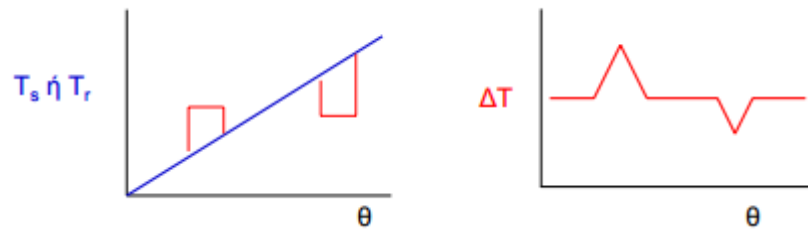
Η θερμική ανάλυση σαν έννοια είναι γενική και έχει άμεση σχέση με τις θερμικές μεθόδους και τις θερμικές τεχνικές. Οι τελευταίες αποτελούν μια ομάδα τεχνικών με τις οποίες μετράται κάποια φυσική ιδιότητα μιας ουσίας ή των προϊόντων αντίδρασης της ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, όταν η τελευταία μεταβάλλεται κατά έναν προγραμματισμένο τρόπο. Οι κατηγορίες των θερμικών τεχνικών είναι:

1. Θερμοσταθμική ανάλυση (Μεταβολή μάζας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας)
2. Διαφορική Θερμική Ανάλυση
3. Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (Μεταβολή ενθαλπίας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας)
4. Ενθαλπιομετρικές ογκομετρήσεις (Μεταβολή ενθαλπίας ως αποτέλεσμα μιας χημικής αντιδράσεως)

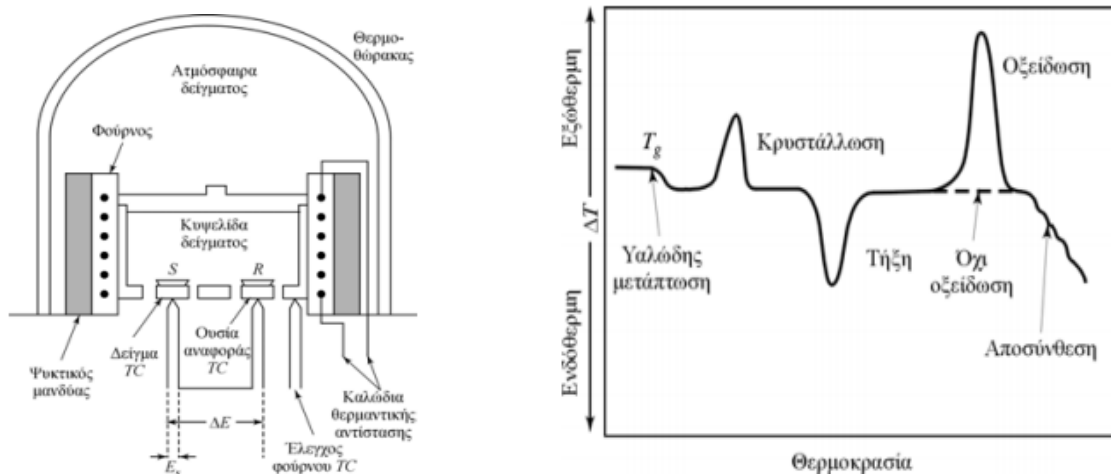
Εμείς στην παρούσα ενότητα θα αναπτύξουμε τη δεύτερη εξ' αυτών, Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA) κατά την οποία παρακολουθείται η διαφορά στη θερμοκρασία μεταξύ μιας ουσίας και ενός υλικού αναφοράς ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, όταν η ουσία και το υλικό αναφοράς υπόκεινται σε προγραμματισμένη μεταβολή θερμοκρασίας. Τόσο στην τεχνική DTA όσο και στην DCS που θα αναλύσουμε στην πορεία, το δείγμα και τα υλικά αναφοράς (αδρανές υλικό αναφοράς) θερμαίνονται με σταθερό ρυθμό. Η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στα δυο υλικά είναι ανάλογη με τη διαφορά στη ροή θερμότητας και το αποτέλεσμα είναι η καμπύλη DCS. Η συνιστώμενη ουσία αναφοράς είναι το αλουμίνιο (Al_2O_3). Η ύπαρξη του αδρανούς δείγματος συμβάλλει στον εντοπισμό των αλλαγών του μελετώμενου δείγματος που οφείλονται στην απορρόφηση ή έκλυση θερμότητας. Η λανθάνουσα θερμότητα τήξης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την περιοχή κάτω από την κορυφή της θερμοκρασίας τήξης και υπολογίζεται από την εφαπτομένη στο σημείο της μέγιστης κλίσεως επί του τμήματος της όψεως αιχμής.

υλικό αναφοράς: ουσία που δεν υφίσταται μεταβολές στις θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται

αδρανής ουσία: όπως οξείδιο του αργιλίου, καρβίδιο του πυριτίου ή μικρά υάλινα σφαιρίδια.



ΣΧΗΜΑ 8.9 Θέρμανση δείγματος και υλικού αναφοράς έτσι, ώστε η θερμοκρασία του δείγματος T_s να αυξάνει γραμμικά με το χρόνο. Στη συνέχεια καταγράφεται η διαφορά ΔT μεταξύ της θερμοκρασίας του μείγματος και του υλικού αναφοράς T_r ($\Delta T = T_r - T_s$) και σχεδιάζεται η γραφική παράσταση ως προς τη θερμοκρασία του δείγματος [8]



ΣΧΗΜΑ 8.105 Σχηματικό διάγραμμα ενός τυπικού οργάνου για διαφορική θερμική ανάλυση (TC = θερμοζεύγος) [8]

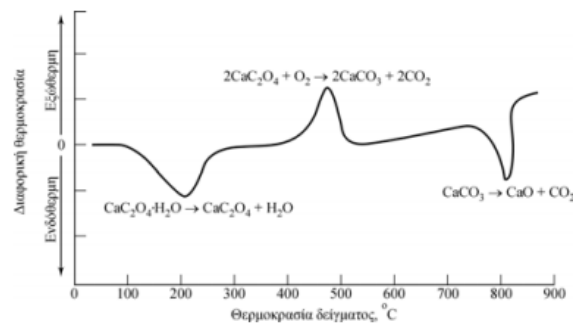
Γενικές Αρχές DTA

Η Διαφορική Θερμική Ανάλυση παρακολουθεί μόνο μεταβολές που συνοδεύονται από **μεταβολή ενθαλπίας, δηλαδή φυσικές διεργασίες ή χημικές μεταβολές**. Δεν ανταποκρίνεται σε μεταβολές μάζας.

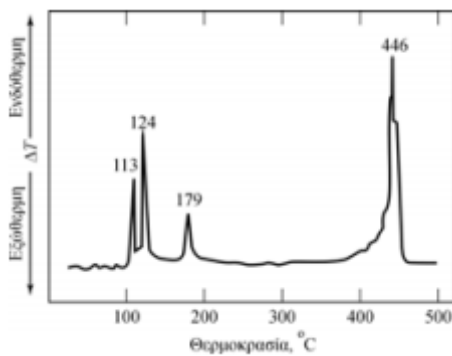
- ✓ Φυσικές ενδόθερμες διεργασίες είναι η τήξη, η εξάτμιση, η εξάχνωση, η απορρόφηση και η εκρόφηση.
- ✓ Φυσικές εξώθερμες διεργασίες είναι συνήθως η προσρόφηση και η κρυστάλλωση.
- ✓ Οι χημικές αντιδράσεις μπορούν επίσης να είναι ενδόθερμες ή εξώθερμες.
- ✓ Ενδόθερμες αντιδράσεις είναι η αφυδάτωση, η αναγωγή σε ατμόσφαιρα αερίου και η διάσπαση.
- ✓ Εξώθερμες αντιδράσεις είναι η οξείδωση παρουσία αέρα ή οξυγόνου, ο πολυμερισμός και οι καταλυτικές αντιδράσεις.

Η διαφορική θερμική ανάλυση χρησιμοποιείται ευρύτατα για:

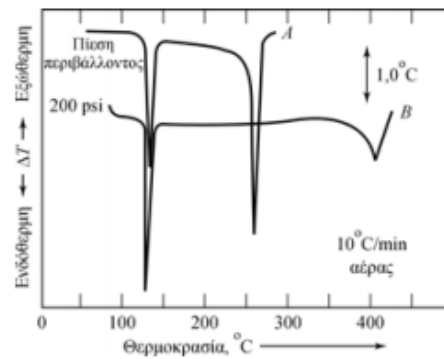
1. προσδιορισμό θερμικής συμπεριφοράς και σύνθεσης φυσικών και βιομηχανικών προϊόντων
2. χαρακτηρισμό πολυμερών
3. μελέτη θερμικής συμπεριφοράς καθαρών ανόργανων ενώσεων
4. μελέτη ανόργανων ουσιών (π.χ. πυριτικά ορυκτά, άργιλλοι, οξείδια, κεραμικά)
5. καταγραφή διαγραμμάτων φάσης
6. μελέτη μεταπτώσεων μεταξύ φάσεων



ΣΧΗΜΑ 8.11 Παράδειγμα Εφαρμογής: Διαφορικό θερμογράφημα $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ παρουσία O_2
Ρυθμός αύξησης θερμοκρασίας = $8^\circ\text{C}/\text{min}$ [8]



(α)



(β)

ΣΧΗΜΑ 8.12 Παραδείγματα εφαρμογών

(α) Διαφορικό θερμογράφημα θείου όπου:

113 °C: μεταβολή στερεάς κατάστασης (ρομβική προς μονοκλινή μορφή)

124 °C: σημείο τήξης του στοιχείου

179 °C: μεταπτώσεις τριών μορφών υγρού θείου

446 °C: σημείο βρασμού του θείου.

(β) Διαφορικό θερμογράφημα βενζοϊκού οξέος (Η πρώτη κορυφή αντιστοιχεί στο σημείο τήξης και η δεύτερη στο σημείο βρασμού του οξέος.) [8]

Όπως φαίνεται από τα σχήματα με τις εικονιζόμενες εφαρμογές ένα βασικό χαρακτηριστικό αυτών των διαγραμμάτων είναι ότι η περιοχή που εκτείνεται κάτω από το ακρότατο της καμπύλης είναι ενδεικτική της ενθαλπικής μεταβολής και δεν επηρεάζεται από τη θερμοχωρητικότητα του δείγματος.

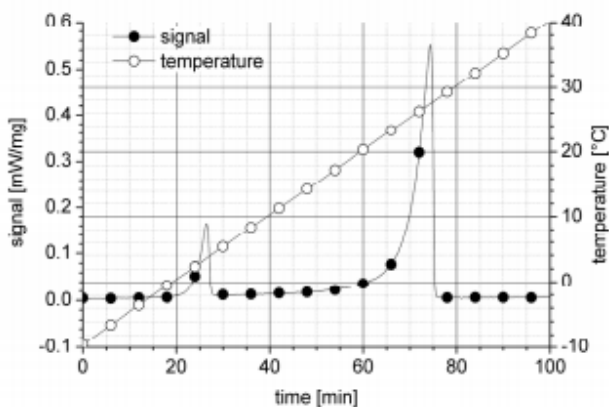
8.5.2.2 DSC (Ψηφιακό Θερμιδόμετρο)

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά όπως είπαμε είναι η σχέση ενθαλπίας – θερμοκρασίας ($h(T)$). Όταν αυτή η σχέση καθορίζεται χρησιμοποιώντας συμβατικό θερμιδόμετρο διαφορικής σαρώσεως (DSC) με τυποποιημένες μεθόδους και διαδικασίες, τα αποτελέσματα για τα ΥΑΦ είναι λανθασμένα. Η ενθαλπία που προκύπτει από θέρμανση/ψύξη συστηματικά μετατοπίζεται προς υψηλότερες/χαμηλότερες θερμοκρασίες αντίστοιχα. Αυτή η μετατόπιση θερμοκρασίας προέρχεται από ένα θερμοκρασιακό επίπεδο μέσα στο ΥΑΦ και εξαρτάται από το ποσοστό θέρμανσης/ψύξης και τη μάζα του δείγματος.

Υπάρχουν διαφορετικές δυνατότητες χρήσης της DSC στη θερμική ανάλυση των ΥΑΦ αλλά οι πιο κοινές που χρησιμοποιούνται είναι η δυναμική μέθοδος και η μέθοδος βημάτων.

8.5.2.2.1 Δυναμική Μέθοδος

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος λειτουργίας για την DSC είναι μια διαδικασία με συνεχή θερμαινόμενο ρυθμό. Τυπικά θερμαινόμενα και ψυχόμενα ποσοστά για τη μέτρηση της ειδικής θερμότητας είναι από 2 μέχρι 10 K/min. Το σήμα είναι ανάλογο της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στο δείγμα και στην



ουσία αναφοράς. Η ειδική θερμότητα του δείγματος σε συνάρτηση τις θερμοκρασίας $C_p(T)$ είναι καθορισμένη με τη βοήθεια ενός γνωστού υλικού. Από αυτά τα δεδομένα η αποθηκευτική χωρητικότητα μπορεί να προκύψει από ολοκλήρωση.

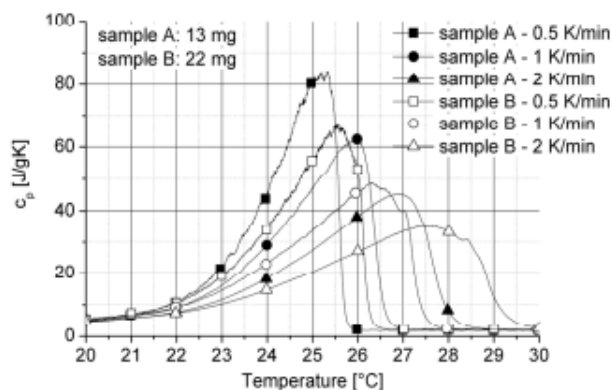
ΣΧΗΜΑ 8.13 Τυπική θερμική ροή και εξέλιξη της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης με διαρκή θερμαινόμενο ρυθμό κατά τη δυναμική μέθοδο DSC

Όσον αφορά τις μετρήσεις της DSC για τα ΥΑΦ, η ακρίβεια των μετρήσεων στηρίζεται στο ρυθμό θέρμανσης και στο μέγεθος του δείγματος. Η DSC με τυποποιημένα ποσοστά θέρμανσης δεν είναι ιδανική για υψηλής ευκρίνειας μετρήσεις στα ΥΑΦ. Αλλάζοντας φάση κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης, το δείγμα απέχει από τη θερμική ισορροπία. Σε αντίθεση με τα υλικά που δεν αλλάζουν φάση ή που διαθέτουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα, ένα υψηλό θερμοκρασιακό επίπεδο δημιουργείται μέσα στο δείγμα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αποκλίσεις πολλών βαθμών Kelvin της ενδεικνυόμενης θερμικής ικανότητας αποθήκευσης κατά αντιστοιχία με τη θερμοκρασία. Η απόκλιση εξαρτάται από το μέγεθος του δείγματος και το ρυθμό θέρμανσης καθώς επίσης και από την θερμική ικανότητα αποθήκευσης και τη θερμική αγωγιμότητα.

Οι θερμικές ιδιότητες του δείγματος δεν είναι συνήθως ακριβώς γνωστές. Συνεπώς η απόκλιση δεν μπορεί να περιοριστεί με μαθηματικά μέσα.

Εμπειρικά, η απόκλιση μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας μικρότερα ποσοστά θέρμανσης και ψύξης ή δείγματα. Στο σχήμα φαίνονται αποτελέσματα μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο ίδιο υλικό αλλά με διαφορετικά βάρη δειγμάτων και ρυθμούς θέρμανσης. Το τέλος της κορυφής της αλλαγής φάσης στην καμπύλη $C_p(T)$ αλλάζει από 26°C (0.5 K/min, μικρή μάζα) σε περίπου 30°C (2K/min, μεγάλη μάζα). Παρόλα

αυτά μια μείωση της απόκλισης μπορεί να γίνει μόνο σε βάρος ενός πιο αδύναμου σήματος/θορύβου. Ο αυξανόμενος θόρυβος μπορεί να παρατηρηθεί καλύτερα με τις μετρήσεις μας. Ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός της μάζας του δείγματος και του ρυθμού θέρμανσης εξαρτάται από την προσωπική βούληση. Τυπικές τιμές εμπορικών DSC είναι θερμαινόμενοι ρυθμοί της τάξης των 0.5-1 K/min και δείγματα μάζας 10-25mg.

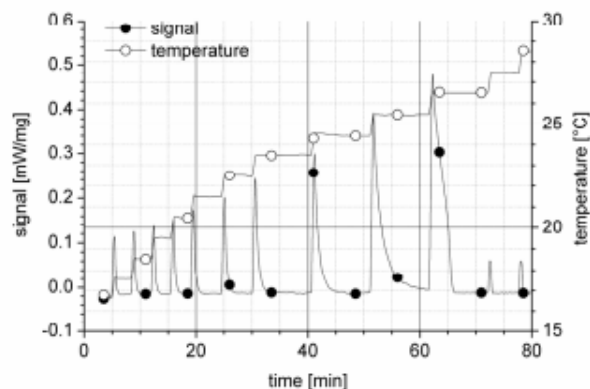


ΣΧΗΜΑ 8.14 Επιδράσεις της μάζας δείγματος και της διακύμανσης του ρυθμού θέρμανσης στη δυναμική μέθοδο DSC στις καμπύλες $C_p(T)$ [8]

8.5.2.2.2 Μέθοδος Ισοθερμικών Βημάτων

Μια άλλη δυνατότητα να αποκτήσουμε δεδομένα της θερμικής αποθηκευτικής ικανότητας είναι να πραγματοποιήσουμε την DSC με τη μέθοδο των ισοθερμοκρασιακών βημάτων. Σε αυτή την περίπτωση η κυψελίδα θερμαίνεται σταδιακά σε καθορισμένα θερμοκρασιακά διαστήματα. Το δείγμα ακολουθεί τα βήματα με λίγη καθυστέρηση και έτσι ανιχνεύεται το σήμα. Όταν το σήμα πέφτει κάτω από το μηδέν, το δείγμα είναι σε θερμική ισορροπία με την κυψελίδα. Αυτό συμβαίνει όταν θερμαίνεται το επόμενο βήμα. Η περιοχή κάτω από την κορυφή είναι ανάλογη της απορροφημένης θερμότητας από το δείγμα στο σχετικό βήμα.

Η απορροφημένη θερμότητα καθορίζεται σταδιακά και αποδίδεται στα θερμοκρασιακά διαστήματα του αντίστοιχου βήματος της ράμπας. Η θερμική αποθηκευτική ικανότητα ή η καμπύλη ενθαλπίας $h(T)$ αποκτάται έτσι προσθέτοντας τις τιμές των βημάτων. Η εκλογή της θερμοκρασίας από τα κεκτημένα δεδομένα είναι ίση με το μέγεθος του βήματος. Μια μέτρηση ισοθερμοκρασιακών βημάτων με DSC απαιτεί περισσότερο προγραμματισμό και περισσότερο χρόνο για την ίδια τη μέτρηση. Η εκτίμηση είναι περισσότερο πολύπλοκη από ότι η δυναμική μέτρηση του C_p . Το μεγάλο πλεονέκτημα σε σύγκριση με τη δυναμική μέθοδο είναι το γεγονός ότι η αβεβαιότητα στη θερμοκρασία είναι επακριβώς γνωστή καθώς ορίζεται σε κάθε μέγεθος βήματος. Μειώνοντας το μέγεθος του βήματος οδηγεί σε καλύτερη εκλογή της θερμοκρασίας

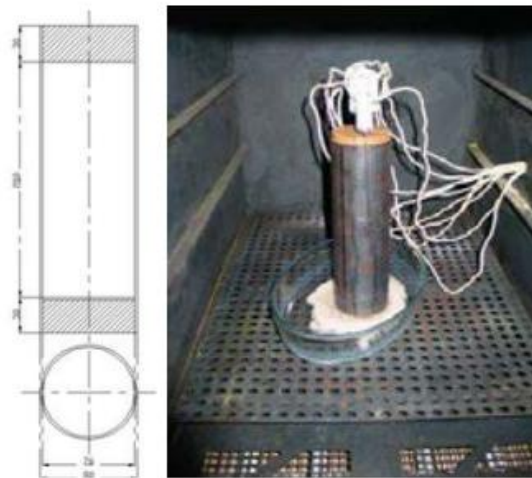


ΣΧΗΜΑ 8.15 Τυπική θερμική ροή και εξέλιξη της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης ισοθερμοκρασιακών βημάτων [2]

8.5.2.3 Καμπύλη Ενθαλπίας- Θερμοκρασίας -- Πειραματική Διάταξη (TREFLE – FRANCE).

Ο χαρακτηρισμός των σταθεροποιημένων σχηματικά ΥΑΦ συνήθως περιλαμβάνει μέτρηση των θερμικών αγωγιμοτήτων και θερμικών χωρητικοτήτων καθώς και τη μεταβολή των θερμοκρασιών και της λανθάνουσας θερμότητας. Επιπλέον για ένα ΥΑΦ που υφίσταται τήξη πέρα από ένα εύρος θερμοκρασιών η καμπύλη ενθαλπίας- θερμοκρασίας είναι απαραίτητη. Ο χαρακτηρισμός εκτελείται χρησιμοποιώντας διάφορα δείγματα και πειραματικές συσκευές. Όσον αφορά την ειδική θερμότητα και τη λανθάνουσα θερμότητα, χωριστά και ειδικά θερμοδόμετρα διαφορικής σαρώσεως χρησιμοποιούνται για δοκιμή. Μεταβατικές θερμοκρασίες καθορίζονται καλύτερα χρησιμοποιώντας ανάλυση διαφορικής θερμικής ανάλυσης και η καμπύλη ενθαλπίας – θερμοκρασίας απαιτεί δοκιμές DSC με τη μέθοδο ισοθερμοκρασιακών βημάτων. Από τον αριθμό συσκευών/ δοκιμών που απαιτήθηκε για πλήρη χαρακτηρισμό, ένας παρατήρησε ότι οι δοκιμές βασισμένες στις συσκευές DTA/DSC γενικά απαιτούν πολύ μικρά δείγματα (μερικά χιλιοστά), έτσι ώστε να μη χρησιμεύουν για δοκιμή ετερογενών υλικών με μεγάλους αντιπροσωπευτικούς όγκους. Τέτοιο πρόβλημα θα μπορούσε να ξεπεραστεί μερικώς χρησιμοποιώντας τη μέθοδο T-History, ένα φτηνό και εύκολο τρόπο για καθορισμό των λανθανουσών και ειδικών θερμότητων. Δυστυχώς, αυτή η μέθοδος συχνά οδηγεί σε βεβιασμένη μεταβολή της θερμοκρασίας και των καμπυλών ενθαλπίας-θερμοκρασίας.

Μια καινούρια μέθοδος για το χαρακτηρισμό των ΥΑΦ βασισμένη σε ένα αρκετά παχύ δείγμα και μια μόνο πειραματική συσκευή έχει προταθεί. Η απλότητα της πειραματικής συσκευής είναι συγκρίσιμη με αυτή της T-History που θα δούμε παρακάτω: ένας κύλινδρος από ΥΑΦ ο οποίος θερμαίνεται/ ψύχεται σε μια εστία ακολουθώντας καθορισμένα θερμοκρασιακά βήματα. Η άνω και κάτω πλευρά του κυλίνδρου μονώνονται με ένα υλικό που μπορεί να αντέξει θερμοκρασίες πάνω από 1000°C . Ο κύλινδρος εισάγεται σε ένα φούρνο για θέρμανση/ψύξη κάτω από ελεγχόμενες θερμικές συνθήκες. Ένα θερμοζεύγος (τύπου K) τοποθετείται στην επιφάνεια ανάμεσα στο σωλήνα και το ΥΑΦ και ένα άλλο μέσα στο ΥΑΦ στο κέντρο (στην αξονική γραμμή) και λίγα mm από την κορυφή. Τα θερμοζεύγη προστατεύονται από μια θήκη η οποία είναι ένας καλός συμβιβασμός ανάμεσα στην παρεμβατικότητα και τη μηχανική αντοχή.



ΣΧΗΜΑ 8.16 Αριστερά: Σκίτσο του κυλινδρικού δοκιμίου σε διαστάσεις mm. Δεξιά: το δοκίμιο μέσα στο καμίνι [2]

Δεδομένα που ανταποκρίνονται στην περίοδο κατά την οποία το ΥΑΦ μένει σε στέρεα κατάσταση (ή σε υγρή) χρησιμοποιούνται πρώτα για να προσδιορίσουμε τις θερμικές ιδιότητες των ΥΑΦ και τη θερμική αντοχή που συνδέεται με την επιφάνεια δοχείου/ ΥΑΦ. Οι διαθέσιμες πληροφορίες είναι η θερμοκρασία που αναγράφεται στην επιφάνεια δοχείου/ΥΑΦ και η θερμοκρασία που καταγράφεται μέσα στο ΥΑΦ. Το πρόβλημα επισημαίνεται και λύνεται με κλασικό τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι ψάχνοντας για τις τιμές των k (θερμική αγωγιμότητα), C_s (θερμική ικανότητα/χωρητικότητα) και h (αντίστροφο της θερμικής αντοχής) μειώνουμε τα κατάλοιπα (μετρήσεις-προσομοιώσεις). Αφότου προσδιοριστούν αυτές οι παράμετροι (σε στέρεα και υγρή κατάσταση), το επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση της καμπύλης ενθαλπίας – θερμοκρασίας από τα δεδομένα θερμοκρασίας που προέρχονται από της περιόδους τήξης και στερεοποίησης. Μια ισχυρή τεχνική αντιστροφής έχει προταθεί για να γίνει αυτό. Η καμπύλη αυτή προκύπτει από τη λύση του προβλήματος της ανομοιομορφίας, της εκτίμησης πηγών από αντιστροφή ενός μοντέλου γραμμικής θερμικής αγωγής. Έχει δειχθεί ότι οι πηγές που αναζητούμε είναι το αποτέλεσμα μιας γραμμικής και αμετάβλητης μεθόδου στην οποία ως δεδομένο εισάγουμε τη μετρηθείσα θερμοκρασία μέσα στο ΥΑΦ. Η καμπύλη ενθαλπίας-θερμοκρασίας καθώς και οι παράμετροι που προέρχονται από τη θερμική χωρητικότητα, τις μεταβολές της θερμοκρασίας και τη λανθάνουσα θερμότητα υπολογίζονται με απλό τρόπο.

Μελλοντικοί Στόχοι

Η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να παρουσιάσει πολλά πλεονεκτήματα συγκρινόμενη με τις μεθόδους DSC. Πρώτα από όλα αποδίδει τον πλήρη θερμοδυναμικό χαρακτηρισμό των ΥΑΦ σε ένα μόνο πείραμα. Δεύτερον, επιτρέπει τη δοκιμή ετερογενών υλικών με μεγάλους αντιπροσωπευτικούς όγκους. Επιπλέον, η δοκιμαστική περίοδος είναι σημαντικά μειωμένη: μερικές ώρες αντί για πολλές μέρες απαιτούνται για τη μέτρηση της συνάρτησης ενθαλπίας-θερμοκρασίας όταν χρησιμοποιούμε την DSC με την ισοθερμική μέθοδο βημάτων.

Επόμενο βήμα στην ανάπτυξη της μεθόδου θα εστιάσει στον υπολογισμό της αξιοπιστίας των διαλειμμάτων. Πρέπει να επισημανθεί ότι αυτό δεν είναι μια εύκολη δουλειά επειδή πρωταρχικές εκτιμήσεις (πηγές θερμότητας) καθώς και τελικές (συναρτήσεις ενθαλπίας-θερμοκρασίας), είναι συνεχείς

λειτουργίες. Σχεδιάζεται ακόμα να συνδυάσουμε την αντίστροφη μέθοδο που προτείνεται με τις μεθόδους τεχνικών μείωσης για να επιταχύνουμε τους υπολογισμούς.

8.5.2.4 Εκτίμηση της Καμπύλης Ενθαλπίας-Θερμοκρασίας με την Ανάλυση Γήρανσης των Πειραματικών Διατάξεων (TREFLE – FRANCE)

Οι δοκιμές γήρανσης περιλαμβάνουν την εκτίμηση της καμπύλης της ενθαλπίας-θερμοκρασίας του δείγματος μετά από κάθε κύκλο τήξης/πήξης από καταγεγραμμένη θερμική ροή και δεδομένα θερμοκρασιών. Η καμπύλη προκύπτει από τη λύση ενός προβλήματος ανομοιομορφίας, και εκτίμηση των χρονοεξαρτώμενων πηγών από αντιστροφή ενός μοντέλου γραμμικής θερμικής αγωγής. Έχει αποδειχθεί ότι οι πηγές που ψάχνουμε είναι το αποτέλεσμα μια γραμμικής και αμετάβλητης μεθόδου της οποίας η είσοδος είναι η μετρηθείσα θερμοκρασία μέσα στο ΥΑΦ. Οι καμπύλες ενθαλπίας – θερμοκρασίας που προκύπτουν από θερμικές αγωγιμότητες, μεταβολές θερμοκρασιών λανθάνουσες θερμότητες υπολογίζονται με πολύ απλό τρόπο.

Πολλές δοκιμές έχουν πραγματοποιηθεί για αξιολόγηση των πειραματικών συσκευών και μεθόδων και αλγορίθμων που έχουμε αναπτύξει για να ανακτούμε τις καμπύλες ενθαλπίας-θερμοκρασίας. Το αντικείμενο των πρώτων σειρών των δοκιμών είναι να εκτιμήσουμε την ικανότητα των πειραματικών μας εγκαταστάσεων για μέτρηση των θερμικών χωρητικότητων. Δείγματα από διαφορετικά υλικά όπως αλουμίνιο, ασάλι, μείγματα άνθρακα/εποξειδικών και αφροί άνθρακα έχουν ληφθεί υπόψη. Η θερμική ικανότητα των δειγμάτων έχει καθοριστεί χρησιμοποιώντας τυποποιημένες τεχνικές (όπως DSC) και καινούριες πειραματικές συσκευές.

Μελλοντικοί στόχοι

Η προτεινόμενη εργαστηριακή συσκευή και η μέθοδος εκτίμησης επιτρέπουν να προσομοιάσουμε τη ζωή των υλικών σε μικρές χρονικές περιόδους, δοκιμάζοντας αρκετά μεγάλα δείγματα και παρέχοντας τις διαγνώσεις μέσω των συναρτήσεων ενθαλπίας-θερμοκρασίας.

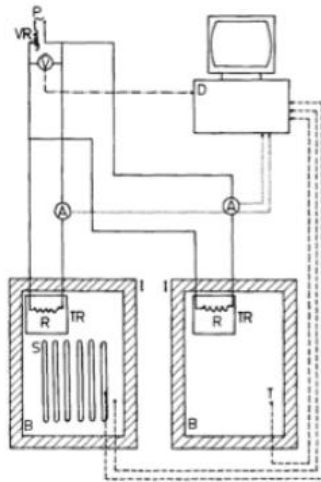
Η μέγιστη εφικτή θερμοκρασία με την αναπτυχθείσα εργαστηριακή συσκευή είναι περίπου 150°C. Αυτός ο περιορισμός της θερμοκρασίας προέρχεται από το στοιχείο θέρμανσης/ψύξης. Αυτό το στοιχείο της συσκευής θα τροποποιηθεί επιτρέποντας στα υλικά να δοκιμάζονται πάνω από τους 600°C. Επιπλέον μια περιήφραξη για πραγματοποίηση των δοκιμών σε αδρανή ατμόσφαιρα θα ετοιμαστεί.

8.5.2.5 Μέθοδος Διδύμων Λουτρών (ÇUKUROVA UNIVERSITY – TURKEY)

Συσκευή

Η αλλαγή της θερμοκρασίας και των φορτίων ενέργειας με το χρόνο μετρώνται, ελέγχονται και καταγράφονται σε δυο λουτρά χρησιμοποιώντας τη συσκευή του σχήματος 8.17. Αποτελείται από δυο πανομοιότυπα καλά αναδευόμενα λουτρά με θερμοστάτες μοντέλου Techne TU-16A. Το εργαζόμενο υγρό στα δύο λουτρά ποικίλλει εξαρτώμενο από τις λειτουργικές απαιτήσεις. Κάθε λουτρό θερμαίνεται από μια ηλεκτρική αντίσταση θέρμανσης. Υποθέτοντας ότι όλη η ηλεκτρική ενέργεια που παραδίδεται στη θερμική αντίσταση μετατρέπεται σε θερμότητα, το φορτίο ενέργειας ελέγχεται από την προσαρμοσμένη τάση εισόδου. Η στιγμιαία τάση και τα ηλεκτρικά ρεύματα μετρώνται και καταγράφονται από ένα καταγραφέα δεδομένων για να καθορίσουμε τα δεδομένα ρεύματος για κάθε λουτρό. Για να ψύξουμε τα λουτρά σε ατμοσφαιρική θερμοκρασία πανομοιότυπες χάλκινες σπείρες με πτερύγια χρησιμοποιούνται με νερό βρύσης να κυκλοφορεί μέσα σε αυτές. Για θερμοκρασίες κάτω της ατμοσφαιρικής επιπλέον συστήματα αντλιών θέρμανσης μπορεί να χρειαστούν. Εννιά ατομικά βαθμονομημένα θερμίστορ χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν τη θερμοκρασία του εργαζόμενου υγρού και των υλικών θερμικής αποθήκευσης. Η απόκλιση στις μετρήσεις του ρεύματος είναι 1% ενώ οι θερμοκρασίες μετρώνται με ακρίβεια της τάξης

των $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Ο αριθμός των αναγνώσεων των μετρήσεων είναι προσαρμόσιμος και εξαρτάται από το δείγμα που μελετάται και βγαίνει ένας μέσος όρος ώστε να προκύψει καλύτερη ακρίβεια.



ΣΧΗΜΑ 8.17 Σχέδιο της συσκευής διδύμων λουτρών που αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο της Cucuogva [2]

Αφού έχουμε εξασφαλίσει την πανομοιότυπη συμπεριφορά των δυο λουτρών μετά τη βαθμονόμηση της συσκευής, δυο είδη πειραμάτων μπορούν να εκτελεστούν: στο πρώτο δυο λουτρά θερμαίνονται ταυτόχρονα με ένα σταθερό ρυθμό κατά ένα ελεγχόμενο θερμοκρασιακό διάστημα όταν το ένα λουτρό περιέχει το δείγμα και το άλλο περιέχει το εργαζόμενο ρευστό.

Αφού και τα δυο λουτρά λειτουργούν κάτω από παρόμοιες συνθήκες η απώλεια θερμότητας προς τα τοιχώματα Q_L και οι θερμικές χωρητικότητες των εργαζόμενων ρευστών Q_B είναι ίδιες και θα ακυρώσουν η μια την άλλη όταν τα φορτία ενέργειας των δυο λουτρών συγκριθούν σύμφωνα με :

$$\Delta Q = (Q_B + Q_S + Q_C + Q_L)_{\text{bath},1} - (Q_B + Q_L)_{\text{bath},2} \quad (8.2)$$

$$\Delta Q = Q_B + Q_C \quad (8.3)$$

Όπου Q_S δείχνει την θερμότητα που απορροφάται από το υλικό του δείγματος και Q_C είναι η θερμική χωρητικότητα του δοχείου. Η τιμή του Q_S αποτελείται από τις θερμικές χωρητικότητες της στέρεας και της υγρής φάσης καθώς επίσης και τη θερμότητα τήξης H_m του δείγματος που δίνεται για ένα καθαρό δείγμα από:

$$Q_S = M_S [C_{p,s}(T_m - T_0)] + H_m + C_{p,l} (T_s - T_m) \quad (8.4)$$

$$Q_C = M_C \cdot C_{p,c} (T_s - T_0) \quad (8.5)$$

Όπου M_s είναι η μάζα, ενώ $C_{p,s}$ και $C_{p,l}$ είναι οι ειδικές θερμότητες της στέρεας και υγρής κατάστασης του δείγματος αντίστοιχα. T_0 και T_s είναι η αρχική και τελική θερμοκρασία του δείγματος και T_m είναι το σημείο τήξης του δείγματος. M_c και $C_{p,c}$ είναι η μάζα και η ειδική θερμότητα του δοχείου, αντίστοιχα. Για να καθορίσουμε τη θερμική χωρητικότητα και τη θερμική μεταβολή φάσης του αποθηκευτικού υλικού, ένα υλικό αναφοράς με μια πανομοιότυπη ενσωμάτωση σε κάψουλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο δεύτερο λουτρό, έτσι η τιμή του Q_s μπορεί να υπολογιστεί από τη σύγκριση με το φορτίο ενέργειας για τα δυο λουτρά:

$$\Delta Q = (Q_B + Q_S + Q_C + Q_L)_{\text{bath},1} - (Q_B + Q_R + Q_C + Q_L)_{\text{bath},2} \quad (8.6)$$

$$Q_S = \Delta Q + Q_R \quad (8.7)$$

$$Q_R = M_R C_{p,R} (T_S - T_0) \quad (8.8)$$

Όπου M_R και $C_{p,R}$ είναι η μάζα και η ειδική θερμότητα, αντίστοιχα του υλικού αναφοράς. Υλικά με γνωστές θερμοδομετρικές ιδιότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν υλικά αναφοράς. Για εφαρμογές ψύξης, νερό βρύσης και μια αντλία θέρμανσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με το επίπεδο ψύξης.

Στο δεύτερο τύπο πειράματος το δείγμα μπορεί να εισαχθεί σε ένα από τα προθερμασμένα λουτρά στην καθορισμένη θερμοκρασία όταν το άλλο λουτρό περιέχει μόνο το εργαζόμενο ρευστό. Έτσι η ενέργεια αποζημίωσης που απαιτείται από το λουτρό με το δείγμα μπορεί να μετρηθεί και να καταγραφεί μέχρι η καθορισμένη θερμοκρασία των λουτρών να δώσει το άθροισμα των θερμοτήτων που απορροφώνται από το δείγμα και το δοχείο.

$$\Delta Q = (Q_S + Q_C + Q_L)_{\text{bath},1} - (Q_L)_{\text{bath},2} \quad (8.9)$$

$$\Delta Q = Q_S + Q_C \quad (8.10)$$

Αυτό το είδος διαφορικής μέτρησης καθώς επίσης και οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης θα εφοδιάσουν με πολύτιμες πληροφορίες τη θερμική συμπεριφορά του υλικού θερμικής αποθήκευσης που ενσωματώνεται σε κάψουλα στο επιθυμητό μέγεθος και σχήμα λαμβάνοντας υπόψη την οικονομία και τα χαρακτηριστικά μετάδοσης θερμότητας ώστε να σχεδιαστεί το πραγματικό σύστημα.

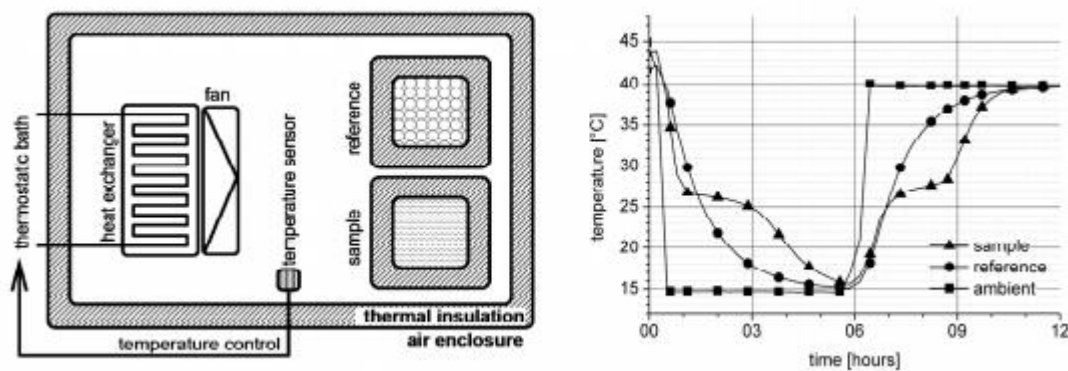
Η συνολική θερμότητα Q_T που αποθηκεύεται από τα ενσωματωμένα δείγματα παραφίνης μπορεί να μετρηθεί συγκρίνοντας τα φορτία ρεύματος που αποκτήθηκαν από τα δυο είδη πειραμάτων όπως αυτά εξηγήθηκαν παραπάνω. Η συνολική θερμότητα αποτελείται από τις θερμικές χωρητικότητες του δείγματος στη στέρεα και την υγρή κατάσταση καθώς επίσης και τη θερμική χωρητικότητα του δοχείου. Η συνολική θερμότητα υπολογίζεται από την περιοχή κάτω από την κορυφή.

8.5.2.6 Μέθοδος T-History (UNIVERSITY OF ZARAGOZA – SPAIN, EMPA- SWITZERLAND)

Η μέθοδος T-History προτάθηκε από τον Zhang [Zhang 1999] σαν ένα φτηνό και εύκολο τρόπο να εκτιμήσουμε υποψήφια ΥΑΦ δεδομένης της ενθαλπίας αλλαγής φάσης τους. Η μέθοδος βελτιώθηκε από πολλούς άλλους [Marín et al. 2003], και τώρα είναι ικανή για τον καθορισμό της θερμοκρασίας

εξαρτώμενη από το Cr . Η συσκευή της εγκατάστασης μας για τη μέθοδο T-History φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Δύο πανομοιότυπες κυψελίδες που περιέχουν το δείγμα και το υλικό αναφοράς τοποθετούνται μέσα σε ένα μονωμένο κουτί. Οι θερμοκρασίες των τοιχωμάτων, του υλικού αναφοράς και του δείγματος καταγράφονται. Έπειτα η θερμοκρασία των τοιχωμάτων αλλάζει στιγμιαία. Η αντίδραση του υλικού αναφοράς και του δείγματος σε αυτή την αλλαγή εξαρτάται από τις θερμο-φυσικές τους ιδιότητες. Με τη βοήθεια του υλικού αναφοράς, η θερμική αντίσταση ανάμεσα στην κυψελίδα και στο τοίχωμα βαθμονομείται. Η ειδική θερμότητα και η ενθαλπία του δείγματος σαν συναρτήσεις της θερμοκρασίας μπορούν να καθοριστούν. Σε αντίθεση με την DSC στην μέθοδο T-History το σήμα δεν αποκτάται από τη θερμοκρασιακή διαφορά από το δείγμα και το υλικό αναφοράς, αλλά από τις αντίστοιχες διαφορές με τα τοιχώματα. Έτσι η αναλογία σήμα/θόρυβος μπορεί να μείνει πολύ υψηλά για πολύ αργές μετρήσεις. Αυτό γιατί αυτή η μέθοδος είναι ικανή για απόκτηση δεδομένων μεγάλων δειγμάτων που βρίσκονται κοντά στην ισορροπία.

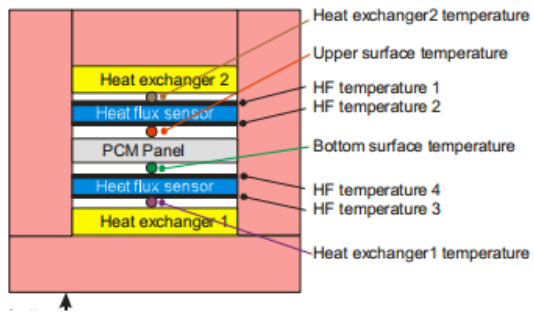


ΣΧΗΜΑ 8.18 Σχηματική απεικόνιση του οργάνου της T-History σαν συσκευή (αριστερά) και ένα χαρακτηριστικό αποτέλεσμα της μεθόδου (δεξιά) Ψύξη και θέρμανση του δείγματος, της ουσίας αναφοράς και της ατμόσφαιρας φαίνονται. [2]

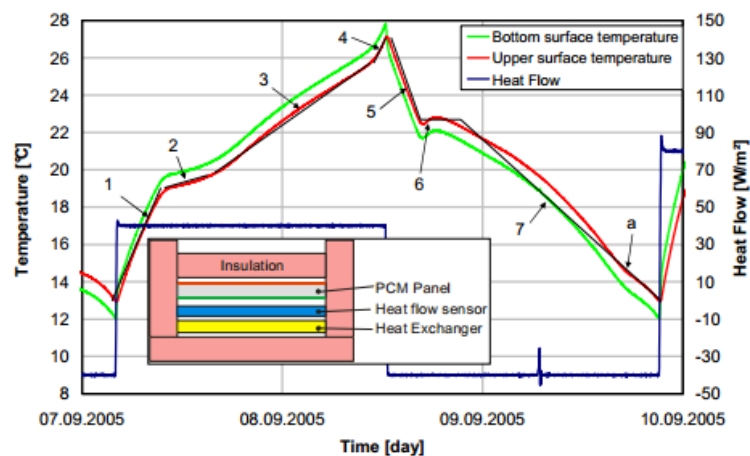
Η μέτρηση τόσο μεγάλων δειγμάτων είναι σημαντική για δυο λόγους. Πρώτον πολλά ΥΑΦ είναι ενώσεις υλικών και μόνο πολύ μεγάλα δείγματα μπορούν να εξασφαλίσουν ότι η μέτρηση γίνεται στη σωστή σύνθεση. Δεύτερον πολλά ΥΑΦ παρουσιάζουν υπόψυξη η οποία είναι ευθέως ανάλογη του μεγέθους του δείγματος. Σε μια τυπική εφαρμογή ΥΑΦ χρησιμοποιούνται πακέτα τουλάχιστον των 100ml. Το μέγεθος του δείγματος στη μέτρηση πρέπει να είναι παρόμοιο έτσι ώστε τα αποτελέσματα που αφορούν την υπόψυξη να είναι σχετικά με την περίπτωση της εφαρμογής. Η εγκατάσταση μας είναι σχεδιασμένη για πειράματα θέρμανσης και ψύξης στην κλίμακα των -5°C έως 80°C .

8.5.2.7 Πειραματική Διάταξη PANEL TEST (EMPA – SWITZERLAND)

Η διάταξη κελιού χρησιμοποιείται σαν μικρής κλίμακας εκδοχή ενός κελιού οροφής. Με συνεχή ή ελεγχόμενες θερμικές ροές στην πλευρά του πάτου, η προκύπτουσα θερμοκρασία μετράται. Η κατασκευή του κουτιού φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 8.19 αριστερά. Η διάταξη της δοκιμής αποτελείται από ένα (ή δυο) εναλλάκτες θερμότητας, δυο αισθητήρες θερμικής ροής και το κελί που είναι γεμισμένο με το ΥΑΦ. Το σχήμα 8.19 δεξιά παρουσιάζει ένα χαρακτηριστικό κύκλο φορτίου ενός εμπορικού ΥΑΦ.



ΣΧΗΜΑ 8.19 (δεξιά) Σχηματική αναπαράσταση του κελιού μέτρησης. (αριστερά) Διάταξη δοκιμής με κελί



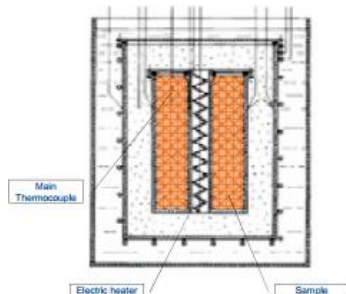
ΣΧΗΜΑ 8.20 Χαρακτηριστικός θερμικός κύκλος με ΥΑΦ E22. Βάρος ΥΑΦ $33,4\text{kg/m}^2$, συνολικό βάρος κελιού 58.3kg/m^2 . [2]

8.5.2.8 Απλή Θερμική Ανάλυση (WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY –POLAND)

Το θερμιδόμετρο και η τεχνική μέτρησης αναπτύχθηκαν για να επιτρέψουν το καθορισμό της θερμικής αγωγιμότητας των ΥΑΦ (λανθάνουσα θερμότητα και ειδική θερμότητα τόσο της στερεάς όσο και της υγρής φάσης) της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης. Αναπτύχθηκαν ακόμα για τον προσδιορισμό της υπόψυξης κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης. Ο όγκος του κελιού του δείγματος είναι 40cm^3 , έτσι σχετικά μεγάλα δείγματα (συγκρινόμενα με την DSC) μελετώνται στη συσκευή. Η θερμοκρασία ποικίλλει από 20 έως 300°C .

Το σχέδιο του θερμιδόμετρου παρουσιάζεται στο σχήμα 8.21. Δείγμα υλικού εισάγεται μέσα σε κυλινδρικό δοχείο στο κέντρο του οποίου υπάρχει μια ηλεκτρική θερμάστρα. Αυτό το δοχείο βρίσκεται μέσα σε ένα μεγαλύτερο το οποίο είναι γεμάτο με μονωτική σκόνη. Η εξωτερική επιφάνεια του μεγαλύτερου δοχείου είναι τυλιγμένη με θερμαινόμενο καλώδιο. Τάση εφαρμόζεται σε αυτή τη θερμάστρα είναι ανάλογη της θερμοκρασιακής διαφοράς του εσωτερικού και εξωτερικού δοχείου, μετρούμενες από διαφορικό θερμοζεύγος (το οποίο παρουσιάζεται στη δεξιά πλευρά του θερμιδομέτρου). Αυτό το είδος ενεργής μόνωσης μειώνει τις θερμικές απώλειες από το θερμιδόμετρο, αυξάνοντας έτσι την ακρίβεια της μέτρησης. Το σύστημα των δυο δοχείων τοποθετείται μέσα σε ένα μεγαλύτερο το οποίο είναι γεμάτο με επιπρόσθετο στρώμα μόνωσης. Παρόλη την περίπλοκη θερμική μόνωση του κυττάρου του δείγματος θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον είναι ουσιώδεις (ειδικά σε υψηλές θερμοκρασίες) και δεν μπορούν να αγνοηθούν σε ποσοτική ανάλυση. Για να πάρουμε πληροφορίες πάνω στις θερμικές

απώλειες το θερμιδόμετρο βαθμονομείται . Βασισμένο στις μετρήσεις των ουσιών αναφοράς (των γνωστών θερμικών ιδιοτήτων) τα χαρακτηριστικά του – θερμικές απώλειες σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό δοχείο και την εσωτερική θερμάστρα – καθορίστηκαν.



ΣΧΗΜΑ 8.21 Σχέδιο του θερμιδόμετρου για τη μέτρηση των ιδιοτήτων θερμικής χωρητικότητας των ΥΑΦ [2]

Η διαδικασία μέτρησης βασίζεται πάνω στη θέρμανση του δείγματος με συνεχή ρεύμα. Κατά τη διάρκεια της φάσης θέρμανσης θερμοκρασίες σε επιλεγμένα σημεία του θερμιδόμετρου καταγράφονται. Για παράδειγμα, θερμοζεύγη τοποθετούνται στην επιφάνεια της εσωτερικής (κυρίως) θερμάστρας, μέσα στο ΥΑΦ, και στην εξωτερική επιφάνεια του κυρίως δοχείου (που περιέχει το ΥΑΦ). Στην περίοδο θέρμανσης τρεις υπο-περιπτώσεις μπορούν να γίνουν διακριτές. Η πρώτη ανταποκρίνεται στη θέρμανση της στέρεας φάσης του ΥΑΦ. Μετά η τήξη και η πτώση της καμπύλης της θερμοκρασίας είναι πολύ κοντά στο μηδέν. Μετά την πλήρη τήξη του δείγματος, συμβαίνει η θέρμανση της υγρής φάσης. Γνωρίζοντας τη θερμική ροή από τη θερμάστρα (το ρεύμα της), τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον (από τις καμπύλες βαθμονόμησης), τη μάζα του δείγματος και το ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας, η ειδική θερμότητα της στέρεας φάσης (πρώτη υπο-περιοχή) και της υγρής φάσης (τρίτη υπο-περιοχή) μπορεί να καθοριστεί. Η θέση της σταθερής θερμοκρασίας στη δεύτερη υπο-περιοχή και η διάρκεια χρόνου αυτής της περιόδου επιτρέπουν τον καθορισμό της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης (σημείο τήξης) και της λανθάνουσας θερμότητας. Πιο λεπτομερή ανάλυση της καμπύλης της θερμοκρασίας που αποκτάται κατά τη μέτρηση δίνει τα χαρακτηριστικά της ενθαλπίας έναντι της θερμοκρασίας για το υπό δοκιμή υλικό.

Η θέρμανση τελειώνει όταν η θερμοκρασία του δείγματος φτάνει κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο. Η εσωτερική θερμάστρα τίθεται εκτός λειτουργίας και ξεκινά η ψύξη του δείγματος. Εξαιτίας της καλής θερμικής μόνωσης αυτό το στάδιο της διαδικασίας είναι πολύ αργό και πιθανότατα υπόψυξη μπορεί να παρατηρηθεί. Αφού οι θερμικές ροές σε αυτό το στάδιο δεν είναι ελεγχόμενες ποσοτικές ιδιότητες (π.χ. ενθαλπικές αλλαγές έναντι θερμοκρασίας) δεν μπορούν να προσδιοριστούν.

8.5.2.9 ΤΕΣΤ ΒΟΧ (UNIVERSITY OF LEIDA – SPAIN)

Ένας νέος εξοπλισμός αρκετά ευέλικτος για διεξαγωγή διαφορετικών πειραμάτων για να δοκιμάσουμε τη σταθερή και μεταβατική θερμική αντίδραση των πραγματικών συστημάτων κατασκευής, περιλαμβανομένων κι αυτών που περιέχουν ΥΑΦ αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Leida.

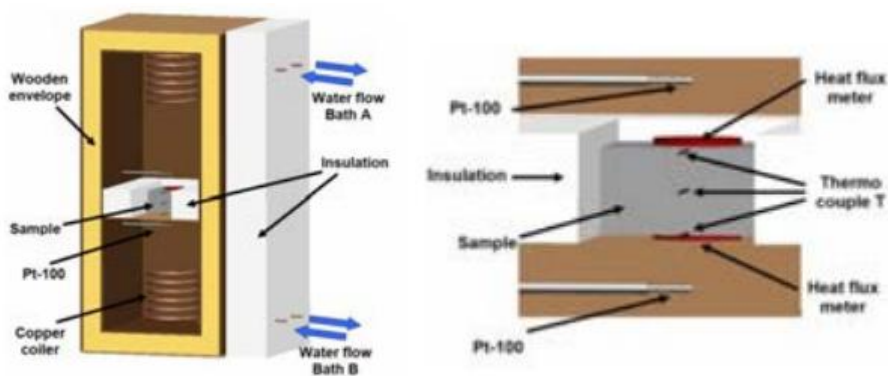
Ο νέος εξοπλισμός βασίζεται σε μια ξύλινη κατασκευή και έχει διαστάσεις 50 cm x 50 cm x 118 cm. Οι εξωτερικές ξύλινες επιφάνειες (3 mm) είναι μονωμένες με 16 cm πολυστερίνη ($k = 0.034 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), οι οποίες χρησιμοποιούνται για να προσομοιώσουμε τις εσωτερικές και εξωτερικές συνθήκες του κελύφους ενός κτιρίου (τοιχοί και οροφές).

Το υπό δοκιμή δείγμα τοποθετείται ανάμεσα σε δυο κοιλότητες με τις τέσσερις πλευρές τους καλά μονωμένες (επιφάνειες πολυστερίνης χρησιμοποιούνται επίσης κατά μήκος των τεσσάρων πλευρών για να εξασφαλίσουν τη μονοδιάστατη ροή θερμότητας). Και οι δυο κοιλότητες έχουν μια χάλκινη σπείρα ψύξης συνδεδεμένα σε προγραμματισμένα λουτρά νερού, τα οποία είναι ικανά να προσομοιώνουν διαφορετικές

θερμικές συνθήκες όπως ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας και διαφορετικές κλίσεις θέρμανσης και ψύξης.

Η θέση του κάθε αισθητήρα φαίνεται στο σχήμα 8.22. Κατά τη διεξαγωγή μιας δοκιμής, οι θερμοκρασίες σε κάθε κοιλότητα μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας βαθμονομημένα Pt-100DIN B με ένα μέγιστο σφάλμα της τάξης $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$, ενώ οι επιφάνειες και το κέντρο του δείγματος μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας θερμοζεύγη τύπου T με σφάλμα $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$. Επιπλέον, δυο αισθητήρες θερμικής ροής τοποθετήθηκαν στις επιφάνειες του δείγματος για να μετρήσουν την εισερχόμενη και την εξερχόμενη θερμική ροή. Αυτοί οι αισθητήρες θερμικής ροής έχουν μια ακρίβεια $\pm 5\%$. Τα δοκίμια είχαν διαστάσεις $19 \times 19 \text{ cm}$ με μεταβλητό πάχος (ανάλογα με το υπό δοκιμή σύστημα κατασκευής).

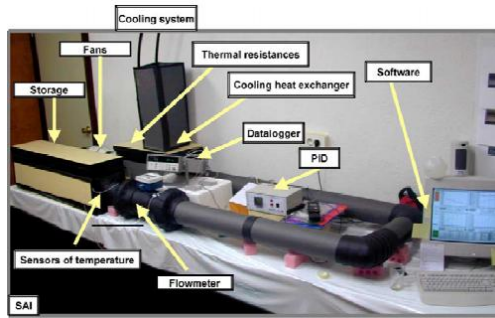
Τρία διαφορετικά πειράματα μπορούν να εκτελεστούν για την εκτίμηση της θερμικής απόδοσης των δειγμάτων. Το πρώτο πείραμα εκτελέστηκε για να υπολογίσουμε τη θερμική αντίσταση του δείγματος σε σταθερή κατάσταση επίσης γνωστή και σαν τιμή U . Η θερμική ικανότητα αποθήκευσης ή η θερμική μάζα του υπό δοκιμή δείγματος μετρήθηκε στο δεύτερο πείραμα και το τρίτο έγινε για να εκτιμήσουμε τη δυναμική θερμική αντίδραση κάτω από την ημερήσια ταλάντωση της θερμοκρασίας.



ΣΧΗΜΑ 8.22 (αριστερά):Σχέδιο του νέου εξοπλισμού, **(δεξιά):** Κατανομή αισθητήρων στο δείγμα [2]

8.5.2.10 Συσσκευή Ενεργειακής Ισορροπίας

Αν και αυτή η συσκευή σχεδιάστηκε για ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας ανάμεσα στο ΥΑΦ και το ρεύμα αέρα, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να αποκτήσουμε τις καμπύλες h - T . Όταν το δείγμα είναι μεγαλύτερο από αυτά που χρησιμοποιήσαμε στη μέθοδο T -History η ενεργειακή ισορροπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προαναφερθέντα λόγο. Η πειραματική εγκατάσταση αποτελείται από ένα κλειστό βρόχο αέρα με μια περιοχή αποθήκευσης. Ο αέρας στο βρόχο μπορεί να θερμαίνεται ή να ψύχεται τεχνικά. Ένας ρυθμιστής PID ρυθμίζει την εσωτερική θερμοκρασία αέρα στο χώρο της αποθήκευσης. Η θερμοκρασία του αέρα μετράται στην είσοδο και στην έξοδο της αποθήκευσης, χρησιμοποιώντας 5 βαθμονομημένα Pt100 (αβεβαιότητα $< 0,05^{\circ}\text{C}$) σε κάθε σημείο, ενώ το ρεύμα αέρα μετράται χρησιμοποιώντας ένα βαθμονομημένο ροόμετρο (αβεβαιότητα $< 0,5^{\circ}\text{C}$). Όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται και εκτιμώνται με κατάλληλο λογισμικό και έτσι δημοσιεύονται λεπτομερή αποτελέσματα.



ΣΧΗΜΑ 8.23 Διάταξη ενεργειακής ισορροπίας [2]

8.5.3 Θερμική Διάχυση και Θερμική Αγωγιμότητα

8.5.3.1 Εμπορικός Εξοπλισμός για τον Καθορισμό της Θερμικής Αγωγιμότητας

Στο Πανεπιστήμιο της Zaragoza (Ισπανία), η θερμική αγωγιμότητα μετράται χρησιμοποιώντας το Laser Flash (LF). Σε αυτή τη μέθοδο το δείγμα τοποθετείται ανάμεσα στο LF και στον ανιχνευτή υπερύθρων. Ο παλμός του λέιζερ έρχεται σε επαφή με τη μια επιφάνεια του δείγματος και ο ανιχνευτής μετρά την αλλαγή της θερμοκρασίας από την άλλη μεριά. Με μια μαθηματική προσέγγιση αυτής της θερμοκρασιακής εξέλιξης, λαμβάνεται η θερμική διάχυση του δείγματος. Από τη μέθοδο LFA η θερμική αγωγιμότητα δίνεται από τη σχέση:

$$\lambda = \rho \cdot c_p \cdot \alpha \quad (8.11)$$

όπου: λ είναι η θερμική αγωγιμότητα [$W/(m \cdot K)$],

ρ είναι η πυκνότητα [kg/m^3]

c_p είναι η ειδική θερμότητα [$kJ/(kg \cdot K)$] και

α η θερμική διάχυση [m^2/s].

Στο Ινστιτούτο Φυσικής - Χημείας της Ρουμανικής Ακαδημίας (Ρουμανία), δυο διαφορετικοί εμπορικοί εξοπλισμοί είναι διαθέσιμοι και χρησιμοποιούνται για διαφορετικές μάζες δειγμάτων.

Αρχικά, η θερμική αγωγιμότητα καθορίζεται από μια συσκευή UNITHERM 6000 σε σταθερές συνθήκες. Η θερμική αγωγιμότητα υπολογίστηκε από :

$$k = q \cdot a / DT \quad (8.12)$$

όπου: k είναι η θερμική αγωγιμότητα, ρ πυκνότητα της θερμικής ροής

q , πυκνότητα της θερμικής ροής σε W/m^2

a είναι το πάχος του πιάτου και

DT είναι η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στις δυο όψεις του πιάτου.

Βασισμένοι στη θερμική απόκριση όπως η αλλαγή της θερμοκρασίας σε μια αδιαβατική επιφάνεια και μέσω της ίδιας πειραματικής συσκευής UNITHERM 6000, οι συντελεστές θερμικής διάχυσης υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$a = 25 \cdot k \cdot V / K \cdot A \quad (8.13)$$

όπου k είναι η θερμική αγωγιμότητα

V και A είναι ο όγκος και η επιφάνεια του δείγματος

K είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από το δείγμα

Για μικρά δείγματα χρησιμοποιήθηκε ένα άλλο όργανο μέτρησης για την αγωγή, ο αναλυτής Θερμικής Αγωγιμότητας TCITM (τεχνολογίες C-THERM.). Ο αισθητήρας είναι ιδανικά σχεδιασμένος για δοκιμές υγρών και σκόνης, αλλά επίσης μπορεί να δοκιμαστεί σε στερεά και υγρά από μια μεγάλη ποικιλία μεταξύ αφρών και μετάλλων. Ο αισθητήρας είναι μια υψηλής ευαισθησίας επιστημονική συσκευή. Το λογισμικό TCI με λειτουργία παρακολούθησης της θερμοκρασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαληθεύσει τη σταθερότητα της θερμοκρασίας σε πραγματικό χρόνο.

8.5.3.2 Θερμικός Χαρακτηρισμός στην Κλίμακα του Δείγματος

Η κύρια συσκευή που είναι διαθέσιμη στην αγορά για το θερμικό χαρακτηρισμό των υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες είναι το Hot-Disk και η συσκευή Flash. Η πρώτη επιτρέπει την εκτίμηση τόσο της θερμικής χωρητικότητας όσο και της θερμικής αγωγιμότητας των ισοτροπικών υλικών. Η δεύτερη παρέχει υψηλής ακρίβειας μετρήσεις της θερμικής διάχυσης. Παρόλα αυτά και οι δυο συσκευές παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα που συνοψίζονται παρακάτω:

✓ Και οι δυο συσκευές (καθώς και μοντέλα και μέθοδοι εκτίμησης) έχουν σχεδιαστεί για δοκιμές ισοτροπικών υλικών.

✓ Το πάχος των δειγμάτων είναι περιορισμένο σε μερικά χιλιοστά (0,05-5mm) στην τυπική συσκευή Flash έτσι ώστε γίνεται ακατάλληλη για δοκιμή υλικών με μεγάλες ανομοιογένειες.

Για να ξεπεράσουμε τέτοια προβλήματα μια νέα «όμοια της Flash συσκευή» και μια «τροποποιημένη εκδοχή του Hot-Disk» επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση της θερμικής διάχυσης πάνω από τους $\sim 1000^{\circ}\text{C}$. Το «τροποποιημένο Hot-Disk» επιτρέπει το θερμικό χαρακτηρισμό των μεγαλύτερου πάχους, ορθοτροπικών δειγμάτων πάνω από 500°C .

✓ Η συσκευή όμοια της Flash

Η μέθοδος Flash είναι μια γνωστή και αξιόπιστη εμπειρική μέθοδος για το θερμικό χαρακτηρισμό των υλικών. Μπορεί να περιγραφεί σύντομα με τα ακόλουθα:

1. Η λεγόμενη εμπρόσθια όψη ενός μικρού δείγματος, συνήθως σχήματος παραλληλεπίπεδου δίσκου διεγείρεται θερμικά από ένα παλμό ακτινοβολίας που παράγεται είτε από μια λάμπα είτε από μια πηγή λέιζερ.

2. Η θερμική απόκριση του δείγματος στην πίσω όψη του (απέναντι από την μπροστινή) μετράται χρησιμοποιώντας ένα θερμοζεύγος (τοπική μέτρηση) είτε έναν αισθητήρα υπερύθρων (μέση θερμοκρασία γύρω από μια μικρή περιοχή).

3. Η θερμική διάχυση του δείγματος εκτιμάται τελικά ταιριάζοντας ένα κατάλληλο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιώντας καταγεγραμμένα δεδομένα θερμοκρασιών.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η Flash γενικά παρουσίαζε δυο κύρια προβλήματα. Για να τα αντιμετωπίσουμε σχεδιάστηκε μια νέα συσκευή όμοια της αρχικής η οποία ξεπερνά στην ουσία αυτά τα μειονεκτήματα.

✓ Τροποποιημένη συσκευή Hot-Disk

Η τυπική συσκευή Hot-Disk περιλαμβάνει ένα στοιχείο θέρμανσης σχήματος δίσκου το οποίο είναι τοποθετημένο ανάμεσα σε δυο πανομοιότυπα δείγματα (συνήθως σχήματος παραλληλεπίπεδου δίσκου,) των υλικών που προορίζονται για δοκιμή. Μια δοκιμή περιλαμβάνει θέρμανση του δείγματος χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρικό στοιχείο θέρμανσης και καταγραφή τόσο της θερμικής ενέργειας που εφαρμόζεται όσο και της θερμικής απόκρισης του στοιχείου θέρμανσης. Μετά ένα κατάλληλο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας και ένας προσαρμοσμένος αλγόριθμος επιτρέπει την εκτίμηση της θερμικής χωρητικότητας και της θερμικής διάχυσης του δείγματος. Το υλικό υποτίθεται πως είναι ιστροπικό.

Για να δοκιμάσουμε ορθοτροπικά υλικά, μια νέα συσκευή αναπτύχθηκε βασισμένη στη μέθοδο με το «τροποποιημένο hot-disk». Συγκρινόμενη με τη μέθοδο με την όμοια συσκευή της Flash, αυτή επιτρέπει την ταυτόχρονη μέτρηση της θερμικής χωρητικότητας και των θερμικών αγωγιμοτήτων (ορθοτροπικών υλικών). Παρόλα αυτά η ακρίβεια είναι μικρότερη σε σχέση με την όμοια συσκευή της Flash και η μέγιστη θερμοκρασία δοκιμής είναι περίπου 500°C αντί για 1000°C.

Η δοκιμή ενός δείγματος με την παρούσα μέθοδο περιλαμβάνει:

1. Θέρμανση του δείγματος στην μπροστινή όψη χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρικό στοιχείο θέρμανσης. Είτε η ένταση του ρεύματος είτε η τάση είναι ελεγχόμενη για να φτάσουμε σταθερό αποτέλεσμα σε μονάδες ενέργειας Joule. Με άλλα λόγια εφαρμόζεται ένας παλμός-βήμα θερμικής ενέργειας.

2. Καταγραφή της ενέργειας θέρμανσης που εφαρμόζεται και της θερμικής απόκρισης του δείγματος στην πίσω όψη.

Μετά, ένα κατάλληλο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας συνδυασμένο με έναν επαναληπτικό αλγόριθμο για την ελαχιστοποίηση των καταλοίπων (διαφορά μεταξύ των μετρήσεων θερμοκρασίας και των προσομοιώσεων) επιτρέπει την εκτίμηση της θερμικής χωρητικότητας του δείγματος, της εσωτερικού επιπέδου θερμικής αγωγιμότητας και της θερμικής αγωγιμότητας κατά την ορθή κατεύθυνση.

8.5.3.3 Θερμοφυσικές Ιδιότητες (CERTES - FRANCE, POLYMER INSTITUTE OF SLOVAK ACADEMY OF SCIENCES - SLOVAKIA)

Μια περιοδική μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της θερμικής αγωγιμότητας, της διάχυσης και της ειδικής θερμότητας των σύνθετων υλικών από πολυμερή σε θερμοκρασία δωματίου. Τα υλικά αλλαγής φάσης με υλικά συνθετικών πολυμερών ετοιμάστηκαν με τη συνεργασία του Dr. Igor Krupa από τη Σλοβακική Ακαδημία Επιστημών. Σφαιρικά μόρια ΥΑΦ χρησιμοποιήθηκαν σαν πληρωτικό υλικό σε μια μήτρα από Polycaprolactone (PCL) για πολλές συγκεντρώσεις. Δυο είδη συνθετικών χρησιμοποιήθηκαν, το πρώτο χρησιμοποιώντας καθαρό ΥΑΦ (PMMAWax) και το δεύτερο με μόρια ΥΑΦ καλυμμένα με ασήμι (PMMA-Wax-Ag).

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη χρήση μιας μικρής θερμοκρασιακής διαμόρφωσης σε ένα δείγμα σχήματος παραλληλεπίπεδου και επιτρέπει την απόκτηση όλων αυτών των θερμοφυσικών παραμέτρων σε μια μόνο μέτρηση με τα αντίστοιχα στατιστικά όρια ασφαλείας τους.

Το δείγμα τοποθετήθηκε ανάμεσα σε δυο μεταλλικές πλάκες. Η μπροστινή όψη της πρώτης πλάκας θερμαινόταν περιοδικά χρησιμοποιώντας ένα άθροισμα πέντε ημιτονοειδών σημάτων και η θερμοκρασία μετρήθηκε με θερμοζεύγη τοποθετημένα στη μπροστινή και πίσω πλάκα. Ένα σύστημα θερμοκρασιακού ελέγχου χρησιμοποιήθηκε για να αποδώσουμε τη μέτρηση σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας ($-20^{\circ}\text{C} < T < 180^{\circ}\text{C}$). Οι θερμοφυσικές παράμετροι του δείγματος αναγνωρίστηκαν με σύγκριση των πειραματικών και

των θεωρητικών συναρτήσεων μεταφοράς θερμότητας. Η πειραματική συνάρτηση μεταφοράς θερμότητας υπολογίστηκε σε κάθε συχνότητα διέγερσης σαν αναλογία μεταξύ των Fourier- μετασχηματισμένων θερμοκρασιών της μπροστινής και πίσω πλάκας. Μια τεχνική εκτίμησης της παραμέτρου εφαρμόστηκε για να εκτιμήσουμε ταυτόχρονα τη θερμική αγωγιμότητα και διάχυση. Η αναγνώριση του συνόλου των θερμοφυσικών παραμέτρων είναι ένα μη-γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης το οποίο λύνεται επαναληπτικά: ξεκινώντας από μια επαρκώς ακριβή αρχική εκτίμηση για τις άγνωστες παραμέτρους, διαδοχικά φτάνουμε στις εκτιμήσεις χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Levenberg–Marquardt.

Οι τιμές της ειδικής θερμοχωρητικότητας (C_p) των συστατικών του δείγματος καθορίστηκαν χρησιμοποιώντας τις τιμές της θερμικής αγωγιμότητας και διάχυσης και γνωρίζοντας την πυκνότητα:

$$C_p = \lambda / \rho \cdot \alpha \quad (8.14)$$

8.5.3.4 Θερμικός και Θερμοδυναμικός Χαρακτηρισμός στην Μικροκλίμακα

Για μηχανολογικούς σκοπούς (π.χ. σχεδίασης και διαστασιολόγησης του συστήματος αποθήκευσης) ο χαρακτηρισμός των υλικών γίνεται συνήθως στη μακροκλίμακα. Οι τιμές των φαινομενικών και ισοδύναμων χαρακτηριστικών στην κλίμακα όγκου είναι γενικά επαρκείς για μηχανολογικούς σκοπούς. Αντίθετα η ανάπτυξη των υλικών απαιτεί βαθύτερη ανάλυση. Για παράδειγμα, η γνώση των θερμικών χαρακτηριστικών των διαφορετικών φάσεων του υλικού, καθώς επίσης και μέτρηση των θερμικών αντιστάσεων στις επιφάνειες, απαιτείται για βελτίωση της μικροδομής των υλικών. Επιπλέον η εκτίμηση των καμπύλων ενθαλπίας-θερμοκρασίας αναμένεται να είναι ένας χρήσιμος τρόπος για κατανόηση της τήξης/ κρυστάλλωσης μέσα από τα πορώδη μέσα καθώς επίσης και ένα χρήσιμο εργαλείο για ανίχνευση εκ των προτέρων τελικών υποβαθμίσεων εξαιτίας διαχωρισμού, επίδρασης ακαθαρσιών, υπερπίεσης κλπ. Ένα θερμικό μικροσκόπιο έχει αναπτυχθεί για την ποσοτική και θερμική ανάλυση αλλαγής φάσης των ενώσεων άνθρακα/αλάτων στη μικροκλίμακα. Επιπλέον, κατάλληλα πειράματα και αποτελεσματικές μέθοδοι αντιστροφής για θερμικό και θερμοδυναμικό χαρακτηρισμό (χάρτες διάχυσης και καμπύλες ενθαλπίας-θερμοκρασίας) έχουν προταθεί.

Κανόνες δοκιμών

Τα πειράματα πρέπει να εκτελούνται σε λεπτά δείγματα ($\leq 1\text{mm}$ πάχος) έτσι ώστε να υποτεθεί διδιάστατη στο επίπεδο μεταφορά θερμότητας. Διάφοροι κανόνες δοκιμών έχουν οριστεί για να φτάσουμε το στόχο μας που είναι ο χαρακτηρισμός.

Ανάκτηση μικροδομής: Το πρώτο βήμα προς το θερμικό και θερμοδυναμικό χαρακτηρισμό είναι η ανάκτηση της μικροδομής του δείγματος. Αυτό σημαίνει να διαχωρίζουμε τις φάσεις μέσα στο δείγμα (π.χ. άνθρακας, άλας και αέρας) και να εντοπίζουμε τις επαφές (π.χ άνθρακα/άλας, άνθρακα/αέρα, αέρα/άλας).

Θερμικός χαρακτηρισμός: Από τη στιγμή που είναι γνωστή η μικροδομή του δείγματος, μπορούμε να προβούμε στο θερμικό χαρακτηρισμό. Αυτό σημαίνει εκτίμηση της θερμικής διάχυσης της κάθε φάσης του δείγματος, καθώς επίσης και της θερμικής αντίστασης κατά την επαφή μεταξύ των συστατικών.

Ανάλυση αλλαγής φάσης: Αφού και η μικροδομή και οι τοπικές θερμικές ιδιότητες του δείγματος είναι γνωστές, ποσοτική ανάλυση της αλλαγής φάσης μπορεί να ξεκινήσει. Ο σκοπός είναι η εκτίμηση της καμπύλης ενθαλπίας-θερμοκρασίας. Όπως προαναφέρθηκε, αυτό θα μπορούσε να είναι ένας χρήσιμος τρόπος για ανίχνευση εκ των προτέρων ανεπιθύμητων συμπεριφορών (π.χ. διαχωρισμός, επίδραση ακαθαρσιών, υπερπίεση, κλπ.)

Αντίστροφες μέθοδοι

Η ανάπτυξη των αντίστροφων καμερών με γρήγορη απόκτηση δεδομένων (χιλιάδες εικόνες) και υψηλή πλευρική ανάλυση (τάξης μικρομέτρων) παρέχει ισχυρότατα εργαλεία για γρήγορη δοκιμή υλικών. Στον αντίποδα είναι το γεγονός ότι παρέχει ένα τεράστιο όγκο δεδομένων για να επεξεργαστούν. Για να ξεπεράσουμε αυτή τη δυσκολία, πειραματικές συνθήκες επιλέγονται έτσι ώστε προκύπτουν απλές αναλυτικές λύσεις του προβλήματος μετάδοσης θερμότητας που μας απασχολεί. Δυστυχώς, δεν υπάρχει καμιά αναλυτική λύση για τη μετάδοση θερμότητας (με ή χωρίς αλλαγή φάσης) μέσα σε υλικά πολλών φάσεων με αυθαίρετη μικροδομή. Έτσι μια σημαντική προσπάθεια ανάπτυξης νέων και αποτελεσματικών μεθόδων για ανάκτηση στοχευόμενων πληροφοριών (π.χ. μικροδομή, θερμικές ιδιότητες, καμπύλες ενθαλπίας-θερμοκρασίας) απαιτείται από τις καταχωρημένες θερμοκρασίες.

Θερμικός χαρακτηρισμός

Υπενθυμίζουμε ότι ο σκοπός τώρα είναι η εκτίμηση των θερμικών διαχύσεων κάθε φάσης ενός υλικού πολλών φάσεων από τα καταχωρημένα δεδομένα θερμοκρασιών. Η μικροδομή του δείγματος υποτίθεται πως είναι γνωστή.

Προσδιορισμός καμπύλων ενθαλπίας-θερμοκρασίας

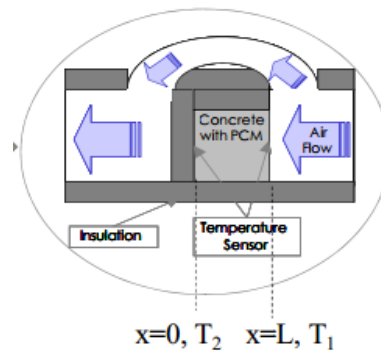
Σε αυτό το στάδιο, υποθέτουμε ότι η μικροδομή του δείγματος και οι θερμικές ιδιότητες των φάσεων (καθώς επίσης και οι θερμικές αντιστάσεις επαφής) είναι γνωστές. Ο σκοπός τώρα είναι ο προσδιορισμός των καμπύλων ενθαλπίας-θερμοκρασίας.

Μελλοντικοί στόχοι

Το μεγαλύτερο μέρος της δουλειάς που έχει εκτελεστεί τώρα αφορώντας το θερμικό χαρακτηρισμό και τις καμπύλες ενθαλπίας-θερμοκρασίας είναι θεωρητικής/αριθμητικής φύσεως. Το ενδιαφέρον έχει στραφεί στην ανάπτυξη ικανών και αξιόπιστων μαθηματικών μεθόδων για την ανάκτηση εσωτερικών ιδιοτήτων και λειτουργιών που χαρακτηρίζουν τη μετάδοση θερμότητας και την τήξη/κρυστάλλωση μέσα στα σύνθετα υλικά. Επιπλέον θεωρητική δουλειά απαιτείται ακόμα για να ορίσουμε τα όρια της του κατά πόσον είναι εφαρμόσιμες αυτές οι μέθοδοι. Παρόλα αυτά τα επόμενα βήματα στην ανάπτυξη θα εστιάσουν στον πραγματικό χαρακτηρισμό των υλικών χρησιμοποιώντας τις πειραματικές συσκευές που περιγράφηκαν και τις προτεινόμενες μεθόδους εκτίμησης.

8.5.3.5 Διάταξη Ενεργειακής Ισορροπίας

Τροποποιώντας τη συσκευή ενεργειακής ισορροπίας που περιγράφηκε στη μέθοδο T-History, θα μπορούσε να χρησιμεύσει για να μελετήσουμε τη θερμική απόκριση των δομικών υλικών ή μεγάλων δειγμάτων. Αυτή η τροποποίηση συνίσταται στην δόμηση ενός μονωμένου περιβλήματος όπου το δείγμα τοποθετείται έτσι ώστε η μια του επιφάνεια να εκτίθεται στη ροή αέρα. Η ροή αέρα μετά παρακάμπτεται. Η θερμοκρασία μετράται σε τρία σημεία: στο κέντρο της μονωμένης επιφάνειας, στο κέντρο της εκτεθειμένης επιφάνειας και τη θερμοκρασία αέρα στο κέντρο της εκτεθειμένης επιφάνειας. Η θερμοκρασία αέρα παραμένει σταθερή από έναν ρυθμιστή PID. Η ροή αέρα μετράται και καθορίζεται στην ίδια τιμή για όλα τα πειράματα. Οι θερμοκρασίες καταγράφονται και μετά θα μπορούσαν να συγκριθούν για διάφορα δείγματα στις ίδιες συνθήκες. Για να αξιολογήσουμε τη χρονική επίδραση της θερμικής απόκρισης εξαιτίας των ΥΑΦ, μια ουσία αναφοράς χωρίς ΥΑΦ χρησιμοποιείται. Έπειτα το δείγμα που περιέχει το ΥΑΦ μετράται σε ίσες συνθήκες (αρχικές θερμοκρασίες του δείγματος, ποσοστό της ροής αέρα και θερμοκρασία αέρα).



ΣΧΗΜΑ 8.24 Διαμόρφωση ενεργειακής ισορροπίας για τη δοκιμή της θερμικής διάχυσης [2]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 8^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] http://intraweb.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/FINAL_PAPERS/11B-2.pdf
- [2] http://www.tu0802.eu/wgroup_01/Docs%2001/D1.4_v.4.pdf
- [3] <http://www.seas.upenn.edu/~meam502/project/reviewexample2.pdf>
- [4] http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/5112/1/kazaniv_pcm.pdf
- [5] http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3512/3/machairae_pcm.pdf
- [6] http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/592/1/lykosd_pcm.pdf
- [7] http://www.tu0802.eu/wgroup_01/Docs%2001/D1.1.pdf
- [8] http://www.chem.uoa.gr/courses/analtechn/SAT_THERMAL.pdf
- [9] ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, D. Skoog, F. J. Holler, T. A. Nieman, 5^η Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση Καραγιάννη-Ευσταθίου-Χανιωτάκη, Εκδόσεις Κωσταράκη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΜΕ ΥΑΦ

Τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα ΥΑΦ όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι τα ένυδρα άλατα, τα λιπαρά οξέα και οι εστέρες καθώς και διάφορες παραφίνες. Πρόσφατα και κάποια ιοντικά υγρά ερευνώνται σαν καινούρια ΥΑΦ.

Αφού τα περισσότερα οργανικά διαλύματα είναι ελεύθερα από νερό, μπορούν να εκτίθενται στον αέρα, εκτός από τα άλατα που βασίζονται στα διαλύματα ΥΑΦ, τα οποία είναι και τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα και πρέπει να ενθυλακώνονται ώστε να αποτρέπεται η εξάτμιση ή η πρόσληψη του νερού.

9.1 Ενθυλάκωση των ΥΑΦ [6],[10], [11]

Ένα πρόβλημα στις εφαρμογές των ΥΑΦ είναι η δυσκολία έλεγχου της υγρής τους φάσης. Για την αντιμετώπισή του, τα ΥΑΦ βρίσκονται μέσα σε στεγανό περίβλημα. Τα περιβλήματα που χρησιμοποιούνται είναι διαφόρων μεγεθών και σχημάτων. Μια κατηγορία έχουν τη μορφή σφαιριδίων πολύ μικρών διαστάσεων που δε διακρίνονται με γυμνό μάτι (μικροκάψουλες). Οι μικροκάψουλες (με ΥΑΦ στο εσωτερικό τους) μπορούν να αναμιχθούν στη μάζα συμβατικών δομικών υλικών. Ως αποτέλεσμα, μπορούμε να έχουμε μπετόν με ΥΑΦ, σοβάδες με ΥΑΦ, γυψοσανίδες με ΥΑΦ κλπ .

Πιο αναλυτικά:

Μάκρο-ενθυλάκωση: Πρόωρη ανάπτυξη της μακρο-ενθυλάκωσης με μεγάλου όγκου περιεχόμενο απέτυχε εξαιτίας της φτωχής θερμικής αγωγιμότητας των περισσότερων ΥΑΦ. Τα ΥΑΦ τείνουν να στερεοποιούνται στις πλευρές των δοχείων εμποδίζοντας την αποτελεσματική μεταφορά της θερμότητας.

Μίκρο-ενθυλάκωση: Αυτή απεναντίας δεν παρουσίασε κανένα τέτοιο πρόβλημα. Επιτρέπει στα ΥΑΦ να ενσωματωθούν στα δομικά υλικά, όπως το μπετόν, εύκολα και οικονομικά. Τα ΥΑΦ που ενθυλακώνονται με αυτό τον τρόπο παρέχουν επίσης ένα κινητό σύστημα θερμικής αποθήκευσης. Επικαλύπτοντας ένα ΥΑΦ μικροσκοπικού μεγέθους με ένα προστατευτικό κάλυμμα, τα μόρια μπορούν να ανασταλούν σε μια συνεχή φάση όπως του νερού. Αυτό το σύστημα μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας πολτός αλλαγής φάσης (PCS).

Μοριακή-ενθυλάκωση: είναι μια άλλη τεχνολογία που αναπτύχθηκε από τον Dupont de Nemours και επιτρέπει μια πολύ υψηλή συγκέντρωση των ΥΑΦ μέσα σε μια ένωση πολυμερών. Επιτρέπει χωρητικότητα αποθήκευσης πάνω από 515 kJ/m^2 για πλευρά 5 mm (103 MJ/m^3). Η μοριακή- ενθυλάκωση επιτρέπει τη διάτρηση και την κοπή διαμέσου του υλικού χωρίς καθόλου διαρροή του ΥΑΦ.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στις συνθέσεις που ενσωματώνουν τα ΥΑΦ τα οποία διαθέτουν τα δομικά χαρακτηριστικά ώστε να χρησιμοποιηθούν στον κατασκευαστικό τομέα. Η προτιμώμενη σύνθεση όπως προαναφέρθηκε αποτελείται από ένα ΥΑΦ σφραγισμένο μέσα σε μια άκαμπτη μήτρα.

Τα απαραίτητα συστατικά αυτής της σύνθεσης είναι ασφαλώς το ΥΑΦ, το υλικό της μήτρας και το υλικό που χρησιμοποιείται για τη σφράγιση. Κατάλληλες ουσίες για να χρησιμοποιηθούν για αυτούς τους σκοπούς επιλέγονται ανάλογα με κάποια κριτήρια (τα οποία παραθέσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο) καθώς επίσης και με βάση την ικανότητα τους να συνυπάρχουν στη σύνθεση σε διαφορετικά στάδια φάσης χωρίς να αντιδρούν χημικά το ένα με το άλλο, εκτός κι αν αυτό συμβεί σε κάποιες περιπτώσεις όπου το υλικό σφράγισης συνδέεται με την επιφάνεια της μήτρας όπως συμβαίνει συχνά. Κατά τη λειτουργία της σύνθεσης (κατά τη διάρκεια της τήξης και πήξης του ΥΑΦ) τα προαναφερθέντα στοιχεία της αλληλεπιδρούν μόνο με φυσικό (όχι χημικό) τρόπο.

Κάποιες συνθέσεις απαιτούν επιπρόσθετα με τα προηγούμενα στοιχεία και ένα παράγοντα αντίδρασης για να εμποδίσουν την υπέρψυξη του τηκόμενου ΥΑΦ. Σε αυτές τις συνθέσεις ο παράγοντας αντίδρασης χρησιμεύει σαν σημείο έναρξης (αντίδραση) της κρυσταλλικής ανάπτυξης. Σε άλλες συνθέσεις το ίδιο το υλικό της μήτρας εξυπηρετεί τη λειτουργία του παράγοντα αντίδρασης. Η επιλογή ενός κατάλληλου παράγοντα αντίδρασης, λαμβάνοντας υπόψη και τα κριτήρια επιλογής υλικών, εξαρτάται από την ικανότητα τους να αποφευχθεί η αλληλεπίδραση με τα ΥΑΦ, τη μήτρα και τα υλικά σφράγισης εκτός από το όριο στο οποίο η ανάπτυξη κρυστάλλων των ΥΑΦ μπορεί να χαρακτηριστεί σαν χημική αντίδραση.

Συν τοις άλλοις κάποιες συνθέσεις απαιτούν την παρουσία κάποιου υγρού ελέγχου πίεσης για να εμποδίσουν την αποδόμηση ή τον αποπροσανατολισμό των υλικών σφράγισης λόγω της εξάπλωσης των ΥΑΦ κατά την τήξη. Κατά τη λειτουργία το υγρό ελέγχου πίεσης απλά αλλάζει από υγρό σε αέριο χωρίς να αντιδρά με κανένα από τα άλλα συστατικά.

9.1.1. Επιλογή Άκαμπτης Μήτρας-Πλέγματος

Η άκαμπτη μήτρα μπορεί να είναι από κατασκευαστικές ένυδρες ουσίες ή θερμορρυθμιζόμενα πολυμερή. Το μπετόν προτιμάται γενικά σαν άκαμπτη μήτρα ενώ άλλες ικανοποιητικές άκαμπτες μήτρες αποτελούν ο γύψος, το τζελ πυριτίου και η πολυεστερική ρητίνη. Η επιλογή άκαμπτων μητρών εξαρτάται από αρκετά σημαντικούς λόγους.

Πρώτον, τα διαλύματα αλάτων δεν σχηματίζουν συνήθως ένυδρη ουσία κατά την ψύξη εκτός κι αν υπάρχει ένας παράγοντας αντίδρασης. Χρησιμοποιώντας επεξεργασμένο τσιμέντο σαν μήτρα, ελαχιστοποιείται η ανάγκη για χωριστό παράγοντα αντίδρασης, ενώ παράλληλα έχει μια κρυσταλλική δομή η οποία είναι ασυνήθιστη και μεταβάλλεται επαρκώς ώστε να σχηματιστεί ένας πυρήνας ανάπτυξης κρυστάλλων και προλαμβάνει την υπέρψυξη.

Δεύτερον τα ΥΑΦ συχνά υπόκεινται σε διαχωρισμό φάσης, γεγονός το οποίο οδηγεί στην αποχώρηση από τις συνθήκες ισορροπίας με αποτέλεσμα να μην πραγματοποιείται ολόκληρη η θερμότητα της διάχυσης. Αυτή η δυσκολία προκύπτει επειδή τα άλατα υψηλής ενυδάτωσης έχουν αντίστοιχα άλατα με χαμηλότερες θερμοκρασίες ενυδάτωσης. Όταν η θερμότητα αποτραβιέται και μεγαλώνουν οι κρύσταλλοι, υπάρχει ανταγωνισμός ανάμεσα στα άλατα που έχουν διαφορετικούς βαθμούς ενυδάτωσης. Το προκύπτον υλικό είναι ένα μίγμα του επιθυμητού άλατος, μαζί με άλατα λιγότερης ενυδάτωσης, με νερό. Για να τραβήξουμε πρόσθετη θερμότητα από το μίγμα, είναι απαραίτητο να συμπληρώσουμε την ενυδάτωση εκείνων των αλάτων που έχουν λιγότερη υγρασία και να χρησιμοποιήσουμε το νερό στο μίγμα. Κατά την επαναλαμβανόμενη διαδικασία αλλαγής φάσης, τα πιο εύκολο-σχηματιζόμενα ιζήματα παρεμβαίνουν με την ολοκλήρωση της αντίδρασης. Παρόλα αυτά αν το ΥΑΦ βρίσκεται στους μικροσκοπικούς πόρους ενός ελαφριού τσιμέντου ή κάτι παρόμοιο, οι φάσεις δεν ξεχωρίζουν επειδή μια μεγάλη επιφάνεια διατηρείται ανάμεσα σε πολλές φάσεις. Σαν αποτέλεσμα το σύστημα φτάνει γρήγορα την ισορροπία, επιτρέποντας την πραγμάτωση της πλήρους διάχυσης της θερμότητας.

Επιπλέον, η μήτρα, σε συνδυασμό με τον παράγοντα σφράγισης, χρησιμεύει σαν πακέτο για το ΥΑΦ και ως εκ τούτου το περιέχει στην υγρή φάση.

Ικανοποιητικές ένυδρες ουσίες που έχουν κατασκευαστεί είναι εκείνες οι οποίες είναι ανθεκτικές στις αρχιτεκτονικές εγκαταστάσεις και αδιάλυτες στα λιωμένα ΥΑΦ και αυτές που προτιμώνται είναι εκείνες που είναι και οι λιγότερο ακριβές ,π.χ. τα υδραυλικά τσιμέντα όπως το τσιμέντο υψηλής αλουμίνης, το τσιμέντο Portland, το τσιμέντο οξυχλωριούχου μαγνησίου, το σκωριοτσιμέντο και σκυροδέματα σχηματισμένα από οποιοδήποτε από αυτά τα τσιμέντα, τα έμπλαστρα γύψου, τα άλατα πυριτίου κ.α.. Από τα προηγούμενα, το μπετόν που σχηματίζεται με το τσιμέντο Portland είναι γενικά το πιο ικανοποιητικό επειδή είναι φθινό, δυνατό, δουλεύεται εύκολα και άμεσα διαθέσιμο.

Ικανοποιητικά θερμορρυθμιζόμενα πολυμερή είναι εκείνα τα οποία είναι επίσης ανθεκτικά και αδιάλυτα στα λιωμένα ΥΑΦ, π.χ. κατάλοιπα πολυεστερίνης, όπως ενώσεις του πολυαιθυλενίου, πολυεστερινή και εποξειδικές ρητίνες. Τα δυο τελευταία προτιμώνται για το χαμηλό κόστος τους.

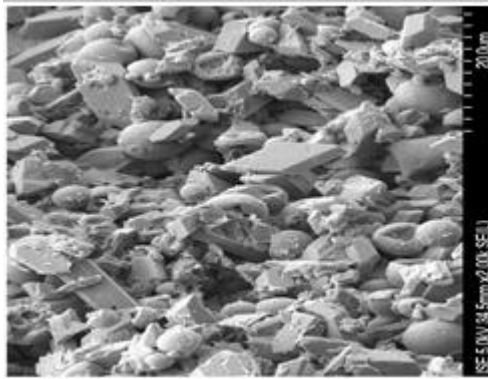
9.1.2. Υλικά Σφράγισης

Διάφοροι τύποι υλικών σφράγισης είναι ικανά για τις συνθέσεις που μελετάμε. Τα ΥΑΦ σφραγίζονται σε μια μήτρα με έναν από τους δυο παρακάτω τρόπους: η μήτρα μπορεί να περιβάλλεται από ένα υλικό το οποίο είναι αδιαπέραστο από το λιωμένο ΥΑΦ ή ένα πλαστικό γαλάκτωμα ή κάτι παρόμοιο. Το υλικό αυτό προστίθεται σε μίγμα ακατέργαστου τσιμέντου και ΥΑΦ, το οποίο αφού δεχθεί επεξεργασία, το γαλάκτωμα διαχέεται σε ολόκληρη τη σύνθεση και την καθιστά αδιάβροχη. Κατάλληλα υλικά σφραγίσματος για εξωτερικό κάλυμμα αποτελούν γαλακτώματα χλωριούχου πολυβινυλιδενίου, κατάλοιπα πολυστερίνης με άμμο και διαλύματα πίσσας. Στο ένα είδος ενθυλάκωσης, ένα μπλοκ που περιέχει ΥΑΦ καλύπτεται αρχικά με διάλυμα υδρύαλου, το οποίο εξυπηρετεί σαν παράγοντας σύζευξης. Αυτό στεγνώνει και στη συνέχεια ακολουθείται από μια επιπλέον επικάλυψη χλωριούχου πολυβινυλιδενίου. Στο άλλο είδος ενθυλάκωσης, το χλωριούχο πολυβινυλιδένιο χρησιμοποιείται για να σχηματίσουμε μια αδιάβροχη επικάλυψη από λεπτό κονίαμα τσιμέντου. Σαν γενικός κανόνας η επίστρωση με εμβάπτιση είναι η τεχνική που προτιμάται για εφαρμογές εξωτερικής κάλυψης για υλικό σφραγίσματος.

Στην εναλλακτική ενσωμάτωση, όπου ο παράγοντας σφράγισης ενθυλακώνεται μέσα στη σύνθεση, ικανοί παράγοντες σφραγίσματος περιλαμβάνουν τα γαλακτώματα χλωριούχου πολυβινυλιδενίου, στυρενίου-βουταδιενίου, χλωριούχο πολυβινύλιο, οξικό πολυβινύλιο και πίσσα.



ΣΧΗΜΑ 9.1 Συσκευασίες ΥΑΦ για εφαρμογές, από μέταλλο ή πλαστικό σε διάφορους τύπους και μεγέθη. [6]



ΣΧΗΜΑ 9.2 Εικόνα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου με μικροκάψουλες με ΥΑΦ (σφαιρίδια) αναμεμιγμένα με υλικά επιχρίσματος. [6]

9.1.3. Συσκευασία ΥΑΦ

Η τεχνική εφαρμογής των ΥΑΦ εξαρτάται και από τη μορφή της συσκευασίας τους. Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνονται αρχικά ένα τεχνίτη που τοποθετεί σακουλάκια με ΥΑΦ στο εσωτερικό μιας ψευδοροφής ενώ στη συνέχεια δύο τεχνίτες εφαρμόζουν σοβά με πρόσμιξη μικροκάψουλων ΥΑΦ σε τοίχο.



ΣΧΗΜΑ 9.3 Εφαρμογή ΥΑΦ σε σακουλάκια με αλουμινένιο περίβλημα. [6]



ΣΧΗΜΑ 9.4 Εφαρμογή επιχρίσματος με πρόσμιξη μικροκάψουλων ΥΑΦ [6]

Για να μπορέσουμε λοιπόν να χρησιμοποιήσουμε τα ΥΑΦ θα πρέπει, όπως έχουμε πει, να χειριζόμαστε και τη στέρεα και την υγρή φάση. Επιπλέον ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να χρησιμοποιήσουμε τα ΥΑΦ είναι να τα απλώσουμε εξωτερικά ώστε το θερμοκρασιακό επίπεδο μέσα στο δωμάτιο να είναι ελάχιστο. Ο καλύτερος τρόπος για να κρατήσουμε τα ΥΑΦ από το να ρέουν προς τα κάτω όταν αλλάζει από την στέρεα στην υγρή φάση και να τα απλώσουμε είναι να τα τοποθετήσουμε μέσα σε κατάλληλη συσκευασία. Η συσκευασία επιλέγεται ανάλογα με την εφαρμογή.

9.1.3.1. Πλάκες

Οι πλάκες είναι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) φορμαρισμένο σε επίπεδα δοχεία με οδοντώσεις. Τα δοχεία στη συνέχεια γεμίζουν με τα επιλεγμένα ΥΑΦ. Είναι φτιαγμένα για να μπορούν να στοιβάζονται έτσι ώστε να σχηματίζουν μια μεγάλη ογκώδη δεξαμενή ΥΑΦ για εφαρμογές ελέγχου της θερμοκρασίας των κτιρίων. Μόλις στοιβάζονται, υπάρχουν κενά που σχηματίζονται μεταξύ των πλακών που επιτρέπουν στον αέρα ή το νερό να ρέει εύκολα, καθώς παρέχει μεγάλη επιφάνεια επαφής.



(α)



(β)

ΣΧΗΜΑ 9.5 (α) Στοιβαγμένες πλάκες που σχηματίζουν μια δεξαμενή με ΥΑΦ , (β) Κάψουλες με τη μορφή μπάλας

9.1.3.2. Μπάλες

Οι ίδιες πλάκες μπορούν να φορμαριστούν σε μπάλες τόσο μικρές όσο το μέγεθος ενός μαρμάρου μέχρι το μέγεθος μιας μπάλας πινγκ πονγκ και μετά γεμίζουν με το κατάλληλο ΥΑΦ. Μεγαλύτερου μεγέθους μπάλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενσωματώνοντας τες στο δάπεδο από μπετόν. Το σχήμα της μπάλας επιτρέπει το μέγιστο ποσό του ΥΑΦ το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθώς επίσης παρέχει κάποια δομική δύναμη εξαιτίας του σχήματός τους.

9.1.3.3. Θήκες

Η τοποθέτηση των ΥΑΦ σε θήκες πλεονεκτεί όσον αφορά το κόστος. Αυτά κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας τον ίδιο τύπο τεχνικών με την κατασκευή του περιτυλίγματος μιας φούσκας. Ανάλογα με την εφαρμογή, οι θήκες του ΥΑΦ μπορούν να κοπούν ή να διπλωθούν για να καλύψουν εσωτερικώς τους τοίχους ακανόνιστου σχήματος με ΥΑΦ.



ΣΧΗΜΑ 9.6 Θήκες

9.1.3.4. Σωλήνες

Παρόμοια με τη συσκευασία σε πλάκες, η συσκευασία σε σωλήνες σχετίζεται με ένα δοχείο φορμαρισμένο σε σωλήνα το οποίο είναι γεμάτο με ΥΑΦ. Το σωληνοειδές σχήμα επιτρέπει να στοιβάζονται δίπλα-δίπλα. Το σχήμα του επιτρέπει καλύτερη ροή αέρα και μεγαλύτερη επιφάνεια θερμικής επαφής. Ιδανικό για να τοποθετηθούν στην οροφή με ΥΑΦ που στοχεύουν στις εφαρμογές παθητικής ψύξης. Με αυτό το είδος της εφαρμογής, από το να απορροφά θερμότητα κατά τη διάρκεια της μέρας, «αποθηκεύει» κρύα ενέργεια από το δροσερό αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας έτσι ώστε ο ψυχόμενος αέρας να «πέσει» στο έδαφος κατά τη διάρκεια της μέρας.



ΣΧΗΜΑ 9.7 Παθητική ψύξη χρησιμοποιώντας συσκευασία σωλήνων

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και η νανοτεχνολογία παρεισφρύνει στον τομέα κατασκευών, σε πρόσφατες έρευνες που έγιναν παρατηρήθηκε βελτιωμένη θερμική απόκριση σε ενθυλακωμένα ΥΑΦ σε νανοσωλήνες σε συσκευασία στερεού.

Συγκεκριμένα η έρευνα έδειξε ότι υπάρχει σημαντική βελτίωση στην ειδική ενέργεια [W/g] για τα συσκευασμένα ΥΑΦ σαν αποτέλεσμα της τροποποιημένης μορφολογίας της επιφάνειας. Οι νανοσωλήνες άνθρακα συνδέονται ισχυρά με τους εσωτερικούς τοίχους με την ενθυλάκωση του αφρώδους γραφίτη. Η ανάλυση της μικροδομής που γίνεται χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης δείχνει ότι το κενό παρεισφρύνει μέσα στους νανοσωλήνες άνθρακα και δημιουργεί μια στενή επαφή με αυξημένη διεπιφανειακή περιοχή μεταξύ των δύο φάσεων. Η ειδική ενέργεια έχει υπολογιστεί μετρώντας τις φορές θερμικής απόκρισης των υλικών αλλαγής φάσης χρησιμοποιώντας ένα προσαρμοσμένο σύστημα. Οι

νανοσωλήνες άνθρακα αυξάνουν τη θερμική ενέργεια των συσκευασμένων ΥΑΦ κατά περίπου 27% κατά τη θέρμανση και πάνω από 146% κατά τη διάρκεια του πιο σημαντικού σταδίου της αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Επιπλέον οι εικόνες από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης της διεπιφάνειας ύστερα από επαναλαμβανόμενες θερμικές διεργασίες δείχνουν ότι η παρουσία των νανοσωλήνων άνθρακα μπορούν επίσης να βελτιώσουν την αντοχή των συσκευασμένων ΥΑΦ εμποδίζοντας τα κενά διεπιφάνειας και διατηρώντας βελτιωμένη επαφή μεταξύ του γραφίτη και των φάσεων του ΥΑΦ.

9.2. Σύγχρονες Εφαρμογές των ΥΑΦ [1],[2],[3],[4],[5],[7],[8],[9],[11],[12]

Οι εφαρμογές των ΥΑΦ περιλαμβάνουν (αλλά δεν περιορίζονται μόνο σε αυτές) τις παρακάτω:

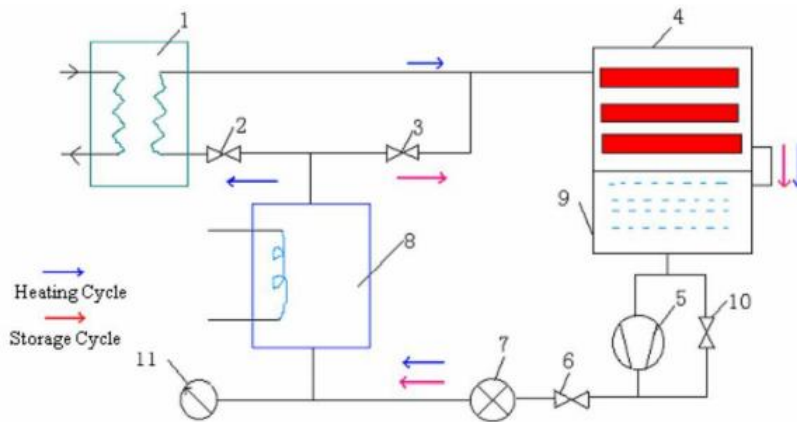
1. Αποθήκευση θερμικής ενέργειας
2. Κλιματισμός των κτιρίων όπως «αποθήκευση σε πάγο»
3. Ψύξη θερμικών και ηλεκτρικών μηχανών
4. Ψύξη: φαγητού, ποτών, καφέ, κρασιού, γαλακτοκομικών προϊόντων, θερμοκηπίων
5. Ιατρικές εφαρμογές: μεταφορά αίματος, χειρουργικά τραπέζια, θεραπείες ζεστού-κρύου
6. Ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας
7. Χρήση ενέργειας εκτός ωρών αιχμής: θέρμανση ζεστού νερού και ψύξη
8. Συστήματα αντλιών θερμότητας
9. Παθητική αποθήκευση σε βιοκλιματικό κτίριο/αρχιτεκτονική
10. Ομαλοποίηση εξωθερμικών κορυφών θερμοκρασίας στις χημικές αντιδράσεις
11. Εργοστάσια ηλιακής ενέργειας
12. Θερμικά συστήματα αεροσκαφών/διαστημόπλοιων
13. Θερμική άνεση σε οχήματα
14. Θερμική προστασία ηλεκτρονικών συσκευών
15. Θερμική προστασία του φαγητού: μεταφορά, ξενοδοχειακού εμπορίου, παγωτό, κλπ
16. Υφάσματα που χρησιμοποιούνται στα ρούχα
17. Ψύξη υπολογιστών
18. Κινητήρια μηχανή ψύκτη εισόδου με αποθήκευση θερμικής ενέργειας

19. Καταφύγια τηλεπικοινωνιών σε τροπικές περιοχές. Προστατεύουν τον υψηλής αξίας εξοπλισμό κρατώντας την εσωτερική θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα κάτω από τη μέγιστη επιτρεπτή απορροφώντας θερμότητα. Σε περίπτωση ενεργειακής αποτυχίας με τα συμβατικά συστήματα ψύξης, τα ΥΑΦ ελαχιστοποιούν τη χρήση των γεννητριών πετρελαίου και αυτό ερμηνεύεται ως τεράστια ενεργειακή αποταμίευση κατά μήκος χιλιάδων τηλεπικοινωνιακών τοποθεσιών.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε κυρίως με τις εφαρμογές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας και ιδιαίτερα με αυτές που αφορούν τις κτιριακές εφαρμογές δηλαδή την ενσωμάτωση των ΥΑΦ στο κέλυφος του κτιρίου.

9.2.1. Συστήματα Αποθήκευσης Θερμικής Ενέργειας

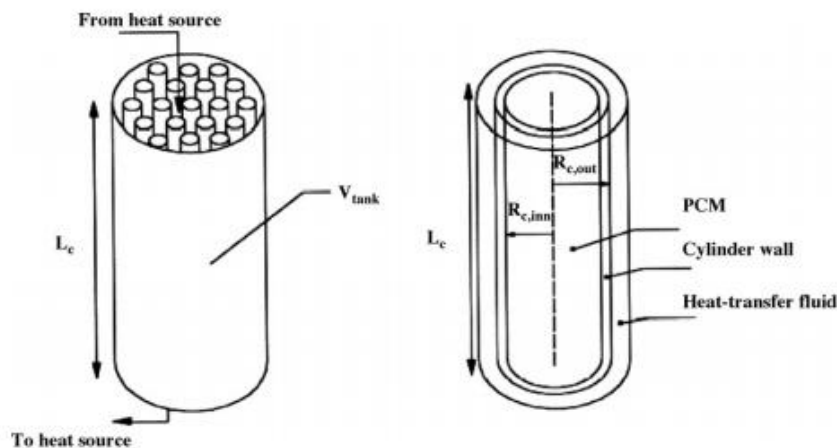
9.2.1.1. Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης Νερού



ΣΧΗΜΑ 9.8 Σκαρίφημα του συστήματος θέρμανσης νερού με ΥΑΦ

1: Εναλλάκτης θερμότητας τύπου πλάκας **2:** Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα για τον κύκλο θέρμανσης **3:** Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα για τον κύκλο αποθήκευσης **4:** Δεξαμενή αποθήκευσης με ΥΑΦ **5:** Αντλία μεταβαλλόμενης συχνότητας **6:** Βαλβίδα **7:** μετρητής ροής **8:** ηλεκτρικό μπόιλερ **10:** βαλβίδα παράκαμψης **11:** πίεση [11]

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι δημοφιλής επειδή είναι σχετικά οικονομικός και απλός στην κατασκευή και στη συντήρηση. Οι Prakesh et al. ανέλυσαν μια κατασκευή αποθηκευτικού τύπου θερμαινόμενου νερού (θερμοσίφωνα) που περιείχε ένα στρώμα γεμάτο από ΥΑΦ στον πάτο. Κατά τη διάρκεια των ωρών ηλιοφάνειας, το νερό ζεσταίνεται και με τη σειρά του αυτό μεταφέρει τη θερμότητα στο ΥΑΦ από κάτω του. Το ΥΑΦ συλλέγει την ενέργεια υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας και λιώνει. Κατά τη διάρκεια των ωρών που δεν έχουμε ηλιοφάνεια το ζεστό νερό αποτραβιέται και αντικαθίσταται από κρύο νερό το οποίο κερδίζει ενέργεια από το ΥΑΦ. Η ενέργεια απελευθερώνεται από το ΥΑΦ κατά την αλλαγή φάσης από υγρό σε στερεό. Αυτός ο τύπος συστήματος ίσως να μην είναι και τόσο αποτελεσματικός εξαιτίας της φτωχής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του ΥΑΦ και του νερού. Μια κυλινδρική περιοχή αποθήκευσης στον κλειστό βρόχο με ένα επίπεδο συλλέκτη έχει θεωρητικά μελετηθεί από τους Bansal και Buddhi για τον τόπο φόρτισης και αποφόρτισης. Οι υπολογισμοί για το κινούμενο όριο διεπαφής και της θερμοκρασίας υγρού έγιναν χρησιμοποιώντας παραφίνη κεριού σαν ΥΑΦ. Μια συγκρίσιμη μελέτη των συστημάτων αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας βασισμένα στην τεχνική λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας πραγματοποιήθηκε από τον Chaurasia et al για να διατηρήσουν το ζεστό νερό που είχε θερμανθεί από την ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια της νύχτας. Για αυτό το σκοπό, δυο πανομοιότυπες περιοχές αποθήκευσης χρησιμοποιήθηκαν. Η μια περιείχε 17,5Kg παραφίνης κεριού (σημείο τήξης περίπου 54,8°C). Το υλικό αποθήκευσης περιλήφθηκε σε ένα εναλλάκτη θερμότητας κατασκευασμένο από σωλήνες αλουμινίου και η άλλη απλά περιείχε νερό σαν υλικό αποθήκευσης σε ένα δοχείο GL. Και οι δυο περιοχές φορτίστηκαν χωριστά κατά τη διάρκεια της μέρας με τη βοήθεια των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών διαθέτοντας την ίδια επιφάνεια απορρόφησης. Αυτή η έρευνα έδειξε ότι τα συστήματα λανθάνουσας θερμότητας αποδίδουν περισσότερο ζεστό νερό την επόμενη μέρα το πρωί συγκριτικά με τα συστήματα αισθητής θερμότητας.



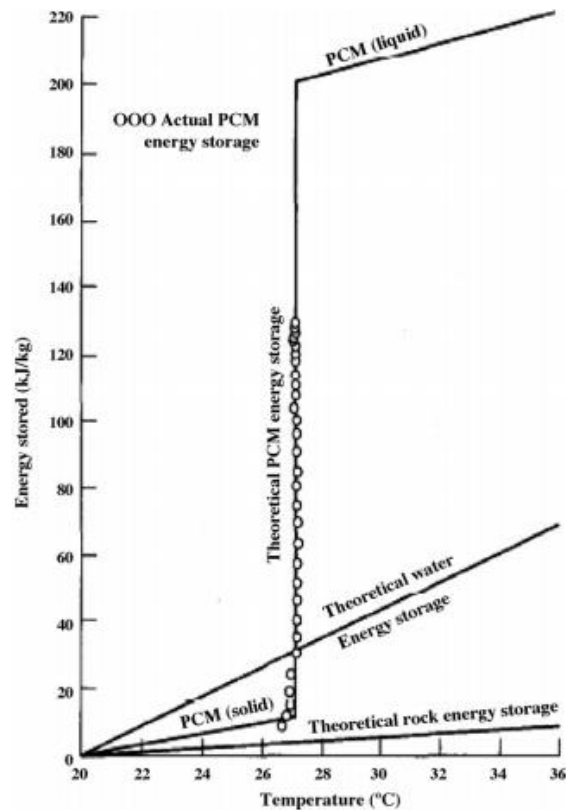
ΣΧΗΜΑ 9.9 Κυλινδρικό κέλυφος με αποθήκευση ΥΑΦ [9]

Μια σύγκριση έχει γίνει μεταξύ διαφορετικού μεγέθους δοχείων αποθήκευσης θερμότητας και αποθήκευσης αισθητής θερμότητας σε δεξαμενή νερού με διαφορετική θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση. Το δοχείο αποθήκευσης αποτελείται από ένα αριθμό κλειστών κυλινδρικών σωλήνων γεμάτων με το μέσο αλλαγής φάσης. Αυτοί οι σωλήνες περιβάλλονταν από το υγρό μετάδοσης θερμότητας. Οι Bajnoczy et al. μελέτησαν διβάθμιο σύστημα αποθήκευσης θερμότητας ($60-30^{\circ}\text{C}$ και $30-20^{\circ}\text{C}$) βασισμένο σε ένυδρες ενώσεις χλωριούχου ασβεστίου. Μελετητές έχουν επίσης μελετήσει τις αλλαγές της χωρητικότητας αποθήκευσης κατά τη διάρκεια επαναλήψεων και την πιθανή χρήση ενός συστήματος αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας για οικιακό σύστημα θέρμανσης νερού.

Οι Kamiz Kayguz et al. διεξήγαγαν μια πειραματική και θεωρητική μελέτη για να καθορίσουν την απόδοση των υλικών αποθήκευσης ενέργειας με αλλαγή φάσης για ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ χρησιμοποιήθηκε σαν ΥΑΦ. Ο μελετητής επίσης σύγκρινε την απόδοση συστημάτων αποθήκευσης βασισμένα σε ΥΑΦ, νερό και πέτρα. Όποτε η ηλιακή ενέργεια που ήταν διαθέσιμη συλλεγόταν και μεταφερόταν στη δεξαμενή αποθήκευσης ενέργειας η οποία ήταν γεμάτη από 1500kg ενθυλακωμένου ΥΑΦ. Αποτελείται από ένα δοχείο εγκυβωτισμένο σε οριζόντια διεύθυνση από κυλινδρικούς σωλήνες. Το υλικό αποθήκευσης ενέργειας ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) βρίσκεται μέσα σε σωλήνες (το δοχείο σωλήνων είναι από πλαστικό με ΥΑΦ) και το υγρό μεταφοράς θερμότητας (νερό) ρέει παράλληλα με αυτά.

Οι Rabin et al. επίσης μελέτησαν έναν ηλιακό συλλέκτη με αποθήκευση για θέρμανση νερού έχοντας ένυδρο άλας σαν ΥΑΦ. Τα αποτελέσματα παραμετρικών μελετών σχετικά με την επίδραση της μεταβατικής θερμοκρασίας και του πάχους του στρώματος του ένυδρου άλατος στη θερμική απόδοση της διαδικασίας φόρτισης παρουσιάζονται παρακάτω.

Οι Sharma et al. σχεδίασαν, ανέπτυξαν και εκτίμησαν την απόδοση μιας ενότητας αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας για απογευματινές και πρωινές απαιτήσεις ζεστού νερού, χρησιμοποιώντας ένα ηλιακό συλλέκτη τύπου κουτιού. Κέρινη παραφίνη (με σ.τ. 54°C) χρησιμοποιήθηκε σαν υλικό αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας και βρέθηκε ότι η απόδοση της μονάδας αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας στο σύστημα ήταν πολύ καλή για να φέρει ζεστό νερό στο επιθυμητό εύρος λειτουργίας.

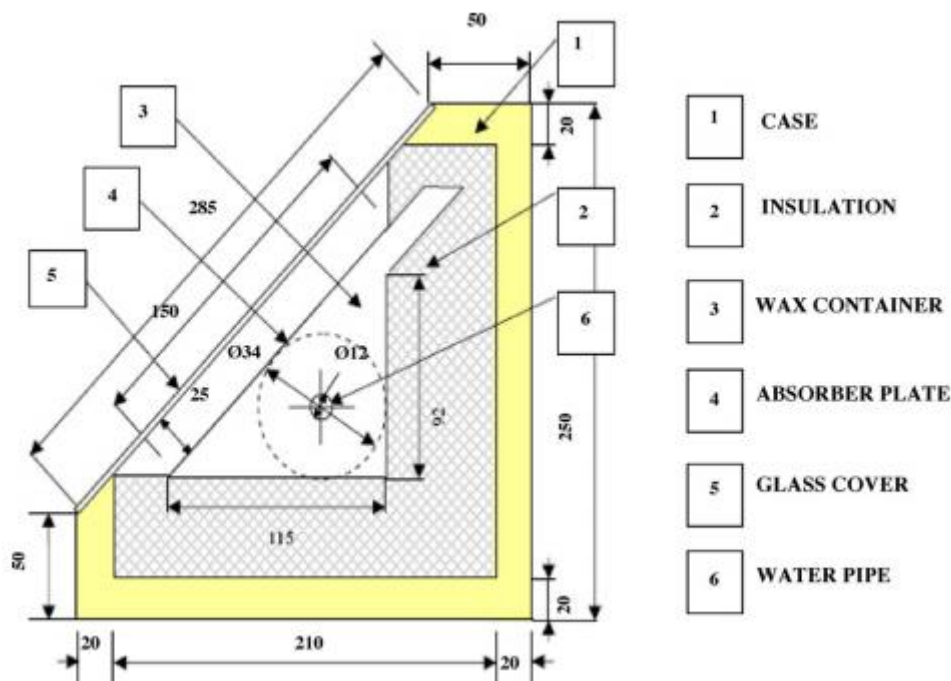


ΣΧΗΜΑ 9.10 Σύγκριση απόδοσης των συστημάτων αποθήκευσης με ΥΑΦ, νερό και πέτρα [9]

Οι Mettawee και Assassa ερεύνησαν τη θερμική απόδοση ενός ηλιακού συλλέκτη με συμπαγές ΥΑΦ βασισμένο στην αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας. Σε αυτό το συλλέκτη η πλάκα-δοχείο απορρόφησης εκτελεί τη λειτουργία τόσο της απορρόφησης της ηλιακής ενέργειας όσο και της αποθήκευσης του ΥΑΦ. Η ηλιακή ενέργεια αποθηκευόταν στην κέρινη παραφίνη η οποία χρησιμοποιούνταν σαν ΥΑΦ και απέδιδε την ενέργεια στο κρύο νερό που έρεε στους σωλήνες που βρίσκονταν μέσα στο κερί. Η ωφέλιμη επιφάνεια του συλλέκτη υποτέθηκε 1m^2 και ο συνολικός όγκος του χωρίστηκε σε πέντε τομείς. Η εμπειρική συσκευή σχεδιάστηκε να προσομοιώνει έναν από τους τομείς με μια ωφέλιμη περιοχή απορρόφησης της συσκευής $0,2\text{m}^2$. Τα εξωτερικά πειράματα εκτελέστηκαν για να καταδείξουν την εφαρμοσιμότητα της χρήσης ενός συμπαγούς ηλιακού συλλέκτη για θέρμανση νερού. Οι θερμοκρασίες των ΥΑΦ καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της φόρτισης και της αποφόρτισης. Η ηλιακή ένταση καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης. Πειράματα έγιναν για διαφορετικά ποσοστά ροής νερού από 8,3 έως 21,7 kg/h. Η διάδοση του μετώπου τήξης και πήξης μελετήθηκε επίσης κατά διάρκεια αυτών των διαδικασιών. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι στη διαδικασία φόρτισης ο συντελεστής μέσης μεταφοράς θερμότητας αυξάνεται απότομα με την αύξηση του λιωμένου πάχους του στρώματος καθώς η φυσική αγωγή μεγαλώνει. Στη διαδικασία αποφόρτισης το χρήσιμο κέρδος θερμότητας βρέθηκε να αυξάνεται, καθώς η μάζα νερού αυξάνεται.

Οι Cabeza et al. κατασκεύασαν ηλιακές πειραματικές εγκαταστάσεις στο πανεπιστήμιο της Lleida για να δοκιμάσουν τη συμπεριφορά των ΥΑΦ σε πραγματικές συνθήκες, οι οποίες θα μπορούσαν να λειτουργήσουν με μια ηλεκτρική θερμάστρα. Η γεωμετρία της ενότητας με ΥΑΦ που υιοθετήθηκε ήταν να χρησιμοποιήσουν αρκετούς κυλίνδρους στην κορυφή της δεξαμενής νερού. Πολλά πειράματα με δύο, τέσσερις και έξι ενότητες ΥΑΦ εκτελέστηκαν στην πραγματική εγκατάσταση. Ένα κοκκώδες ΥΑΦ – μια ένωση από 90% κ.ο. τριυδρικού οξικού νατρίου και 10% κ.ο. γραφίτη -επιλέχθηκε σαν ΥΑΦ για τα πειράματα που παρουσιάστηκαν εδώ. Ο ερευνητής συμπέρανε ότι η συμπεριληψη ενοτήτων ΥΑΦ στις δεξαμενές νερού για οικιακή παροχή ζεστού νερού είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία. Θα επέτρεπε

να έχουμε ζεστό νερό για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους ακόμα και χωρίς εξωτερική ενεργειακή παροχή, ή χρήση μικρότερων δεξαμενών για τον ίδιο σκοπό.



ΣΧΗΜΑ 9.11 Σχηματική αναπαράσταση της διατομής της πειραματικής συσκευής [9]

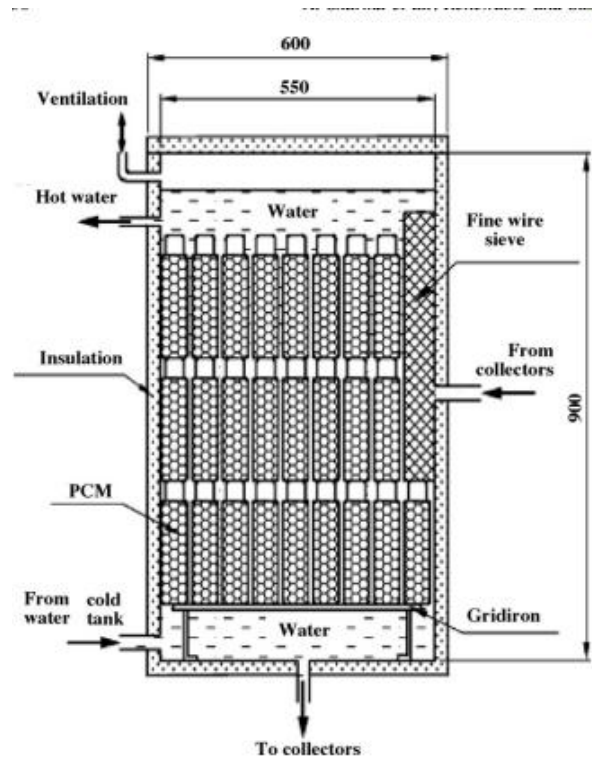
Οι Suat et al. παρουσίασαν ένα συμβατικό ανοιχτού βρόχου ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού συνδυασμένο με πεντάνυδρο θειώδες νάτριο. ΥΑΦ ερευνήθηκαν κατά τη διάρκεια του Νοεμβρίου και μετά παρατηρήθηκε βελτίωση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας συγκρίνοντας αυτά με το συμβατικό σύστημα που δεν περιλάμβαναν καθόλου ΥΑΦ. Οι αποδόσεις της αποθήκευσης θερμότητας του ίδιου ηλιακού συστήματος θέρμανσης νερού συνδυασμένο με ένυδρα άλατα- ΥΑΦ όπως εξάνυδρο νιτρικό άλας ψευδαργύρου, εξάνυδρο χλωριούχο ασβέστιο και δεκάνυδρο θειώδες νάτριο (άλας του Glauber) εξετάστηκαν θεωρητικά χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά δεδομένα και θερμοφυσικές ιδιότητες των ΥΑΦ με μερικές υποθέσεις. Σαν αποτέλεσμα λήφθηκε ότι ο χρόνος αποθήκευσης του ζεστού νερού, η παραγόμενη μάζα ζεστού νερού και η συνολική συσσωρευμένη θερμότητα στο ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού που έχει η δεξαμενή αποθήκευσης συνδυασμένη με ΥΑΦ ήταν περίπου 2,59-3,35 φορές μεγαλύτερη από αυτό στο συμβατικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού. Βρέθηκε επίσης ότι τα ένυδρα άλατα με την υψηλότερη απόδοση στην αποθήκευση ηλιακής θερμικής ενέργειας στα ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν στη θεωρητική έρευνα ήταν το δωδεκάνυδρο όξινο φωσφορικό δινάτριο και το δεκάνυδρο θειώδες νάτριο.

9.2.1.2. Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης Αέρα

Κατά αντιστοιχία με τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού εδώ οι Morrison, Abdel Khalik και Jurinak στις διαφορετικές μελέτες τους εκτίμησαν την απόδοση των ηλιακών συστημάτων θέρμανσης βασισμένα στον αέρα χρησιμοποιώντας αποθήκες ενέργειας αλλαγής φάσης. Οι κύριοι στόχοι της δουλειάς τους ήταν: i) να καθορίσουν την επίδραση της λανθάνουσας θερμότητας των ΥΑΦ και της θερμοκρασίας τήξης στη θερμική απόδοση των συστημάτων ηλιακής θέρμανσης βασισμένων στον αέρα και ii) να αναπτύξουν εμπειρικά μοντέλα σημαντικών περιοχών ενεργειακής αποθήκευσης αλλαγής φάσης (PCES). Το κύριο

συμπέρασμα ήταν ότι τα ΥΑΦ έπρεπε να επιλεγούν σύμφωνα με το σημείο τήξης παρά με τη λανθάνουσα θερμότητα.

Οι Ghoneim και Klein σύγκριναν θεωρητικά την απόδοση της αλλαγής φάσης και της αποθήκευσης αισθητής θερμότητας για τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης αέρα και νερού αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα που πήραν ήταν παρόμοια με αυτά των προηγούμενων ερευνητών.



ΣΧΗΜΑ 9.12 Λεπτομερής όψη της τομής της κυλινδρικής δεξαμενής αποθήκευσης συνδυασμένης με ΥΑΦ [9]

Ο Enibe σχεδίασε, ανέπτυξε και εκτίμησε την απόδοση της φυσικής συναγωγής ενός ηλιακού αερόθερμου κάνοντας χρήση αποθήκευσης ενέργειας με ΥΑΦ έχοντας επιτυχή αποτελέσματα. Η ημερήσια απόδοση του συστήματος χωρίς φορτίο δοκιμάστηκε υπό φυσικές περιβαλλοντικές συνθήκες που περιλάμβαναν κύμανση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας από 19 έως 41,8 °C και της καθημερινής κοσμικής ακτινοβολίας από 4,9 έως 19,9 MJm⁻². Η αιχμή της θερμοκρασιακής αύξησης του θερμαινόμενου αέρα ήταν 15K, ενώ η μέγιστη συσσωρευμένη ωφέλιμη απόδοση ήταν γύρω στο 50%. Το σύστημα είναι κατάλληλο για χρήση σαν ηλιακός στεγνωτήρας καλλιεργειών αρωματικών βοτάνων, ιατρικών φυτών και άλλων καλλιεργειών τα οποία δεν απαιτούν απευθείας έκθεση στο ηλιακό φως.

Οι Zhou et al. ερεύνησαν αριθμητικά την απόδοση ενός υβριδικού συστήματος θέρμανσης συνδυασμένου με θερμική αποθήκευση από σταθερού σχήματος πλάκες ΥΑΦ. Ένα παθητικό ηλιακό σπίτι άμεσου κέρδους εξετάζεται στο Πεκίνο: περιλαμβάνει το προαναφερθέν σύστημα σαν εσωτερική επένδυση των τοίχων και της οροφής. Ασταθής προσομοίωση εκτελείται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο επαληθευμένης ενθαλπίας, σε μια χρονική περίοδο που καλύπτει τη χειμερινή εποχή θέρμανσης. Επιπρόσθετη παροχή θερμότητας χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια των ωρών φορτίου αργά τη νύχτα και τα πρωινά ή κατά τη διάρκεια ολόκληρης της μέρας απαραίτητη για να διατηρήσουμε την ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία πάνω από τους 18°C.



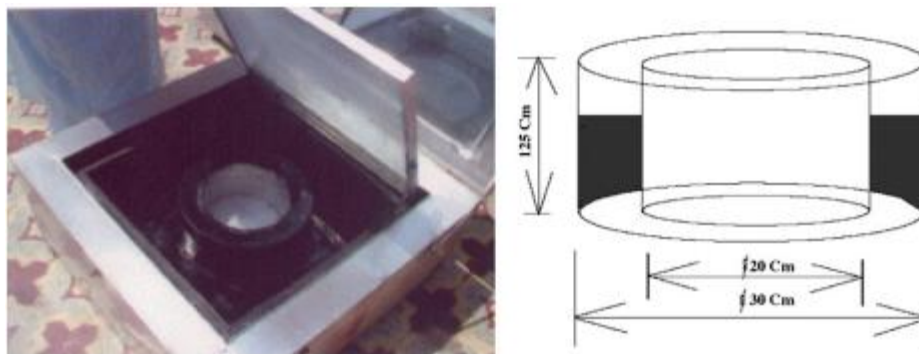
ΣΧΗΜΑ 9.13 Φωτογραφία του συστήματος θέρμανσης αέρα (Α) συσσωρευτικός συλλέκτης με αποθήκευση ενέργειας και υποσυστήματα θέρμανσης αέρα (Β) θερμαινόμενος χώρος [9]

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίδραση της αποθήκευσης θερμότητας των πλακών από ΥΑΦ σταθερού σχήματος, βελτιώνει το επίπεδο εσωτερικής θερμικής άνεσης και εξοικονομεί γύρω στο 47% της κανονικής και μέγιστης ενεργειακής χρήσης και 12% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας το χειμώνα. Αυτό το υβριδικό σύστημα θέρμανσης μπορεί να ανεβάσει το ηλεκτρικό φορτίο για τα εργοστάσια ενέργειας και να παρέχει σημαντικά οικονομικά οφέλη σε περιοχές όπου χρησιμοποιείται νυχτερινή και ημερήσια οικονομική τακτική.

9.2.1.3. Ηλιακές Εστίες

Μια από τις μέγιστες χρήσεις της ηλιακής ενέργειας είναι στο μαγείρεμα χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους ηλιακών εστιών. Η χρήση αυτών των ηλιακών εστιών είναι περιορισμένη καθώς το μαγείρεμα του φαγητού δεν είναι δυνατό το απόγευμα. Αν η αποθήκευση ηλιακής ενέργειας παρέχεται σε μια ηλιακή εστία τόσο περισσότερο η χρησιμότητα και η αξιοπιστία αυτών των ηλιακών εστιών θα αυξανόταν. Λίγες μελέτες έχουν διεξαχθεί με υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας σε ηλιακές εστίες τύπου κουτιού για μαγείρεμα αργά το απόγευμα.

Οι Domanski et al. έχουν μελετήσει τη χρήση ενός ΥΑΦ σαν μέσο αποθήκευσης για μια ηλιακή κουζίνα τύπου κουτιού σχεδιασμένη για να μαγειρεύει κατά τις απογευματινές ώρες και/ή κατά τη διάρκεια των ωρών χωρίς ηλιοφάνεια. Χρησιμοποίησαν εξάνυδρο νιτρικό άλας του μαγνησίου σαν ΥΑΦ για αποθήκευση θερμότητας.

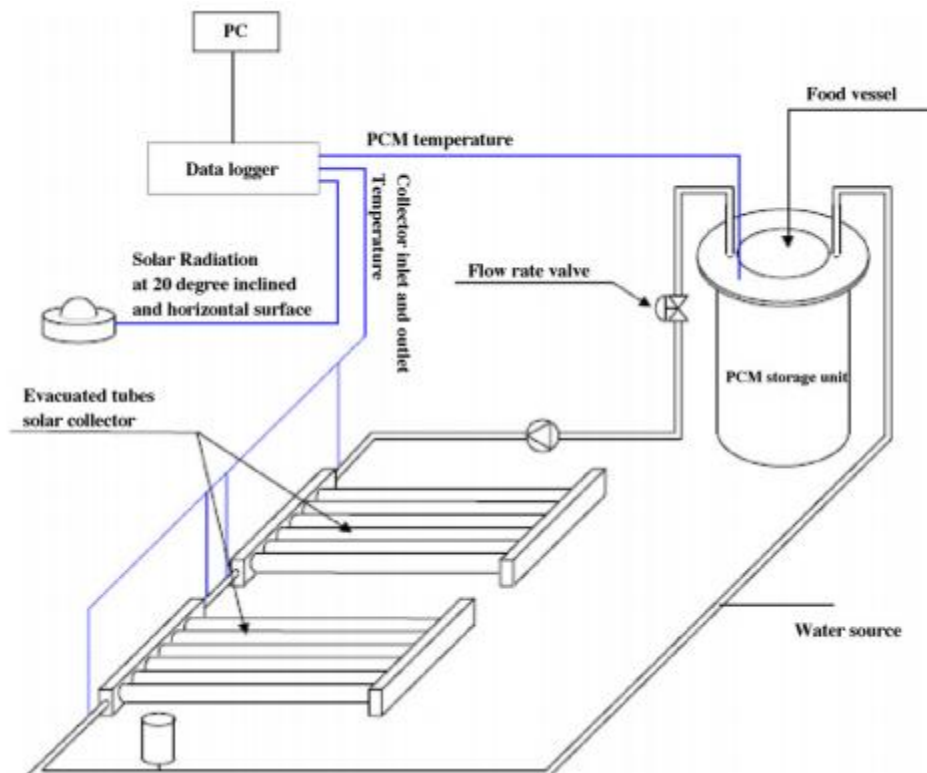


ΣΧΗΜΑ 9.14 Σχηματική αναπαράσταση ενός κουτιού ηλιακής κουζίνας με αποθήκευση [9]

Οι Buddhi και Sahoo γέμισαν με στεατικό οξύ την πλάκα απορρόφησης μιας ηλιακής κουζίνας τύπου κουτιού.

Ακόμα οι Sharma et al. ανέπτυξαν μια αποθηκευτική ενότητα ΥΑΦ με ακεταμίδιο για μια ηλιακή κουζίνα τύπου κουτιού για μαγείρεμα αργά το απόγευμα. Συνέστησαν ότι η θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ πρέπει να είναι ανάμεσα στους 105 και 110°C για απογευματινό μαγείρεμα.

Αργότερα οι Buddhi et al. ανέπτυξαν μια αποθηκευτική ενότητα με ακετανιλίδιο για τον ίδιο λόγο για να αποθηκεύουν μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας μέσω του ΥΑΦ έτσι ώστε να χρησιμοποιούν τρεις ανακλαστήρες με σκοπό να πάρουν περισσότερη εσωτερική ηλιακή ακτινοβολία. Γενικά όμως η ηλιακή κουζίνα τύπου κουτιού χρησιμοποιεί έναν ανακλαστήρα. Οι ίδιοι χρησιμοποίησαν επίσης ερυθριτόλη σαν υλικό αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας για την ηλιακή κουζίνα βασισμένη σε έναν ηλιακό συλλέκτη εκκενωμένων σωλήνων.



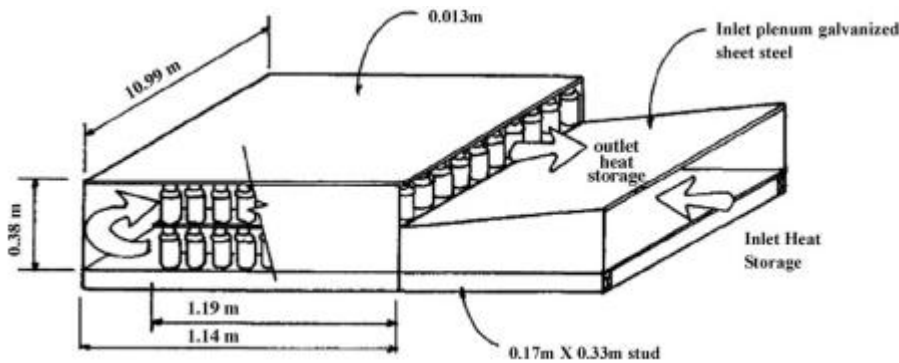
ΣΧΗΜΑ 9.15 Περίγραμμα της πρωτότυπης ηλιακής κουζίνας βασισμένη σε ηλιακό συλλέκτη σωλήνων κενού με μονάδα αποθήκευσης ΥΑΦ [9]

9.2.1.4. Ηλιακό Θερμοκήπιο

Τα ΥΑΦ έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί στα θερμοκήπια για την αποθήκευση ηλιακής ενέργειας για θεραπευτικές εφαρμογές, διαδικασίες ξήρανσης και παραγωγή φυτών. Οι Kern και Aldrich χρησιμοποίησαν 1650 kg $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ τενεκεδάκια αερολύματος καθένα από τα οποία περιείχε 0,74 kg για να ερευνήσουν τις δυνατότητες αποθήκευσης ενέργειας, επικαλυμμένα και τα δύο τόσο μέσα όσο και έξω, από υαλόνημα, συνολικής επιφάνειας 36m². Τα τενεκεδάκια από ΥΑΦ τοποθετήθηκαν σε μια περιοχή δυο χώρων απόστασης 22,86mm. Τα τενεκεδάκια περιείχαν διαφορετικές ποσότητες ΥΑΦ, ενώ οι χώροι βρίσκονταν ο ένας μέσα και ο άλλος έξω από το θερμοκήπιο. Ενώ το τμήμα αποθήκευσης ενέργειας μέσα στο θερμοκήπιο συγκέντρωνε θερμό αέρα από την κορυφογραμμή του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της μέρας, η κατεύθυνση της ροής αέρα αντιστράφηκε για τη διαδικασία απελευθέρωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια της νύχτας.

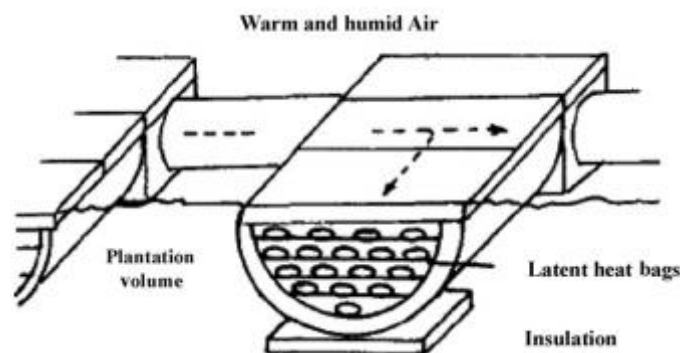
Οι Hung και Toksoy σχεδίασαν και κατασκεύασαν ένα σύστημα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας με δυο διαφορετικές διαμορφώσεις στοίβας και τον εμπλεκόμενο αέρα σαν αναπόσπαστο

κομμάτι του ηλιακού συστήματος του θερμοκηπίου. Κυλινδρικοί ράβδοι αποθήκευσης του εμπορίου χρησιμοποιήθηκαν σαν τα πρωτεύοντα στοιχεία αποθήκευσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας παρουσίαζαν σημαντικά υψηλότερη χωρητικότητα αποθήκευσης από ότι η αποθήκευση με νερό. Χρησιμοποιώντας ΥΑΦ τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε ένα θερμοκήπιο για την παραγωγή τριαντάφυλλων στη Γαλλία.



ΣΧΗΜΑ 9.16 Μονάδα ενεργειακής αποθήκευσης μέσα στο θερμοκήπιο [9]

Η διαθέσιμη ηλιακή θερμότητα μέσα στο θερμοκήπιο μεταφέρθηκε και αποθηκεύτηκε μέσω της ανακύκλωσης του αέρα σε ένα υπόγειο από επίπεδους εναλλάκτες θερμότητας γεμάτους με ΥΑΦ. Η απόδοση του μέρους του ηλιακού θερμοκηπίου με ΥΑΦ συγκρίθηκε με ένα παραδοσιακό πανομοιότυπης γεωμετρίας που είχε την ίδια καλλιέργεια. Το θερμοκήπιο με υλικά αλλαγής φάσης πέτυχε 80% εξοικονόμηση σε αέριο προπανίου συγκρινόμενο με το παραδοσιακό έχοντας την ίδια θερμοκρασία. Τα υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας μπορούν επίσης να συσσωρευτούν σε ράφια τοποθετημένα στα θερμοκήπια τα οποία θα θερμαίνονται κατευθείαν από την ηλιακή ακτινοβολία. Σε αυτό το σύστημα ο ζεστός αέρας κυκλοφορώντας στο θερμοκήπιο αυξάνει το ποσοστό της φόρτισης/αποφόρτισης των ΥΑΦ. Η αποθηκευμένη θερμότητα χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια ωρών χωρίς ηλιοφάνεια για να διατηρήσουν την επιθυμητή θερμοκρασία μέσα στο χώρο. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ χρησιμοποιήθηκε σαν υλικό αλλαγής φάσης για αποθήκευση.



ΣΧΗΜΑ 9.17 Υπόγειο κανάλι με αποθήκευση ΥΑΦ [9]

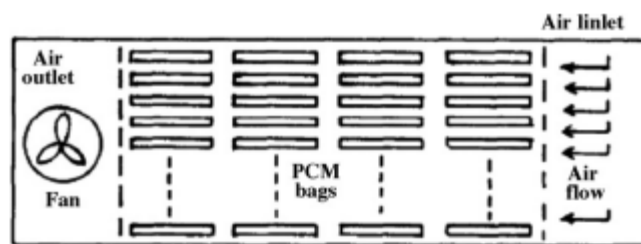
Οι Nishina και Takakura χρησιμοποίησαν $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ με κάποια πρόσθετα για να εμποδίσουν το διαχωρισμό φάσης και τον υποβιβασμό του υλικού για να θερμάνουν ένα θερμοκήπιο στην Ιαπωνία. Συμπέραναν ότι μόνο το 40-60% της δυναμικότητας του ΥΑΦ σε λανθάνουσα θερμότητα

πραγματοποιήθηκε το οποίο έδειξε ότι σχεδόν το μισό από το ΥΑΦ δε χρησιμοποιήθηκε αποτελεσματικά κατά τη διάρκεια των διαδικασιών ανταλλαγής θερμότητας.

Οι Takakura και Nishina δοκίμασαν την γλυκόλη πολυαιθυλενίου και το $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ σαν ΥΑΦ στο θερμοκήπιο θερμαίνοντας μια περιοχή $7,2\text{m}^2$. Σύγκριναν τα συμβατικά θερμοκήπια με τα αντίστοιχα με αποθήκευση σε ΥΑΦ. Η αποτελεσματικότητα των μη συμβατικών θερμοκηπίων, εξοπλισμένων με ηλιακό συλλέκτη, ήταν 59% και ήταν δυνατό να διατηρηθεί η θερμοκρασία στους 8°C μέσα στο θερμοκήπιο τη νύχτα όταν η εξωτερική θερμοκρασία έπεφτε στους $-0,6^\circ\text{C}$. Ένα σύστημα ελέγχου μικροϋπολογιστή έχει αναπτυχθεί για να καταστήσει πιο ακριβή τον έλεγχο για τα συστήματα ηλιακών θερμοκηπίων.

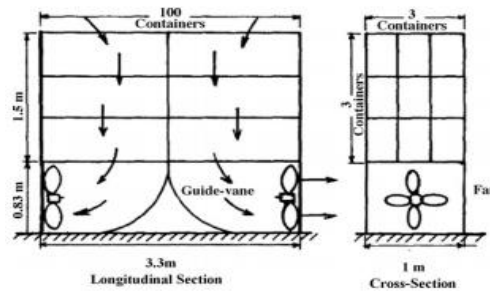
Σε μια έρευνα σχεδίασης και πειράματος από τους Baille και Boulard et al. χρησιμοποιήθηκε σε ένα θερμοκήπιο επιφάνειας 176m^2 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ τηκόμενο στους 21°C , διπλή κάλυψη πολυάνθρακα και εξαναγκασμένος αερισμός. Οι ρυθμίσεις του θερμοστάτη για τη νύχτα και τη μέρα αντίστοιχα ήταν 12 και 14 το Φεβρουάριο και 22 και 26°C το Μάρτιο. Η ταχύτητα του αέρα στο θερμοκήπιο ήταν της τάξης μεγέθους του 1m/s . Υπολογίστηκε ότι ενώ $0,260\text{ kW h/m}^2$ ενέργεια αποθηκευόταν κατά τη διάρκεια της μέρας, $0,360\text{ kW h/m}^2$ απελευθερωνόταν τη νύχτα μέσα στο θερμοκήπιο. Όταν οι θερμοκρασίες του εξωτερικού αέρα ήταν $3,8$ και $6,6^\circ\text{C}$, το Φεβρουάριο και το Μάρτιο αντίστοιχα, οι αντίστοιχες εσωτερικές που ελήφθησαν κατά τις ίδιες περιόδους ήταν $10,9$ και $13,5^\circ\text{C}$.

Με αυτή τη μέθοδο αντί για απαίτηση καυσίμου $7,2\text{ l/m}^2$, θα είχαμε 40% παροχή θερμικού φορτίου και ένα σύνολο της τάξης του 30% εξοικονόμηση ενέργειας.

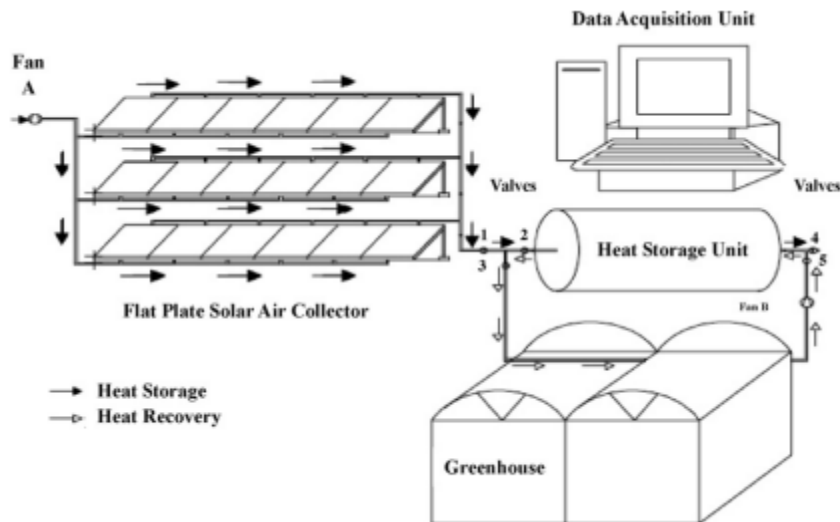


ΣΧΗΜΑ 9.18 Γενική άποψη του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας σε θερμοκήπιο [9]

Ο Ozturk παρουσίασε ένα σύστημα εποχιακής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας χρησιμοποιώντας παραφίνη κεριού σαν ΥΑΦ με την τεχνική της αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας να επιχειρείται για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου έκτασης 180m^2 . Το εν λόγω σύστημα αποτελείτο από μια επίπεδη πλάκα ηλιακών συλλεκτών (σαν μονάδα συλλογής θερμότητας), ένα κομμάτι αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας (LHS), ένα πειραματικό θερμοκήπιο, ένα κομμάτι μεταφοράς θερμότητας και μια μονάδα απόκτησης πληροφοριών. Η μονάδα συλλογής εξωτερικής θερμότητας αποτελείτο από ηλιακά αερόθερμα επιφάνειας 27m^2 στραμμένα προς το νότο στις 55° γωνία κλίσης. Η διάμετρος και ο συνολικός όγκος της ασφάλινης δεξαμενής που χρησιμοποιήθηκε σαν μονάδα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας ήταν $1,7\text{m}$ και $11,6\text{m}^3$, αντίστοιχα. Η μονάδα LHS γέμιζε με $33,33\text{kg}$ ΥΑΦ ανά τετραγωνικό μέτρο εδαφικής επιφάνειας του θερμοκηπίου. Εφαρμόστηκε ανάλυση της ενέργειας και της εξέργειας προκειμένου να εκτιμήσουμε την απόδοση του συστήματος. Το ποσοστό της μεταφερόμενης ενέργειας στη μονάδα LHS ήταν εύρους από $1,22$ έως $2,63\text{kW}$ ενώ το ποσοστό της θερμότητας που αποθηκεύεται στην ίδια μονάδα ήταν μεταξύ $0,65$ και $2,1\text{kW}$. Το ημερήσιο μέσο ποσοστό της θερμικής εξέργειας που μεταφέρθηκε και αποθηκεύτηκε στη μονάδα LHS ήταν $111,2\text{W}$ και $79,9\text{W}$ αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου, βρέθηκε ότι οι μέσες καθαρές αποδοτικότητες ενέργειας και εξέργειας ήταν $40,4\%$ και $4,2\%$ αντίστοιχα. Η επίδραση της θερμοκρασιακής διαφοράς του υγρού μετάδοσης θερμότητας στο εσωτερικό και εξωτερικό της μονάδας LHS στις υπολογιζόμενες τιμές της απόδοσης της ενέργειας και της εξέργειας εκτιμήθηκε κατά τη διάρκεια της περιόδου φόρτισης.



ΣΧΗΜΑ 9.19 Γενική άποψη και διαστάσεις μιας μονάδας αποθήκευσης [9]



ΣΧΗΜΑ 9.20 Η διάταξη της αποθήκης θερμότητας και του συστήματος θέρμανσης του θερμοκηπίου [9]

9.2.1.5. Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας Χαμηλής Ζήτησης

Οι Telkes, Herrick, Gawarn και Scroder μελέτησαν το σύστημα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας για κλιματισμό. Ανόργανα ένυδρα άλατα χρησιμοποιήθηκαν σαν υλικό αποθήκευσης. Παρόλα αυτά αυτές οι έρευνες εστίασαν περισσότερο στην ανάπτυξη νέων υλικών αποθήκευσης θερμότητας. Ο Lane πρότεινε μερικά ΥΑΦ για δροσίση και αφύγνωση. Το ΥΑΦ είναι παγωμένο κατά τη διάρκεια των ωρών χαμηλής ζήτησης και η δροσιά αποσπάται όποτε χρειάζεται μέσα στη μέρα. Πρόσφατα το Τμήμα Ατομικής Ενέργειας στην Ινδία προώθησε ένα πρόγραμμα για να αναπτύξουν τα υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας για το θερμοκρασιακό εύρος 5-15°C για την αποθήκευση δροσιάς χρησιμοποιώντας ρεύμα χαμηλής ζήτησης και να αναπτύξουν την πιλοτική μονάδα.

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για να αναπτυχθούν τα συστήματα αποθήκευσης με ΥΑΦ ώστε να χρησιμοποιούν ηλεκτρισμό χαμηλής ζήτησης. Χρησιμοποιώντας αυτό τον ηλεκτρισμό, τα ΥΑΦ μπορούν να λιώσουν/πήξουν για να αποθηκεύσουν ηλεκτρική ενέργεια στη μορφή λανθάνουσας θερμικής ενέργειας και η θερμότητα/δροσιά είναι συνεπώς διαθέσιμη όποτε χρειάζεται. Οπότε, αν τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμικής ενέργειας συνδυάζονται με τα ενεργά συστήματα, θα βοηθήσουν στη μείωση των αιχμών φορτίου και έτσι το κόστος ηλεκτρικής παραγωγής θα μειωθεί κρατώντας τη ζήτηση σχεδόν σταθερή.

Οι Brandstetter και Kaneff μελέτησαν τα χαμηλού κόστους ένυδρα άλατα υλικών αλλαγής φάσης σαν υποψήφιο μέσο για θερμική αποθήκευση και άλλες τροποποιημένες ποικιλίες καλύπτοντας μια ποικιλία

θερμοκρασιών μετάβασης από 8-58°C. Οι ερευνητές επίσης συμπέραναν ότι αυτά τα ένυδρα άλατα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση χώρου εκτός ωρών αιχμής και κλιματικό έλεγχο του θερμοκηπίου.

Οι Farid και Hussain, Theunissen και Buchlin ανέπτυξαν μια ηλεκτρική θερμάστρα αποθήκευσης χρησιμοποιώντας ηλεκτρισμό χαμηλής ζήτησης συνήθως διαθέσιμο τη νύχτα και η απόδοση της εξετάστηκε πειραματικά και θεωρητικά. Η θερμότητα ήταν αποθηκευμένη σε μια παραφίνη κεριού εμπορικού τύπου σαν λανθάνουσα θερμότητα τήξης για να μειώσει το μεγάλο βάρος που υπήρχε στις υπάρχουσες θερμάστρες αποθήκευσης που είχαν αποθηκεύσει αισθητή θερμότητα. Το ΥΑΦ ήταν τοποθετημένο σε πολλές μονάδες ρυθμισμένες να παρέχουν την απαιτούμενη θερμότητα στον αέρα που έρεε από αυτά.

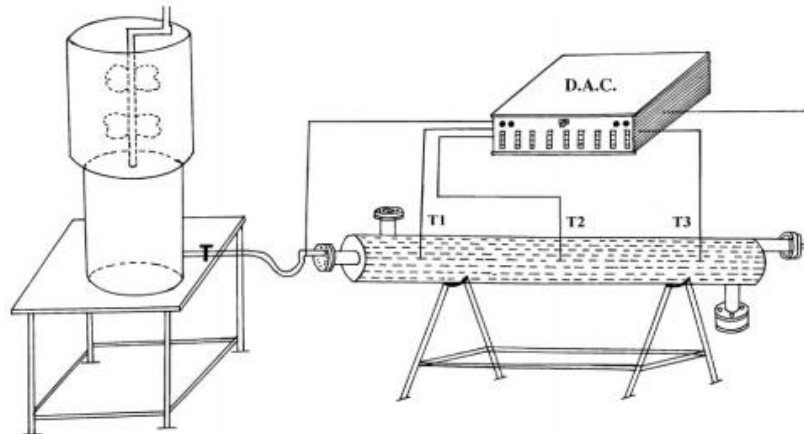
Πιο ενεργά συστήματα δαπέδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση ενέργειας χαμηλής ζήτησης στα κτίρια. Έτσι τα φορτία υψηλής ζήτησης είναι εφικτό να μειωθούν και να μετατοπιστούν προς τη νυχτερινή ώρα όταν το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος είναι χαμηλότερο. Ένα ηλεκτρικό υπεδάπεδο σύστημα θέρμανσης με παραφίνη κεριού (σημείο τήξης 40°C) σαν ΥΑΦ προτάθηκε από τους Farid και Chen. Τοποθέτησαν στρώμα 30mm ΥΑΦ ανάμεσα στο χώρο θέρμανσης και στα πλακάκια δαπέδου. Χρησιμοποιώντας υπολογιστική προσομοίωση βρήκαν ότι το θερμικό αποτέλεσμα του εδάφους θα μπορούσε να αυξηθεί σημαντικά από 30W/m² στα 75W/m² αν χρησιμοποιείτο ΥΑΦ.

9.2.1.6. Σχεδίαση Εναλλάκτη Θερμότητας για Αποθήκευση Θερμικής Ενέργειας

Γενικά τα υλικά αλλαγής φάσης έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και επεκτείνονται κατά την τήξη, με αποτέλεσμα σε έναν εναλλάκτη θερμότητας να είναι ένα σημαντικό στοιχείο αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Διάφορα είδη εναλλακτών θερμότητας δοκιμάστηκαν από έναν αριθμό ερευνητών και ακολουθούν ένα συγκεκριμένο πλαίσιο.

Ο Buddhi σχεδίασε και υλοποίησε ένα κέλυφος βασισμένο σε ΥΑΦ και ένα εναλλάκτη τύπου σωλήνα χωρίς πτερύγια για ανάκτηση θερμότητας από βιομηχανικά απόβλητα χαμηλής θερμοκρασίας. Για βελτίωση της αποτελεσματικής θερμικής αγωγιμότητας του συστήματος η ακτινική απόσταση ανάμεσα στους σωλήνες κρατήθηκε στα 3-4cm. Μελέτησε η θερμική απόδοση αυτού του εναλλάκτη θερμότητας για διαδικασίες φόρτισης και αποφόρτισης των ΥΑΦ για διαφορετικά ποσοστά ροής μάζας και θερμοκρασίας του εισερχόμενου νερού. Εμπορικού τύπου στεαρικό οξύ χρησιμοποιήθηκε σαν υλικό αλλαγής φάσης και ο εναλλάκτης γέμισε με 90% περίπου του όγκου του. Εξαιτίας της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας των ΥΑΦ, η τιμές των συντελεστών συνολικής μεταφοράς θερμότητας βρέθηκαν χαμηλές. Σχηματικό διάγραμμα του κελύφους και του εναλλάκτη θερμότητας τύπου σωλήνα με πτερύγια και της διώροφης δεξαμενής νερού τροφοδοσίας παρουσιάζονται στο σχήμα 9.21. Σωλήνας θερμότητας με πτερύγια ενός εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος αποτελείται από ένα δοχείο τετράγωνης διατομής, παρείχε θερμότητα κατά το διαμήκη άξονα. Η εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα η οποία έρχεται σε επαφή με το ΥΑΦ επιχρωμάστηκε εξαιτίας των πεποιθήσεων για συμβατότητα με το υλικό. Το δοχείο καθώς και ο σωλήνας θερμότητας χωρίστηκαν σε τρεις περιοχές, την περιοχή πηγών θερμότητας, την περιοχή αποθήκευσης και την περιοχή κατανάλωσης θερμότητας. Ο σωλήνας θερμότητας στην περιοχή αποθήκευσης ήταν εφοδιασμένος με στενά και ισαπέχοντα κυκλικά πτερύγια αλουμινίου.

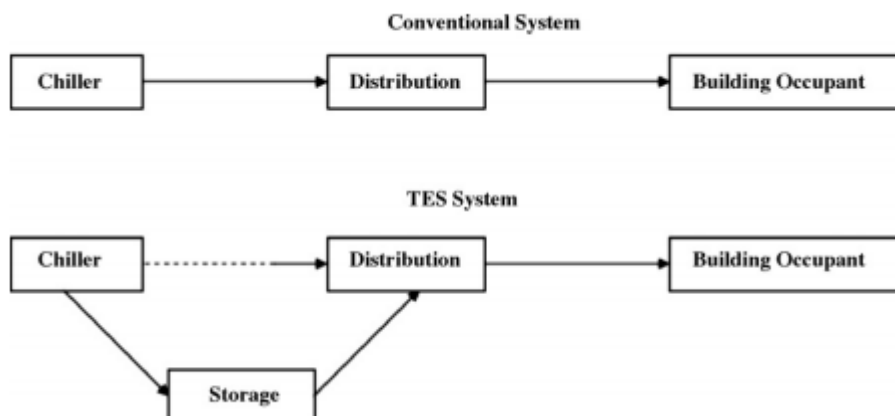
Η επιχείρηση Calmac ανέπτυξε ένα ενεργό σύστημα αποθήκευσης για ηλιακή θέρμανση χώρου και ηλιακή ψύξη χώρου. Χρησιμοποίησε στενά (μικρής διαμέτρου) πλαστικά καλύμματα σωληνώσεων σε μορφή σπείρας και τα τοποθέτησε μέσα σε μια κυλινδρική δεξαμενή που περιείχε ΥΑΦ σαν εναλλάκτη θερμότητας. Το σύστημα χρησιμοποίησε ένυδρο άλας (ΥΑΦ) αποτελούμενο από 98% πεντάνυδρο θειικό άλας του νατρίου και 2% νιτρικό άλας για εφαρμογές θέρμανσης χώρου και εξάνυδρο χλωρίδιο του μαγνησίου για μονάδες δροσίσιμου χώρου. Ο πλαστικός εναλλάκτης θερμότητας είχε το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους και ότι ήταν μη διαβρωτικός. 1,27cm διάμετρος πλαστικού σωλήνα με 2,5cm απόσταση λαμβάνεται υπόψη για τη φτωχή αγωγιμότητα των ΥΑΦ. Το σύστημα δοκιμάστηκε επιτυχώς για 1000 επαναλήψεις χωρίς κανένα υποβιβασμό στην απόδοση του.



ΣΧΗΜΑ 9.21 Σχηματικό διάγραμμα ενός τύπου εναλλάκτη θερμότητας με κελυφωτούς και πτερυγτούς σωλήνες με αποθήκευση θερμότητας και διώροφη δεξαμενή νερού τροφοδοσίας [1]

Οι Smith et al, μελέτησαν έναν εναλλάκτη θερμότητας που αποτελείτο από ορθογώνιο δοχείο για τα ΥΑΦ με ένα ορθογώνιο κανάλι ροής από κάτω του. Σαν υλικό αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας χρησιμοποιήθηκε το κερί Gulf 33 (σ.τ. 50-55°C). Βρήκε ότι το σύστημα είχε ένα περιορισμό στη μεταφορά θερμότητας εξαιτίας της αντίστασης της στέρας φάσης. Το πρόσθετο κομμάτι θερμότητας προερχόμενο από το δοχείο αγωγής μείωνε την αντίσταση σημαντικά.

Ο Morcos μελέτησε μια πειραματική έρευνα ενός σχεδίου ενός κελυφωτού και σωληνωτού εναλλάκτη θερμότητας για τη χρήση στα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας για εφαρμογές ηλιακής θέρμανσης. Η θερμική ανάλυση παρείχε την επίδραση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού και του ποσοστού ροής μάζας κατά την αποθήκευση, τη φόρτιση και την αποφόρτιση καθώς και τη θερμοκρασιακή κλίση για τη ροή θερμότητας σε μία ή σε δύο διαφορετικές ουσίες αποθήκευσης: την κέρινη παραφίνη και την άσφαλτο. Η τελευταία χρησιμοποιείται για πρώτη φορά σαν υλικό αποθήκευσης ενέργειας για να δοκιμάσουμε τη χωρητικότητα αποθήκευσης.



ΣΧΗΜΑ 9.22 Συστατικά ενός συστήματος Ψύξης [1]

Οι Cho et al. μελέτησαν τα χαρακτηριστικά μετάδοσης θερμότητας κατά τη διάρκεια τήξης του εξάνυδρου χλωριδίου του μαγνησίου σε σύστημα κυκλικών σωλήνων με και χωρίς πτερύγια.

Ο Herrick μελέτησε τη λεπτομερή περιγραφή του κυλιόμενου κυλίνδρου για ηλιακή ψύξη και θέρμανση και κατόπιν χρησιμοποίησε το ΥΑΦ: άλας του Glauber στον κυλιόμενο εναλλάκτη θερμότητας.

Οι Santamouris και Leafs σχεδίασαν και ανέπτυξαν ένα κυλιόμενο κυλινδρικό εναλλάκτη θερμότητας αποτελούμενο από μια συλλογή μικρότερων υπο-μονάδων καθεμία κυλινδρικού σχήματος, σε κάθε μία από τις οποίες γινόταν αποθήκευση. Το σύστημα αποθήκευσης αποτελούνταν από έναν αριθμό ενότητων εναλλάκτη θερμότητας που λειτουργούσαν παράλληλα. Κάθε ενότητα αποτελούνταν από έναν αριθμό κυλίνδρων επάνω σε ένα μεγαλύτερο έτσι ώστε να μπορούν να περιστρέφονται σαν μια ενιαία ενότητα. Ο σκοπός της περιστροφής ήταν να παρέχει πλήρη πήξη.

Οι Bouritios et al. επίσης μελέτησαν τα προβλήματα που προκύπτουν από την αρχιτεκτονική ενός εναλλάκτη θερμότητας και συνδέονται με το ενεργό σύστημα και το φορτίο.

Οι Farid και Kanzawa μελέτησαν την απόδοση μιας μονάδας αποθήκευσης θερμότητας αποτελούμενη από κυλινδρικές κάψουλες γεμάτες με υλικό αλλαγής φάσης με αέρα να ρέει ανάμεσα τους για μεταφορά θερμότητας. Χρησιμοποίησαν τρία εμπορικά κεριά με θερμοκρασίες τήξης 44, 53 και 64°C αντίστοιχα. Ορθογώνιες ρυθμίσεις χρησιμοποιήθηκαν για τους σωλήνες κατά μήκος και εγκάρσια. Μια αισθητή βελτίωση στην απόδοση της μονάδας αποθήκευσης επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας περισσότερους από έναν τύπους ΥΑΦ, με στενό εύρος τήξης στην ίδια ενότητα και ενθυλάκωση.

9.2.1.7. Κτίρια

Σύμφωνα με μερικές πρόσφατες εξελίξεις, το κτίριο μηδενικής ενέργειας και το κτίριο σχεδόν μηδενικής ενέργειας έχει κερδίσει την παγκόσμια προσοχή και τώρα λογίζεται σαν τη μελλοντική εκδοχή του κτιρίου. Από τότε που τέτοια κτίρια είναι το επίκεντρο της προσοχής πολλές βελτιώσεις σε αυτή την περιοχή έχουν αναφερθεί. Παρακάτω θα δούμε κάποια στοιχεία από τη βιβλιογραφία για τα συστατικά του κελύφους αυτών των τύπων κτιρίων. Προσπαθούμε να παρέχουμε την κατάσταση των διάφορων συστατικών του κτιριακού κελύφους όπως τα υλικά μόνωσης, μελλοντικά υλικά μόνωσης, τοίχοι, στέγες, παράθυρα, πόρτες και παράθυρα από την άποψη της ενεργειακής απόδοσης.

Τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού έχουν τη σημαντικότερη επίδραση στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων του τριτογενή τομέα. Το κέλυφος επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή ζήτηση των Η/Μ συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού, δεδομένου ότι καθορίζει τα φορτία θέρμανσης, ψύξης και τον εισερχόμενο φυσικό φωτισμό. Αναβαθμίζοντας το κτιριακό κέλυφος, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση, μέσω της μείωσης των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων. Σε μερικές περιπτώσεις, με την εφαρμογή στοιχείων κελύφους υψηλής αποδοτικότητας μπορεί να αποφευχθεί η χρήση των Η/Μ συστημάτων. Αναλόγως της τρέχουσας απόδοσης του κελύφους, η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να φτάσει έως και το 50% με εφαρμογή ενός εκτεταμένου σχεδίου ανακαίνισης (π.χ. εφαρμόζοντας συνδυασμό μέτρων ή εφαρμόζοντας σχέδιο πλήρους ανακαίνισης των όψεων που μπορεί να φτάνει έως την εφαρμογή 'διπλού κελύφους'.

Προσδιορίζοντας το κέλυφος του κτιρίου έχουμε:

Χωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες (κάθε ζώνη θα είναι τμήμα του κτιρίου στο οποίο πρέπει να εξασφαλίζονται οι ίδιες θερμοκρασιακές συνθήκες) και περιγραφή για κάθε ζώνη:

- ✓ Παράθυρα: τύπος υαλοπινάκων και πλαισίων, ποσοστό διαφανούς και αδιαφανούς επιφάνειας και προσανατολισμός
- ✓ Εξωτερικοί τοίχοι: τύπος κατασκευής (υλικά επιστρώσεων), εμβαδόν και προσανατολισμός, θερμοχωρητικότητα (χαμηλή, μέση, υψηλή), ανακλαστικότητα.
- ✓ Δάπεδο και Οροφή: τυπολογία, γεωμετρία και ανακλαστικότητα.
- ✓ Συστήματα σκιασμού (εάν υπάρχουν): τυπολογία (εσωτερικά ή εξωτερικά) και γεωμετρία, θερμικές και οπτικές ιδιότητες
- ✓

9.2.1.7.1. Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας με Άμεση Εφαρμογή Κτιριακό Κέλυφος

Αναλόγως της κλιματικής συνθήκης, της υφιστάμενης κατάστασης και των συνθηκών λειτουργίας του κτιρίου, η ενεργειακή απόδοση του συστήματος του κελύφους μπορεί να βελτιωθεί με την εφαρμογή των ακόλουθων μέτρων:

ἰ. Έλεγχος των θερμικών απωλειών και κερδών από τις διαφανείς επιφάνειες με χρήση κατάλληλων πλαισίων και υαλοπινάκων.

ἱἰ. Βελτίωση της θερμομόνωσης τοίχων, οροφών και δαπέδων με χρήση μονωτικών υλικών μεγαλύτερου πάχους.

ἱἱἰ. Βελτίωση της θερμομόνωσης όλου του κτιρίου με εφαρμογή διπλού κελύφους στις όψεις (διαφανούς ή αδιαφανούς το οποίο είναι ευκολότερο στο σχεδιασμό του και τον έλεγχό του)

ἱἱἰἰ. Έλεγχος θερμικών κερδών από τις διαφανείς επιφάνειες με χρήση κατάλληλων συστημάτων σκιασμού.

ἱἱἰἰἰ. Μείωση της αεροπερατότητας του κελύφους (μέσω των πλαισίων των ανοιγμάτων, μέσω ρωγμών και μέσω των συνδετικών στοιχείων των διαφόρων τμημάτων του κελύφους).

ἱἱἰἰἰἰ. Μείωση του ύψους των χώρων και της διαστρωμάτωσης του αέρα (σε κλίματα όπου κυριαρχούν οι ανάγκες ψύξης).

ἱἱἰἰἰἰἰ. Σχεδιασμός και έλεγχος των ανοιγμάτων ώστε να επιτρέπουν τον αερισμό και να μειώνουν τις απώλειες θέρμανσης / ψύξης (στην περίπτωση μηχανικού αερισμού, να γίνεται ανάκτηση θερμότητας από τον εξερχόμενο αέρα).

ἱἱἰἰἰἰἰἰ. Έλεγχος των θερμικών κερδών από τις αδιαφανείς επιφάνειες με αλλαγή της ανακλαστικότητας του εδάφους.

ἱἱἰἰἰἰἰἰἰ. Χρήση βλάστησης για τον σκιασμό των επιφανειών κατά τη θερινή περίοδο και για τη μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας του άμεσου περιβάλλοντος του κτιρίου, μέσω της εξατμιστικής ψύξης και της διαπνοής.

Ο βέλτιστος συνδυασμός διαφόρων μέτρων οδηγεί και στη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας.

Η βελτίωση της θερμικής απόδοσης μεμονωμένων στοιχείων θα πρέπει να συνοδεύεται από ομοιόμορφη θερμομόνωση του κελύφους ώστε να αποφεύγονται οι θερμογέφυρες. Η θερμομόνωση είναι θεμελιώδης παράμετρος σε κλίματα όπου κυριαρχούν οι ανάγκες θέρμανσης, αλλά αποτελεί πλεονέκτημα και σε κλίματα όπου κυριαρχούν ψυκτικές ανάγκες, παρότι τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται με το συνδυασμό θερμομόνωσης και θερμικής ικανότητας και με την εξασφάλιση φυσικού αερισμού και συστημάτων σκιασμού.

ἱἰ. Υαλοπίνακες

Τα ανακλαστικά συστήματα υαλοπινάκων μπορούν να εξασφαλίσουν συντελεστές θερμομόνωσης παρόμοιους με αυτούς των αδιαφανών στοιχείων (αυτά τα συστήματα έχουν ενταχθεί ήδη στους κανονισμούς και εφαρμόζονται στις βόρειες χώρες). Τα συστήματα υαλοπινάκων και οι διαφανείς όψεις είναι πολύ σημαντικά στοιχεία του κελύφους γιατί επιτρέπουν την άμεση είσοδο φυσικού φωτισμού και ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται υπερθέρμανση κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Οι υαλοπίνακες νέας τεχνολογίας με ειδική επεξεργασία, μπορούν να επιτρέπουν την είσοδο ηλιακής ακτινοβολίας στο ορατό μέρος του φάσματος ώστε να εξασφαλίζουν επαρκή φυσικό φωτισμό και μειωμένα θερμικά κέρδη.

Οι κύριες παράμετροι για την επιλογή κατάλληλων υαλοπινάκων είναι:

✓ **Συντελεστής Θερμοπερατότητας U:** Η θερμική ισχύς ανά μονάδα επιφανείας, η οποία μεταδίδεται εντός / εκτός του κτιρίου και οφείλεται στη θερμοκρασιακή διαφορά ανά βαθμό (W/m^2K). Χαμηλές τιμές U εξασφαλίζουν σημαντική μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη χειμερινή περίοδο.

✓ **Συντελεστής ηλιακής ενέργειας g:** ο λόγος της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας προς την ενέργεια που μεταδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Χαμηλές τιμές g εξασφαλίζουν μείωση των ηλιακών κερδών.

✓ **Συντελεστής Φωτοδιαπερατότητας v:** το ποσοστό της προσπίπτουσας φωτεινής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτίριο. Υψηλές τιμές εξασφαλίζουν υψηλές στάθμες φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους.

Κάποιες από τις επιλογές που έχουμε ως προς τους υαλοπίνακες συνοψίζονται παρακάτω:

- ✓ Μονοί και Διπλοί Υαλοπίνακες
- ✓ Θερμοανακλαστικοί Υαλοπίνακες
- ✓ Υαλοπίνακες ελέγχου ηλιακής ακτινοβολίας

Στην ανάλυση μας λαμβάνουμε υπόψη και το πλαίσιο των υαλοπινάκων εννοώντας το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένα.

Θερμοπερατότητα αδιαφανών επιφανειών

Η θερμοπερατότητα των αδιαφανών επιφανειών μπορεί να μειωθεί με βελτίωση της θερμομόνωσης, η οποία συνήθως επιτυγχάνεται με την εφαρμογή πρόσθετης στρώσης μονωτικού υλικού. Όσον αφορά τη θερμομόνωση των τοίχων αναφέρουμε:

- ✓ Βελτίωση της θερμομόνωσης της τοιχοποιίας, με τοποθέτηση πρόσθετης θερμομόνωσης εξωτερικά
- ✓ Βελτίωση της θερμομόνωσης της τοιχοποιίας με τοποθέτηση πρόσθετης θερμομόνωσης στο διάκενο (εάν υπάρχει)
- ✓ Βελτίωση της θερμομόνωσης της τοιχοποιίας, με τοποθέτηση πρόσθετης θερμομόνωσης εσωτερικά
- ✓ Βελτίωση της θερμομόνωσης της τοιχοποιίας χώρων, της οποίας τμήματα βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του εξωτερικού εδάφους, με τοποθέτηση θερμομόνωσης εσωτερικά
- ✓ Βελτίωση της θερμομόνωσης της τοιχοποιίας χώρων, της οποίας τμήματα βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του εξωτερικού εδάφους, με τοποθέτηση θερμομόνωσης εξωτερικά
- ✓ Βελτίωση της θερμομόνωσης του δαπέδου (των τμημάτων που βρίσκονται σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους)
- ✓ Τοποθέτηση μόνωσης σε τοίχους που βρίσκονται πίσω από θερμαντικά σώματα
- ✓ Περιορισμός των θερμογεφυρών του κελύφους
- ✓ Βελτίωση της θερμομόνωσης της οροφής με χρήση φράγματος ακτινοβολίας (λεπτό φύλλο ή επίστρωση υλικού υψηλής ανακλαστικότητας στην υπέρυθη ακτινοβολία, συνήθως φύλλο αλουμινίου, το οποίο εφαρμόζεται στη μία ή και στις δύο πλευρές των υλικών του υποστρώματος)
- ✓ Βελτίωση της θερμομόνωσης της οροφής με δημιουργία αεριζόμενου διάκενου (αυτή η λύση σε συνδυασμό με φράγμα ακτινοβολίας δίνει καλύτερα αποτελέσματα)

Θερμική Μάζα

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό μέτρο και εφαρμόζεται κυρίως σε νέα κτίρια, αλλά σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να εφαρμοστεί και σε ανακαινιζόμενα. Η θερμική μάζα αποθηκεύει ενέργειας και μειώνει έτσι τις ημερήσιες και εποχιακές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας δεν γίνεται σε όλη τη θερμική μάζα. Λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια των ημερήσιων θερμοκρασιακών μεταβολών και το πάχος της τοιχοποιίας που χρησιμεύει ως θερμική αποθήκη μπορεί να υπολογιστεί. Επίσης, η θερμική μάζα εξασφαλίζει χρονική υστέρηση –η χρονική διαφορά που παρατηρείται η μέγιστη θερμοκρασία μεταξύ της εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας. Είναι συνεπώς πολύ σημαντικό στοιχείο της στρατηγικής για μείωση τόσο των θερμικών απαιτήσεων κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, όσο και των απαιτήσεων ψύξης κατά τη διάρκεια του θέρους. Η θερμική μάζα επηρεάζει τη θερμική άνεση, δεδομένου ότι επηρεάζει τη θερμοκρασία των επιφανειών και τη θερμοκρασία του αέρα (η θερμική άνεση των ενοίκων καθορίζεται και από τις δύο θερμοκρασίες και τον συνδυασμό τους).

Για να είναι αποτελεσματική, η θερμική μάζα θα πρέπει να είναι σε επαφή με το εσωτερικό περιβάλλον. Γι αυτό συνιστάται:

- ✓ Η θερμομόνωση να τοποθετείται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει μέρος του πάχους του τοίχου να είναι μεταξύ της θερμομόνωσης και του εσωτερικού αέρα (αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση της θερμομόνωσης στο ενδιάμεσο της διπλής τοιχοποιίας ή εξωτερικά)
- ✓ Να αποφεύγονται ψευδοροφές και ψευδοπατώματα, τα οποία δημιουργούν διάκενο αέρα μεταξύ της μάζας και του εσωτερικού περιβάλλοντος, απομονώνοντας έτσι, σε μεγάλο ποσοστό, τον εσωτερικό αέρα από τη θερμική μάζα.
- ✓ Επιπλέον, για να μπορεί η θερμική μάζα να αποθηκεύει, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, τη θερμική ενέργεια που εισέρχεται στο κτίριο από τις διαφανείς επιφάνειες θα πρέπει να έχει επιφάνεια με υψηλό συντελεστή απορροφητικότητας.

Διπλοκέλυφες όψεις

Οι διπλοκέλυφες και οι αεριζόμενες όψεις, σε νέα και σε υφιστάμενα κτίρια, είναι αποτελεσματικές στρατηγικές, τόσο σε ψυχρά όσο και σε θερμά κλίματα. Αυτά τα παθητικά συστήματα επηρεάζουν σημαντικά τον αερισμό, τα ηλιακά κέρδη και τις θερμικές απώλειες και συνεπώς πρέπει να σχεδιάζονται από ειδικούς και να λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες κάθε κτιρίου.

Το δεύτερο κέλυφος μπορεί να είναι διαφανές ή αδιαφανές, αναλόγως με τις ανάγκες θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού του κτιρίου και το διάκενο μπορεί να είναι φυσικά ή μηχανικά αεριζόμενο. Οι διαφανείς διπλές όψεις παρουσιάζουν αρκετές δυσκολίες στο σχεδιασμό και στη λειτουργία, για αυτό και η επιλογή αυτής της λύσης απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Ένα απλό, φυσικά αεριζόμενο δεύτερο κέλυφος, που αποτελείται από στεγανό και θερμομονωμένο πανέλο και διπλά παράθυρα, μπορεί να είναι μια πολύ καλή εναλλακτική λύση για τη βελτίωση της θερμομόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας.

Οι διπλοκέλυφες όψεις μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την προστασία του κτιρίου από υπερθέρμανση. Το εξωτερικό κέλυφος παρέχει σκιασμό στο εσωτερικό κέλυφος, ενώ ο αερισμός του διάκενου απομακρύνει τη θερμική ενέργεια η οποία διαπερνά το εξωτερικό κέλυφος. Το ιδανικό σύστημα σ' αυτή την περίπτωση είναι ένα εξωτερικό κέλυφος μικρής μάζας με υψηλό συντελεστή ανακλαστικότητας στην εξωτερική του επιφάνεια (για τη μείωση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας) και εσωτερική πλευρά με χαμηλή διαπερατότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία (low-e) (για τη μείωση της θερμικής ανταλλαγής μεταξύ των δύο στοιχείων του διπλού κελύφους). Ο ελεύθερος χώρος που δημιουργείται μεταξύ των δύο στοιχείων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ένταξη κινητών συστημάτων σκιασμού αλλά και για την επίτευξη φυσικής κυκλοφορίας του αέρα με την ένταξη ανοιγμάτων μεταξύ του κτιρίου και του διάκενου.

Ψ. Διατάξεις Σκιασμού

Για την παροχή αποτελεσματικής προστασίας από την ηλιακή ακτινοβολία, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι σκιάστρων. Τα σκιάστρα απαιτούν κατάλληλο προσανατολισμό, διαστασιολόγηση και χωροθέτηση και μπορεί να παρέχουν προστασία σε όλη την εξωτερική τοιχοποιία όταν συνδυάζονται με τα υποστυλώματα, τους εξώστες και τους προβόλους.

Η απόδοση ενός σκιάστρου εκφράζεται με τον *Συντελεστή Σκίασης (S.C)*:

ο λόγος g του παραθύρου / g του απλού υαλοπίνακα, όπου g είναι ο συντελεστής ηλιακής ενέργειας.

Τύποι σκιάστρων:

Κινητές διατάξεις: Έχουν το πλεονέκτημα της ελεγχόμενης λειτουργίας και της προσαρμογής της κλίσης τους.

Εσωτερικά σκιάστρα: Είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα προστασίας. Η κύρια λειτουργία τους είναι ο έλεγχος της στάθμης και της κατανομής του φωτισμού.

Εξωτερικά σκιάστρα: έχουν το πλεονέκτημα ότι αποτρέπουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο (όπως και όλες οι εξωτερικές διατάξεις) και συνεπώς είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στον έλεγχο του θερμικού περιβάλλοντος.

Σκιάστρα ενδιάμεσης τοποθέτησης: Πρόκειται για διατάξεις που επιτρέπουν την τοποθέτηση των σκιάστρων μεταξύ των δύο φύλλων των υαλοπινάκων. Αποτρέπουν την είσοδο της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας, αλλά επιτρέπουν επίσης της είσοδο ακτινοβολίας κατά τη χειμερινή περίοδο, με κατάλληλη κλίση.

Τέντες - κινητά πετάσματα: Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των σταθερών διατάξεων και την ευελιξία των κινητών.

Σταθερές διατάξεις: είναι διατάξεις ειδικά σχεδιασμένες για συγκεκριμένο κτίριο και είναι μικρότερης ευελιξίας από τις κινητές

Προεξοχές - Πρόβολοι: Είναι πολύ διαδεδομένα συστήματα στις περιοχές με θερμό κλίμα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους είναι ότι, εάν τοποθετηθούν σωστά, επιτρέπουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας όταν ο ήλιος είναι χαμηλά (το χειμώνα) και την αποτρέπουν το καλοκαίρι (αποτρέπουν επίσης και μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας).

Ανακλαστικές διατάξεις (ράφια) φωτισμού: Είναι ένα πολύ αποτελεσματικό σύστημα το οποίο μπορεί να συνδυάσει έλεγχο του φυσικού φωτισμού και σκιασμό. Είναι οριζόντιες ανακλαστικές επιφάνειες που τοποθετούνται στο ψηλότερο τμήμα και μέσα στα ανοίγματα ή ακριβώς έξω από αυτά.

Περσίδες: Παρόλο που οι περσίδες χρησιμοποιούνται συνήθως ως σταθερές διατάξεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως κινητές.

Ψ. Αεροστεγανότητα

Η μείωση της αεροπερατότητας μπορεί να συνεισφέρει έως και 20% στην εξοικονόμηση ενέργειας, σε κλίματα που κυριαρχούν οι ανάγκες θέρμανσης. Τα παράθυρα και οι πόρτες αποτελούν συνήθως τα αδύνατα σημεία του κελύφους και απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό, καθώς και τα συνδεδεμένα στοιχεία του σκελετού του κτιρίου και της τοιχοποιίας.

❖ Μείωση του ύψους του χώρου

Η μείωση του ύψους του χώρου μειώνει τη διαστρωμάτωση του αέρα. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση του όγκου του αέρα που απαιτείται να θερμανθεί κατά τη χειμερινή περίοδο.

❖ Σχεδιασμός και έλεγχος των ανοιγμάτων

Μέτρα που μπορούν να συνεισφέρουν στο έλεγχο του αερισμού (οριζόντιου και κατακόρυφου) και στην εξοικονόμηση ενέργειας:

- ✓ Έλεγχος ανοίγματος θυρών και παραθύρων (χειροκίνητος ή αυτόματος)
- ✓ Κατάλληλος σχεδιασμός των παραθύρων για εξασφάλιση αερισμού
- ✓ Έλεγχος του ανοίγματος των θυρών μεταξύ ζωνών με διαφορετικές θερμοκρασίες ρύθμισης
- ✓ Χρήση κλιμακοστασίων και αιθρίων για κατακόρυφο αερισμό

Επίσης, στη φάση του σχεδιασμού του κτιρίου, μπορεί να υιοθετηθεί ο διαχωρισμός της λειτουργίας τμημάτων των ανοιγμάτων ώστε να εξασφαλίζεται αερισμός αλλά και ασφάλεια των χώρων, μέσω της τοποθέτησης προστατευτικών μεταλλικών πλεγμάτων, καθώς και η προσθήκη ανοιγμάτων για παροχή επιπλέον φυσικού φωτισμού, παράλληλα με τα υπόλοιπα ανοίγματα.

❖ Ανακλαστικότητα εξωτερικών επιφανειών

Η ανακλαστικότητα των εξωτερικών επιφανειών είναι θεμελιώδες χαρακτηριστικό και μπορεί σχετικά εύκολα να διαφοροποιηθεί με απλή επεξεργασία των επιφανειών, όπως η εφαρμογή ανακλαστικής βαφής στην οροφή του κτιρίου και στους εξωτερικούς τοίχους.

Στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική, σε θερμά κλίματα, είναι εκτεταμένη η χρήση εξωτερικών λευκών επιφανειών (π.χ. στην περιοχή της Μεσογείου). Οι λευκές οροφές και οι λευκοί τοίχοι απορροφούν μικρότερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας από τις σκουρόχρωμες επιφάνειες. Η βιομηχανική έρευνα έχει δώσει προϊόντα βαφής σκούρων αποχρώσεων που εφαρμόζονται για τη δημιουργία 'ψυχρών' οροφών και ανακλούν την υπέρυθη ακτινοβολία η οποία αντιστοιχεί στο ήμισυ της ενέργειας του ηλιακού φωτός. Οι 'ψυχρές' οροφές και τοίχοι ανακλούν μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε σύγκριση με τις συμβατικές επιφάνειες, εξασφαλίζοντας έτσι χαμηλότερες θερμοκρασίες στο εσωτερικό των κτιρίων, με συνέπεια τη μείωση της χρήσης ενέργειας για κλιματισμό και τη μείωση του φαινομένου της 'θερμής νήσου' στις αστικές περιοχές. Εάν το κτιριακό κέλυφος είναι καλά μονωμένο και η θερμομόνωση είναι τοποθετημένη εξωτερικά, τα θερμικά κέρδη κατά το χειμώνα προέρχονται μόνο από τα ανοίγματα. Συνεπώς, οι επιφάνειες υψηλής ανακλαστικότητας δεν επιβαρύνουν τη χειμερινή λειτουργία.

❖ Χρήση Φύτευσης

Η εξωτερική φύτευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μερικό σκιασμό των κτιριακών όψεων και για τη μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας κατά τους θερινούς μήνες. Τα φυτά απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν υδρατμούς, με αποτέλεσμα να ψυχραίνουν τον αέρα στο άμεσο περιβάλλον.

Είναι επίσης δυνατό να χρησιμοποιηθεί φύτευση για τη δημιουργία 'πράσινων' οροφών και όψεων: το έδαφος και τα φυτά που καλύπτουν την επιφάνεια του κτιρίου παρέχουν θερμομόνωση και αυξάνουν τη θερμοχωρητικότητα. Έχουν συνεπώς πολύ θετική επίδραση σε κλίματα με ψηλές απαιτήσεις ψύξης.

Χρησιμοποιούνται κυρίως φυλλοβόλα φυτά, ώστε να επιτρέπουν τα θερμικά κέρδη κατά τη χειμερινή περίοδο. Για τη δημιουργία διάκενου μεταξύ της τοιχοποιίας και της φύτευσης, ώστε να εξασφαλίζεται αερισμός αλλά και προστασία των επιφανειών από την ανάπτυξη των φυτών, χρησιμοποιούνται μεταλλικά πλέγματα για τη στήριξη των αναρριχόμενων φυτών, σε απόσταση 30-40 εκ. από την τοιχοποιία.

“Κτίρια με ...μεταβαλλόμενες όψεις ή με στοιχεία ικανά να προσαρμόζονται αυτόματα στις καιρικές συνθήκες, δημιουργούν σταδιακά η βιοκλιματική αρχιτεκτονική και η νανοτεχνολογία στον χώρο των δομικών υλικών, ανοίγοντας νέες προοπτικές στις κατασκευές και τη θερμομόνωση παγκοσμίως.”

Από την απλή τέντα μέχρι τα αυτοματοποιημένα συστήματα συναντάμε κυρίως σε μεγάλα κτίρια στο εξωτερικό, πχ, στη Γερμανία ή τη Μ.Βρετανία, οι δυνατότητες που έχουμε για την ηλιοπροστασία και την προστασία από την επίδραση των θερμικών μεταβολών, είναι πλέον πολλές.

Με τη **νανοτεχνολογία** θα υπάρχει η δυνατότητα να κατασκευάζονται σπίτια με πολύ μικρότερο όγκο από τα τωρινά, προσαρμοσμένα στο κλίμα της περιοχής που θα βρίσκονται, και επίσης θα είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο που θα προστατεύουν τα σπίτια από τις καυτές ακτίνες του ήλιου τους καλοκαιρινούς μήνες ώστε να μη θερμαίνονται οι εσωτερικοί χώροι των σπιτιών γεγονός που προκαλεί δυσφορία στα σπίτια τους καλοκαιρινούς μήνες. Για παράδειγμα, υπάρχουν υλικά νανοτεχνολογίας που φωτοδιαγείρονται, γίνονται πιο συμπαγή ή αλλάζουν χρώμα όταν τα βλέπει ο ήλιος ή και «έξυπνα» υλικά που σφραγίζουν τα «ανοίγματα» του κτιρίου.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον κατασκευαστικό κλάδο παρουσιάζουν και τα Υλικά Αλλαγής Φάσης (PCMs-Phase Changing Materials), τα οποία -με απλά λόγια- μπορούν να αποθηκεύουν σε μικρή επιφάνεια επαρκείς ποσότητες θερμότητας.

Η λανθάνουσα θερμότητα, που αποδίδουν κατά την αλλαγή φάσης τους (πχ, κατά τη μεταβολή τους από τη στερεά στην υγρή ή από την υγρή στην αέρια μορφή τους), ανοίγει νέους δρόμους για την ενεργειακή εξοικονόμηση στον κτιριακό τομέα (και όχι μόνο).

Έτσι, αντί για έναν χοντρό τοίχο από πέτρα, μπορούμε να έχουμε έναν πολύ πιο λεπτό με σχεδόν ισοδύναμα αποτελέσματα. Πριν 20 χρόνια, όλα αυτά θεωρούνταν εντελώς πειραματικά και σήμερα ενσωματώνονται ακόμη και σε γυψοσανίδες. Προς το παρόν, η νανοτεχνολογία έχει πολύ μικρό μερίδιο στην αγορά μόνωσης/θερμικής διαχείρισης του κτιριακού τομέα. Τα προϊόντα του είδους που κυκλοφορούν στην αγορά έχουν υψηλή τιμή και εγκαθίστανται σε μικρό, μόνο, αριθμό κτιρίων, συνήθως πιλοτικά. Ωστόσο, είναι ξεκάθαρο ότι ο τομέας αναπτύσσεται.

Τα ΥΑΦ έχουν ληφθεί υπόψη στην αποθήκευση θερμότητας στα κτίρια από το 1980. Με την εμφάνιση των ΥΑΦ εφαρμοσμένα στο κέλυφος του κτιρίου και ιδιαίτερα στον τοίχο Trombe, στην τοιχοποιία, στα παραθυρόφυλλα, σε υπεδαπέδια συστήματα θέρμανσης και σε οροφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μέρος ενός κτιρίου για εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης. Έρευνα, ανάπτυξη και δοκιμές πραγματοποιήθηκαν για πρωτοτυπίες στην τοιχοποιία με ΥΑΦ και στα συστήματα μπετόν με ΥΑΦ για να βελτιώσουν την ικανότητα αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας της τυπικής γυψοσανίδας και του μπετόν με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο μέγιστο φορτίο και στη χρήση της ηλιακής ενέργειας.

Η εφαρμογή των ΥΑΦ στα κτίρια μπορεί να έχει δυο διαφορετικούς στόχους. Πρώτον, η χρήση φυσικής θερμότητας που είναι η ηλιακή ενέργεια για θέρμανση ή η νυχτερινή δροσιά για ψύξη. Δεύτερον χρησιμοποιώντας ανθρώπινες πηγές θερμότητας ή ψύξης. Σε κάθε περίπτωση η αποθήκευση θερμότητας ή κρύου είναι απαραίτητη για να ταιριάξουμε τη διαθεσιμότητα με τη ζήτηση με συνέπεια ως προς το χρόνο και την ενέργεια. Βασικά τρεις διαφορετικοί τρόποι χρήσεις των ΥΑΦ για θέρμανση και ψύξη των κτιρίων είναι:

1. ΥΑΦ στους τοίχους των κτιρίων

2. ΥΑΦ σε άλλα συστατικά των κτιρίων πέρα από τους τοίχους και

3.ΥΑΦ σε μονάδες αποθήκευσης θερμότητας ή κρύου

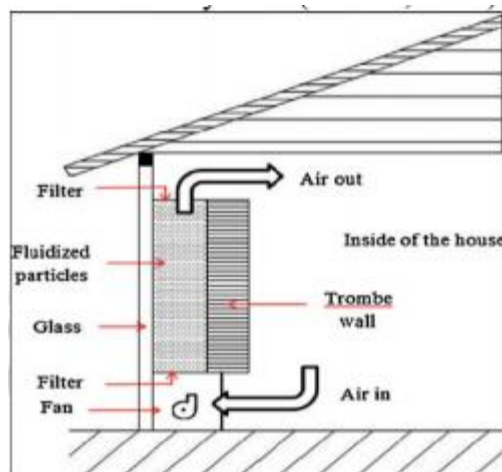
Διαφορετικές εφαρμογές για αποθήκευση λανθάνουσας θερμικής ενέργειας στα κτίρια (LHTES) δίνονται στη συνέχεια.

9.2.1.7.2. Τοίχοι

Ιδανικά, γυάλινοι τοίχοι και μεγάλα παράθυρα προτιμούνται εφόσον επιτρέπουν πολύ φως να περάσει μέσα και δίνουν την αίσθηση ενός ανοιχτού χώρου. Παρόλα αυτά χρησιμοποιώντας γυάλινους τοίχους και μεγάλα παράθυρα, η θερμική μάζα του κτιρίου μειώνεται δραματικά. Αυτό σημαίνει ότι ζεσταίνεται γρήγορα μέσα το κτίριο κατά τη διάρκεια της μέρας εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας. Χρησιμοποιώντας ένα παχύ στρώμα ΥΑΦ μέσα στους εσωτερικούς τοίχους στην άμεση διαδρομή του ηλιακού φωτός, οι τοίχοι αντανακλούν το ηλιακό φως ενώ απορροφούν τη θερμότητα που ρέει προς τα μέσα. Οι τοίχοι είναι ένα βασικό κομμάτι του κτιριακού κελύφους οι οποίοι παρέχουν θερμική και ακουστική άνεση μέσα σε ένα κτίριο χωρίς συμβιβασμούς στην αισθητική του.

9.2.1.7.2.1. Παθητικοί Ηλιακοί Τοίχοι

Τυπικά χρησιμοποιούμενοι σε κρύα κλίματα, οι τοίχοι που παγιδεύουν και μεταφέρουν την ηλιακή ενέργεια αποτελεσματικά μέσα στο κτίριο αποκαλούνται παθητικοί ηλιακοί τοίχοι. Ένα παράθυρο χρησιμοποιείται σαν εξωτερική επιφάνεια χρησιμοποιείται σαν εξωτερική επικάλυψη του τοίχου για να παρέχει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πολλές εξελίξεις προέκυψαν από τα βασικά σχέδια του κλασσικού τοίχου Trombe και του σύνθετου τοίχου Trombe-Michell. Αυτό το σχέδιο βελτίωσε την λειτουργική απόδοση του κλασσικού τοίχου Trombe κατά 56%. Ένας τοίχος Transwall είναι ένας διαφανής μοριακός τοίχος που παρέχει και θέρμανση και φωτισμό του χώρου κατοικίας.



ΣΧΗΜΑ 9.23 Παθητικοί ηλιακοί τοίχοι [2]

9.2.1.7.2.2. Τοίχοι Αποθήκευσης Λανθάνουσας Θερμότητας

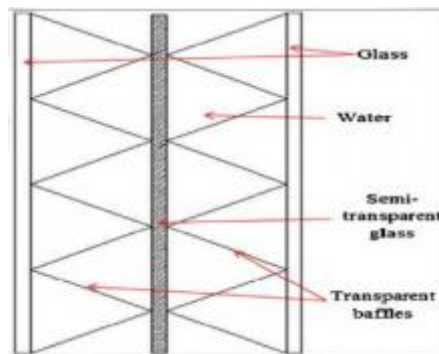
Τα υλικά αλλαγής φάσης ενσωματώνονται σε ελαφριές κατασκευές τοίχων για να βελτιώσουν την ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας. Τα ΥΑΦ συνήθως ενσωματώνονται σε γυψοσανίδες ή σε τοίχους από μπετόν. Πορώδη υλικά όπως είναι η γυψοσανίδα έχουν καλύτερη δυνατότητα ενσωμάτωσης των ΥΑΦ σε σχέση με τους τιμεντόλιθους από ελαφρόπετρα. Οι μικροκάψουλες των ΥΑΦ σε δομικά υλικά έχει επιτρέψει την αναλογία βάρους των ΥΑΦ σε περίπου 30% μέσα στις γυψοσανίδες. Τα τελευταία χρόνια

έχουμε δει την έλευση νέων σύνθετων υλικών τα οποία μπορούν να ενσωματώσουν ΥΑΦ πάνω από 60% κατά βάρος.

Οι Athienitis et al. σύγκριναν τις γυψοσανίδες με ΥΑΦ και τις γυψοσανίδες χωρίς αυτά για εσωτερική επένδυση τοίχων και συμπέραναν ότι οι τοίχοι που βασίζονταν στα ΥΑΦ μείωναν τη μέγιστη θερμοκρασία του δωματίου κατά 4°C και μείωναν επίσης τη ζήτηση θέρμανσης κατά τη διάρκεια της νύχτας.

9.2.1.7.2.3. Τοίχος Trombe

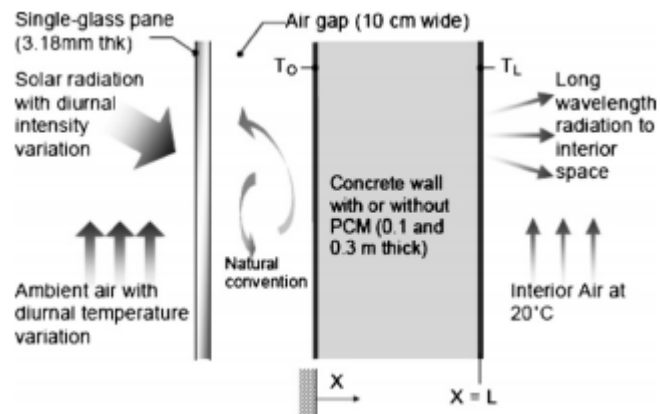
Πολλοί μελετητές έχουν προτείνει τη συμπερίληψη των ΥΑΦ σε τμήματα τοίχων, οροφές και δάπεδα ώστε να χρησιμεύουν ως ρυθμιστές θερμοκρασίας. Τα ΥΑΦ έχουν χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσουν την τεκτονική σε έναν τοίχο Trombe. Πειραματικές και θεωρητικές δοκιμές έχουν διεξαχθεί για να ερευνήσουν την αξιοπιστία των ΥΑΦ σαν μέρος του τοίχου Trombe. Για μια δεδομένη ποσότητα αποθήκευσης θερμότητας, οι μονάδες αλλαγής φάσης απαιτούν λιγότερο χώρο από ότι οι τοίχοι νερού και η μάζα των τοίχων Trombe είναι τέτοια ώστε είναι πολύ ελαφρύτεροι σε βάρος. Υπάρχουν επομένως πολλά οφέλη από τη χρήση τους στις μετέπειτα εφαρμογές τους στα κτίρια.



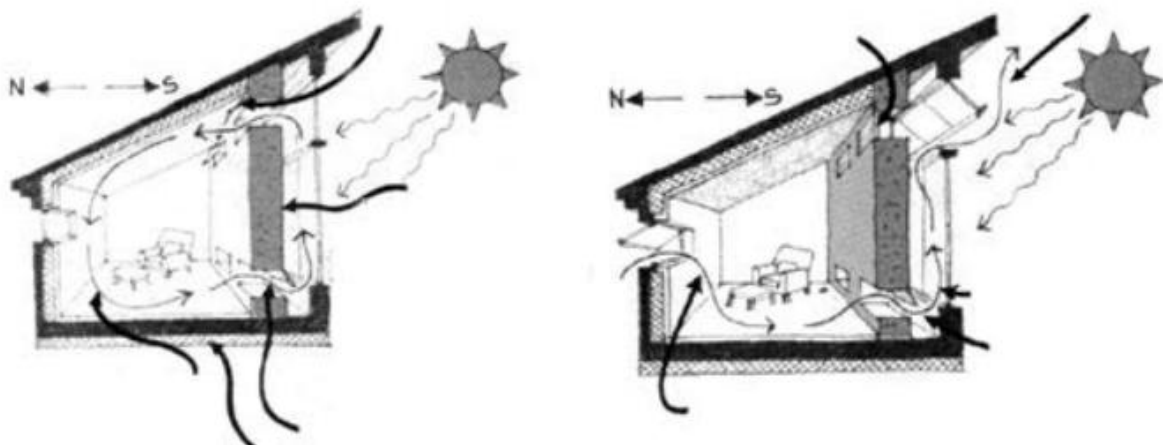
ΣΧΗΜΑ 9.24 Τοίχος Trombe [2]

Τα κοινώς χρησιμοποιούμενα ΥΑΦ είναι τα ένυδρα άλατα και οι υδρογονάνθρακες. Μεταλλικά πρόσθετα χρησιμοποιήθηκαν για αύξηση της συνολικής αγωγιμότητας και αποτελεσματικότητας. Για να παρέχουμε μια καλύτερη εικόνα του πόσο τα ΥΑΦ αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της θερμικής απόδοσης ενός συνηθισμένου τοίχου Trombe για παθητική ηλιακή θέρμανση. Η ανάλυση εκτίμησε την παροδική θερμοκρασία ενός συνηθισμένου τοίχου Trombe από μπετόν που είχε πάχη 30cm και 10cm. Τα δεδομένα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με αυτά τοίχου ίδιας σχεδιαστικής διαμόρφωσης αλλά έχοντας 20% λιγότερο βάρος χρησιμοποιώντας ένα ΥΑΦ τύπου παραφίνης αναμεμιγμένο ομογενώς μέσα στο υλικό του τοίχου από μπετόν.

Οι Castellon et al. μελέτησαν πρόσφατα έναν τοίχο Trombe ο οποίος προστέθηκε στη νότια πρόσοψη για να ερευνήσουν αν η επίδραση των ΥΑΦ μπορεί να χρησιμεύσει κατά τη διάρκεια όλου του έτους στα μεσογειακά κλίματα μειώνοντας τόσο τις απαιτήσεις θέρμανσης όσο και ψύξης. Η διαμόρφωση του τοίχου Trombe φαίνεται στο σχήμα 9.25.



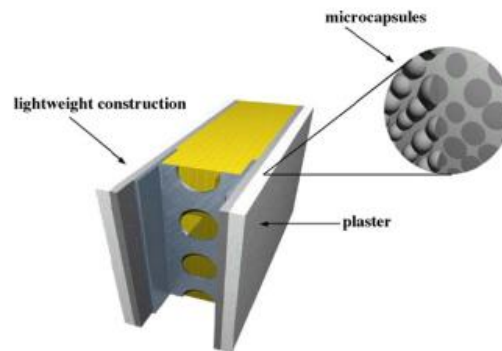
ΣΧΗΜΑ 9.25 Διαμόρφωση του υπό δοκιμή μοντέλου τοίχου Trombe [2]



ΣΧΗΜΑ 9.26 Αεριζόμενος τοίχος Trombe: λειτουργία το χειμώνα και το καλοκαίρι [3]

Ο Bourdeau δοκίμασε δυο τοίχους σαν παθητικούς συλλέκτες αποθήκευσης χρησιμοποιώντας χλωρίδιο του ασβεστίου σαν ΥΑΦ με σημείο τήξης τους 29°C . Συμπέρανε ότι ένας τοίχος από ΥΑΦ πάχους $8,1\text{cm}$ έχει ελαφρώς καλύτερη θερμική απόδοση από ότι ένας λίθινος τοίχος πάχους 40cm . Πειραματικές και θεωρητικές δοκιμές εκτελέστηκαν για να διερευνηθούν την αξιοπιστία των ΥΑΦ στον τοίχο trombe χρησιμοποιώντας δεκάνυδρο θειικό άλας του νατρίου (σημείο τήξης 32°C) σαν υλικό αλλαγής φάσης στον τοίχο νότιου προσανατολισμού. Ανέφεραν επίσης ότι ο εν λόγω τοίχος με ΥΑΦ μικρότερου πάχους ήταν πιο επιθυμητός για παροχή αποτελεσματικής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Ένας γνώστης χρησιμοποίησε παραφίνη κεριού με μεταλλικά πρόσθετα για αύξηση της συνολικής αγωγιμότητας και αποτελεσματικότητας στον τοίχο Trombe.

Οι Stritih και Novak παρουσίασαν ένα ηλιακό τοίχο για τον αερισμό ενός κτιρίου ο οποίος απορροφούσε ηλιακή ενέργεια σε μαύρη κέρμη παραφίνη (σημείο τήξης $25\text{-}30^{\circ}\text{C}$). Η αποθηκευμένη θερμότητα χρησιμοποιήθηκε για τη θέρμανση του αέρα για τον αερισμό του σπιτιού. Η απόδοση της απορρόφησης βρέθηκε να είναι 79% . Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης έδειξε ότι το πλαίσιο υπαγορεύει την ποσότητα της αποθηκευμένης θερμότητας σαν αισθητής ή λανθάνουσας και ότι το σημείο τήξης των ΥΑΦ έχει μια επιρροή στην θερμοκρασία αέρα εξόδου. Η ανάλυση για την περίοδο θέρμανσης έδωσε ένα βέλτιστο πάχος 50mm και το σημείο τήξης μερικούς βαθμούς πάνω από τη θερμοκρασία δωματίου.



ΣΧΗΜΑ 9.27 Σχηματική άποψη ενός ελαφριού τοίχου. Οι μικροκάψουλες ΥΑΦ είναι ενσωματωμένες στο εσωτερικό πλαστικό [9]

9.2.1.7.2.4. Εποχιακή Θερμική αποθήκευση

Σε αυτό το σημείο να αναφερθούμε και σε μια άλλη εφαρμογή των ΥΑΦ όχι τόσο άμεσα ενσωματωμένη στο κέλυφος του κτιρίου. Σε σύγκριση με τον τοίχο Trombe, ο οποίος βασίζεται στην επανάληψη συλλογής-εκπομπής μέσα σε μια μέρα, ένα σύστημα εποχιακής θερμικής αποθήκευσης υφίσταται μια επανάληψη μέσα από τις εποχές. Κατά τη διάρκεια της ζεστής εποχής, δουλεύει αντλώντας νερό από τον ηλιακό συλλέκτη που βρίσκεται στην οροφή μέσω μιας δεξαμενής ΥΑΦ κάτω από το κτίριο, αυτό λειτουργεί σαν απόρριψη θερμότητας. Κατά τη διάρκεια της κρύας εποχής, η θερμότητα που έχει συλλεχθεί κατά τη θερμή εποχή μεταφέρεται στο εσωτερικό του κτιρίου περνώντας το νερό από τα ΥΑΦ μέσα από τις σωληνώσεις κάτω από το πάτωμα. Η θερμότητα επιτρέπεται να ανέβει από το δάπεδο στο εσωτερικό του κτιρίου. Μια μεγάλη δεξαμενή ΥΑΦ απαιτείται για να αποθηκεύσουμε μια μεγάλη ποσότητα ενέργειας κατά τη διάρκεια των ζεστών εποχών.

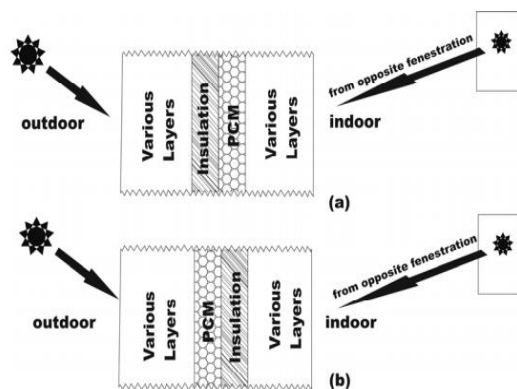
9.2.1.7.2.5. Γυψοσανίδες από ΥΑΦ

Οι γυψοσανίδες είναι φθηνές και ευρέως χρησιμοποιούμενες από μια ποικιλία εφαρμογών καθιστώντας τις ιδανικές για ενθυλάκωση. Παρόλα αυτά οι αρχές της λανθάνουσας αποθήκευσης θερμότητας θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε οποιαδήποτε κατάλληλα δομικά υλικά. Παρουσιάστηκαν επιτυχώς διαδικασίες στις οποίες το ΥΑΦ θα μπορούσε να ενσωματωθεί σε γυψοσανίδες μετά την κατασκευή εμποτίζοντας με υγρό ΥΑΦ μέσα στον πορώδη χώρο της γυψοσανίδας ή με την προσθήκη στο υγρό στάδιο της κατασκευής της γυψοσανίδας. Η ιδέα της βελτίωσης της θερμικής άνεσης των ελαφριών κτιρίων με ενσωμάτωση ΥΑΦ στη δομή τους έχει μελετηθεί σε διάφορα ερευνητικά προγράμματα στο πέρασμα πολλών δεκαετιών. Οι περισσότερες από αυτές τις προσπάθειες εφάρμοσαν μικροκάψουλες ή απευθείας διαδικασίες βύθισης οι οποίες και οι δυο παρουσίασαν αρκετά μειονεκτήματα. Εξαιτίας αυτών των προβλημάτων κανένα από αυτά τα προϊόντα ΥΑΦ δε σημείωσε επιτυχία στην ευρύτερη αγορά. Η νέα επιλογή της μικροενθυλάκωσης των ΥΑΦ, μια τεχνολογία κλειδί η οποία ξεπερνά πολλά από αυτά τα προβλήματα, μπορεί να κάνει τα προϊόντα ΥΑΦ πιο προσιτά στην κτιριακή βιομηχανία.

9.2.1.7.2.6. ΤΟΙΧΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ (T-MASS)

Οι τοίχοι θερμικής μάζας αποτελούνται από 4 ίντσες από μπετόν που αντικρίζουν το εσωτερικό, 2 ίντσες μπετόν στο εξωτερικό και 2 ίντσες από ένα υλικό διελασμένης πολυστερίνης για μόνωση στο ενδιάμεσο. Υποδοχές σύνθετων ιών σε απόσταση 16 ιντσών στο κέντρο κρατούν το συγκρότημα μαζί. Αυτά τα πλαστικά βύσματα είναι ένα από τα κλειδιά στην ενεργειακή απόδοση των τοίχων θερμικής μάζας, ισχυρίζεται ο John Gajda του εργαστηρίου κατασκευής τεχνολογιών. Άλλα συστήματα χρησιμοποιούν βύσματα ατσάλιου τα οποία εύκολα άγουν τη θερμότητα. Τα τελευταία μειώνουν σημαντικά την τιμή της

θερμικής αντίστασης και την ενεργειακή απόδοση των τοίχων. Οι τοίχοι θερμικής μάζας εμφανίζονται σε δυο μορφές: προκατασκευασμένοι και έγχυσης. Προκατασκευασμένα πάνελ κατασκευάζονται σε ένα εργοστάσιο και παραδίδονται στο χώρο εργασίας.



ΣΧΗΜΑ 9.28 Σχετική θέση των ΥΑΦ- στρώματα μόνωσης μέσα στους εξωτερικούς τοίχους των κτιρίων και περιπτώσεις ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στην επιφάνεια του εξωτερικού τοίχου ή στην αντίστοιχη του εσωτερικού μέσω του απέναντι παραθύρου. Το στρώμα ΥΑΦ βρίσκεται: (a) στην εσωτερική πλευρά του στρώματος μόνωσης, (b) στην εξωτερική πλευρά του στρώματος μόνωσης [3]

Όσον αφορά τους τοίχους έρευνες γίνονται και στη συνεισφορά της θέσης των ΥΑΦ μέσα στη δομή τους, θέμα το οποίο δεν έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή μέχρι τώρα. Ένα από τα συμπεράσματα πρόσφατων ερευνών έδειξε ότι ουσιαστικό ενεργειακό κέρδος αποκτάται με την τοποθέτηση του στρώματος ΥΑΦ στην εσωτερική πλευρά της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει απέναντι παράθυρο, το οποίο επιτρέπει στο ΥΑΦ να φορτίζεται από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Αν το απέναντι παράθυρο δεν υπάρχει, δεν υπάρχει καθόλου κέρδος ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς το στρώμα μόνωσης εμποδίζει τη φόρτιση του ΥΑΦ στην περίπτωση που η ακτινοβολία προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του εξωτερικού τοίχου. Παρόλα αυτά, η παραπάνω γνωστή συμπεριφορά των εξωτερικών τοίχων που περιέχουν ΥΑΦ και μονωτικά στρώματα μπορεί να διαφέρουν αν αλλάξουμε τα χαρακτηριστικά της μόνωσης (π.χ. πάχος στρωμάτων και/ή ειδική θερμική αγωγιμότητα). Για παράδειγμα, μια μείωση στο πάχος της μόνωσης μπορεί να διευκολύνει τη φόρτιση του ΥΑΦ από την ηλιακή ακτινοβολία στην περίπτωση που προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου, αν το στρώμα ΥΑΦ είναι τοποθετημένο στην εσωτερική πλευρά της μόνωσης.

Στην αντίθετη περίπτωση, π.χ. αν το ΥΑΦ είναι τοποθετημένο στην εξωτερική πλευρά της μόνωσης, η φόρτιση του ΥΑΦ από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα αλλά η μόνωση εμποδίζει την ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο ΥΑΦ και τον εσωτερικό χώρο. Σε αυτή την περίπτωση μια μείωση στο πάχος μπορεί να διευκολύνει την εν λόγω μεταφορά θερμότητας. Μελέτες και προσομοιώσεις με αριθμητικά μοντέλα (πεπερασμένων διαφορών συνήθως) πραγματοποιούνται για να την επίδραση των διάφορων συνδυασμών των χαρακτηριστικών τιμών της μόνωσης και των ΥΑΦ στη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων.

Για αυτό το ζήτημα διεξήχθη έρευνα δοκιμάζοντας ένα εκτεταμένο αριθμό με συνδυασμούς τιμών των ΥΑΦ και χαρακτηριστικά μόνωσης σε ένα τυπικό ελληνικό σπίτι το οποίο λήφθηκε σαν σπίτι αναφοράς υπό την επίδραση των εξωτερικών συνθηκών (θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία) του τυπικού χειμώνα της Αθήνας. Η διαδικασία αλλαγής φάσης των ΥΑΦ προσομοιώνεται με το μοντέλο Αποτελεσματικής Θερμικής Ικανότητας σε συνεργασία με τη μέθοδο της Θερμικής Καθυστέρησης. Η τελευταία αναπτύχθηκε από πρόσφατους μελετητές για τη μέτρηση της θερμικής ικανότητας των ΥΑΦ.

Η ανάλυση έγινε υπό συνθήκες παθητικής θέρμανσης και αναφέρεται στους εξωτερικούς τοίχους όπου βρίσκονται όλα τα στρώματα μόνωσης σε όλα τα σύγχρονα κτίρια. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας έχουμε:

Σε περίπτωση που το στρώμα ΥΑΦ τοποθετείται στην εσωτερική πλευρά της μόνωσης, για την περίοδο θέρμανσης, βρέθηκε ότι μια κατάλληλη μείωση στο πάχος της μόνωσης θα διευκολύνει τη φόρτιση του ΥΑΦ από την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του εξωτερικού τοίχου. Ακόμα το κέρδος από την αύξηση του φορτίου θα είναι υψηλότερο από την αύξηση της απώλειας θερμότητας που προκαλείται από την μειωμένη αποτελεσματικότητα της μόνωσης. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια ενός τυπικού Ιανουαρίου της Αθήνας, μια μείωση του πάχους του στρώματος της μόνωσης από 4cm σε 1cm θα παρέχει μια αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας αέρα πάνω από 1°C, ανάλογα με τις θερμοφυσικές ιδιότητες των ΥΑΦ, τις κλιματολογικές συνθήκες, τις λειτουργικές και τις κατασκευαστικές παραμέτρους καθώς επίσης και το σχέδιο των κτιρίων.

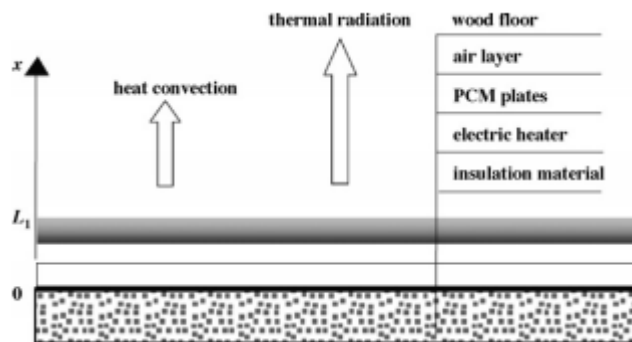
Στην αντίθετη περίπτωση π.χ. αν τα ΥΑΦ τοποθετηθούν στην εξωτερική πλευρά της μόνωσης, βρέθηκε ότι η μείωση του πάχους του στρώματος της μόνωσης θα διευκολύνει τη μεταφορά θερμότητας ανάμεσα στο φορτιζόμενο ΥΑΦ και το εσωτερικό περιβάλλον αλλά το κέρδος που αποκτάται μπορεί να είναι χαμηλότερο ή υψηλότερο από την αύξηση της απώλειας θερμότητας που προκαλείται από τη μείωση της αποτελεσματικότητας του πάχους. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια ενός τυπικού Ιανουαρίου της Αθήνας μια μείωση στο πάχος της μόνωσης από 4cm σε 1cm θα παρέχει μια αλλαγή στη θερμοκρασία του αέρα στην κλίμακα $-1 < \Delta T < 1$ ανάλογα με τις θερμοφυσικές ιδιότητες των ΥΑΦ, τις καιρικές συνθήκες και τις λειτουργικές και κατασκευαστικές παραμέτρους καθώς επίσης και το σχέδιο των κτιρίων.

Συμπεραίνεται ότι η αποτελεσματικότητα των ΥΑΦ είναι μεγαλύτερη αν αυτά τοποθετηθούν στις εσωτερικές πλευρές των στρωμάτων μόνωσης των εξωτερικών τοίχων από ότι στις εξωτερικές πλευρές. Η επίδραση του πάχους του στρώματος της μόνωσης και/ή θερμική αγωγιμότητα στην αποτελεσματικότητα των ΥΑΦ είναι αισθητή μόνο κάτω από κατάλληλους συνδυασμούς των τιμών των θερμοφυσικών ιδιοτήτων των ΥΑΦ, του σχεδίου του κτιρίου, της κατασκευής και των λειτουργικών παραμέτρων καθώς επίσης και των κλιματολογικών συνθηκών. Οι κατάλληλοι συνδυασμοί μπορεί ίσως να βρεθούν από τη διαδικασία προσομοίωσης με πεπερασμένες διαφορές. Η παρουσία των παραθύρων απέναντι από τους εξωτερικούς τοίχους βελτιώνει σημαντικά την αποτελεσματικότητα των ΥΑΦ.

9.2.1.7.3. Υπεδαπέδια Συστήματα Θέρμανσης

Το δάπεδο είναι επίσης ένα σημαντικό μέρος του κτιρίου και οι τομείς της θέρμανσης και της ψύξης των κτιρίων προσπάθησαν να το εκμεταλλευτούν. Οι Athienities και Chen ερεύνησαν την παροδική μεταφορά θερμότητας στα συστήματα θέρμανσης δαπέδων. Η έρευνα τους εστίασε στην επιρροή του στρώματος κάλυψης και της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση του δαπέδου και στην ενεργειακή κατανάλωση. Πειράματα και αποτελέσματα προσομοίωσης για ένα εξωτερικό δωμάτιο δοκιμής αποκαλύπτει ότι μια δέσμη ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να προκαλέσει μια τοπική θερμοκρασία επιφάνειας δαπέδου στην φωτισμένη περιοχή 8°C υψηλότερη από την περιοχή σκίασης. Μερικώς καλυμμένη περιοχή με χαλί αυξάνει τη θερμοκρασιακή διαφορά επιφάνειας δαπέδου πάνω από 15°C όταν απορροφάται η ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία η οποία είναι αποθηκευμένη στη θερμική μάζα του δαπέδου διαπιστώθηκε ότι μειώνει σημαντικά την κατανάλωση της ενέργειας θέρμανσης (30% ή περισσότερο). Αύξηση του πάχους της θερμικής μάζας από 5 cm σε 10 cm δεν οδήγησε σε υψηλότερη ενεργειακή εξοικονόμηση. Βελτιωμένοι αλγόριθμοι ελέγχου χρειάζεται να αναπτυχθούν για να μεγιστοποιήσουν την εξοικονόμηση ενέργειας διατηρώντας καλή θερμική άνεση.

Η ακτινοβόλουσα θέρμανση έχει έναν αριθμό πλεονεκτημάτων έναντι των συστημάτων θέρμανσης αέρα με συναγωγή. Εξοικονομεί ζωτικό και εργασιακό χώρο αφού είναι ενσωματωμένη στο κέλυφος του κτιρίου. Επίσης η θερμική μάζα ενσωματωμένη σε ένα σύστημα θέρμανσης δαπέδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση θερμικής ενέργειας κατά τις ώρες χαμηλών φορτίων. Έτσι οι αιχμές φορτίων μπορούν να μειωθούν και να μεταβούν κατά τη διάρκεια της νύχτας όταν το κόστος του ηλεκτρισμού είναι χαμηλότερο.



ΣΧΗΜΑ 9.29 Σχηματική αναπαράσταση του υπεδαπέδιου ηλεκτρικού συστήματος θέρμανσης με πλάκες σταθεροποιημένου σχήματος ΥΑΦ [9]

Από άποψη εφαρμογής, τα πυκνά υλικά, όπως είναι το μπετόν, μπορούν να προκαλέσουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας ενώ τα ΥΑΦ παρέχουν μεγάλη αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας λόγω του στενού εύρους θερμοκρασιών που απαντώνται στα κτίρια, βελτιώνοντας έτσι το επίπεδο θερμικής άνεσης. Το σχήμα 9.29 παρουσιάζει ένα σύστημα υπεδαπέδιου συστήματος θέρμανσης με σταθεροποιημένου σχήματος πλάκες ΥΑΦ που περιλαμβάνουν μόνωση πολυστερίνης, ηλεκτρικές θερμάστρες, στρώμα αέρα και ξύλινο δάπεδο. Ηλεκτρικές θερμάστρες θερμαίνουν και λιώνουν το στρώμα ΥΑΦ χρησιμοποιώντας φθηνό ηλεκτρισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας και το σύστημα αποθηκεύει θερμότητα. Κατά τη διάρκεια της μέρας οι ηλεκτρικές θερμάστρες είναι σβηστές και το στρώμα από ΥΑΦ στερεοποιείται αποδίδοντας την αποθηκευμένη θερμότητα. Σε πολλές πόλεις στην Κίνα η τιμή του ηλεκτρισμού το βράδυ είναι το 1/3 με 1/5 από αυτή που ισχύει τη μέρα. Επομένως η μετατόπιση της ηλεκτρικής κατανάλωσης από περιόδους αιχμής σε μη, θα παρέχει σημαντικά οικονομικά οφέλη. Επιπλέον είναι σημαντικό για τα εργοστάσια ηλεκτρισμού για την ομαλοποίηση του ηλεκτρικού φορτίου.

Οι Nagano et al. παρουσίασαν το σύστημα κλιματισμού με λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας στα κτίρια. Το μέγεθος του κομματιού του δαπέδου που χρησιμοποιήθηκε σαν δείγμα ήταν μόλις 0,5m². Κοκκώδεις ΥΑΦ ήταν φτιαγμένο από αφρώδη υπολείμματα γυάλινων σφαιρών και μείγμα παραφίνης. Το ΥΑΦ ήταν ενθυλακωμένο σε μια μορφή κάψουλας πάχους 3cm και είχε τοποθετηθεί κάτω από τη γυψοσανίδα δαπέδου με πολλαπλές μικρές τρύπες. Η αλλαγή στη θερμοκρασία του δωματίου και το ποσό της αποθηκευμένης θερμότητας μετρήθηκαν και τα αποτελέσματα έδειξαν τις δυνατότητες της μετατόπισης του ψυκτικού φορτίου με χρήση πακεταρισμένου κοκκώδους ΥΑΦ.

9.2.1.7.4. Οροφές

Οι οροφές είναι ένα σημαντικό μέρος των κτιριακών κελυφών οι οποίες είναι εκτεθειμένες σε μεγάλο βαθμό στην ηλιακή ακτινοβολία αλλά και σε άλλες περιβαλλοντικές αλλαγές, επηρεάζοντας έτσι τις εσωτερικές συνθήκες άνεσης για τους χρήστες του εκάστοτε χώρου. Οι οροφές ευθύνονται για τις μεγάλες απώλειες ή κέρδη θερμότητας ανάλογα, ειδικά σε κτίρια με μεγάλη επιφάνεια οροφής όπως είναι τα συγκροτήματα άθλησης, τα αμφιθέατρα, οι εκθεσιακοί χώροι κλπ. Σύμφωνα με τους κανονισμούς του Ηνωμένου Βασιλείου για τα κτίρια τα άνω όρια της τιμής του U για επίπεδες οροφές το 1965, 1976 και 1985 ήταν 1,42W/m²K, 0,6 W/m²K και 0,35 W/m²K αντίστοιχα. Πρόσφατα 0,25 W/m²K ή λιγότερο απαιτείται για τα νέα κτίρια στο Ηνωμένο Βασίλειο. Αυτή η μείωση στην τιμή του U με το πέρασμα των χρόνων δείχνει τη σημασία της θερμικής απόδοσης των οροφών στην προσπάθεια αύξησης της συνολικής θερμικής απόδοσης των κτιρίων. Μερικές εφαρμογές για οροφές υψηλής αποτελεσματικότητας για κτίρια μηδενικής κατανάλωσης είναι ενδεικτικά:

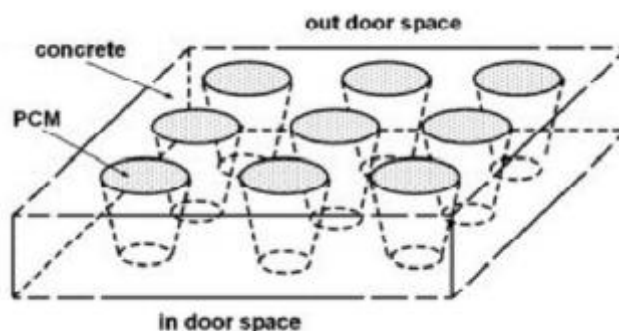
9.2.1.7.4.1 Ελαφρές Στέγες

Ελαφριά συστήματα στεγών που στηρίζονται στο αλουμίνιο είναι αρκετά δημοφιλή τόσο στα κτίρια της κυβέρνησης όσο και στα εμπορικά γιατί είναι οικονομικά. Δυο τρόποι υπάρχουν για να βελτιώσουμε τα θερμικά χαρακτηριστικά αυτών των στεγών: προσθέτοντας θερμική μόνωση και χρησιμοποιώντας ανοιχτόχρωμη μπογιά. Διαπιστώθηκε ότι οι ανοιχτόχρωμες επιφάνειες οδηγούν σε μεγαλύτερη μείωση των ψυκτικών φορτίων σε σχέση με τις σκουρόχρωμες σε αυτές τις κατασκευές. Πρόσφατες έρευνες αποκάλυψαν ότι αυτά τα συστήματα με μόνωση υαλονημάτων δεν ταιριάζει καλά σε ζεστά και υγρά κλίματα εξαιτίας της ενδιάμεσης συμπύκνωσης στο στρώμα υαλονημάτων. Εναλλακτικά υλικά θερμικής μόνωσης είναι η πολυουρεθάνη, η πολυεστερίνη ή ένας συνδυασμός αυτών.

9.2.1.7.4.2 Ψευδοροφές

Ψευδοροφές είναι ένα σημαντικό κομμάτι της στέγης, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων. Ο Bruno ανέπτυξε ένα σύστημα το οποίο αποθήκευσε κρύο σε ΥΑΦ σε περίοδο εκτός αιχμών και απελευθερώνουν την ενέργεια σε περίοδο αιχμής. Δοκιμάστηκαν επίσης οι επιδράσεις του ελέγχου μείωσης των αιχμών από συστήματα κλιματισμού που χρησιμοποιούν ΥΑΦ για ψευδοροφές σε κτίριο. Το σημείο τήξης των ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν ήταν από 20 έως 30°C το οποίο σχεδόν ήταν ίσο με τη θερμοκρασία δωματίου που θεωρήθηκε ιδανική για το σκοπό αυτό.

Ένα σύστημα θέρμανσης χώρου το οποίο ενσωματώνει ΥΑΦ τοποθετημένο στο διάκενο ψευδοροφής αναπτύχθηκε από τους Gutherz και Schiler. Ανακλαστές ηλίου χρησιμοποιήθηκαν για να κατευθύνουν την ηλιακή ενέργεια που έμπαινε μέσω των παραθύρων πάνω στα ΥΑΦ. Το κύριο πλεονέκτημα του συστήματος ήταν ότι επέτρεπε σε μια μεγάλη επιφάνεια να αφιερωθεί στην αποθήκευση θερμότητας χωρίς να χρειάζονται μεγάλοι όγκοι του μέσου αποθήκευσης τους οποίους θα απαιτούσε η αποθήκευση αισθητής θερμότητας. Φάνηκε ότι η χρήση ενός τέτοιου συστήματος είχε τη δυνατότητα να ανακτήσει 17-36% της χαμένης θερμότητας έναντι των αρχικών κερδών.



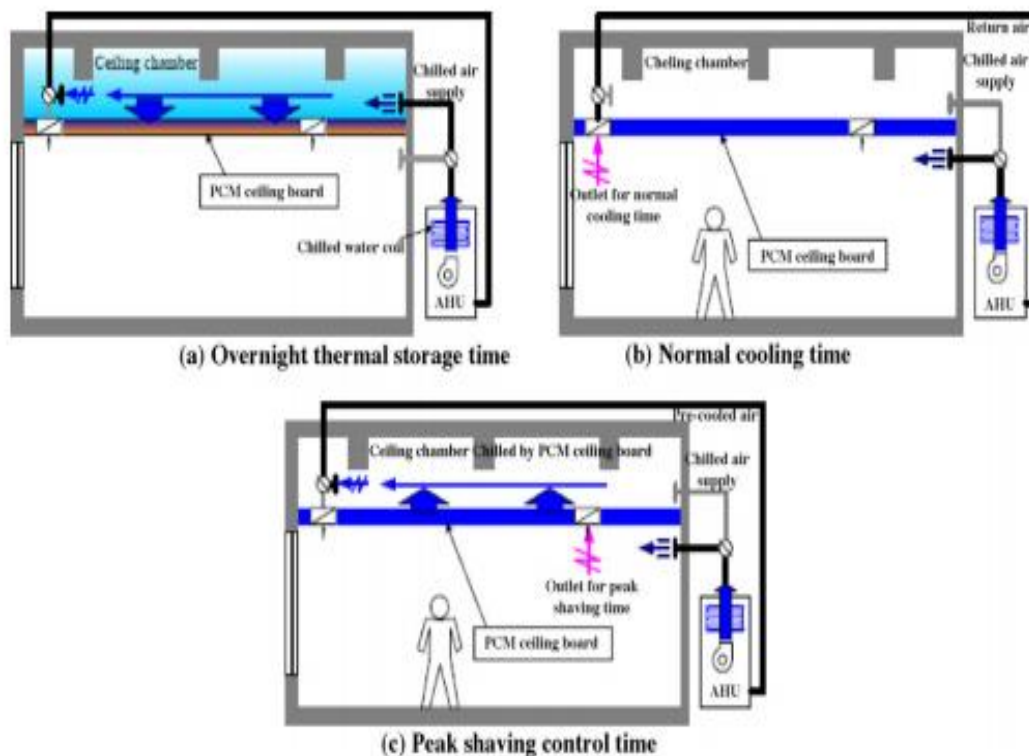
ΣΧΗΜΑ 9.30 Τρύπες στην οροφή της στέγη γεμάτες με ΥΑΦ [10]

Οι Turnpenny et al. ανέπτυξαν μια μονάδα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας συμπεριλαμβάνοντας αντλίες ενσωματωμένες με ΥΑΦ. Ένα μονοδιάστατο μαθηματικό μοντέλο μεταφοράς θερμότητας από τον αέρα στο ΥΑΦ παρουσιάστηκε να επιτρέπει τη μέτρηση μεγέθους της μονάδας δοκιμής. Το σύστημα του αποθήκευσε δροσιά κατά τη διάρκεια της νύχτας και την απελευθέρωνε τη μέρα.

Οι Kodo και Ibatoto εξέτασαν τις επιδράσεις ελέγχου αιχμών από συστήματα κλιματισμού με ΥΑΦ σε ψευδοροφές σε ένα κτίριο γραφείου. ΥΑΦ σε γυψοσανίδα από πετροβάμβακα βελτιώθηκε από την

προσθήκη μικροκαψουλών ΥΑΦ με σημείο τήξης περίπου στους 25°C (κοντά στη θερμοκρασία δωματίου). Σε αυτό το σύστημα μια γυψοσανίδα από ΥΑΦ χρησιμοποιείται αντί για γυψοσανίδα από πετροβάμβακα. Κατά τη διάρκεια νυχτερινής αποθήκευσης θερμότητας ο δροσερός αέρας από το σύστημα κλιματισμού (AHU) ρέει μέσα στο χώρο του ταβανιού και ψύχει το ΥΑΦ της γυψοσανίδας αποθηκεύοντας έτσι ψυχρή θερμική ενέργεια χρησιμοποιώντας μειωμένο ηλεκτρισμό. Κατά τη διάρκεια της κανονικής περιόδου ψύξης ο δροσερός αέρας ρέει από το AHU κατευθείαν μέσα στο δωμάτιο. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αιχμών, όταν το θερμικό φορτίο κορυφώνεται ο αέρας από το δωμάτιο επιστρέφει στο AHU μέσω του κενού χώρου του ταβανιού. Σαν αποτέλεσμα του περάσματος μέσα από την κρύα ψευδοροφή από ΥΑΦ ο ζεστός αέρας που επιστρέφει από το δωμάτιο ψύχεται στο δρόμο του πίσω στο AHU. Το μέγιστο θερμικό φορτίο και η ικανότητα της πηγής θέρμανσης μπορεί να μειωθεί. Κανονική περίοδος ψύξης είναι από τις 7 π.μ. μέχρι τις 1 μ.μ.. Η περίοδος αιχμών φορτίου είναι από τις 1μ.μ μέχρι τη λήξη των βιομηχανικών ωρών. Σε αυτή την έρευνα ο χρόνος αποθήκευσης θερμότητας είναι από τις 4π.μ. μέχρι τις 7π.μ.. Η μειωμένη χρήση του μεγίστου φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της περιόδου αιχμής και η χρήση φθηνού νυχτερινού ρεύματος οδηγεί σε χαμηλότερο ενεργειακό κόστος. Αυτό το σύστημα θερμικής αποθήκευσης έχει τα εξής πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών συστημάτων αποθήκευσης θερμότητας των κτιρίων που χρησιμοποιούν πλάκες από μετόν.

- 1) Πιο αποτελεσματική θερμική αποθήκευση αναμένεται, εφόσον υψηλής πυκνότητας δεξαμενές δροσερού αέρα σχηματίζονται στις γυψοσανίδες οροφής από το πάτωμα του χώρου οροφής.
- 2) Όλος ο χώρος της γυψοσανίδας οροφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θερμική αποθήκευση αφού ο δροσερός αέρας μπορεί να ρέει ενδιάμεσα στο χώρο της οροφής χωρίς να διακόπτεται από δέσμες.
- 3) Αφού η επιφανειακή θερμοκρασία της γυψοσανίδας οροφής κρατείται στο σημείο τήξης του ΥΑΦ για μια παρατεταμένη περίοδο η εσωτερική θερμική συμπεριφορά, συμπεριλαμβανομένης του τομέα ακτινοβολίας, μπορεί να βελτιωθεί .



ΣΧΗΜΑ 9.31 Περίγραμμα του συστήματος ψευδοροφής [10]

Άλλοι τρόποι θερμικής μόνωσης της συνιστώσας της στέγης είναι:

- ✓ Οροφές ηλιακής-αντανάκλασης / ψύξης: Είναι στέγες υψηλής ηλιακής αντανάκλασης και παράλληλα διαθέτουν υψηλό συντελεστή εκπομπής υπερύθρων. Διατηρούν τη θερμοκρασία της επιφάνειας της στέγης χαμηλή και απαγορεύουν τη θερμική διάχυση μέσα στο κτίριο.
- ✓ Πράσινες στέγες: Είναι μερικώς ή πλήρως καλυμμένες με στρώμα βλάστησης
- ✓ Στέγες Φωτοβολταϊκών: Φωτοβολταϊκα πάνελς/πλακάκια αντικαθιστούν το υλικό οροφής και εγκαθίστανται απευθείας στη δομή της οροφής.
- ✓ Τέντες οροφών: Η επιλογή μιας τέντας οροφής εξαρτάται από τη λειτουργία στην οποία αποσκοπούμε και τον τύπο του συστήματος αερισμού με το οποίο συνδυάζεται. Οι τέντες οροφών εξυπηρετούν στην πρόληψη της αύξησης της υγρασίας και της θερμότητας στο κτίριο.

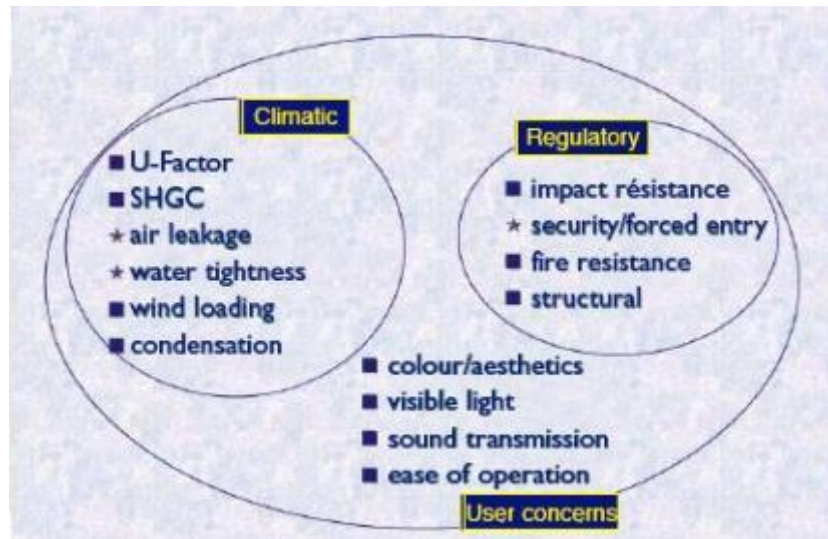
9.2.1.7.5 Πόρτες και Παράθυρα

Τα ανοίγματα σε ένα κτιριακό κέλυφος αφορούν κυρίως τις πόρτες και τα παράθυρα. Αυτά παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην παροχή θερμικής άνεσης και στα επίπεδα βέλτιστου φωτισμού σε ένα κτίριο. Είναι επίσης σημαντικά από αρχιτεκτονική άποψη καθώς προσθέτουν αισθητική στο σχέδιο του κτιρίου. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σημαντικές βελτιώσεις στις τεχνολογίες των παραθύρων. Αυτές οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν γυαλιά ηλιακού ελέγχου, μονάδες μόνωσης γυαλιού, επικαλύψεις χαμηλής εκπομπής, παράθυρα κενού, κοιλότητες με αεροζέλ καθώς και αέριο συμπεριλαμβάνονται στις βελτιώσεις στο σκελετό αλλά και στο χώρο που υπάρχει στα διπλά τζάμια. Για εφαρμογές παθητικής ηλιακής θέρμανσης, παράθυρα με χαμηλή τιμή θερμικής διαπερατότητας και υψηλής συνολικής μεταφοράς της ηλιακής ενέργειας προτιμούνται.

Πολλοί σχεδιαστές κτιρίων γνωρίζουν το ρόλο κλειδί που διαδραματίζουν τα παράθυρα στην απόδοση του κτιρίου. Οι θερμικές απώλειες και τα θερμικά κέρδη από τα παράθυρα είναι 20 με 30 φορές περισσότερο αναλογικά με αυτά που έχουμε από τους τοίχους. Η σωστή απόδοση των παραθύρων μπορεί να εξασφαλίσει ότι ο εξοπλισμός θέρμανσης και ψύξης μπορεί να διατηρήσει ένα επίπεδο άνεσης χωρίς υπερβολικά λειτουργικά κόστη.

9.2.1.7.5.1 Παράμετροι Απόδοσης των παραθύρων

Για να καθορίσουμε την επιθυμητή απόδοση ενός παραθύρου, ο σχεδιαστής πρέπει να μπορεί να προσδιορίσει τις κατάλληλες ενδείξεις απόδοσης. Εκτός από την κατανόηση του τι έχει σκοπό να μετρήσει με αυτές θα πρέπει να είναι επίσης ικανός να μπορεί να τις ποσοτικοποιήσει αλλά και να τις μετρήσει και τελικά να προσδιορίσει ποιες είναι οι παράμετροι ενδιαφέροντος. Οι παράμετροι που παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα είναι που μας ενδιαφέρουν στην απόδοση των παραθύρων. Είναι ποσοτικά προσδιορίσιμοι και μπορούν να καθορισθούν σύμφωνα με υπάρχουσες τυποποιημένες διαδικασίες.



ΣΧΗΜΑ 9.32 Παράμετροι απόδοσης παραθύρων [2]

9.2.1.7.5.2 Ενεργειακά αποδοτικά παράθυρα

Η μετατροπή ενός απλού παραθύρου σε ενεργειακά αποδοτικό μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Ένας από αυτούς είναι η χρήση παραθυρόφυλλων, που περιέχουν υλικό αλλαγής φάσης. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι γρίλιες παραμένουν ανοιχτές έτσι ώστε η εξωτερική τους πλευρά να είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία. Το ΥΑΦ απορροφά την ακτινοβολία, την αποθηκεύει ως λανθάνουσα θερμότητα και λιώνει. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι γρίλιες κλείνουν και μέσω του παραθύρου, η αποθηκευμένη θερμότητα μεταδίδεται στους εσωτερικούς χώρους. Αυτό το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας παρουσιάστηκε από το μελετητή H. Mehling, ο οποίος το εφάρμοσε και κατέληξε στο ότι η χρήση πατζουριών με ΥΑΦ στα παράθυρα μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του δωματίου μέχρι και 2°C.



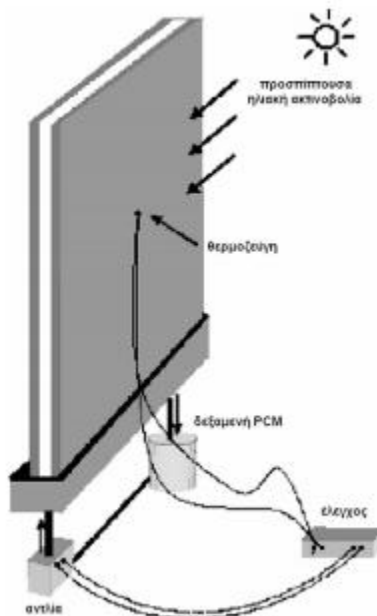
ΣΧΗΜΑ 9.33 Σκίαση με ΥΑΦ. Κάθετες και οριζόντιες εσωτερικές περσίδες με ΥΑΦ [9]

Ένα άλλο είδος ενεργειακού παραθύρου παρουσιάστηκε από το Weinlader και άλλους, οι οποίοι πρότειναν τη χρήση δυο υαλοπινάκων με τοποθετημένο ένα ΥΑΦ στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ τους. Σε

σύγκριση με ένα διπλό υαλοπίνακα χωρίς υλικό αλλαγής φάσης, το ενεργειακό αυτό παράθυρο πέτυχε 30% μείωση θερμικών απωλειών κατά την τοποθέτησή του σε προσόψεις κτιρίων νότιου προσανατολισμού. Επίσης, παρατηρήθηκε 50% μείωση των θερμικών κερδών ηλιακής ενέργειας του κτιρίου, πράγμα πολύ σημαντικό για την επίτευξη θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του.

Ένας ακόμη τρόπος δημιουργίας ενεργειακών παραθύρων προτάθηκε από τον ερευνητή Ismail και άλλους και αφορά στη χρήση παραθύρων που περιέχουν ΥΑΦ. Η διάταξη φαίνεται στο σχήμα 9.34. Το παράθυρο αποτελείται από δυο γυάλινες επιφάνειες, ανάμεσα στις οποίες υπάρχει κενό, καθώς επίσης και από έναν αεραγωγό στην επάνω γωνία. Η βάση και οι πλευρές του παραθύρου είναι σφραγισμένες. Εξαιρούνται δυο τρύπες στη βάση, που είναι συνδεδεμένες μέσω πλαστικού αγωγού με μια αντλία και μια δεξαμενή γεμάτη από ΥΑΦ, αντίστοιχα. Η αντλία με τη σειρά της συνδέεται και αυτή με τη δεξαμενή που περιέχει το ΥΑΦ σε υγρή μορφή. Η λειτουργία της αντλίας ελέγχεται από έναν αισθητήρα θερμοκρασίας.

Όταν η διαφορά θερμοκρασίας φτάσει σε μια προκαθορισμένη τιμή, η αντλία τίθεται σε λειτουργία και το υγρό ΥΑΦ, με τη βοήθειά της, γεμίζει τον κενό χώρο μεταξύ των δυο επιφανειών του παραθύρου. Λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας που επικρατεί στην εξωτερική επιφάνεια, το ΥΑΦ αρχίζει να κρυσταλλώνει, σχηματίζοντας ένα στερεό στρώμα, που με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται σε πάχος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος να διατηρείται σταθερή, χωρίς να μειώνεται. Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται έως ότου το υλικό αλλαγής φάσης μετατραπεί εξ' ολοκλήρου σε στερεό. Ο καλός σχεδιασμός του συγκεκριμένου συστήματος μπορεί να εξασφαλίσει ότι η εξωτερική θερμοκρασία θα αρχίσει και πάλι να αυξάνεται πριν την πλήρη στερεοποίηση του χρησιμοποιούμενου ΥΑΦ. Διαφορετικά, υπάρχει κίνδυνος η εσωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος να μειωθεί, κάτι που φυσικά είναι ανεπιθύμητο. Σύμφωνα με τους μελετητές, το σύστημα αυτό είναι βιώσιμο και θερμικά πολύ αποδοτικό. Η πλήρωση του παραθύρου με ΥΑΦ βοηθάει στο φιλτράρισμα της θερμικής ακτινοβολίας και μειώνει τις θερμικές απώλειες, αφού το μεγαλύτερο μέρος της μεταφερόμενης ενέργειας απορροφάται κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης. Το διπλό γυάλινο παράθυρο γεμισμένο με ΥΑΦ είναι πολύ πιο αποδοτικό θερμικά σε σχέση με το ίδιο παράθυρο γεμισμένο με αέρα. Επίσης, η χρήση χρωματιστού ΥΑΦ, ιδίως πράσινου χρώματος, είναι πιο αποδοτική ως προς τη μείωση των ενεργειακών απωλειών.



ΣΧΗΜΑ 9.34 Διάταξη ενεργειακά αποδοτικού παραθύρου με ΥΑΦ [9]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 9^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3512/3/machairae_pcm.pdf
- [2] http://www.ijera.com/papers/Vol3_issue2/DE32662675.pdf
- [3] <http://www.enforce-een.eu/wp/gre/wp-content/uploads/2012/05/Tzanakaki-B-02.pdf>
- [4] <http://www.ecotimes.gr>
- [5] http://www.econ3.gr/readmore.php?article_id=51771295788153
- [6] <http://tvxs.gr/news/periballon/infacoma-i-nanotexnologia-komizei-nea-dedomena-stin-eksoikonomisi-energeias>
- [7] http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/odigies/ENVELOPE_FINAL_review.pdf
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-change_material
- [9] <http://www.seas.upenn.edu/~meam502/project/reviewexample2.pdf>
- [10] http://www.vts.su.ac.rs/docs/expres2013/expres_2013_print.pdf
- [11] https://circle.ubc.ca/bitstream/handle/2429/33600/Pacson_Theo_2011_EECE492_Phase_Change.pdf?sequence=4
- [12] <http://nanoengineeringmedical.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1661252>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο

ΑΓΟΡΑ & ΥΑΦ

Η παγκόσμια βιομηχανία των ΥΑΦ μαρτυράει μεγάλη ανάπτυξη λόγω των αυξανόμενων εφαρμογών, των τεχνολογικών εξελίξεων και των αυξανόμενων ανησυχιών σχετικά με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς για τη μείωση των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου. Τα ΥΑΦ χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα εφαρμογών όπως τα κτίρια και οι κατασκευές, οι εφαρμογές ψύξης, HVAC (θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός), αποθήκευση θερμικής ενέργειας, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, τη ναυτιλία και τις μεταφορές, τα ηλεκτρονικά και άλλες εφαρμογές, όπως της υγειονομικής περίθαλψης, της αυτοκινητοβιομηχανίας και των τηλεπικοινωνιών.

Η Ευρώπη είναι η μεγαλύτερη αγορά που προσφέρει καθώς φαίνεται και τη μεγαλύτερη ανάπτυξη για τα επόμενα πέντε χρόνια. Η Αμερική (Βόρεια και Νότια Αμερική) στέκεται δεύτερη όσον αφορά το μέγεθος της αγοράς ενώ ακολουθείται στενά από την πλευρά του Ειρηνικού και την Ασία. Καινούρια και καλύτερα προϊόντα και βελτιωμένες τεχνικές μάκρο και μικρο-ενθυλάκωσης που μειώνουν την τιμή των ΥΑΦ θα δημιουργήσουν νέες ευκαιρίες.

Οι επιχειρήσεις που διαδραματίζουν το πιο σημαντικό ρόλο στην αγορά των ΥΑΦ είναι στη Γερμανία η BASF η οποία επικεντρώνεται στις κτιριακές και κατασκευαστικές εφαρμογές, στις Ηνωμένες Πολιτείες η Sonoco Products Co. που στοχεύει στη ναυτιλία, τη συσκευασία και τις εφαρμογές μεταφοράς, η Entropy Solutions Inc. για βιολογικές εφαρμογές βασισμένες σε ΥΑΦ, η Outlast Technology για την κλωστοϋφαντουργία και η Micron Technology Inc. για τα ηλεκτρονικά.

Ο ανταγωνισμός σε αυτή την αγορά είναι χαμηλός, οι επιχειρήσεις αντί να ανταγωνίζονται προσπαθούν να αυξήσουν την ευαισθητοποίηση γύρω από τα προϊόντα των ΥΑΦ και τα πλεονεκτήματά τους το οποίο παραμένει το κλειδί πρόκλησης. Νέα προϊόντα αναπτύσσονται με γνώμονα τη στρατηγική. Με νέα προϊόντα, οι επιχειρήσεις μπορούν να διευρύνουν ή ακόμα και να παράγουν νέες αγορές για τα ΥΑΦ.

Τα οργανικά ΥΑΦ λογαριάζονται για μεγαλύτερα έσοδα ενώ τα ανόργανα κατέχουν μεγαλύτερο μερίδιο από την άποψη του όγκου κατανάλωσης. Τα οργανικά ΥΑΦ είναι επεκτάσιμα το οποίο τα καθιστά τη μεγαλύτερη πηγή εσόδων στην αγορά. Τα βιολογικά ΥΑΦ αναμένεται να αυξηθούν από το υψηλότερο μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης κατά την επόμενη πενταετία. Οι τιμές αυτών των ΥΑΦ αναμένεται να μειωθούν σημαντικά την ίδια περίοδο.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, λοιπόν, η εξοικονόμηση ενέργειας, η φιλικότητα προς το περιβάλλον και μια ευρεία γκάμα εφαρμογών είναι ο κύριος άξονας ανάπτυξης των ΥΑΦ στην αγορά. Προσφέρει αρκετές εφαρμογές από τις οποίες ο κτιριακός και κατασκευαστικός τομέας έχει τη μεγαλύτερη αγορά ακολουθούμενος από το τομέα της θέρμανσης, του κλιματισμού και του εξαερισμού.

Η παγκόσμια αγορά των ΥΑΦ εκτιμάται να αυξηθεί από τα 460 εκατομμύρια δολάρια το 2013 στα 1150 εκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2018, δηλαδή με ένα ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης περίπου 20,1% για την ίδια περίοδο. Μειώνοντας την τιμή των ΥΑΦ και της έρευνας και διαφήμισης για τα νέα υλικά θα δημιουργήσουν νέες ευκαιρίες και θα οδηγήσουν την αγορά στο μέλλον.

Τα ΥΑΦ οργανικού τύπου έχουν το μέγιστο της αγοράς από άποψη τιμής εξαιτίας του υψηλού κόστους ενώ τα ανόργανα έχουν τη συγκεντρωτική κατανάλωση από άποψη όγκου. Παραδοσιακά, τα ανόργανα ΥΑΦ έχουν χρησιμοποιηθεί οδηγώντας σε μεγαλύτερη κατανάλωση όγκου. Αργότερα η χρήση των οργανικών ΥΑΦ με υψηλότερα σημεία τήξης, αποτελεσματικότητα και μικροενθυλάκωση οδήγησαν σε ευρεία χρήση σε διάφορες εφαρμογές. Η ανάπτυξη των βιολογικών ΥΑΦ που προέρχονται από συνιστώσες φυτών ή ζώων πρόσθεσαν το πλεονέκτημα της λιγότερο ευφλεκτότητας και της υψηλής βιοδιάσπασης έναντι των οργανικών.

Η μεγαλύτερη ανάπτυξη παρατηρείται στην Ευρώπη όπου οι περισσότερες επιχειρήσεις έχουν ήδη εδραιωθεί. Η Βόρεια Αμερική είναι μια άλλη αγορά όπου οι «μεγάλοι παίκτες» δεν εκλείπουν. Οι αναπτυσσόμενες εφαρμογές των ΥΑΦ, το υψηλό κόστος της ενέργειας και οι κανονισμοί που θέτονται από την κυβέρνηση προσελκύουν το ενδιαφέρον των επιχειρήσεων. Η Ευρώπη θα παραμείνει η μεγαλύτερη αγορά από άποψη όγκου και τιμής μέχρι το 2018.

10.1 Ανάλυση Απόδοσης και Κόστους των Κελυφών των Κτιρίων με ΥΑΦ [1]

Ερευνητές στο κέντρο Fraunhofer για τα υφιστάμενα ενεργειακά συστήματα πραγματοποίησαν μια οικονομική ανάλυση για να εκτιμήσουν την αποτελεσματικότητα κόστους των κτιριακών κελυφών που έχουν βελτιωθεί με χρήση ΥΑΦ και καθόρισαν τα επίπεδα κόστους στα οποία τα ΥΑΦ μπορεί να είναι ανταγωνιστικά σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές θερμικής μόνωσης των κτιρίων. Η ομάδα έρευνας επέλεξε δυο βασικές εφαρμογές ΥΑΦ για ανάλυση: εφαρμογές με διασπορά ΥΑΦ και απλά προϊόντα για το κέλυφος του κτιρίου χρησιμοποιώντας συγκεντρωμένα ΥΑΦ. Επιπροσθέτως με τη δουλειά αυτού του κέντρου έγιναν πειραματικές και θεωρητικές μελέτες (πραγματοποιήθηκαν στη Βόρεια Αμερική) για να κατανοήσουν την απόδοση των βελτιωμένων κτιριακών κελυφών με ΥΑΦ. Η ερευνητική ομάδα χρησιμοποίησε τα αποτελέσματα ως κριτήρια αξιολόγησης των επιδόσεων για διάφορες διαμορφώσεις ΥΑΦ που δοκιμάστηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες για διαφορετικές κτιριακές εφαρμογές. Αυτή η δουλειά ωστόσο δεν αναζητά να βελτιστοποιήσει τις διαμορφώσεις των ΥΑΦ.

Οι ερευνητές πραγματοποίησαν αριθμητική ανάλυση παραμέτρων αποκλειστικά για μείγματα μόνωσης. Συγκεκριμένα, η ερευνητική ομάδα χρησιμοποίησε μια σειρά μονοδιάστατων δυναμικών προσομοιώσεων με ημιτονοειδή προφίλ εξωτερικής θερμοκρασίας για να παράγουν δεδομένα παροδικής ροής θερμότητας για διαφορετικές διαμορφώσεις της μόνωσης των κτιρίων που περιέχουν ΥΑΦ. Τα χαρακτηριστικά της θερμικής απόδοσης που αποκτήθηκαν για μείγματα θερμικών μονώσεων και οργανικών ΥΑΦ δείχνουν σημαντικό δυναμικό ενεργειακής αποθήκευσης σε τέτοια μείγματα.

Η ερευνητική ομάδα μελέτησε δυο πάχη των βελτιωμένων μονώσεων με ΥΑΦ σε μια μελέτη προσομοίωσης: ένα τυπικό τοίχο πάχους 0,14m ενώ 0,3m ήταν το πάχος διαμόρφωσης του δαπέδου σοφίτας. Από μια άποψη εξοικονόμησης ενέργειας, ο λεπτότερος τοίχος που περιέχει ΥΑΦ και μείγματα μόνωσης (0,14m πάχος) κατάφερε μια μικρότερη μείωση στα ψυκτικά φορτία (από τρεις έως πέντε φορές) από ότι η πιο παχιά διαμόρφωση του δαπέδου σοφίτας. Συγκρίνοντας τις τιμές των θερμικών ροών έδειξαν ότι οι βελτιωμένες μονώσεις λόγω των ΥΑΦ στη λεπτότερη σύνθεση, που εκτίθεται σε επαναλαμβανόμενες εξωτερικές θερμοκρασίες, μειώνουν τις ροές θερμότητας κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής ψυκτικών φορτίων και μετατοπίζουν το μέγιστο της ροής θερμότητας σε μετέπειτα χρόνο. Η ερευνητική ομάδα πρόσεξε ότι είχε τις ίδιες επιδράσεις στην πιο παχιά σύνθεση μόνωσης που αντιπροσώπευε το δάπεδο σοφίτας, παρόλα αυτά η τελευταία σύνθεση διαπιστώθηκε επίσης ότι οδηγούσε σε σημαντικές μειώσεις του συνολικού φορτίου. Επιπλέον, η πιο παχιά σύνθεση έδειξε μια αξιοσημείωτη μεγαλύτερη αλλαγή φορτίου στην ώρα της μέγιστης θερμικής ροής (φτάνοντας τις 11 ώρες) και περίπου 4 φορές μείωση στη μέγιστη ώρα του ψυκτικού φορτίου σχετικά με τη λεπτότερη σύνθεση.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν επίσης ότι τα πιο παχιά στρώματα των βελτιωμένων μονώσεων με ΥΑΦ που εκτίθενται σε περιοδικές θερμικές διεγέρσεις έχουν τη δυνατότητα να παράγουν μια αντίστροφη ροή θερμότητας, ένα φαινόμενο στο οποίο η θερμότητα ξεκινάει να ρέει στην αντίθετη κατεύθυνση, συγκρινόμενη με μια παρόμοια σύνθεση χωρίς ΥΑΦ. Για μια σύνθεση πάχους 0,3m με ΥΑΦ, οι αναλυτές βρήκαν ότι οι αντίστροφες ροές θερμότητας μπορούν να συμβούν σε περισσότερο από 70% του χρόνου (περίπου 17 ώρες τη μέρα). Αυτή η επίδραση μπορεί να οδηγήσει στην παθητική ψύξη των εσωτερικών χώρων, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό. Για μια βελτιωμένη μόνωση σοφίτας με ΥΑΦ, οι προσομοιώσεις προτείνουν ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, τέτοια παθητική ψύξη έχει τη δυνατότητα να μειώσει τα ψυκτικά φορτία πάνω από 25%.

Οι προσομοιώσεις της ερευνητικής ομάδας αποκάλυψαν ότι η πιο παχιά σύνθεση μειώνει το εύρος των εξωτερικών θερμικών διεγέρσεων. Σε μια άλλη ενδιαφέρουσα παρατήρηση, οι ερευνητές βρήκαν ότι οι

ενδεχόμενες μειώσεις του ψυκτικού φορτίου είναι μεγαλύτερες όταν η εσωτερική ορισμένη θερμοκρασία είναι πολύ κοντά στο σημείο τήξης των ΥΑΦ (στη συγκεκριμένη μελέτη 2°C διαφορά). Η αριθμητική ανάλυση έδειξε ότι αυτές οι μειώσεις μπορούν να είναι τουλάχιστον τέσσερις φορές μεγαλύτερες από εκείνες που παρατηρούνται στην περίπτωση διαφοράς 7°C ανάμεσα στην εσωτερική σταθερή θερμοκρασία και το σημείο τήξης. Επειδή τα βελτιωμένα υλικά με ΥΑΦ συνήθως αποδίδουν καλά μόνο κατά τη διάρκεια ενός μέρους μιας εποχής δροσισμού, οι ερευνητές συστήνουν μια επέκταση της έρευνας για να εκτιμήσουν τη μακροπρόθεσμη απόδοση χρησιμοποιώντας ετήσια καιρικά δεδομένα για να αξιολογήσουν τη δυναμική θερμική απόδοση των εφαρμογών των ΥΑΦ στα κτίρια σε διαφορετικά κλίματα.

Εφαρμογές των κτιριακών συστημάτων στα οποία τα βελτιωμένα υλικά με ΥΑΦ βλέπουν το εσωτερικό των κτιρίων εξαρτώνται από τα συστήματα HVAC ή τη βραδινή πρόψυξη για να απομακρύνουν τη θερμότητα που απορροφάται από τα ΥΑΦ κατά τη διάρκεια της μέρας. Για τις εφαρμογές των γυψοσανίδων στους τοίχους με ΥΑΦ, η εξοικονόμηση ψυκτικής ενέργειας ποικίλλει ανάμεσα στο 7% και 20% όπως έχει δείχθει σε άλλες έρευνες. Στην έρευνα τους θεώρησαν 15% εξοικονόμηση ψυκτικής ενέργειας για τις γυψοσανίδες με ΥΑΦ αφού έλαβαν υπόψη το προηγούμενο δεδομένο.

Για εφαρμογές στην περιοχή της Αριζόνας, η ομάδα υπολόγισε μια περίοδο αποπληρωμής 7 χρόνων για τα ΥΑΦ με ενθαλπίες μεταξύ 82 και 95 Btu/lb (190 and 220 kJ/kg) και όριο στην τιμή \$3,00/lb λαμβάνοντας υπόψη τα μειωμένα ποσοστά ηλεκτρισμού χαμηλής ζήτησης. Ομοίως μια περίοδος αποπληρωμής 10 χρόνων καθορίστηκε για ένα επίπεδο τιμής \$3,50/lb. Ένα άλλο εύρημα της έρευνας ήταν ότι η εφαρμογή μιας λεπτότερης γυψοσανίδας πάχους (1cm) που περιέχει ΥΑΦ μαζί με πληρωτικά άνθρακα ή γραφίτη (για να βελτιώσουν τη θερμική αγωγιμότητα) μπορεί επίσης να λογιστεί σαν μια εναλλακτική για βελτιωμένη απόδοση και μειωμένα κόστη.

Τελικά οι ερευνητές ανέλυσαν ενδεχόμενες μεθόδους για μελλοντικές μειώσεις κόστους σε κτιριακές εφαρμογές με ΥΑΦ. Ιδιαίτερα, από άποψη υλικών, μια ανάπτυξη των ακόλουθων τεχνολογιών θα μπορούσε να παίξει σημαντικό ρόλο στη μείωση των τιμών στο μέλλον:

- ✓ Φθηνότερη μικρο-ενθυλάκωση ή μεθόδους μικροσυσκευασίας για οργανικά ΥΑΦ
- ✓ Μικροενθυλάκωση των ανόργανων ΥΑΦ
- ✓ Λιγότερο δαπανηρά ανόργανα και βιολογικά ΥΑΦ με υψηλότερες ενθαλπίες

Το κέντρο Fraunhofer για τα συστήματα υφιστάμενης ενέργειας πραγματοποίησαν μια οικονομική ανάλυση για να εκτιμήσουν αν τα προϊόντα για τα κτιριακά κελύφη με απλά ΥΑΦ μπορούν να είναι οικονομικά αποδοτικές. Ένας άλλος στόχος της δουλειά του κέντρου ήταν να καθορίσει τα επίπεδα κόστους στα οποία τα ΥΑΦ μπορεί να είναι ανταγωνιστικά με τις συμβατικές μεθόδους μόνωσης. Η ομάδα όπως είπαμε έλαβε υπόψη δυο κύριες εφαρμογές των ΥΑΦ στην ανάλυση της. Ένα τρίτο γκρουπ βελτιωμένων εφαρμογών ΥΑΦ χρησιμοποιεί διαφορετικές μορφές δοχείων ΥΑΦ ή βελτιωμένων γυψοσανίδων με ΥΑΦ μαζί με θερμικά διάκενα, μονώσεις αντανάκλασης και κανάλια εξαερισμού. Τα περισσότερα σύγχρονα πειράματα δείχνουν ότι η θερμική απόδοση των βελτιωμένων τεχνολογιών που ενσωματώνουν ΥΑΦ είναι σημαντικά υψηλότερη από τις εφαρμογές απλών διασπαρμένων ΥΑΦ. Επειδή αυτά τα συστήματα είναι πιο περίπλοκα είναι δύσκολο να τα αναλύσουν χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα εργαλεία προσομοίωσης για το σύνολο της κτιριακής ενέργειας. Συνεπώς αποτελέσματα δοκιμών σε αυτόν τον τομέα είναι ιδιαίτερα πολύτιμα για την απόδοση της ενέργειας και για αναλύσεις κόστους.

Τα συστήματα διεσπαρμένων ΥΑΦ είναι λιγότερο περίπλοκα, ευκολότερο να αναλυθούν και πιο επιεική από την άποψη των ενδεχόμενων λαθών στην αριθμητική ανάλυση. Συνήθως μια ευρεία επιλογή ΥΑΦ με ελαφρώς διαφορετικές λειτουργικές θερμοκρασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις ίδιες κλιματολογικές συνθήκες και για την ίδια τοποθεσία μέσα στο κτιριακό κέλυφος. Συγχρόνως, οι εφαρμογές με τα συγκεντρωμένα ΥΑΦ απαιτούν πιο ακριβή επιλογή του εύρους της λειτουργικής θερμοκρασίας των ΥΑΦ, της τοποθεσίας και της ικανότητας αποθήκευσης θερμότητας.

Επιπρόσθετα με τις περιορισμένες θεωρητικές αναλύσεις, η αναφορά που συντάχθηκε για την εν λόγω μελέτη συνοψίζει τα αποτελέσματα των πειραματικών και θεωρητικών αναλύσεων που είχαν πραγματοποιηθεί προηγούμενα στην Βόρεια Αμερική. Αυτά τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται συνεπώς σαν ορόσημο απόδοσης για διαφορετικές διαμορφώσεις ΥΑΦ που δοκιμάστηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες για κτιριακές εφαρμογές. Αυτή η δουλειά δεν αποσκοπούσε να βελτιστοποιήσει τις διαμορφώσεις των ΥΑΦ. Θεωρητική παραμετρική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε μόνο για τις εφαρμογές με τα διεσπαρμένα ΥΑΦ. Οι θερμικές και κτιριακές ενεργειακές προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται εδώ για συγκρίσεις της απόδοσης των ΥΑΦ σαν συνάρτηση των διαφορετικών διαμορφώσεων μόνωσης και θερμικών συνθηκών.

Όπως είπαμε, λοιπόν, μια ευρεία ποικιλία ΥΑΦ με διαφορετικά θερμοκρασιακά προφίλ, υστέρηση και ικανότητες θερμικής αποθήκευσης είναι σήμερα διαθέσιμα για εφαρμογές κτιριακών κελυφών. Πρωτύτερες έρευνες έδειξαν ότι για να αναλύσουμε επακριβώς την θερμική απόδοση ειδικών ΥΑΦ, υπολογιστικά μοντέλα χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν λεπτομερή προφίλ ενθαλπιών/θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στο μεταξύ, είτε πολύ αργής ταχύτητας (ρυθμός θέρμανσης περίπου $0,1^{\circ}\text{C}/\text{λεπτό}$) όπως τοδιαφορικό θερμιδόμετρο σάρωσης (DSC), είτε άλλες δυναμικές μεθόδους δοκιμών που χρησιμοποιούν διαδικασίες βηματικών συναρτήσεων. Επειδή η δυναμική δοκιμή δεν ήταν αντικείμενο αυτής της εργασίας και για να απλοποιήσουν την ανάλυση και να ελαχιστοποιήσουν τον αριθμό των απαραίτητων προσομοιώσεων, ιδανικά θερμικά χαρακτηριστικά ΥΑΦ με πολύ μικρή υστέρηση χρησιμοποιήθηκαν για παραμετρικές θερμικές προσομοιώσεις. Μια σειρά από τέτοιες προσομοιώσεις βοήθησε στο να εκτιμήσουμε τα όρια της απόδοσης για δυο από τα περισσότερο κοινά πάχη αντιπροσωπεύοντας τον τοίχο και τη βελτιωμένη μόνωση σοφίτας με ΥΑΦ για διαφορετικές εντάσεις εξωτερικών θερμικών διεγέρσεων. Νωρίτερα, πειράματα έδειξαν ότι επιλέγοντας ένα ΥΑΦ με σωστό λειτουργικό θερμοκρασιακό εύρος είναι σημαντικό για τη θερμική απόδοση των κτιριακών κελυφών με ΥΑΦ. Συνεπώς στην ίδια εργασία η ερευνητική ομάδα ανέλυσε επίσης την επίδραση της επιλογής του σωστού σημείου τήξης απέναντι στη εσωτερική θερμοκρασία χώρου. Τα θερμικά όρια απόδοσης που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της παραμετρικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν αργότερα στην ανάλυση για το σύνολο της κτιριακής κατανάλωσης ενέργειας το οποίο διευκόλυνε μια εκτίμηση της ενδεχόμενης εξοικονόμησης ψυκτικής ενέργειας για κάθε ένα από τα επιλεγμένα κλίματα.

Στην εργασία αυτή, μόνο ένα συμπυκνωμένο σύστημα ΥΑΦ χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της απόδοσης της ενέργειας και του κόστους. Το σύστημα γυψοσανίδας ενισχυμένης με ΥΑΦ είναι μία από τις πρώτες και τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές ΥΑΦ. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η εφαρμογή αυτή έχει δοκιμαστεί για τουλάχιστον 40 χρόνια. Σε περιπτώσεις με αυτό το σύστημα ΥΑΦ, θεωρητική θερμική ανάλυση δεν έχει πραγματοποιηθεί λόγω της πολύ ισχυρής εξάρτησης από την απόδοση σε μεμονωμένες ιδιότητες των ΥΑΦ (μικροενθυλάκωση, σχήμα σταθεροποίησης, εμποτισμό, πυκνότητα αποθήκευσης θερμότητας), φορτία ΥΑΦ, εσωτερικές κατατομές θερμοκρασίας χώρου και σε τοποθεσίες μεταξύ άλλων. Ένας μεγάλος αριθμός παρόμοιων συγκεντρωμένων προϊόντων ΥΑΦ οικοδόμησης είναι διαθέσιμα σήμερα. Η ομάδα μελέτης θεωρεί ότι μόνο τα υπολογιστικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν και επικυρώθηκαν για αυτά τα συγκεκριμένα συστήματα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για να αναλύσουν την απόδοση καθενός από αυτά τα επιμέρους συστήματα. Ευτυχώς, ένα σημαντικό ποσό της θεωρητικής και πειραματικής έρευνας έχει πραγματοποιηθεί σε αυτές τις τεχνολογίες κατά τις τελευταίες δεκαετίες.

Όπως αναφέρθηκε πριν η οικονομική ανάλυση που παρουσιάζεται σε αυτή την αναφορά είναι σχεδόν αποκλειστικά για συστήματα με διεσπαρμένα ΥΑΦ με μονώσεις ινών και γυψοσανίδες ενισχυμένες με ΥΑΦ. Για κάθε μια από τις εφαρμογές των ΥΑΦ που αναλύθηκε και για πέντε νότια κλίματα των Η.Ε. η ομάδα εκτίμησε την ενδεχόμενη εξοικονόμηση ενέργειας δροσισμού. Το κόστος της εξοικονόμησης ενέργειας εκτιμήθηκε με βάση το κόστος της μονάδας ηλεκτρισμού σε κάθε μια από τις επιλεγμένες τοποθεσίες. Τέσσερις τυπικές ενθαλπίες ΥΑΦ που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία—52 Btu/lb (120 kJ/kg), 65 Btu/lb (150 kJ/kg), 82 Btu/lb (190 kJ/kg), and 95 Btu/lb (220 kJ/kg)— υποτέθηκαν για την οικονομική ανάλυση. Η ποσότητα του ΥΑΦ κανονικοποιήθηκε έναντι της ικανότητας αποθήκευσης θερμότητας του βασικού τοίχου και των συστημάτων οροφής χρησιμοποιώντας το 52 Btu/lb (120 kJ/kg) σαν σημείο αναφοράς. Μετά, το κόστος των ΥΑΦ αναλύθηκε για το εύρος της τιμής των ΥΑΦ μεταξύ των

\$1.50/lb και \$7.50/lb. Συνεπώς μια περίοδος αποπληρωμής υπολογίστηκε για κάθε μια από τις διαμορφώσεις του κελύφους που ενισχύονται με ΥΑΦ τις οποίες έλαβε υπόψη η ερευνητική ομάδα.

Το τελικό μέρος της αναφοράς είναι η ανάλυση για την απόδοση κόστους συμβατικών εφαρμογών μόνωσης. Αναλύσεις ενέργειας για το σύνολο του κτιρίου πραγματοποιήθηκαν για διαφορετικά επίπεδα μόνωσης του τοίχου και της σοφίτας. Η οικονομική αποτελεσματικότητα της συμβατικής μόνωσης σοφίτας εκτιμήθηκε βάση των εθνικών δεδομένων κόστους. Στην πορεία οι περίοδοι αποπληρωμής υπολογίστηκαν για όλα τα κλίματα που λήφθηκαν υπόψη και συγκρίθηκαν με παρόμοιες εφαρμογές που περιείχαν ΥΑΦ.

10.2 Πρόκληση Τιμών ΥΑΦ [1],[2]

10.2.1 Κόστος Συστατικών των ΥΑΦ

Οι τιμές των ΥΑΦ είναι καθορισμένες από τη ζήτηση της αγοράς και τις σχέσεις προμήθειας. Σήμερα η αγορά των Η.Ε. δεν είναι πλήρως ανεπτυγμένη, οδηγώντας έτσι σε περιορισμένη ζήτηση η οποία είναι αρκετά υπεύθυνη για τις σχετικά υψηλές τιμές. Η δυναμικότητα της αγοράς για ΥΑΦ σε ευρείας κλίμακας εφαρμογές συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακών εξελίξεων των κτιρίων είναι εντούτοις πολύ σημαντική. Επειδή οι κατασκευαστές βασίζονται στις τιμές τους στις μελλοντικές απαιτήσεις από την αγορά, οι τιμές είναι πιθανό να πέσουν στο μέλλον. Οι σύγχρονες μελέτες ενεργειακής απόδοσης που ερευνά η κοινότητα των Η.Ε. συμπεραίνουν ότι τα ΥΑΦ αναμένεται να διαδραματίσουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των προσδοκιών τους για τις κτιριακές εφαρμογές. Ενθαρρυντικός τομέας δεδομένων ενεργειακής απόδοσης που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας από διαφορετικά εργαστήρια και πανεπιστήμια θα βοηθήσει τη ζήτηση της αγοράς καυσίμων για ΥΑΦ, με μεγάλη πιθανότητα να μειώσουν το κόστος αυτών των προϊόντων.

Το κόστος των προϊόντων ΥΑΦ καθορίζεται πρωτίστως από το κόστος των υλικών των ΥΑΦ σαν πρώτες ύλες και το κόστος της ενθυλάκωσης τους. Η ενθυλάκωση ή ο εγκιβωτισμός του υλικού μέσα σε μια αδρανή ουσία απαιτείται για να αποτρέψει το εξωτερικό περιβάλλον να έρθει σε επαφή και να μολύνει το ΥΑΦ. Ταυτόχρονα, η ενθυλάκωση επιτρέπει εύκολο χειρισμό των κτιριακών εφαρμογών που χρησιμοποιούν ΥΑΦ. Οι δύο κύριες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για εγκλεισμό των ΥΑΦ είναι: (1) μακροενθυλάκωση ή συσκευασία, όπου τα ΥΑΦ είναι έγκλειστα σε μεγάλες σακούλες, σωλήνες, ορθογώνια πάνελ, ή σφαιρικές κάψουλες και (2) μικροενθυλάκωση, όπου μικροσκοπικές ποσότητες ΥΑΦ είναι επικαλυμμένες με ένα προστατευτικό κέλυφος υλικού. Η μικροενθυλάκωση παρέχει βελτιωμένη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του ΥΑΦ και του περιβάλλοντα χώρου, λόγω της αυξημένης επιφάνειας αλλά συνήθως προσθέτει κόστος, διότι περιλαμβάνει διάφορα στάδια χημικής σύνθεσης. Το τελικό κόστος του προϊόντος ΥΑΦ ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την προσέγγιση που υιοθετήθηκε για τον εγκλεισμό του ΥΑΦ.

Τα ΥΑΦ που λαμβάνονται υπόψη για τις εφαρμογές των κτιρίων βασίζονται στη μεταβολή από στερεό σε υγρό και μπορεί να ταξινομηθεί σε 2 κύριες κατηγορίες: οργανικά και ανόργανα ΥΑΦ (η ανάλυση έχει προηγηθεί σε προηγούμενα κεφάλαια).

Το κόστος των υλικών εξαρτάται σημαντικά από την ταξινόμηση των ΥΑΦ (π.χ. οργανικά, ανόργανα ή βιολικά). Οι εμπορικές παραφίνες υλικών αλλαγής φάσης είναι υποπροϊόντα διύλισης πετρελαίου, συνεπώς είναι διαθέσιμα σε αφθονία σε σχετικά φθηνή τιμή. Η τιμή των παραφινών αυξάνει με την καθαρότητα. Η καθαρή κέρινη παραφίνη (>99%) είναι πιο ακριβή από το εμπορικό κερι τύπου p (90%-95%). Το τρέχον κόστος της κέρινης παραφίνης είναι \$0,85-\$0,91/lb (\$1.88-\$2.00/kg). Σαν αναφορά, το καθαρό εικοσάνιο εργαστηριακής ποιότητας είναι \$24.50/lb (\$53.90/kg), ενώ το αντίστοιχο εμπορικής ποιότητας είναι \$3.20/lb (\$7.04/kg). Το εκτιμώμενο κόστος της μικροενθυλάκωσης για μια παρόμοια παραφίνη είναι περίπου 45%-65% του συνολικού κόστους της παραφίνης. Μια άλλη χαμηλού κόστους εναλλακτική παραφίνη επίσης διαθέσιμη είναι η Baker Petrolite's POLYWAX η οποία κοστίζει \$2.00/gal (\$0.53/L).

Το κόστος των λιπαρών οξέων, όπως στεατικό οξύ, παλμιτικό οξύ, ελαϊκό οξύ, είναι \$0.65–\$0.71/lb (\$1.43–\$1.56/kg), \$0.73–\$0.78/lb (\$1.61–\$1.72/kg) και \$0.76–\$0.80/lb (\$1.67–\$1.76/kg) αντίστοιχα.

Στην αγορά, η εταιρεία Entropy Solutions Inc. παραθέτει τιμές εύρους \$0.75–\$2.50/lb (\$1.65–\$5.50/kg) για τον εμπορικό όγκο της που αφορούν τα οργανικά προϊόντα ΥΑΦ. Τα χημικά συστατικά της εν λόγω εταιρείας προέρχονται από αγροτικές πηγές και η θερμοκρασία τήξης τους ποικίλλει μεταξύ -40°F (-40°C) and 302°F (150°C).

Το 2010, η επιχείρηση Syntroleum Corporation έλαβε ένα βραβείο για την ανάπτυξη χαμηλού κόστους, βιογενών ΥΑΦ για εφαρμογές στο κέλυφος του κτιρίου. Το εργοστάσιο της συγκεκριμένης επιχείρησης χτίστηκε για να ανταγωνιστεί ένα βασικό προϊόν -καύσιμο ντίζελ- αφού μπορεί να κατασκευάσει το οκταδεκάνιο πλούσιο σε παραφίνη άμεσα στην τιμή του βιοντίζελ (το οποίο πουλάει στο εύρος \$4.50–\$5.50/gal (\$1.19–\$1.45/L) ή \$0.69–\$0.85/lb (\$1.52–\$1.87/kg)). Το κόστος μετατροπής της παραφίνης σε σταθερές συνθέσεις δεν έχει οριστεί ακόμα καλά. Αλλά επειδή το εργοστάσιο Syntroleum χρησιμοποιεί χαμηλού κόστους βασικό πλαστικό (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο) σε μια διαρκή διαδικασία χρησιμοποιώντας σαν κινητήρια δύναμη πολυμερή βιομηχανικού εξοπλισμού, τα κόστη αναμένεται να είναι σημαντικά χαμηλότερα από εκείνα της μικροενθάλκωσης. Οι τιμές αυτών των νέων ΥΑΦ τα οποία έχουν από 60% έως 70% παραφίνη με υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο αναμένεται να κυμανθούν από \$3.00/lb έως \$4.00/lb (\$6.60/kg και \$8.80/kg) με μια ενθαλπία στόχο περίπου 43 Btu/lb (100 kJ/kg).

Το μέσο κόστος του ανόργανου υλικού αλλαγής φάσης του χλωρίδιου του ασβεστίου είναι \$0.059–\$0.091/lb (\$0.13–\$0.20/kg), ενώ το κόστος μιας μικρής ποσότητας 1 lb (1 kg) είναι \$0.35 (\$0.77). Το χλωρίδιο του ασβεστίου είναι ένα άλας ασβεστίου και χλωριδίου και είναι άχρωμο, άοσμο και μη-τοξικό διάλυμα. Η Ινδική εταιρεία PCMEnergy παράγει ένυδρα άλατα ΥΑΦ με θερμοκρασία τήξης μεταξύ 64°F και 118°F (18°C – 48°C). Το ΥΑΦ προετοιμάζεται στο σπίτι και δεν περιέχει ακαθαρσίες. Το κόστος των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται είναι \$0.90–\$1.80/lb (\$1.98–\$3.96/kg). Τα προϊόντα ΥΑΦ είναι σε μορφή συσκευασίας αντί να βρίσκονται σε μικροκάψουλες. Η τιμή του τελικού προϊόντος είναι \$1.40–\$2.25/lb (\$3.08–\$4.95/kg) με το στάδιο της συσκευασίας να συνεισφέρει περίπου 20%–35% του συνολικού κόστους.

Η Alderman Research παράγει ανόργανα ΥΑΦ που αποτελούνται από $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ σαν κύριο συστατικό. Οι τροποποιητές ιξώδους, οι παράγοντες αντίδρασης και άλλοι σταθεροποιητές αποτελούν λιγότερο από το 20% του συνολικού βάρους. Τα ΥΑΦ ετοιμάζονται στο σπίτι και η θερμοκρασία τήξης τους κρατείται ανάμεσα στους 174°F και 176°F (79°C – 80°C). Η ανάλυση κόστους του προϊόντος περιλαμβάνει \$0.21/lb (\$0.46/kg) για το χημικό τύπο και \$0.18/ft² (\$1.94/m²) για πακετάρισμα της ταινίας (πρώτες ύλες μόνο, όχι εργασία, μεταφορικά ή κέρδος). Ένα συνηθισμένο μηχάνημα συσκευασίας τροφίμων, παρόμοιο με αυτά τα οποία συσκευάζουν καρυκεύματα για εθνικές αλυσίδες γρήγορου φαγητού, χρησιμοποιείται για να συσκευάσουν τα ΥΑΦ. Η διαδικασία εναπόθεσης σε συσκευασία περιλαμβάνει το κόσψιμο των ατομικών πακέτων σε ένα επιθυμητό μήκος παρά το σχίσιμο τους. Το τελικό κόστος του προϊόντος είναι \$1.00–\$2.00/ft² (\$10.76–\$21.52/m²) με τη διαδικασία πακεταρίσματος να υπολογίζεται στο 9%–18% του συνολικού κόστους. Αυτό το προϊόν είναι διαθέσιμο σε ποσότητες μεγέθους μιας παλέτας.

Το κόστος και η ογκομετρική λανθάνουσα θερμότητα είναι οι δυο παράμετροι κλειδιά τα οποία θα οδηγήσουν την αγορά στην υιοθέτηση των ΥΑΦ σαν ένα υλικό ενεργειακής απόδοσης κτιρίων. Σήμερα οι παραφίνες είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα ΥΑΦ στις κτιριακές εφαρμογές επειδή είναι μη-τοξικές, άφθονες όσον αφορά την παροχή και εύκολο να τις βάλουμε σε μικροκάψουλες. Άλλα ελκυστικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τη μικρή υπόψυξη, τη χημική αδράνεια και την καλή ανακυκλωσιμότητα. Αν και η τεχνολογία είναι έτοιμη για την ενσωμάτωση των παραφινών στα δομικά υλικά, το υψηλό κόστος των χημικών παραφινών σε συνδυασμό με τις ενθαλπίες αλλαγής φάσης (4,027–5,369 Btu/ft³, 150–200 MJ/m³) και τα υψηλά φορτία πυρκαγιάς αποδεικνύονται να είναι το μέγιστο εμπόδιο στην ευρεία αποδοχή τους. Επειδή οι παραφίνες προέρχονται από μαζούτ, οι τιμές τους είναι ευαίσθητες στις εποχές και στα γεωπολιτικά σενάρια. Στην πραγματικότητα το μαζούτ έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια. Όλοι αυτοί οι παράγοντες υπογραμμίζουν την ανάγκη να στρέψουμε τη προσοχή μακριά από τα ΥΑΦ

παραφινών σε μια άλλη κατηγορία ΥΑΦ. Τα ένυδρα άλατα και τα βιογενή ΥΑΦ είναι δυο εναλλακτικά υλικά με μεγάλη πιθανότητα να υποκαταστήσουν την παραφίνη στο μέλλον, καθώς επίσης να ανταγωνίζονται με τα υπάρχοντα υλικά και τεχνολογίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων.

10.3 Αναμενόμενες Μελλοντικές Μειώσεις Κόστους [2]

Η τιμή των πρώτων υλών και η διαδικασία ενθυλάκωσης τους καθορίζουν το κόστος των προϊόντων των ΥΑΦ. Το κόστος της μακροενθυλάκωσης ενός ΥΑΦ είναι περίπου 20% του συνολικού κόστους. Η διαδικασία μικροενθυλάκωσης είναι ακόμα πιο ακριβή στο περίπου 50% του κόστους του τελικού προϊόντος. Τελευταία οι παραφίνες είναι πιο δημοφιλής επιλογή σαν υλικά αλλαγής φάσης επειδή προσφέρουν πολλά ελκυστικά χαρακτηριστικά (π.χ. είναι χημικά αδρανή, μη-τοξικά και εύκολο να ενθυλακωθούν). Για κτιριακές εφαρμογές, η λανθάνουσα ενθαλπία ανά μονάδα όγκου και η μη ευφλεκτότητα, τα ένυδρα άλατα έχουν την πιθανότητα όχι μόνο να αντικαταστήσουν τις παραφίνες σαν υλικό αλλαγής φάσης αλλά επίσης να επιτυγχάνουν σε άλλες ανταγωνιστικές τεχνολογίες όπως είναι οι θερμικές μονώσεις. Υπάρχουν, παρόλα αυτά μερικές τεχνολογικές προκλήσεις που χρειάζεται να αναγνωριστούν προτού τα ένυδρα άλατα να γίνουν κοινότοπα ΥΑΦ σε κτιριακές εφαρμογές: η επίδραση υπόψυξης και η δυσκολία μικροενθυλάκωσης των ένυδρων αλάτων εξαιτίας του περιεχόμενου τους νερού (αν και υπάρχουν πρόσφατα ενθαρρυντικά βήματα σε αυτή την περιοχή). Πρόσφατα, οι τιμές των ένυδρων αλάτων έχουν πέσει, αλλά το πραγματικό διάλυμα κείται στην ανάπτυξη χαμηλού κόστους, εύκολα κατασκευάσιμων και χημικά, φυσικά και θερμικά σταθερά ένυδρα άλατα υλικών αλλαγής φάσης τα οποία θα δουλεύουν για κτιριακές εφαρμογές.

Τα βιογενή υλικά αλλαγής φάσης είναι μια άλλη ανανεώσιμη, φθηνή και οικολογική επιλογή έναντι των παραφινών. Με πιο προχωρημένες γνώσεις για τον έλεγχο των ιδιοτήτων μετάβασης και βελτιώσεις στην τεχνολογία της όλης διαδικασίας, είναι πιθανό ότι τα βιογενή ΥΑΦ θα γίνουν κοινότοπα στο εγγύς μέλλον.

10.4 Όρια Κόστους ΥΑΦ [1]

Έρευνες έχουν δείξει ότι οι μικροενθυλακωμένες παραφίνες ΥΑΦ με ενθαλπίες ανάμεσα σε 43 και 52 Btu/lb (100 και 120 kJ/kg) είναι οι πιο διαδεδομένες σε όλο τον κόσμο. Σε μια πρόσφατη έρευνα που πραγματοποιήθηκε μια ομάδα παρουσίασε τα αποτελέσματα των εφαρμογών που μελέτησε και έδειξαν ότι η τιμή των ΥΑΦ πρέπει να είναι κάτω από \$2.00/lb για να επιτευχθεί μια περίοδος αποπληρωμής 10 χρόνων. Σε αυτό το σημείο τίθεται ένα ερώτημα στη βιομηχανία ΥΑΦ αν μπορεί να επιτύχει αυτό το επίπεδο τιμής.

Υψηλότερες ενθαλπίες ΥΑΦ οδηγούν σε βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση και αποτελεσματικότητα κόστους. Για τις τοποθεσίες όπου τα ενισχυμένα κτιριακά κελύφη με ΥΑΦ μπορούν να αποπληρωθούν σε ένα μέγιστο διάστημα 10 ετών, η πιο αποδεκτή τιμή ΥΑΦ με ενθαλπίες μεταξύ 82 και 95 Btu/lb (190 and 220 kJ/kg) πρέπει να κυμαίνεται από \$3.50 έως \$4.00/lb για τα μικροενθυλακωμένα προϊόντα. Τα πιο γνωστά υπογνήφια για αυτά τα επίπεδα κόστους είναι τα βιογενή ΥΑΦ (μίγματα λιπαρών οξέων και λιπαροί εστέρες) και χαμηλού κόστους ένυδρα άλατα.

Οι πιο υποσχόμενες εξελίξεις για να μειωθεί το κόστος των προϊόντων ΥΑΦ είναι η μείωση του κόστους μικροενθυλάκωσης για τα οργανικά ΥΑΦ και η ανάπτυξη της τεχνολογίας μικροενθυλάκωσης για τα ανόργανα ΥΑΦ. Τα ανόργανα ΥΑΦ είναι μη εύφλεκτα και έχουν σημαντικά υψηλότερες ενθαλπίες. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ήδη αναγνωρίσει το ενδεχόμενο των σημαντικών μειώσεων κόστους της αποθήκευσης θερμότητας των ΥΑΦ. Ένα διεθνές πρόγραμμα που περιλαμβάνει τα περισσότερα από τα Ευρωπαϊκά ερευνητικά κέντρα που δουλεύουν πάνω στον τομέα των ΥΑΦ – με επίκεντρο την ενθυλάκωση των ανόργανων ΥΑΦ- έχει ήδη ξεκινήσει.

Σύμφωνα λοιπόν με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε η θερμική απόδοση και η ανάλυση κόστους έδειξε ότι για τις περισσότερες τοποθεσίες που έχουν ένα ενιαίο ηλεκτρικό τιμολόγιο, ο πιο σημαντικός παράγοντας θα ήταν η ανάπτυξη των ΥΑΦ με μίγματα μόνωσης τα οποία θα είχαν τη μέγιστη πιθανότητα

για δυναμική μείωση φορτίων σε ένα επιθυμητό θερμοκρασιακό εύρος. Νωρίτερα έρευνες έδειξαν ότι είναι πολύ σημαντικό να βελτιστοποιήσουμε τη συγκέντρωση των ΥΑΦ, τη συνολική ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας και το προφίλ ενθαλπίας ώστε να μεγιστοποιήσουμε την απόδοση των ενισχυμένων με ΥΑΦ κελύφους των κτιρίων.

Ένα δεύτερο σημαντικό χαρακτηριστικό που επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση και την αποτελεσματικότητα κόστους είναι η μετατόπιση του μέγιστου φορτίου αιχμής. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι επίσης πολύ σημαντικό για τοποθεσίες με τιμολόγιο που σχετίζεται με την διάρκεια χρήσης. Η ανάλυση κόστους έδειξε στη συγκεκριμένη έρευνα ότι είναι δυνατό να μειώσουμε το κόστος της ενέργειας ψύξης πάνω από 30% με εφαρμογές ΥΑΦ ικανότητας σημαντικής μετατόπισης μέγιστου φορτίου αιχμής και παίρνοντας πλεονέκτημα από το τιμολόγιο ηλεκτρισμού χαμηλής ζήτησης. Στις περισσότερες περιοχές, η ώρα χαμηλής ζήτησης ξεκινά στις 7μ.μ. Εξαιτίας αυτού η ανάπτυξη προϊόντων ΥΑΦ για το κτιριακό κέλυφος με μια τουλάχιστον πεντάωρη δυνατότητα μετατόπισης φορτίου είναι σημαντική.

Οι ερευνητές παρουσίασαν στη μελέτη τους ένα θερμικό μοντέλο το οποίο έδειξε ότι τα μείγματα ΥΑΦ υψηλής τιμής R (θερμική αντίσταση) και θερμικής μόνωσης προκαλούν σημαντική χρονική μετατόπιση των θερμικών φορτίων. Είναι πολύ πιθανό κατά τη διάρκεια του 70% του χρόνου (περίπου 17 ώρες τη μέρα) να έχουμε ροή θερμότητας στην αντίθετη κατεύθυνση όπως ένα κτίριο χωρίς ΥΑΦ. Σαν αποτέλεσμα, μια επίδραση παθητικής ψύξης προκαλείται από αυτό το είδος ενισχυμένων με ΥΑΦ κτιρίων κατά τη διάρκεια της μέρας. Αναμένεται ότι αυτά τα φαινόμενα παθητικής ψύξης ίσως βελτιώσουν σημαντικά τη συνολική αποτελεσματικότητα κόστους των εφαρμογών με διεσπαρμένα ΥΑΦ. Βέβαια η ομάδα συστήνει περισσότερη έρευνα σε αυτό τον τομέα.

Μελλοντικές Μειώσεις στο κόστος των ΥΑΦ μπορεί να επιτευχθεί:

1. Εφαρμόζοντας ΥΑΦ υψηλότερων ενθαλπιών (περίπου 86 Btu/lb με 200 kJ/kg), τα πιο γνωστά υποψήφια ΥΑΦ είναι τα βιογενή ΥΑΦ (μείγματα λιπαρών οξέων και εστέρων) και χαμηλού κόστους ένυδρα άλατα.
2. Μειώνοντας το κόστος των πρώτων υλών των ΥΑΦ, για παράδειγμα χρησιμοποιώντας ανόργανα ΥΑΦ
3. Μειώνοντας τα κόστη μικροενθυλάκωσης ή βρίσκοντας λιγότερο ακριβές μεθόδους για μικροσυσκευασία
4. Αναπτύσσοντας χαμηλού κόστους μεθόδους μικροενθυλάκωσης για ανόργανα ΥΑΦ
5. Βελτιστοποιώντας τα φορτία των ΥΑΦ στα προϊόντα των κτιριακών κελυφών
6. Θεωρώντας την τιμή των ΥΑΦ, για τις τοποθεσίες των νότιων Η.Ε. με μια μέγιστη αναμενόμενη περίοδο αποπληρωμής 10 χρόνων, η υψηλότερη αποδεκτή τιμή για τα ΥΑΦ θα ήταν μεταξύ \$3.50 και \$4.00/lb για τα μικροενθυλακωμένα προϊόντα με ενθαλπίες ανάμεσα σε 82 και 95 Btu/lb (190 και 220 kJ/kg).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 10^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1] <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/55553.pdf>

[2] <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/advanced-phase-change-material-pcm-market-1087.html>

ΜΕΡΟΣ Γ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο η μετάδοση θερμότητας στην αποθήκευση με ΥΑΦ είναι ένα περιοδικό μη-γραμμικό φαινόμενο με μία μεταβαλλόμενη διεπιφάνεια μεταξύ των φάσεων του στερεού και του υγρού, το οποίο γενικά αναφέρεται ως το πρόβλημα των κινούμενων ορίων. Η μεταβλητότητα των ορίων, μάλιστα, σε τέτοια προβλήματα καθορίζεται από τη λανθάνουσα θερμότητα η οποία απελευθερώνεται ή αποδίδεται στο όριο. Η μη-γραμμικότητα είναι η πηγή των προβλημάτων στα προβλήματα κινούμενων ορίων, εξαιτίας της οποίας η αναλυτική λύση τέτοιων προβλημάτων είναι γνωστή μόνο για πολύ λίγες περιπτώσεις, όπως για μία απλή γεωμετρία ή για πρόβλημα με απλές συνθήκες ορίων. Επομένως, πρέπει να χρησιμοποιηθούν αριθμητικές μέθοδοι, ώστε να επιτύχουν μία λύση του προβλήματος μετάδοσης θερμότητας που να είναι αρκετά ακριβής.

Σαν προβλήματα αλλαγής φάσης συνήθως επιλύονται με πεπερασμένες διαφορές ή πεπερασμένα στοιχεία σύμφωνα με την αριθμητική προσέγγιση. Το φαινόμενο αλλαγής φάσης πρέπει να μοντελοποιηθεί ξεχωριστά εξαιτίας της μη-γραμμικής φύσης του προβλήματος. Έχει αναπτυχθεί μία μεγάλη γκάμα αριθμητικών μεθόδων για επίλυση των προβλημάτων με τα ΥΑΦ. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι η μέθοδος της ενθαλπίας και η μέθοδος της ενεργούς θερμοχωρητικότητας. Αυτές οι μέθοδοι είναι ικανές να προσεγγίσουν ΥΑΦ με ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών αλλαγής φάσης. Επίσης, ανήκουν στην κατηγορία των μεθόδων σταθερού τομέα (fixed-domain methods), οι οποίες αντιμετωπίζουν τη στερεή και την υγρή φάση ως ένα ενιαίο μέσο, ενώ η συνθήκη της διεπιφάνειας των φάσεων υποχωρεί σε μία καινούρια μορφή των εξισώσεων που περιέχουν τα αντίστοιχα μεγέθη για κάθε μία από τις δύο μεθόδους.

Πριν παρουσιαστούν συνοπτικά οι δύο αυτές μέθοδοι, αναφέρεται εδώ η γενική εξίσωση, γνωστή ως η συνθήκη του Stephan, η οποία περιγράφει την παραπάνω διαδικασία:

Όπου λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα τήξης, ρ είναι η πυκνότητα (δεν διευκρινίζεται αν είναι στερεό ή υγρό), $s(t)$ είναι η θέση της επιφάνειας, k είναι η θερμική αγωγιμότητα, t είναι ο χρόνος και T είναι η θερμοκρασία. Οι δείκτες s και l υποδεικνύουν τις φάσεις του στερεού και του υγρού αντίστοιχα.

Τα βασικά προβλήματα, λοιπόν, είναι ότι η θέση και η ταχύτητα των ορίων δεν είναι εκ των προτέρων γνωστά και αφού οι δύο φάσεις εμφανίζουν διαφορετικές φυσικές ιδιότητες, πρέπει να προσεχτούν πολύ οι μη-φυσικές ασυνέχειες οι οποίες μπορεί να προκύψουν.

Όπως πολλές φορές μέχρι τώρα έχουμε αναφέρει, τα υλικά αλλαγής φάσης προσελκύουν το ενδιαφέρον των ερευνητών παγκοσμίως καθώς χρησιμοποιούνται σε πολλές τεχνολογικές εφαρμογές τα τελευταία χρόνια. Καθώς οι συμβατικές διαδικασίες μέτρησης παρουσιάζουν, σε ορισμένες περιπτώσεις, προβλήματα στη μέτρηση των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των ΥΑΦ νέες μέθοδοι εμφανίστηκαν τα

τελευταία είκοσι χρόνια στοχεύοντας στη βελτίωση της ακρίβειας τη μείωση του κόστους και την απλοποίηση των διαδικασιών μέτρησης. Οι διαφορικές μέθοδοι μέτρησης και οι βελτιωμένες εκδοχές τους για παράδειγμα οι συμβατικές μέθοδοι θερμιδομέτρων και οι διαδικασίες διαφορικής θερμικής ανάλυσης χρησιμοποιούνται συχνά στη μέτρηση των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών. Παρόλα αυτά διάφοροι συγγραφείς ανίχνευσαν σχετικά προβλήματα και πρότειναν τις αντίστοιχες βελτιώσεις.

Το 1999 Yinping et al. παρουσίασαν μια καινούρια μέθοδο με την ονομασία «T-History» (έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο αναλυτικά). Τα πλεονεκτήματα της αρχικά προτεινόμενης μεθόδου ήταν εμφανή όπως αποδείχθηκε από μια εκτενή έρευνα πάνω στο θέμα από διάφορους συγγραφείς οδηγώντας έτσι σε περαιτέρω βελτιώσεις. Μια από τις βελτιωμένες διαδικασίες που προτάθηκε από τους σύγχρονους συγγραφείς σε πρόσφατες εκθέσεις είναι η «Θερμική Μέθοδος Καθυστέρησης» («Thermal Delay Method»). Οι προτεινόμενες βελτιώσεις αναφέρονται στον τρόπο μέτρησης το οποίο είναι το πιο σημαντικό μέρος της συνεισφοράς και το είδος της φόρμας παρουσίασης των τελικών αποτελεσμάτων. Οι αλλαγές σημείωσαν βελτιωμένη ακρίβεια και παρείχαν αυτοματισμό, άνεση και ταχύτητα και αποτελέσματα ευθέως εφαρμόσιμα στους περισσότερους υπολογισμούς και συγκεκριμένα στις αριθμητικές προβλέψεις.

Σε έκθεση που δημοσιεύτηκε από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και αφορά το σχετικό θέμα η «Θερμική Μέθοδος Καθυστέρησης» χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμότητας αλλαγής φάσης H , των θερμοκρασιών T_i , T_s και των αντίστοιχων θερμοχωρητικότητων $C_{p,i}$, $C_{p,s}$ στο τέλος της διφασικής περιοχής αλλαγής φάσης των διάφορων ΥΑΦ. Η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας H^* κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου θερμοκρασιακού εύρους μεγαλύτερου από το θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης T_i - T_s , (για παράδειγμα για T_i και T_s) επίσης μετράται. Παρόλα αυτά το πιο σημαντικό αποτέλεσμα αυτών των μετρήσεων, που ενδιαφέρει και εμάς, είναι η «ενεργός θερμοχωρητικότητα» σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία $C_{p,eff}(T)$. Αυτή η συνάρτηση η οποία αναπαριστά μια ισοδύναμη θερμική ικανότητα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αλλαγής φάσης, περιέχει πολύ περισσότερες πληροφορίες από ότι η ολική θερμότητα αλλαγής φάσης H , όπως μετρήθηκε από τους περισσότερους ερευνητές. Για παράδειγμα οι θερμοκρασίες T_i και T_s στα όρια της περιοχής αλλαγής φάσης είναι εύκολα συναγόμενες από την καμπύλη της ενεργού θερμοχωρητικότητας, και οι τιμές των θερμοχωρητικότητων $C_{p,i}$ και $C_{p,s}$ του υγρού και του στερεού υλικού λαμβάνονται από την $C_{p,eff}(T)$ για $T \geq T_i$ και $T \leq T_s$ αντίστοιχα. Επίσης η $C_{p,eff}(T)$ παρέχει τη δυνατότητα να συγκρίνουμε διαφορετικά ΥΑΦ και είναι πολύ χρήσιμη στους περισσότερους υπολογισμούς. Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι στους υπολογισμούς αριθμητικής μεταφοράς θερμότητας, αφού αυτά ακολουθούν τη συνήθη αριθμητική διαδικασία επίλυσης της διαφορικής εξίσωσης μεταφοράς ενέργειας, με την θερμοχωρητικότητα των ΥΑΦ κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης να είναι μια συνάρτηση της θερμοκρασίας, δηλαδή $C_{p,eff}(T)$. Η παρουσίαση των μετρήσεων στη μορφή της $C_{p,eff}(T)$ είναι ανάλογη με αυτή που προτάθηκε από τους Mehling et al. Αλλά χωρίς να είναι απαραίτητο να περάσουμε από τον καθορισμό της συνάρτησης ενθαλπίας.

Για λόγους πληρότητας παραθέτουμε και εδώ τις υπάρχουσες μεθόδους.

11.1 Μέθοδος Ενθαλπίας [1],[2]

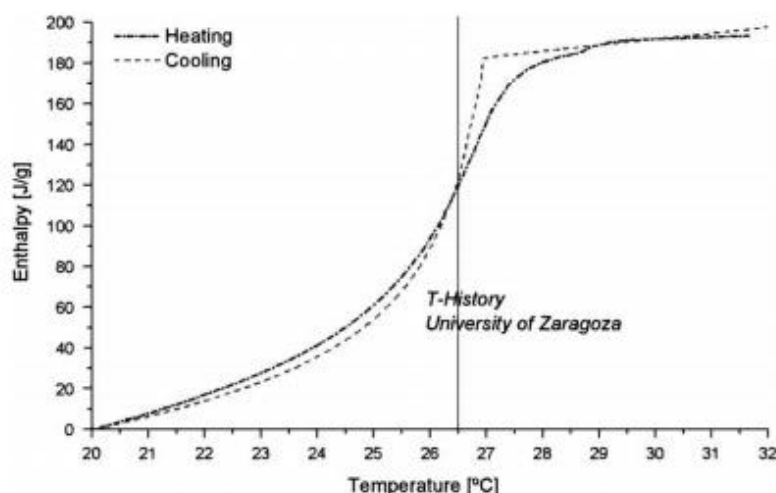
Το κύριο χαρακτηριστικό των ΥΑΦ είναι η σχέση ενθαλπίας-θερμοκρασίας που καθορίζει την ικανότητά τους να αποθηκεύουν θερμότητα. Αυτή η σχέση καθορίζεται πειραματικά με θερμιδομετρικές μεθόδους. Τα ΥΑΦ είναι ιδιαίτερα δύσκολα δείγματα λόγω της μεγάλης θερμικής μάζας τους, αλλά και γιατί συχνά είναι ετερογενή υλικά ή παρουσιάζουν χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από τον όγκο. Η μεταφορά θερμότητας κατά την αποθήκευση στο ΥΑΦ είναι ένα παροδικό, μη γραμμικό φαινόμενο με μια κινούμενη διεπιφάνεια στερεού-υγρού το οποίο είναι γνωστό ως κινούμενο συνοριακό πρόβλημα (πρόβλημα Stephan- έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο). Η μη γραμμικότητα είναι η πηγή των δυσκολιών και οι αναλυτικές λύσεις για τα προβλήματα αλλαγής φάσης είναι γνωστές μόνο για ορισμένες φυσικές καταστάσεις που έχουν απλή γεωμετρία και απλές οριακές συνθήκες. Ως εκ τούτου, η απόκτηση

θερμιδομετρικών δεδομένων δεν είναι εγγυημένη μέσω μιας αντιπροσωπευτικής τυποποιημένης μεθοδολογίας και μάλιστα χωρίς την προσθήκη σχολιασμών στα δεδομένα των μετρήσεων μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν παρεξηγήσεις. Για το λόγο αυτό μια βελτιωμένη μεθοδολογία θα συμβάλει στην αποφυγή συγχύσεων μεταξύ των ερευνητών, παραγωγών και αγοραστών των ΥΑΦ.

Επιπλέον, τα ΥΑΦ παρουσιάζουν κάποια υστέρηση αλλά και φαινόμενα υπόψυξης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η λανθάνουσα θερμότητα και η ειδική θερμοχωρητικότητα C_p φαίνονται ανεπαρκείς προκειμένου να προσδιορίσουν την ικανότητα αποθήκευσης των ΥΑΦ σε κάθε θερμοκρασία. Αντιθέτως, αυτή η πληροφορία δίνεται από την καμπύλη ενθαλπίας-θερμοκρασίας. Μια μορφή αυτής της καμπύλης δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Προκειμένου να γίνει μια τέτοια μοντελοποίηση, χρησιμοποιούνται οι εξής παραδοχές για την τήξη και τη στερεοποίηση των ΥΑΦ όπως φαίνονται παρακάτω:

1. Το ΥΑΦ μπορεί να θεωρηθεί ως ένα συνεχές μέσο σε μακροσκοπική κλίμακα.
2. Η μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής στο εσωτερικό του ΥΑΦ είναι αμελητέα.
3. Οι θερμικές ιδιότητες (θερμοχωρητικότητα και θερμική αγωγιμότητα) του ΥΑΦ είναι σταθερές σε κάθε φάση, αλλά η θερμοχωρητικότητα θα μπορούσε να είναι ασυνεχής μεταξύ στερεής και υγρής φάσης. Αντίθετα, η θερμική αγωγιμότητα θεωρείται ότι είναι ανεξάρτητη από την κατάσταση του ΥΑΦ.
4. Η αλλαγή φάσης λαμβάνει χώρα υπό σταθερή πίεση.
5. Η υπόψυξη είναι αμελητέα.
6. Για υλικά αλλαγής φάσης πολλών συστατικών που υποβάλλονται σε μετασχηματισμό σε ένα εύρος θερμοκρασιών, δεν θεωρούνται φαινόμενα διαχωρισμού κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης.



ΣΧΗΜΑ 11.1 Καμπύλη ενθαλπίας συναρτήσει της θερμοκρασίας για ΥΑΦ με τη μέθοδο T-History [1]

Από την παραπάνω καμπύλη διαπιστώνουμε μια μέση θερμοκρασία αλλαγής φάσης για το ΥΑΦ γύρω στους $26,5^{\circ}\text{C}$.

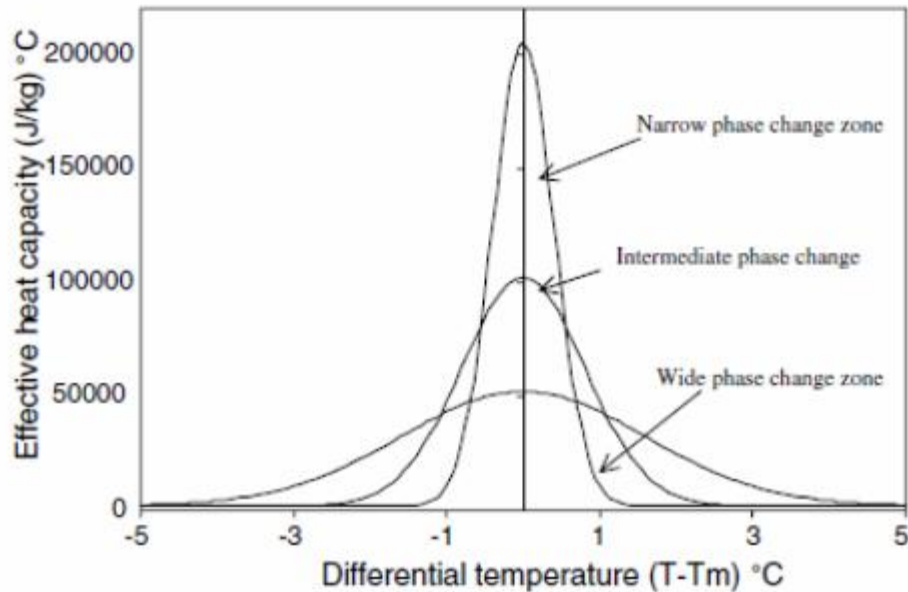
Από πειράματα που έγιναν από διάφορους μελετητές διαπιστώθηκε ότι όσο οι τιμές της ενθαλπίας ενός ΥΑΦ αυξάνονται, τόσο αυξάνεται η ενέργεια που προσδίδεται, καθώς επίσης και η μέγιστη ισχύς και η διάρκεια της διαδικασίας. Επιπλέον, κατά το στάδιο τήξεως παρατηρείται μια αλλαγή στο σχήμα της καμπύλης, όπως αυξάνονται οι τιμές της ενθαλπίας, αλλά αυτή η αλλαγή στο σχήμα δεν συμβαίνει και κατά το στάδιο της στερεοποίησης.

Στην πραγματικότητα, σε περιπτώσεις αλλαγής φάσης, περισσότερες από μία διεπιφάνεια αλλαγής φάσης μπορεί να υπάρξουν ή οι διεπιφάνειες αυτές ενδέχεται να εξαφανιστούν εντελώς. Επιπλέον, η αλλαγή φάσης συμβαίνει συνήθως σε μη ισοθερμοκρασιακό εύρος θερμοκρασίας, όπως στην περίπτωση της παραφίνης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η παρακολούθηση της διεπιφάνειας στερεού-υγρού μπορεί να είναι δύσκολη ή και αδύνατη. Από υπολογιστική άποψη, θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο το πρόβλημα να αναδιατυπωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι διάφορες εξισώσεις που το περιγράφουν να ενσωματωθούν σε μία νέα μορφή εξισώσεων που θα εφαρμόζονται σε όλα τα σταθερά τμήματα του προβλήματος. Αυτό μπορεί να γίνει με τη γνωστή συνάρτηση ενθαλπίας θερμοκρασίας του εκάστοτε ΥΑΦ που χρησιμοποιείται. Η συνάρτηση αυτή καθορίζει το άθροισμα της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας που απαιτείται για την αλλαγή φάσης. Το μεγάλο πλεονέκτημα όμως της μεθόδου ενθαλπίας είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιοδήποτε υλικό και όχι μόνο με τα υλικά αλλαγής φάσης.

11.2 Μέθοδος Θερμικής Καθυστέρησης (Thermal Delay Method) - Μέθοδος Ενεργού Θερμοχωρητικότητας [3]

Διάφορα ΥΑΦ που χρησιμοποιούνται σε κτίρια περιέχουν συστατικά που υποβάλλονται σε χημικές αντιδράσεις όχι μόνο κατά τη φάση της παραγωγής τους, αλλά και μετά την ενσωμάτωσή τους σε δομικά στοιχεία ενός κτιρίου. Η εμφάνιση αυτή των χημικών αντιδράσεων μπορεί να αλλάξει τη θερμική συμπεριφορά ενός συγκεκριμένου υλικού αφού μπορεί να παραχθεί ή να απορροφηθεί θερμότητα ανάλογα με το είδος της αντίδρασης. Οι διαδικασίες αυτές εντείνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας, όταν οι αντιδράσεις γίνονται γρηγορότερα, και για ορισμένες συνιστώσες του υλικού προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιάς. Μία αντιπροσωπευτική μαθηματική περιγραφή των φαινομένων μεταφοράς στα δομικά υλικά ενός κτιρίου σε υψηλές θερμοκρασίες, που είναι πολύ σημαντική για θέματα πυροπροστασίας, περιλαμβάνει τη διαμόρφωση ενός σχετικά πολύπλοκου προβλήματος της μηχανικής συνεχούς μέσου και της θερμοδυναμικής. Το πρόβλημα αυτό, μπορεί να επιλυθεί με τη βοήθεια της θεωρίας των χημικών αντιδράσεων μιγμάτων και με μια σειρά διαφορικών εξισώσεων. Ωστόσο αυτές οι εξισώσεις δεν ήταν πολύ συχνές σε πρακτικές εφαρμογές μέχρι σήμερα. Έτσι, αναπτύχθηκε το μοντέλο της ενεργού θερμοχωρητικότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, το οποίο περιλαμβάνει τις θερμικές επιδράσεις λόγω των χημικών αντιδράσεων και / ή διεργασίες αλλαγής φάσης και χρησιμοποιεί ένα μη αδιαβατικό θερμιδόμετρο, το οποίο είχε αναπτυχθεί νωρίτερα, για την μέτρηση της ενεργού θερμοχωρητικότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας.

Με τη μέθοδο της ενεργού θερμοχωρητικότητας είναι επίσης δυνατό να περιγραφεί η μη ισοθερμοκρασιακή αλλαγή φάσης ενός ΥΑΦ. Η ενεργός θερμοχωρητικότητα του υλικού C_{peff} είναι ανάλογη της αποθηκευμένης ενέργειας, της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης αλλά και της ειδικής θερμότητας. Ωστόσο, είναι αντιστρόφως ανάλογη του θερμοκρασιακού εύρους τήξης ή στερεοποίησης. Το μέγεθος της ενεργού θερμοχωρητικότητας περιλαμβάνει τις έννοιες των χημικών αντιδράσεων και της αλλαγής φάσης. Λόγω της πολυπλοκότητας αυτών των εννοιών, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ακριβής μέτρηση της ενεργού θερμοχωρητικότητας δεν είναι μια απλή διαδικασία, καθώς θα πρέπει να συμπεριλάβουμε τις παραμέτρους των χημικών αντιδράσεων και τα διαγράμματα φάσης τα οποία, για ορισμένες αντιδράσεις και υλικά, δεν έχουν προσδιοριστεί επακριβώς ως τώρα. Παρακάτω απεικονίζεται ένα τυπικό διάγραμμα αυτής της μεθόδου.



ΣΧΗΜΑ 11.2 Μεταβολή της ενεργού θερμοχωρητικότητας συναρτήσει της διαφορικής θερμοκρασίας [1]

Με βάση το παραπάνω σχήμα, είναι σαφές ότι, προκειμένου να αποφευχθεί μια άπειρη θερμοχωρητικότητα αλλά και να προωθηθεί η μέγιστη εξέλιξη της λανθάνουσας θερμότητας πρέπει να διατηρηθεί ένα θερμοκρασιακό εύρος. Ακόμα κι αν η μέθοδος αυτή δεν αποτελεί ένα αρκετά ακριβές μοντέλο ισοθερμοκρασιακής διαδικασίας αλλαγής φάσης, η κατανομή Gauss επιτρέπει το φιλτράρισμα των αριθμητικών ταλαντώσεων, περιορίζοντας έτσι τα λάθη. Για αυτό το λόγο γίνεται χρήση της επίδρασης και των τριών καθορισμένων ζωνών αλλαγής φάσης (στενή, ενδιάμεση και πλατιά) στην προσομοιωτική διαδικασία.

Έχει διαπιστωθεί με πειραματικές διαδικασίες ότι τα διάφορα ΥΑΦ παρουσιάζουν διαφορετική καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας-θερμοκρασίας. Για συμπαγή, θερμικά σταθερά υλικά όπως το σκυρόδεμα, η ενεργός θερμοχωρητικότητα αυξάνει μονότονα με τη θερμοκρασία, γεγονός που είναι ανάλογο με τα ομοιογενή υλικά, π.χ. τα μέταλλα. Η μορφή της καμπύλης $C_{p,eff}(T)$ για τα υλικά με μικρή θερμομόνωση εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την περιεκτικότητα σε οργανικές ενώσεις, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις αλλαγές στη δομή και τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στη ζώνη των υψηλότερων θερμοκρασιών. Τα υλικά αυτά εμφανίζουν δραματικές αλλαγές στην ενεργό θερμοχωρητικότητα στο θερμοκρασιακό εύρος 300-600°C, όταν προσεγγίζεται η θερμοκρασία καύσης. Προφανώς, αυτά τα είδη υλικών δεν είναι κατάλληλα για εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας και μπορούν να χρησιμοποιούνται σε οικοδομικά έργα, ως θερμομονωτικά υλικά μόνο σε χαμηλότερη θερμοκρασιακή περιοχή, μέχρι και 200°C. Αντίθετα τα υλικά με μικρότερη περιεκτικότητα σε οργανικές ουσίες, συνήθως λιγότερο από 5%, δεν εμφανίζουν δραματικές αλλαγές στην καμπύλη $C_{p,eff}(T)$.

Η μέθοδος αυτή για τη μέτρηση της ενεργού θερμοχωρητικότητας μπορεί να αποδειχτεί ιδιαίτερη χρήσιμη για την εκτίμηση της συμπεριφοράς ενός υλικού, για παράδειγμα, σε ακραίες συνθήκες, όπως η φωτιά σε ένα κτίριο, χωρίς να είναι απαραίτητες οι λεπτομέρειες για την ακριβή του σύσταση. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί το είδος και η ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων ανάλογα με τη θερμοκρασία, γεγονός που μπορεί να θεωρηθεί ως μια πρώτη εικόνα διερεύνησης ενός όχι τόσο γνωστού ΥΑΦ. Ειδικότερα, τα ελάχιστα στις καμπύλες $C_{p,eff}(T)$ παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι απεικονίζουν μια εξώθερμη χημική αντίδραση, όπως η καύση ενός συστατικού που, από την άποψη των θερμομονωτικών ιδιοτήτων του, είναι η πιο επικίνδυνη για ένα

δομικό υλικό. Ωστόσο, ο καθορισμός του θερμοκρασιακού εύρους μέσα στο οποίο οι χημικές αντιδράσεις είναι σημαντικές για τη συμπεριφορά ενός ειδικού υλικού σε υψηλότερες θερμοκρασίες, δεν είναι ιδιαίτερα ακριβείς με τη μέθοδο της ενεργού θερμοχωρητικότητας. Στο μόνο σημείο που μπορεί να χρησιμεύσει είναι ως μια πρόχειρη πρώτη ένδειξη της θερμικής σταθερότητας του υλικού. Ο λόγος είναι ότι οι επιρροές των χημικών αντιδράσεων και των αλλαγών φάσης εκφράστηκαν εν μέρει από το μέγεθος C_{peff} . Παρόλα αυτά όταν οι συνθήκες του πειράματος διατηρούνται σταθερές μπορούμε να παρατηρήσουμε έμμεσα τη εξάρτηση της ταχύτητας της αντίδρασης από την θερμοκρασία και να εντοπίσουμε με σχετική ακρίβεια στην καμπύλη του C_{peff} το τμήμα εκείνο στο οποίο έχει ολοκληρωθεί η αντίδραση, κατά την διάρκεια της θέρμανσης του υλικού στον κλίβανο.

Σαν παράδειγμα στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι σχέσεις υπολογισμού της θερμοχωρητικότητας για την παραφίνη με την μέθοδο ενθαλπίας και με τη μέθοδο της ενεργού θερμοχωρητικότητας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.1 Ειδική θερμοχωρητικότητα και συντελεστής συναγωγής για την παραφίνη [1]

Paraffin $c_p(T)$	Melting	Solidification
Enthalpy method	$c_p(T) = \begin{cases} 247^2 + 515T + 3606, & 10^\circ\text{C} \leq T < 20^\circ\text{C} \\ 1467^3 - 9123T + 191658, & 20^\circ\text{C} \leq T \leq 27^\circ\text{C} \\ 112857^2 - 652T + 9424, & 27^\circ\text{C} \leq T \leq 29^\circ\text{C} \\ 2400, & T > 29^\circ\text{C} \end{cases}$ $h_c = 75 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1} \text{ when } T > 20^\circ\text{C}$	$c_p(T) = \begin{cases} 327^2 - 671T + 4548, & 10^\circ\text{C} \leq T < 19^\circ\text{C} \\ 32057^2 - 124276T + 1207500, & 19^\circ\text{C} \leq T \leq 23^\circ\text{C} \\ -115437^2 + 536878T - 6197600, & 23^\circ\text{C} < T \leq 25^\circ\text{C} \\ -7374T + 194125, & 25^\circ\text{C} < T \leq 26^\circ\text{C} \\ 2400, & T > 26^\circ\text{C} \end{cases}$ $h_c = 0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
Effective heat capacity method	$c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T < 21 \\ 18067, & 21 \leq T \leq 28 \\ 2400, & T > 28 \end{cases}$ $h_c = 75.03 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1} \text{ when } T > 21^\circ\text{C}$ $c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T < 25 \\ 116866, & 25 \leq T \leq 27 \\ 2400, & T > 27 \end{cases}$ $h_c = 69 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1} \text{ when } T > 25^\circ\text{C}$	$c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T < 20 \\ 26740, & 20 \leq T \leq 25 \\ 2400, & T > 25 \end{cases}$ $c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T < 25 \\ 127698, & 25 \leq T \leq 27 \\ 2400, & T > 27 \end{cases}$ $h_c = 0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Η πρόσφατη μέθοδος που παρουσιάστηκε είναι μια βελτιωμένη εκδοχή της πολύ γνωστής μεθόδου της T-History η οποία είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη για τη μέτρηση των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης. Η πιο σημαντική διαφορά ανάμεσα στη μέθοδο θερμικής καθυστέρησης και την T-History είναι ότι η προηγούμενη βασίζεται στη χρήση της θερμικής καθυστέρησης (δηλαδή θερμοκρασιακή διαφορά) ανάμεσα στο ΥΑΦ και ένα υγρό αναφοράς σε κάποιο ορισμένο χρόνο, ενώ η τελευταία κάνει χρήση της χρονικής καθυστέρησης σε κάποια ορισμένη θερμοκρασία.

Για λόγους πληρότητας της εργασίας θα συμπεριλάβουμε απλά μια σύνοψη των βασικών βημάτων που ακολουθεί η μέθοδος θερμικής καθυστέρησης.

Δύο γυάλινοι σωλήνες μικρής διαμέτρου και μεγάλου μήκους χρησιμοποιούνται, γεμάτοι με ΥΑΦ και ένα κατάλληλο υγρό αναφοράς (συνήθως νερό) αντίστοιχα ο καθένας. Οι δυο σωλήνες θερμαίνονται αρχικά, μέσα σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον σε ένα δωμάτιο δοκιμών για να φτάσουμε μια ομοιόμορφη θερμοκρασία T_0 υψηλότερη από τη θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ T_1 . Μετά ψύχονται μέσα στο ίδιο δωμάτιο η εσωτερική θερμοκρασία του οποίου είναι T_∞ , χαμηλότερη από τη θερμοκρασία στερεοποίησης του ΥΑΦ

T_s , μέχρι ολόκληρο το ΥΑΦ να στερεοποιηθεί. Κατά τη διάρκεια της ψύξης και του ΥΑΦ και του υγρού αναφοράς, οι θερμοκρασίες τους $T(t)$ και $T_r(t)$ αντίστοιχα μετρώνται συναρτήσει του χρόνου ξεκινώντας από μια αρχική θερμοκρασία T_0 και καταλήγοντας σε μια θερμοκρασία T_e , η οποία είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία στερεοποίησης του ΥΑΦ T_s .

Η πιο σημαντική διαφορά μεταξύ της «μεθόδου θερμικής καθυστέρησης» και της «T-History» είναι ο ανόμοιος τρόπος της διαδικασίας μετρήσεων. Η αυθεντική μέθοδος T-History βασίζεται στην εξέταση της χρονικής καθυστέρησης μεταξύ του ΥΑΦ και του υγρού αναφοράς σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Για παράδειγμα η θερμοκρασία T_s λαμβάνεται σε χρόνο t_s στο ΥΑΦ ενώ στο υγρό αναφοράς η ίδια θερμοκρασία λαμβάνεται σε νωρίτερα σε χρόνο $t_{sr} < t_s$. Αντίθετα η θερμική μέθοδος καθυστέρησης εξετάζει τη θερμική καθυστέρηση (δηλαδή θερμοκρασιακή διαφορά) ανάμεσα στο ΥΑΦ και στο υγρό αναφοράς στον ίδιο καθορισμένο χρόνο. Για παράδειγμα σε χρόνο t_i οι θερμοκρασίες του ΥΑΦ και του υγρού αναφοράς είναι T_i και $T_{r,i}$ αντίστοιχα. Σε επόμενο χρόνο t_{i+1} , οι θερμοκρασίες τους είναι αντίστοιχα T_{i+1} και $T_{r,i+1}$. Η μεταφορά θερμότητας ισορροπίας μεταξύ του ΥΑΦ και του υγρού αναφοράς στον εσωτερικό χώρο με χρονικό βήμα $(t_{i+1} - t_i)$ εκφράζεται από τις ακόλουθες δυο εξισώσεις αντίστοιχα:

Όπου m_t και m_{tr} είναι οι μάζες των δυο σωλήνων που περιέχουν το ΥΑΦ και το υγρό αναφοράς αντίστοιχα, m και m_r είναι οι μάζες των ΥΑΦ και του υγρού αναφοράς αντίστοιχα, C_{pt} και C_{ptr} είναι οι θερμοχωρητικότητες των σωλήνων που περιέχουν το ΥΑΦ και το υγρό αντίστοιχα και $C_{p,eff}$ είναι η ενεργός θερμοχωρητικότητα του ΥΑΦ σε θερμοκρασία $T_m = (T_i + T_{i+1})/2$, C_{pr} αντιστοιχεί στην θερμοχωρητικότητα του υγρού αναφοράς, h και h_r υποδηλώνουν τους συντελεστές συναγωγής στις εξωτερικές επιφάνειες των σωλήνων του ΥΑΦ και του υγρού αναφοράς αντίστοιχα κατά τη διάρκεια του χρονικού βήματος $(t_{i+1} - t_i)$, St και Str είναι οι εξωτερικές επιφάνειες των σωλήνων αντίστοιχα και dAi , $dAir$ είναι οι περιοχές κάτω από τις καμπύλες ψύξης του ΥΑΦ και του υγρού αναφοράς αντίστοιχα μεταξύ των χρόνων t_i και t_{i+1} δηλαδή:

$$\frac{m_t C_{p,eff} (T_{i+1} - T_i) + m C_{pt} (T_{i+1} - T_i)}{h A_i} = \frac{m_r C_{ptr} (T_{i+1} - T_i) + m_r C_{pr} (T_{i+1} - T_i)}{h_r A_{ir}}$$

Έτσι κατόπιν επίλυσης των εξισώσεων προκύπτει η σχέση για τη μέση ενεργό θερμοχωρητικότητα βασισμένη στη μέθοδο θερμικής καθυστέρησης.

$$C_{p,eff} = \frac{m_r C_{ptr} (T_{i+1} - T_i) + m_r C_{pr} (T_{i+1} - T_i)}{m_t (T_{i+1} - T_i) + m C_{pt} (T_{i+1} - T_i)}$$

Όπου

$$C_{p,eff} = \frac{m_r C_{ptr} (T_{i+1} - T_i) + m_r C_{pr} (T_{i+1} - T_i)}{m_t (T_{i+1} - T_i) + m C_{pt} (T_{i+1} - T_i)}$$

Πρόσφατες και εκτεταμένες εκθέσεις των διαθέσιμων εμπειρικών συσχετισμών για την εκτίμηση των τιμών των συντελεστών για ελεύθερη συναγωγή στη μεταφορά θερμότητας από κάθετους κυλίνδρους μπορεί να βρεθεί στη βιβλιογραφία. Σύμφωνα όμως με αυτά ο αριθμός Nusselt, Nu , για το σωλήνα του ΥΑΦ μπορεί να υπολογισθεί από :

Όπου :

$$Nu = \frac{hL}{k_f} = \frac{Gr Pr}{C_p} \quad (1)$$

$$Gr = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2} \quad (2)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις οι Gr και Pr είναι οι αριθμοί Grashof και Prandtl αντίστοιχα και λαμβάνονται για κάθε χρονικό βήμα αντίστοιχα στη μέση θερμοκρασία μεταξύ του αέρα και της επιφάνειας του σωλήνα του ΥΑΦ μήκους L και διαμέτρου D . Οι ίδιοι υπολογισμοί χρησιμοποιούνται και για τον υπολογισμό όλων των αντίστοιχων μεγεθών του υγρού αναφοράς (μόνο που έχουμε δείκτη r). Κατόπιν των υπολογισμών των Nu και Nu_r , η αναλογία των συντελεστών συναγωγής h/h_r εκφράζεται από τη σχέση:

$$\frac{h}{h_r} = \frac{Nu}{Nu_r} \quad (3)$$

Όπου k και k_r είναι οι ειδικές θερμικές αγωγιμότητες που έχουν ληφθεί για κάθε χρονικό βήμα στις μέσες θερμοκρασίες ανάμεσα στον αέρα και στους σωλήνες του ΥΑΦ και του υγρού αναφοράς αντίστοιχα.

Μια προσέγγιση που απλοποιεί και συντομεύει τις διαδικασίες υπολογισμού της συνάρτησης $C_{p,eff}(T)$ λαμβάνεται θεωρώντας ίσους συντελεστές συναγωγής μεταφοράς θερμότητας στις εξωτερικές επιφάνειες των σωλήνων $h/h_r=1$. Σύμφωνα με τις εξισώσεις που προηγήθηκαν και τις συνήθεις συνθήκες των πειραμάτων το ελάχιστο σφάλμα που εισήχθη στη συνάρτηση $C_{p,eff}(T)$ είναι μικρότερο του 3% δηλαδή λιγότερο από τις διαφορές του 4% που παρατηρήθηκαν ανάμεσα στους πολυάριθμους εμπειρικούς συσχετισμούς για ελεύθερη συναγωγή από κάθετους κυλίνδρους.

Η τιμή της $C_{p,eff}(T)$ παραμένει σταθερή πριν και μετά της περιοχής αλλαγής φάσης, παρέχοντας έτσι ένα τρόπο για να καθορίσουμε τις θερμοκρασίες T_1 και T_s στο τέλος της διφασικής περιοχής καθώς επίσης και τις θερμοχωρητικότητες C_{p1} και C_{ps} του υγρού και του στερεού ΥΑΦ αντίστοιχα :

Οι παραπάνω εξισώσεις υποδηλώνουν ότι η θερμοκρασία T_i στην αρχή της στερεοποίησης του ΥΑΦ είναι η μετρηθείσα θερμοκρασία T_i στο χρονικό βήμα όπου παρουσιάζεται αύξηση της $C_{p,eff}(T)$ από τη σταθερή τιμή της C_{ps} . Ομοίως η θερμοκρασία T_s στο τέλος της στερεοποίησης του ΥΑΦ είναι η μετρηθείσα θερμοκρασία T_{i+1} στο ίδιο χρονικό βήμα όπου η $C_{p,eff}(T)$ μπαίνει στην περιοχή της σταθερής τιμής της C_{ps} .

Η παραπάνω τεχνική προσέγγισης των θερμοκρασιών T_i και T_s στη μέθοδο της θερμικής καθυστέρησης μοιάζουν να είναι πιο απλές από τις διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο της T-History.

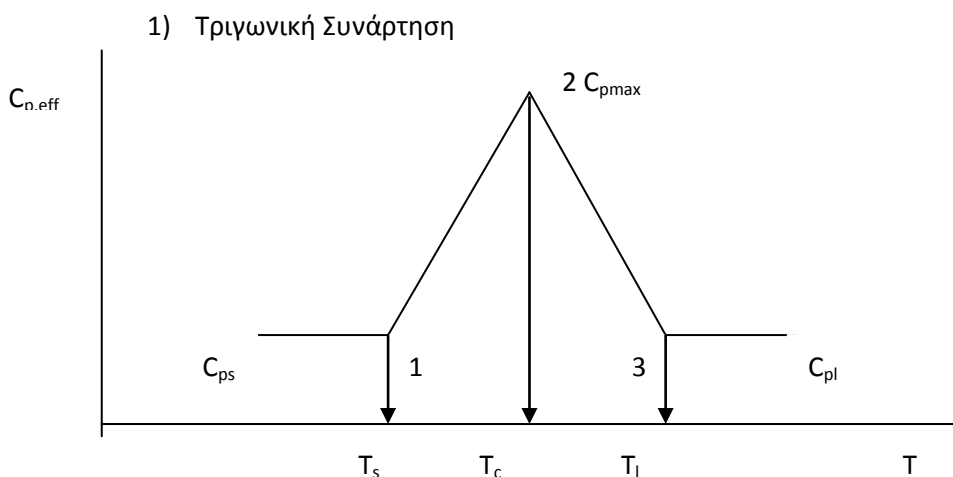
Μετά τον προσδιορισμό των δυο θερμοκρασιών στην αρχή και στο τέλος της διαδικασίας αλλαγής φάσης όπως περιγράφηκε παραπάνω η θερμότητα αλλαγής φάσης δίνεται από τη σχέση:

Ομοίως η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας των ΥΑΦ H^* κατά τη διάρκεια της λειτουργίας (φορτίου) θερμοκρασιακού εύρους μεγαλύτερο από το εύρος θερμοκρασιών αλλαγής φάσης όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο δίνεται από τη σχέση:

)

11.2.1 Υπολογισμός της Ειδικής Θερμοχωρητικότητας

Κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης η ειδική θερμοχωρητικότητα μεταβάλλεται συναρτήσει της θερμοκρασίας του ΥΑΦ. Χρησιμοποιώντας για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης την μέθοδο της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω, μπορούν να παρουσιαστούν οι σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας λόγω αυτής της μεταβολής. Στα μέχρι τώρα δεδομένα μας έχουμε αναφέρει πως η ενεργός θερμοχωρητικότητα μεταβάλλεται συναρτήσει της θερμοκρασίας. Αυτή τη μεταβολή όσοι τη μελέτησαν προσπάθησαν να την προσομοιάσουν με τέσσερις μορφές καμπυλών. Πιο αναλυτικά έχουμε:



ΣΧΗΜΑ 11.3 Τριγωνική συνάρτηση της ενεργού θερμοχωρητικότητας. Όπου $C_{p,eff}$ (kJ/kgK) και $T(^{\circ}\text{C})$.

Η αναλυτική έκφραση για το τμήμα 12 μπορεί να γραφεί:

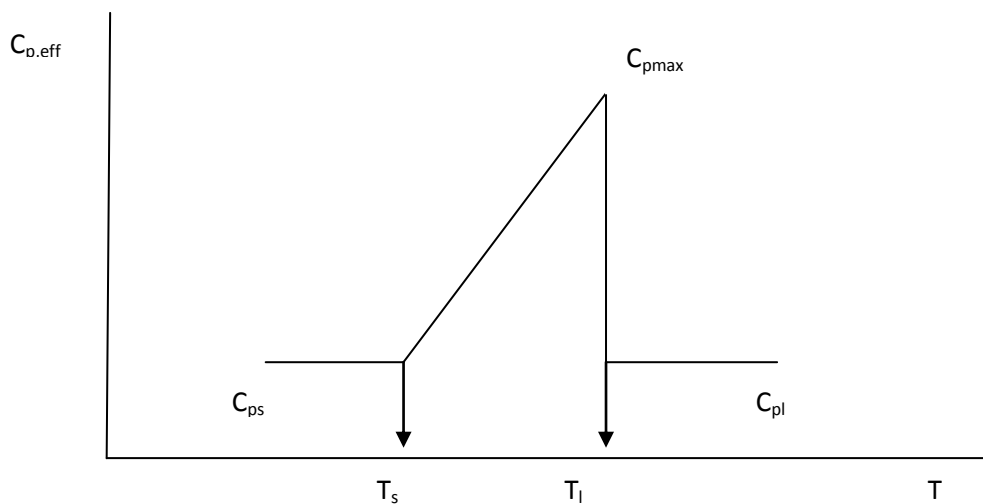
Όπου: T_c είναι η θερμοκρασία στο μέσο του θερμοκρασιακού εύρους του υλικού αλλαγής φάσης και $C_{p,max}$ είναι η τιμή της $C_{p,eff}$ στη θερμοκρασία $T=T_c$. Η περιοχή $H/2$ κάτω από το τμήμα 12 μπορεί να εκφρασθεί ως:

Η αντικατάσταση του $C_{p,max}$ της τελευταίας εξίσωσης στην προηγούμενη δίνει τη συνάρτηση της ενεργού θερμοχωρητικότητας για $T_s \leq T \leq T_c$, δηλαδή:

Όπου ΔT είναι το θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης.

Η συνάρτηση της ενεργού θερμοχωρητικότητας για το τμήμα $T_c \leq T \leq T_l$ προκύπτει ομοίως από:

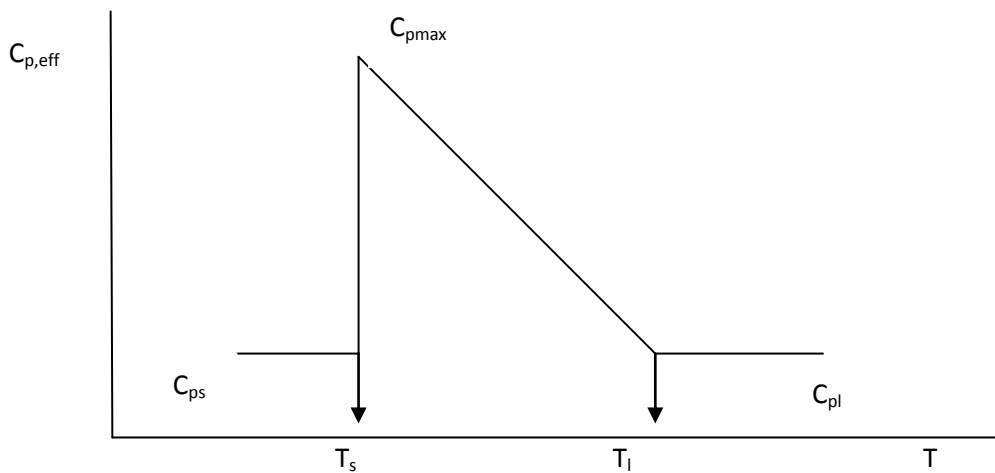
2) Συνάρτηση Αναβαθμίδας



ΣΧΗΜΑ 11.4 Συνάρτηση αναβαθμίδας της ενεργού θερμοχωρητικότητας. Όπου $C_{p,eff}$ (kJ/kgK) και T (°C).

Η έκφραση για την $C_{p,eff}(T)$ της συνάρτησης αναβαθμίδας του σχήματος που προηγήθηκε προκύπτει με παρόμοιο τρόπο με τα προηγούμενα και είναι:

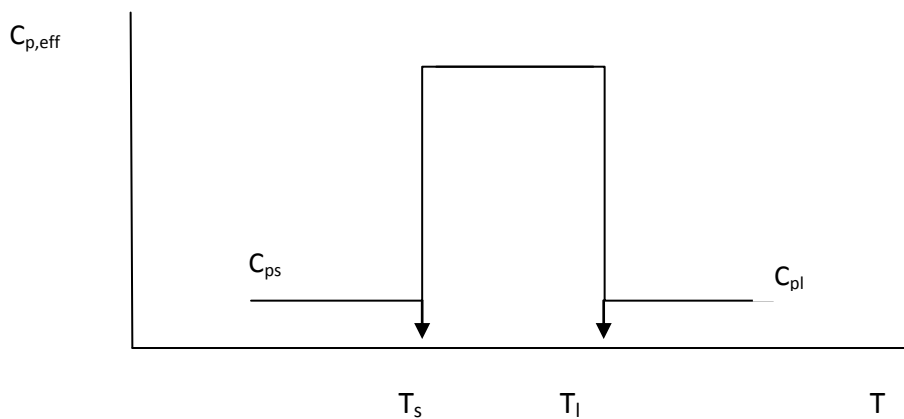
3) Ανεστραμμένη Συνάρτηση Αναβαθμίδας



ΣΧΗΜΑ 11.5 Ανεστραμμένη συνάρτηση αναβαθμίδας της ενεργού θερμοχωρητικότητας. Όπου $C_{p,eff}$ (kJ/kgK) και $T(^{\circ}\text{C})$.

Και πάλι εδώ με όμοιο τρόπο όπως στην τριγωνική συνάρτηση προκύπτει η σχέση:

4) Βηματική Συνάρτηση



ΣΧΗΜΑ 11.6 Βηματική συνάρτηση ενεργού θερμοχωρητικότητας. Όπου $C_{p,eff}$ (kJ/kgK) και $T(^{\circ}\text{C})$.

Εδώ είναι φανερό ότι:

—

Σε όλες σχεδόν τις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί τα αποτελέσματα έδωσαν μια τριγωνική μορφή για την $C_{p,eff}(T)$. Η ακριβής μορφή για την $C_{p,eff}(T)$ όπως δίνεται από την εξίσωση που έχουμε γράψει και παραπάνω:

Όπου

Και οι καμπύλες των απλών γεωμετρικών σχημάτων (δηλαδή η τριγωνική, η αναβαθμίδα, η ανεστραμμένη αναβαθμίδα και η βηματική) έχουν δοκιμασθεί σε συνδυασμό με αναπτυχθείσες διαδικασίες αριθμητικής πρόβλεψης για εφαρμογές παθητικών ηλιακών κτιρίων με ΥΑΦ. Εκτεταμένες συγκρίσεις έδειξαν ότι στα τελικά αποτελέσματα μόνο η τριγωνική συνάρτηση δίνει αμελητέες διαφορές συγκρινόμενη με την ακριβή πειραματική καμπύλη. Συνεπώς στους υπολογισμούς μας θα χρησιμοποιήσουμε την τριγωνική καμπύλη για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης των υλικών μας. Πριν και μετά την τριγωνική καμπύλη θεωρούμε τα C_p τόσο του στερεού όσο και του υγρού σταθερά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 11^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1] http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3608/3/apostoloug_pcms.pdf

[2] http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/5113/1/kallinikouzm_pcm.pdf

[3] Experimental determination of the effective thermal capacity function and other properties for various phase change materials using the thermal delay method – E.D. Kravaritis, K.A. Antonopoulos, C. Tzivanidis

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

ΒΑΘΜΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΥΑΦ- ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΥΑΦ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Σκοπός της παρούσης μελέτης όπως αναγράφεται και στον τίτλο της παραγράφου είναι να βρεθεί ο συνδυασμός των παραμέτρων εκείνων που θα μας δώσουν το βέλτιστο αποτέλεσμα από άποψη χρήσης του ΥΑΦ. Εφόσον δεν έχουμε κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή υποθέτουμε πως έχουμε ένα δωμάτιο (χώρο) με τοίχους συνήθων διαστάσεων 3m x 3m ο οποίος είναι μεταβλητού πάχους μιας και αυτό θα είναι μια από τις παραμέτρους εξέτασης. Συν τοις άλλοις υποθέτουμε και κάποιο υαλοπίνακα διαστάσεων 1m x 1,5m για να επιβάλλουμε στο ΥΑΦ και μια επιπλέον φόρτιση από ηλιακή ακτινοβολία η τιμή της οποίας θα επιλέγεται εξίσου αυθαίρετα σε λογικά πλαίσια όμως.

Τα ΥΑΦ όπως έχουμε εξηγήσει λεπτομερώς μέχρι τώρα αλλάζουν φάση από στερεό σε υγρό και το αντίστροφο κατά την απορρόφηση ή πρόσδοση θερμότητας αντίστοιχα. Αυτή η θερμότητα προέρχεται από το περιβάλλον με το οποίο έρχεται σε επαφή. Συνεπώς η μελέτη μας μπορεί να χωριστεί σε εξέταση δυο κατηγοριών παραμέτρων. Η μια θα αφορά την επιλογή του ΥΑΦ και των χαρακτηριστικών του. Οι τιμές θα επιλέγονται αυθαίρετα αλλά προσέχοντας ασφαλώς την τάξη μεγέθους εφόσον έχει αποδειχθεί πως αν αναμείξουμε στο εργαστήριο κάποια εμπορικά υλικά αλλαγής φάσης είναι εύκολο να πετύχουμε τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Η δεύτερη κατηγορία έχει να κάνει με τις παραμέτρους που αφορούν το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται το υλικό αλλαγής φάσης που θα χρησιμοποιήσουμε όπως είναι για παράδειγμα η θερμοκρασία δωματίου αλλά και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται καθώς αυτή είναι κυμαινόμενη μέσα στο χρόνο, αλλά και το πάχος του τοίχου.

Στη συνέχεια λοιπόν αλλάζοντας κάθε φορά μια από τις παραμέτρους και κρατώντας σταθερές τις υπόλοιπες θα παρουσιάσουμε τη συμπεριφορά του εκάστοτε ΥΑΦ στις συνθήκες που υποθέτουμε – επιβάλλουμε για ένα 24ωρο στοχεύοντας όμως στη βέλτιστη χρήση του, δηλαδή στην πλήρη κατά το δυνατόν κάλυψη της καμπύλης της ενεργού θερμοχωρητικότητας. Όλα αυτά θα παρουσιαστούν με χρήση διαγραμμάτων κατασκευάζα κάθε φορά κάνοντας χρήση του προγράμματος GNU PLOT τροφοδοτώντας το με τα αρχεία που προέκυπταν από τους κώδικες σε FORTRAN77 που έγραψα για αυτό το σκοπό.

12.1 Επιλογή Υλικού ΥΑΦ

Η επιλογή του ΥΑΦ πρέπει να αφορά το κατά πόσον όλα τα χαρακτηριστικά του ανταποκρίνονται στην προσπάθεια για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εκμετάλλευσή του αλλά και στους περιορισμούς που τίθενται ανάλογα με την εφαρμογή ώστε να υπάρχει η επιθυμητή αλληλεπίδραση με τα υπόλοιπα υλικά. Στα πλαίσια αυτού του στόχου όπως θα φανεί και από τις παραμετρικές μελέτες, κάποια από τα χαρακτηριστικά του μεταβάλλονται, ώστε να γίνει η επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού. Λαμβάνεται ως δεδομένο ότι κάθε υλικό αλλαγής φάσης μπορεί να κατασκευαστεί, μετά από εργαστηριακή έρευνα και να πληροί έτσι τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Στα χαρακτηριστικά του ΥΑΦ αναφέρονται ρητά κάθε φορά που μεταβάλλονται στις παραμετρικές μελέτες που ακολουθούν. Εδώ, απλώς αναφέρονται τα μεγέθη του ΥΑΦ, τα οποία θα μας απασχολήσουν στην πορεία της εργασίας, δηλαδή:

•Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης, το οποίο ορίζεται από τη θερμοκρασία έναρξης της τήξης, που συμβολίζεται ως T_s και τη θερμοκρασία ολοκλήρωσης της τήξης ή στερεοποίησης, που συμβολίζεται ως T_l .

- ✓ Θερμότητα αλλαγής φάσης ή αλλιώς θερμότητα της τήξης, η οποία συμβολίζεται ως H .
- ✓ Πυκνότητα ρ .
- ✓ Ειδική θερμική αγωγιμότητα κ .

- ✓ Ειδικές θερμοχωρητικότητες στα σημεία έναρξης της τήξης και ολοκλήρωσης της τήξης, οι οποίες συμβολίζονται από τα μεγέθη C_{ps} και C_{pl} .

Κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης η ειδική θερμοχωρητικότητα μεταβάλλεται συναρτήσει της θερμοκρασίας του ΥΑΦ. Χρησιμοποιώντας για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης την μέθοδο της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, όπως αυτή περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο της παρούσας εργασίας, μπορούν να παρουσιαστούν οι σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας λόγω αυτής της μεταβολής. Οι σχέσεις που αφορούν αυτούς τους υπολογισμούς έχουν επίσης δοθεί αναλυτικά παραπάνω.

Συντελεστής συναγωγής

Για το συντελεστή συναγωγής μεταξύ εσωτερικού τοίχου και εσωτερικού περιβάλλοντος, χρησιμοποιείται η τιμή που προτείνει η ASHRAE, δηλαδή: $h=8W/(m^2\text{ }^\circ\text{C})$.

12.2 Εξήγηση Μαθηματικών Σχέσεων

Οι βασικές παραδοχές που υπεισέρχονται εδώ είναι:

- ✓ Θεωρείται αδιαβατικό όριο μεταξύ του στρώματος ΥΑΦ και των υπόλοιπων συστατικών που ενδεχομένως αποτελούν τον τοίχο ώστε να μην υπάρχει κάποιου είδους συναλλαγή θερμότητας.
- ✓ Θεωρείται σταθερή και ομοιόμορφη θερμοκρασία μέσα στο δωμάτιο.
- ✓ Ομοιόμορφη θερμοκρασία στο στρώμα ΥΑΦ.

Όπως είναι γνωστό για να έχουμε μεταβολή της θερμοκρασίας πρέπει να έχουμε συναλλαγή θερμότητας είτε πρόκειται για πρόσδοση είτε για αφαίρεση. Η τελευταία προϋποθέτει είτε την παρουσία πρόσθετης πηγής ενέργειας ή τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δυο χώρων. Γι' αυτό το λόγο η γενική σχέση που εκφράζει τη μαθηματική σχέση του ΥΑΦ είναι:

Όπου:

I : είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

Q :είναι η ενέργεια που απορροφά-αποδίδει το ΥΑΦ από ή προς τον περιβάλλοντα χώρο σε διάστημα μιας ώρας

m :είναι η μάζα του ΥΑΦ η οποία υπολογίζεται από τη σχέση

$m = \rho \cdot V$, όπου x είναι το πάχος του ΥΑΦ

Όπου $A_{\text{τοίχου}} = 3m \cdot 3m = 9m^2$

C_p : είναι η θερμοχωρητικότητα του υλικού η οποία υπολογίζεται από τις παραπάνω σχέσεις για την ενεργό θερμοχωρητικότητα

ΔT : είναι η θερμοκρασιακή διαφορά του ΥΑΦ σε βήμα μιας ώρας

Οι δείκτες 0 και 1 στην προηγούμενη σχέση υποδηλώνουν την τρέχουσα και την επόμενη χρονική στιγμή της διαδικασίας

Όσον αφορά την ηλιακή ακτινοβολία θα θεωρήσουμε ότι δεν προσπίπτει ολόκληρη στην επιφάνεια μας αλλά ένα μέρος της. Από αυτήν που εκτιμάμε ότι πέφτει θα υποθέσουμε ότι το ωφέλιμο στην ουσία είναι ένα ποσοστό της τάξης του 85% . Αυτό προκύπτει μετά από την παραδοχή ότι υπάρχει ένα ποσοστό της τάξης του 10% της ακτινοβολίας που προσπίπτει στον υαλοπίνακα που απορροφάται από αυτόν και επίσης υπάρχει ένα ποσοστό της τάξης του 5% της ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο που απορροφάται από τον αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Άρα τελικά στον τοίχο μελέτης προσπίπτει το 85% της αρχικής εκτιμώμενης ακτινοβολίας.

Η ενέργεια που απορροφά ή προσδίδει το ΥΑΦ από ή προς τον εσωτερικό χώρο δίνεται από τη σχέση:

Επομένως αν αντικαταστήσουμε όλες αυτές τις επιμέρους σχέσεις στην αρχική μας αυτή γίνεται:

Αντικαθιστώντας τα μεγέθη που παραμένουν σταθερά σε όλη την εργασία έχουμε:

Όλα αυτά όπως είπαμε υλοποιούνται μέσω προγραμμάτων σε FORTRAN77 και τα αντίστοιχα διαγράμματα που προκύπτουν δίνονται από το πρόγραμμα σχεδίασης GNUPLOT. Σε όλα τα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν το κόκκινο χρώμα θα αντιστοιχεί στην καμπύλη της ενεργού θερμοχωρητικότητας σαν να βρίσκεται μόνο του το υλικό, στην ουσία χωρίς να αλληλεπιδρά, το πράσινο θα αντιστοιχεί στην μεταβολή που υφίσταται κάτω από τις συνθήκες που επιβάλλω – δέχεται από το περιβάλλον και δείχνει ποιο μέρος της γενικής καμπύλης καλύπτεται και με μπλε χρώμα θα έχουμε την αντίστροφη διαδικασία. Για οποιαδήποτε διαφορετικό χρωματικό συμβολισμό θα γίνεται αναφορά στη συνέχεια. Ακολουθούν οι σχετικοί κώδικες:

Κώδικας 1^{ος} : για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το ΥΑΦ σε ένα 24ωρο:

```
program Trpcm
implicit double precision (a-h,o-z)
dimension Q1(25), Trpcm1(25) , Cp(25)
```

```
Ts=      ! (C)
Tl=      ! (C)
Cps=     ! (j/kgC)
Cpl=     ! (j/kgC)
H=       ! (j/kgC)
```

```
b=Tl-Ts
```

$T_c = (T_s + T_l) / 2$.d0

hin=8.

A=3.d0*3.d0

Tdwm=

open(1,file="aktinovolia.dat")

do i=1,25

read(1,*) Q1(i)

write(*,*) Q1(i)

enddo

close(1)

rpcm= ! Kg/m³

paxos= ! m

V=paxos*A

am=rpcm*V

Tpcm1(1)=

if (Tpcm1(1).le.Ts)

 Cpeff(1)=Cps

elseif ((Tpcm1(1).ge.Ts).and.(Tpcm1(1).le.Tc)) then

 Cpeff(1)=4.d0*(H-b*Cps)*(Tpcm1(1)-Ts)/(b**2.d0)+Cps

elseif ((Tpcm1(1).ge.Tc).and.(Tpcm1(1).le.Tl)) then

 Cpeff(1)=4.d0*(b*Cpl-H)*(Tpcm1(1)-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+ (2.d0*H)/b-Cpl

else

 Cpeff(1)=Cpl

endif

open(2,file="Tpcm-Cpeff") !

Tpcm1(1)=

do i=2,25

 Tpcm1(i)=Tpcm1(1)+(1.d0/(am*Cpeff(1)))*(4590.d0*Q1(i)- hin*A*(Tpcm1(1)-Tdwm)*3600.d0)

if (Tpcm1(i).le.Ts) then

 Cpeff(i)=Cps

elseif ((Tpcm1(i).ge.Ts).and.(Tpcm1(i).le.Tc)) then

 Cpeff(i)=4.d0*(H-b*Cps)*(Tpcm1(i)-Ts)/(b**2.d0)+Cps

elseif ((Tpcm1(i).ge.Tc).and.(Tpcm1(i).le.Tl)) then

 Cpeff(i)=4.d0*(b*Cpl-H)*(Tpcm1(i)-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+ (2.d0*H)/b-Cpl

else

 Cpeff(i)=Cpl

endif

```

write(2,*) Tpcm1(i-1), Cpeff(i-1)

Tpcm1(1)=Tpcm1(i)
Cpeff(1)=Cpeff(i)

enddo

write(*,*) "οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το ΥΑΦ είναι:"

do i=1,24

write(*,*) Tpcm1(i)

enddo

open(3,file="antistrofh_diadikasia") ! ακολουθεί αυτό για να δω αν το υλικό επιστρέφει προς τα πίσω
open(4,file="antistrofh")

k_thesi=1
Tmax=Tpcm1(1)
do i=2,24
if (Tpcm1(i).ge.Tmax) then
Tmax=Tpcm1(i)
k_thesi=i
endif
enddo

k=1
do i=k_thesi,24
if (Tpcm1(i+1).lt.Tpcm1(i)) then
write(3,*) Tpcm1(i) , Cpeff(i)
write(4,*) Tpcm1(i)
k=k+1
endif
enddo

close(2)
close(3)
close(4)

stop
end

```

Στην ουσία ο πρώτος κώδικας δίνει 24 θερμοκρασίες με τις οποίες εγώ καλούμαι να φτιάξω το διάγραμμα της ενεργού θερμοχωρητικότητας. Κατόπιν όμως κάποιων εφαρμογών διαπίστωσα ότι ανάλογα με την εφαρμογή τα σημεία δεν ήταν επαρκή για να μου δώσουν τη σωστή εικόνα του διαγράμματος. Δηλαδή υπήρχε η περίπτωση να υπάρχουν τέτοιες θερμοκρασιακές διαφορές ώστε να περνάω από την περιοχή στερεού στην περιοχή υγρού σε βήμα μιας ώρας και έτσι να χάνεται η τριγωνική μορφή της καμπύλης. Για αυτό το λόγο ακολουθεί ο 2^{ος} κώδικας ο οποίος στόχο έχει να παρεμβάλλει πολλά σημεία

μεταξύ δυο διαδοχικών εξετάζοντας όμως κάθε φορά τη σχετική τους θέση ώστε και πάλι να αποφύγουμε τυχόν μεταβάσεις που διαστρεβλώνουν την πραγματικότητα. Αναλυτικά λοιπόν έχουμε:

2^{ος} Κώδικας

```

program Cpeff_T
implicit double precision (a-h,o-z)
dimension T1(24),T2(1000000) ,Cpeff1(1000000)

Ts=      ! (C)
Tl=      ! (C)
Cps=     ! (j/kgC)
Cpl=     ! (j/kgC)
H=       ! (j/kgC)

b=Tl-Ts
Tc=(Ts+Tl)/2.d0

open(1,file="Cpeff-T") ! αποτελεί το αρχείο με τα 24 σημεία που υπολογίσθηκαν στο προηγούμενο
                       ! πρόγραμμα
open(2,file="bathmos_ekmetalleusis") ! αποτελεί το αρχείο με την παρεμβολή των περισσότερων
                                     ! σημείων
open(3, file="Tpcm-Cpeff")

do T=0.d0,75.d0,0.001d0

if (T.le.Ts) then
  Cpeff=Cps
elseif ((T.ge.Ts).and.(T.le.Tc)) then
  Cpeff=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
elseif ((T.ge.Tc).and.(T.le.Tl)) then
  Cpeff=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
else
  Cpeff=Cpl
endif
write(1,*) T,Cpeff

enddo

do i=2,25
read(3,*) T1(i)
write(*,*) T1(i)
enddo
T1(1)=T1(2)

  Tmax=T1(1)

  max=1

do i=2,25

```

```
    if (T1(i).ge.Tmax) then
        Tmax=T1(i)
        max=i
    endif
enddo

write(*,*) "Το μέγιστο είναι ", Tmax , max

k=1

do i=2,max
if (T1(i).le.Ts) then

    if (T1(i-1).le.Ts) then

        do T=T1(i-1),T1(i),0.001d0
            Cpeff1(k)=Cps
            T2(k)=T
            k=k+1
        enddo

    endif

elseif ((T1(i).ge.Ts).and.(T1(i).le.Tc)) then

    if (T1(i-1).le.Ts) then

        do T=T1(i-1),Ts,0.001d0
            Cpeff1(k)=Cps
            T2(k)=T
            k=k+1
        enddo

        do T=Ts,T1(i),0.001d0
            T2(k)=T
            Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
            k=k+1
        enddo

    elseif ((T1(i-1).ge.Ts).and.(T1(i-1).le.Tc)) then

        do T=T1(i-1),T1(i),0.001d0
```

```

    T2(k)=T
    Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
    k=k+1
  enddo

endif

elseif ((T1(i).ge.Tc).and.(T1(i).le.Tl)) then

  if (T1(i-1).le.Ts) then

    do T=T1(i-1),Ts,0.001d0
      Cpeff1(k)=Cps
      T2(k)=T
      k=k+1
    enddo

    do T=Ts,Tc,0.001d0
      T2(k)=T
      Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
      k=k+1
    enddo

    do T=Tc,T1(i),0.001d0
      T2(k)=T
      Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
      k=k+1
    enddo
  elseif ((T1(i-1).ge.Ts).and.(T1(i-1).le.Tc)) then
    do T= T1(i-1),Tc,0.001d0
      T2(k)=T
      Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
      k=k+1
    enddo

    do T=Tc ,T1(i),0.001d0
      T2(k)=T
      Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
      k=k+1
    enddo

  elseif ((T1(i-1).ge.Tc).and.(T1(i-1).le.Tl)) then

    do T=T1(i-1) ,T1(i),0.001d0

```

```

T2(k)=T
Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
k=k+1
enddo

endif
else

Tmax=T1(1)
do j=2,25
if (T1(i).ge.Tmax) then
Tmax=T1(i)
Endif
Enddo

if ((T1(i-1).le.Ts).and.(T1(i).ge.Tl)) then

do T=T1(i-1),Ts,0.001d0
Cpeff1(k)=Cps
T2(k)=T
k=k+1
enddo

do T=Ts,Tc,0.001d0
T2(k)=T
Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
k=k+1
enddo

do T=Tc,Tl,0.001d0
T2(k)=T
Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
k=k+1
enddo

do T=Tl,T1(i), 0.001d0
Cpeff1(k)=Cpl
T2(k)=T
k=k+1
enddo

elseif (((T1(i-1).le.Tc).and.(T1(i-1).ge.Ts)).and. (T1(i).ge.Tl)) then

do T=T1(i-1),Tc,0.001d0

```

```

    T2(k)=T
    Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
    k=k+1
enddo

do T=Tc,Tl,0.001d0
    T2(k)=T
    Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
    k=k+1
enddo

do T=Tl,T1(i), 0.001d0
    Cpeff1(k)=Cpl
    T2(k)=T
    k=k+1
enddo

    elseif (((T1(i-1).ge.Tc).and.(T1(i-1).le.Tl).and. (T1(i).ge.Tl))) then

do T=T1(i-1),Tl,0.001d0
    T2(k)=T
    Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
    k=k+1
enddo

do T=Tl,T1(i), 0.001d0
    Cpeff1(k)=Cpl
    T2(k)=T
    k=k+1
enddo

elseif ((T1(i-1).ge.Tl).and.(T1(i).ge.Tl)) then

do T=T1(i-1),T1(i),0.001d0
    Cpeff1(k)=Cpl
    T2(k)=T
    k=k+1
enddo

endif
endif
enddo

do i=1,k-1

```

```

    write(2,*) T2(i), Cpeff1(i)
enddo
close(1)
close(2)
close(3)
stop
end

```

Ο 2^{ος} κώδικας μου εξασφαλίζει τη διαδικασία της αύξησης της θερμοκρασίας του υλικού και πιθανότατα τη μετάβαση από την στερέη στην υγρή φάση. Επιλέγω όμως για λόγους καλαισθησίας αλλά και για να μην υπάρξει σύγχυση στον προηγούμενο κώδικα να γράψω άλλον ένα (3^ο) ο οποίος στην ουσία είναι σχεδόν πανομοιότυπος με τον προηγούμενο με την διαφορά όμως ότι τροφοδοτείται με τα στοιχεία της αντίστροφης διαδικασίας εφόσον αυτή υπάρχει. Δηλαδή προκύπτει ένα αρχείο που μου δίνει εικόνα για το αν έχω ή δεν έχω μερική ή πλήρη επιστροφή του υλικού στην αρχική του κατάσταση. Αν και διαφέρει σε ελάχιστα σημεία, και κυρίως στην αρχή, παραθέτω και τον 3^ο κώδικα για λόγους πληρότητας αλλά και κατανόησης της όλης διαδικασίας.

Κώδικας 3^{ος} :

```

program Antistrofh_diadikasia
implicit double precision (a-h,o-z)
dimension T1(24),T3(24),T2(1000000) ,Cpeff1(1000000)

Ts=      ! (C)
Tl=      ! (C)
Cps=     ! (j/kgC)
Cpl=     ! (j/kgC)
H=       ! (j/kgC)

b=Tl-Ts
Tc=(Ts+Tl)/2.d0

open(1,file="antistrofh")

write(*,*) "Δώσε τον αριθμό των σημείων της αντίστροφης διαδικασίας"
read(*,*) n

do i=1,n
  read(1,*) T3(i)
  write(*,*) T3(i)
enddo

close(1)

T1(1)=T3(n) ! επειδή σε πολλά σημεία εξετάζω τον υπάρχοντα κόμβο σε σχέση με τον προηγούμενο
             ! βάζω σαν πρώτο τον ίδιο με τον 2ο για να έχω συνέχεια σε κάθε περίπτωση και να μη
             ! μου το θεωρεί μηδενικό

```

```
k=n
do i=2,n+1
  T1(i)=T3(k)
  k=k-1
  write(*,*) T1(i)
enddo

open(2,file="epanafora")

k=1
do i=2,n

if (T1(i).le.Ts) then

  if (T1(i-1).le.Ts) then

    do T=T1(i-1),T1(i),0.001d0
      Cpeff1(k)=Cps
      T2(k)=T
      k=k+1
    enddo

  endif

elseif ((T1(i).ge.Ts).and.(T1(i).le.Tc)) then

  if (T1(i-1).le.Ts) then

    do T=T1(i-1),Ts,0.001d0
      Cpeff1(k)=Cps
      T2(k)=T
      k=k+1
    enddo

    do T=Ts,T1(i),0.001d0
      T2(k)=T
      Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
      k=k+1
    enddo

  elseif ((T1(i-1).ge.Ts).and.(T1(i-1).le.Tc)) then

    do T=T1(i-1),T1(i),0.001d0
      T2(k)=T
      Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
      k=k+1
```

```
enddo
```

```
endif
```

```
elseif ((T1(i).ge.Tc).and.(T1(i).le.Tl)) then
```

```
if (T1(i-1).le.Ts) then
```

```
do T=T1(i-1),Ts,0.001d0
```

```
  Cpeff1(k)=Cps
```

```
  T2(k)=T
```

```
  k=k+1
```

```
enddo
```

```
do T=Ts,Tc,0.001d0
```

```
  T2(k)=T
```

```
  Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
```

```
  k=k+1
```

```
enddo
```

```
do T=Tc,T1(i),0.001d0
```

```
  T2(k)=T
```

```
  Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
```

```
  k=k+1
```

```
enddo
```

```
elseif ((T1(i-1).ge.Ts).and.(T1(i-1).le.Tc)) then
```

```
do T= T1(i-1),Tc,0.001d0
```

```
  T2(k)=T
```

```
  Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
```

```
  k=k+1
```

```
enddo
```

```
do T=Tc ,T1(i),0.001d0
```

```
  T2(k)=T
```

```
  Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
```

```
  k=k+1
```

```
enddo
```

```
elseif ((T1(i-1).ge.Tc).and.(T1(i-1).le.Tl)) then
```

```
do T=T1(i-1) ,T1(i),0.001d0
```

```
  T2(k)=T
```



```

    Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
    k=k+1
  enddo

```

```

endif

```

```

elseif (T1(i).ge.Tl) then

```

```

    Tmax=T1(1)
    do j=2,n
      if (T1(i).ge.Tmax) then
        Tmax=T1(i)
      endif
    enddo

```

```

if ((T1(i-1).le.Ts).and.(T1(i).ge.Tl)) then

```

```

  do T=T1(i-1),Ts,0.001d0

```

```

    Cpeff1(k)=Cps
    T2(k)=T
    k=k+1

```

```

  enddo

```

```

  do T=Ts,Tc,0.001d0

```

```

    T2(k)=T
    Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
    k=k+1

```

```

  enddo

```

```

  do T=Tc,Tl,0.001d0

```

```

    T2(k)=T
    Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
    k=k+1

```

```

  enddo

```

```

  do T=Tl,T1(i), 0.001d0

```

```

    Cpeff1(k)=Cpl
    T2(k)=T
    k=k+1

```

```

  enddo

```

```

elseif (((T1(i-1).le.Tc).and.(T1(i-1).ge.Ts)).and. (T1(i).ge.Tl)) then

```

```
do T=T1(i-1),Tc,0.001d0
```

```
  T2(k)=T
```

```
  Cpeff1(k)=4.d0*(H-b*Cps)*(T-Ts)/(b**2.d0)+Cps
```

```
  k=k+1
```

```
enddo
```

```
do T=Tc,Tl,0.001d0
```

```
  T2(k)=T
```

```
  Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
```

```
  k=k+1
```

```
enddo
```

```
do T=Tl,T1(i), 0.001d0
```

```
  Cpeff1(k)=Cpl
```

```
  T2(k)=T
```

```
  k=k+1
```

```
enddo
```

```
elseif (((T1(i-1).ge.Tc).and.(T1(i-1).le.Tl).and. (T1(i).ge.Tl))) then
```

```
do T=T1(i-1),Tl,0.001d0
```

```
  T2(k)=T
```

```
  Cpeff1(k)=4.d0*(b*Cpl-H)*(T-Ts-b/2.d0)/(b**2.d0)+(2.d0*H)/b-Cpl
```

```
  k=k+1
```

```
enddo
```

```
do T=Tl,T1(i), 0.001d0
```

```
  Cpeff1(k)=Cpl
```

```
  T2(k)=T
```

```
  k=k+1
```

```
enddo
```

```
elseif ((T1(i-1).ge.Tl).and.(T1(i).ge.Tl)) then
```

```
do T=T1(i-1),T1(i),0.001d0
```

```
  Cpeff1(k)=Cpl
```

```
  T2(k)=T
```

```
  k=k+1
```

```
enddo
```

```

endif

do T=T1(i),T1(i+1),0.001d0

Cpeff1(k)=Cpl
T2(k)=T
k=k+1

enddo

endif

enddo

do i=1,k-1
write(2,*) T2(i), Cpeff1(i)
enddo

close(2)

stop
end

```

12.3 Παραμετρική Μελέτη

Επιλέγοντας κάποιες τιμές για την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο χώρος μας σε ένα 24ωρο έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.1 ΤΙΜΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

ΩΡΑ [h]	G_T [W/m^2]
05:00	0
06:00	0
07:00	0
08:00	106,29
09:00	222,675
10:00	307,976
11:00	365,738
12:00	382,214
13:00	378,664
14:00	326,091
15:00	232,742
16:00	112,432
17:00	51,987
18:00	0
19:00	0
20:00	0

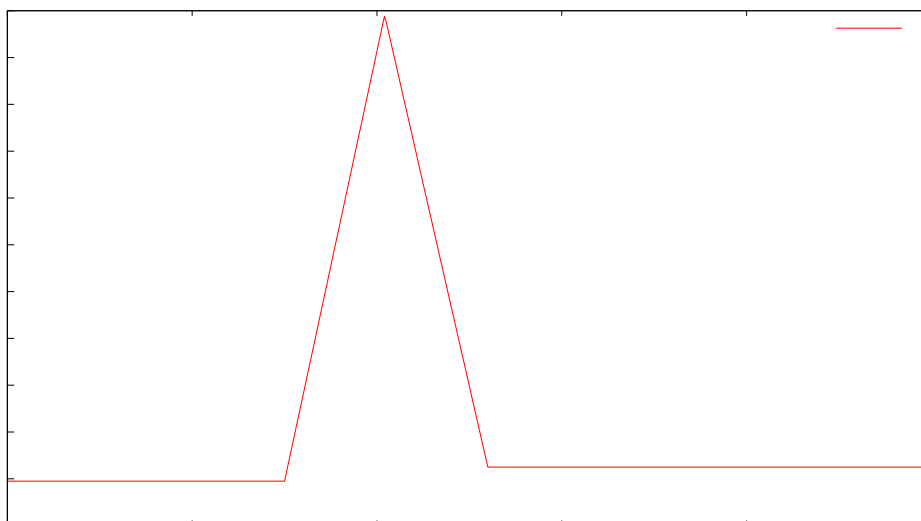
21:00	0
22:00	0
23:00	0
00:00	0
01:00	0
02:00	0
03:00	0
04:00	0

Οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας δεν ανταποκρίνονται σε κάποια συγκεκριμένη μέρα του έτους ωστόσο μπορούμε να πούμε πιθανότατα ότι πρόκειται για τιμές χειμερινής περιόδου μιας και δεν είναι πολύ υψηλές.

Για αρχή και για εμπέδωση της διαδικασίας χρησιμοποιώ ένα εμπορικό υλικό αλλαγής φάσης το RT20 της RUBITHERM. Τα χαρακτηριστικά του εν λόγω υλικού δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.2 Χαρακτηριστικά του ΥΑΦ RT20 της εταιρείας Rubitherm

T_s [°C]	T_1 [°C]	C_{p_s} [J/kg°C]	C_{p_l} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
15	26	1900	2500	132100	1019



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.1 Ενεργός θερμοχωρητικότητα του ΥΑΦ RT20.

Αν επιβάλλουμε όμως και κάποιες επιπλέον συνθήκες μπορούμε να δούμε τι «μέρος» του διαγράμματος καλύπτεται. Με άλλα λόγια τι ποσοστό των δυνατοτήτων του ΥΑΦ χρησιμοποιείται σε ένα 24ωρο. Ας υπενθυμίσουμε ότι στόχος μας είναι να φτάσουμε το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα, δηλαδή ένα πλήρη κύκλο με την έννοια ότι από στερεό θα γίνει υγρό και πάλι στερεό σε ένα 24ωρο και αυτό θα επαναλαμβάνεται συνέχεια.

Οι συνθήκες που επιβάλλω επιπλέον είναι:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.3 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

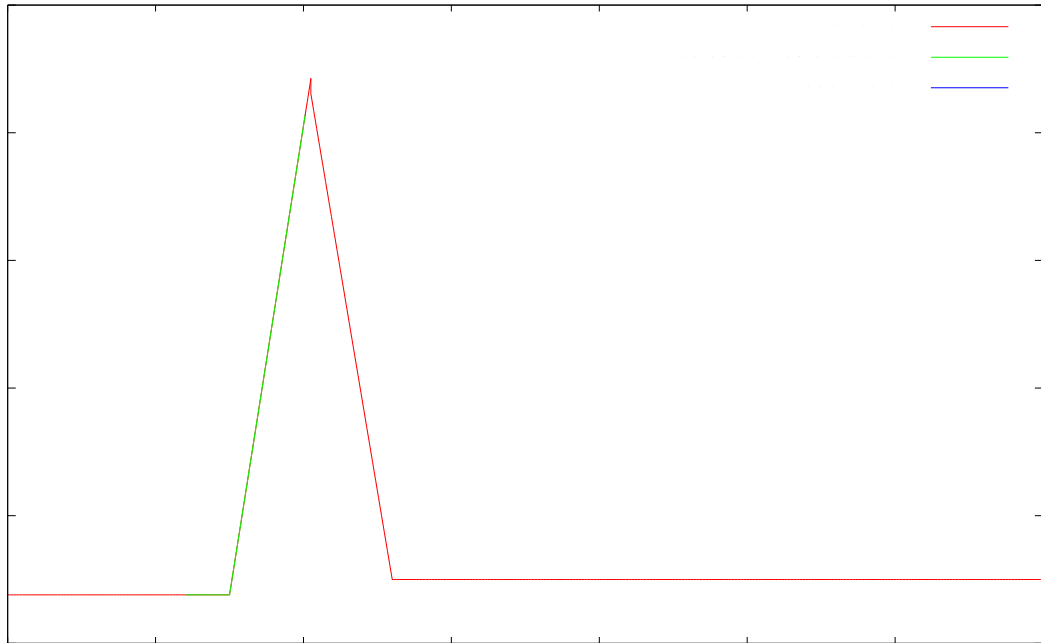
$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
20	12	0,04

Στην τιμή του περιβάλλοντος θεωρώ 20°C διότι αυτή θεωρείται μια καλή θερμοκρασία άνεσης εσωτερικού χώρου για τη χειμερινή περίοδο, ενώ για το υλικό αλλαγής φάσης θεωρώ 12°C για να ξεκινήσω κατευθείαν από την περιοχή στέρεας φάσης. Το πάχος ποικίλει από μερικά mm σε μερικά cm συνήθως. Αρχικά λοιπόν υποθέτω 4cm το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια μεγάλη σχετικά τιμή μόνωσης μιας και πρόκειται για δομικό υλικό και όσο το πάχος αυξάνει αυξάνεται και το κόστος κατασκευής, πράγμα το οποίο δεν είναι πάντα επιθυμητό για αυτό και εμείς ψάχνουμε το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα.

Εισάγοντας αυτές τις τιμές στον κώδικα μας θα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.4 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ RT20 για θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ 12°C .

$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]
12	1900
15,0122411	1944,999
16,8605116	8739,302
17,274603	10261,52
17,8991812	12557,49
18,2448884	13828,32
18,6183433	15201,15
18,988257	16560,96
19,3244629	17796,87
19,6214769	18888,7
19,8553866	19748,56
20,0115989	20322,8
20,0838941	20588,56
20,1160408	20706,74
20,1154935	20704,72
20,1149647	20702,78
20,114454	20700,9
20,1139606	20699,09
20,1134841	20697,34
20,1130238	20695,64
20,1125791	20694,01
20,1121496	20692,43
20,1117348	20690,91
20,111334	20689,43



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.2 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ RT20 για $T_{\text{δωμ}} 20^{\circ}\text{C}$

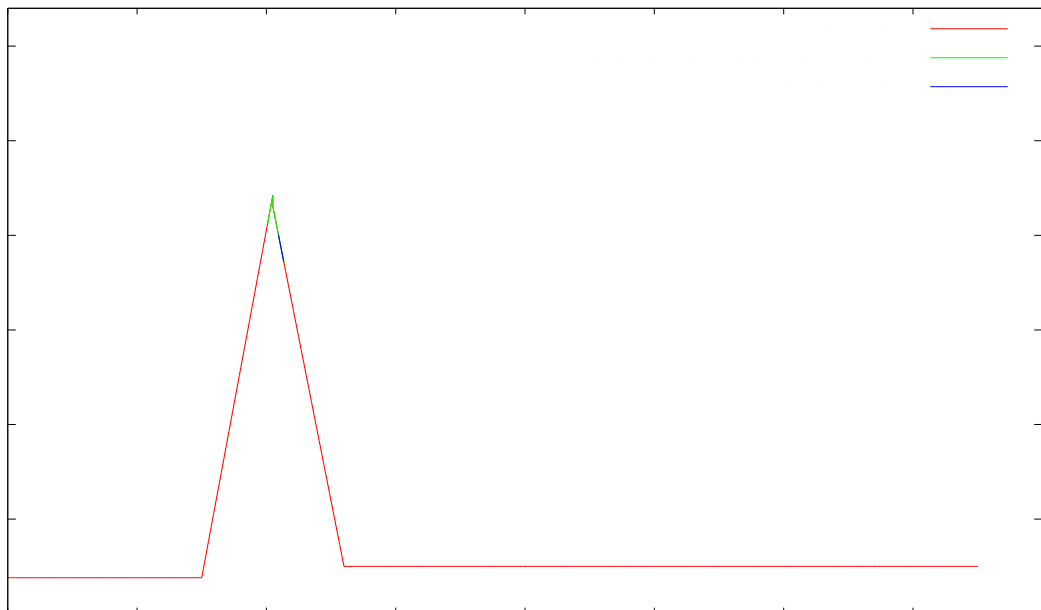
Είναι φανερό ότι το υλικό από στερεό που είναι αρχικά βαίνει στην περιοχή αλλαγής φάσης, ωστόσο με τις υπάρχουσες συνθήκες δεν δύναται να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση. Το μόνο που κάνει είναι να σημειώνει μια στροφή κάποιων δεκαδικών βαθμών, δηλαδή στην ουσία μια ανεπαίσθητη μεταβολή που ούτε στο διάγραμμα μπορεί να είναι ορατή. Φτάνει μέχρι περίπου τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και επειδή μετά η ηλιακή ακτινοβολία δεν επαρκεί για να ανεβάσει κι άλλο τη θερμοκρασία του, σταθεροποιείται εκεί περίπου.

Αντικειμενικός σκοπός της εργασίας μας είναι να καταφέρουμε να έχουμε την πλήρη αξιοποίηση του υλικού. Το ιδανικό για εμάς θα ήταν ασφαλώς να πραγματοποιούνται όλα τα στάδια αλλαγής φάσης σε ένα 24ωρο και το ίδιο ακριβώς να συμβαίνει καθημερινά. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν ολοκληρώθηκε ο κύκλος μέσα στη μέρα. Παρόλα αυτά το υλικό θα έχει φτάσει σε μια κατάσταση από την οποία θα ξεκινήσει τη μεταβολή του το επόμενο 24ωρο. Για λόγους διευκόλυνσης θεωρούμε πως οι συνθήκες από 24ωρο σε 24ωρο είναι πανομοιότυπες. Συνεπώς τα επόμενα 24ωρα ξεκινώντας πάντα από τη θερμοκρασία στην οποία έχει καταλήξει το υλικό η εξέλιξη του θα είναι η ακόλουθη:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.5 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ RT20 για θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ $20,111^{\circ}\text{C}$ (2° 24ωρο).

Time [hours]	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	20,111	20689,433
6:00	20,108	20675,456
7:00	20,104	20661,947
8:00	20,100	20648,891
9:00	20,161	20873,035
10:00	20,289	21343,649

11:00	20,460	21972,130
12:00	20,654	20986,563
13:00	20,860	20274,713
14:00	21,063	19570,253
15:00	21,233	18982,090
16:00	21,341	18610,368
17:00	21,366	18525,027
18:00	21,349	18583,718
19:00	21,297	18761,026
20:00	21,249	18929,980
21:00	21,202	19091,120
22:00	21,157	19244,936
23:00	21,115	19391,875
0:00	21,074	19532,347
1:00	21,035	19666,727
2:00	20,998	19795,361
3:00	20,963	19918,567
4:00	20,928	20036,641

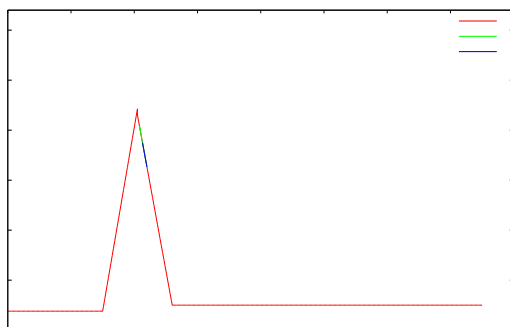
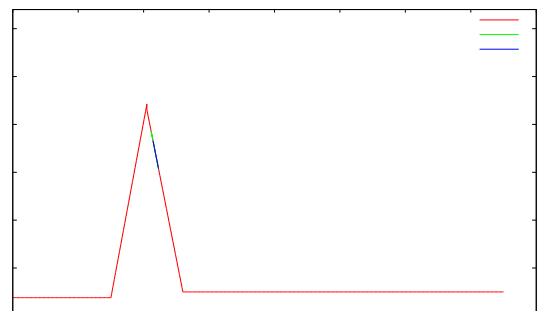


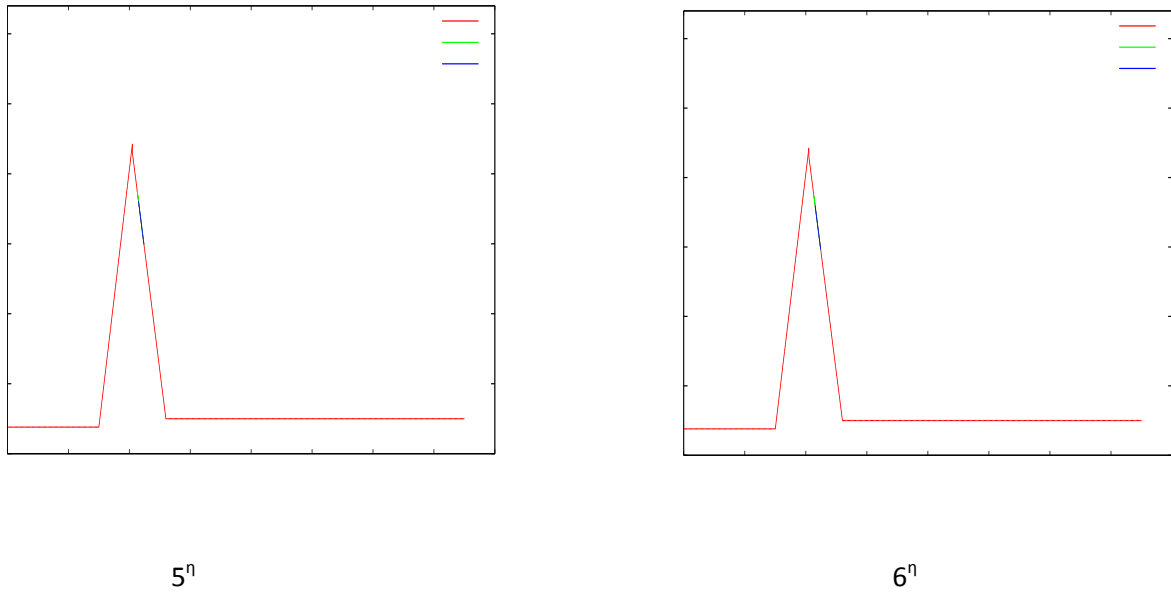
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.3 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ RT20 για $T_{\delta\omega\mu}$ 20°C το 2° 24ωρο.

Παρατηρούμε ότι δεν έχουμε κάποια σημαντική μεταβολή και οι δυνατότητες αποθήκευσης θερμότητας του ΥΑΦ μένουν αναξιοποίητες. Είναι φανερό πως και τα επόμενα 24ωρα που θα ακολουθήσουν οι μεταβολές δε θα είναι ουσιαστικές. Παρακάτω μπορούμε να δούμε αριθμητικά την εν λόγω εξέλιξη:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.6 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ RT20 συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $x=4\text{cm}$ τα επόμενα 24ωρα.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	3 ^η μέρα		4 ^η μέρα		5 ^η μέρα		6 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	Cpeff	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	Cpeff	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	Cpeff	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	Cpeff
		[J/kg °C]		[J/kg °C]		[J/kg °C]		[J/kg °C]
5:00	20,93	20038,22	21,30	18762,27	21,45	18247,05	21,50	18049,96
6:00	20,90	20151,37	21,25	18931,17	21,39	18440,67	21,44	18253,40
7:00	20,86	20259,92	21,20	19092,26	21,34	18624,83	21,39	18446,70
8:00	20,83	20364,10	21,16	19246,02	21,29	18800,19	21,34	18630,58
9:00	20,87	20238,31	21,18	19153,97	21,31	18722,71	21,36	18558,83
10:00	20,98	19867,32	21,29	18801,98	21,41	18378,89	21,45	18218,20
11:00	21,14	19316,83	21,44	18260,33	21,56	17841,04	21,61	17681,85
12:00	21,33	18641,41	21,64	17586,72	21,76	17168,20	21,80	17009,31
13:00	21,54	17928,90	21,84	16873,85	21,96	16455,18	22,01	16296,23
14:00	21,74	17224,72	22,05	16169,82	22,17	15751,21	22,21	15592,29
15:00	21,91	16652,68	22,21	15606,56	22,33	15191,76	22,38	15034,33
16:00	22,00	16327,80	22,30	15307,26	22,41	14903,58	22,46	14750,54
17:00	22,00	16329,30	22,28	15355,97	22,39	14972,75	22,43	14827,76
18:00	21,95	16490,89	22,22	15572,59	22,32	15213,00	22,36	15077,27
19:00	21,87	16780,37	22,12	15920,81	22,22	15586,15	22,25	15460,13
20:00	21,79	17052,67	22,02	16245,96	22,12	15933,45	22,15	15816,02
21:00	21,72	17309,34	21,94	16550,45	22,02	16257,78	22,05	16148,00
22:00	21,65	17551,72	21,85	16836,35	21,93	16561,54	21,96	16458,63
23:00	21,58	17781,00	21,78	17105,39	21,85	16846,77	21,88	16750,06
0:00	21,52	17998,21	21,70	17359,09	21,77	17115,21	21,80	17024,13
1:00	21,46	18204,27	21,63	17598,75	21,70	17368,35	21,72	17282,41
2:00	21,40	18400,00	21,57	17825,53	21,63	17607,51	21,65	17526,27
3:00	21,35	18586,13	21,51	18040,43	21,57	17833,82	21,59	17756,91
4:00	21,30	18763,33	21,45	18244,35	21,50	18048,30	21,52	17975,37

3^η4^η



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.4 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας YAΦ RT20 για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $x=4\text{cm}$ για την 3^η, 4^η, 5^η και 6^η μέρα.

Είναι ολοφάνερο πως οι αλλαγές είναι πολύ μικρές και σε καμμία περίπτωση δεν έχουμε πλήρη αξιοποίηση του υλικού. Στη μελέτη που θα ακολουθήσει οι στόχοι μας θα είναι αφενός να πετύχουμε ένα πλήρη κύκλο μέσα σε ένα 24ωρο με τη μεταβολή των επιμέρους παραμέτρων και στη συνέχεια να προσπαθήσουμε να επαναλάβουμε αυτή τη μεταβολή έτσι ώστε να είναι μια περιοδική διαδικασία από μέρα σε μέρα.

Συνεχίζουμε παίρνοντας διάφορα σενάρια και εξετάζοντας κάθε φορά την συμπεριφορά του υλικού.

Υποθέτουμε συνθήκες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.7 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

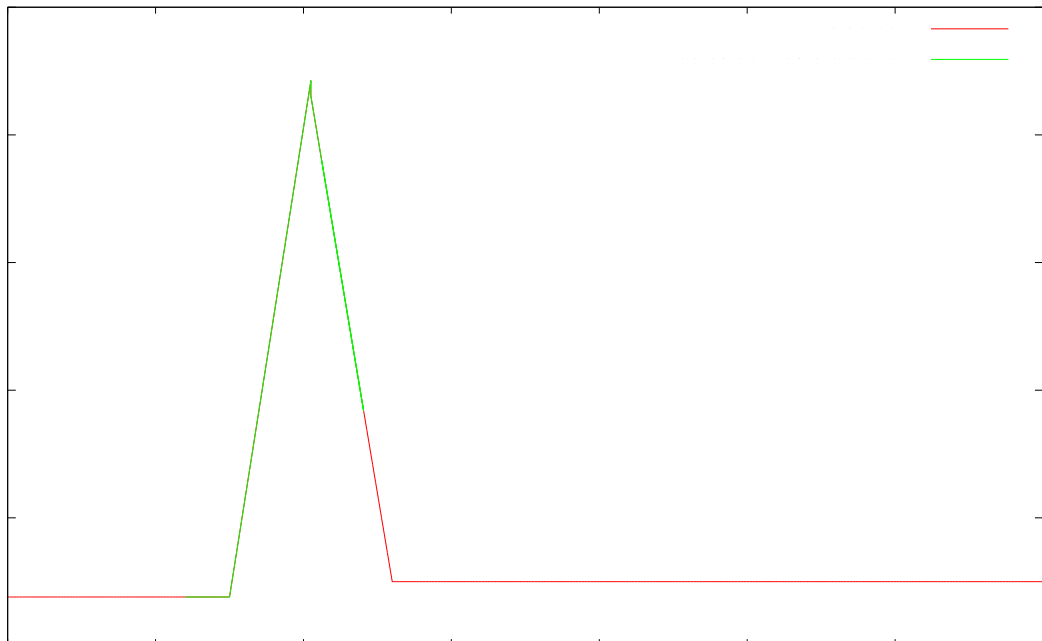
$T_{\text{περ}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{YAΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	πάχος τοίχου/υλικού [m]
26	12	0,04

Αρχικά μεταβάλλω μόνο τη θερμοκρασία δωματίου και την ορίζω έτσι ώστε οριακά να γίνεται υγρό μόνο με την επίδραση της διαφοράς θερμοκρασίας. Στα πλαίσια της θερμοκρασίας δωματίου δεν μπορούμε να πάμε σε πολύ μεγάλες τιμές γιατί δεν αποτελούν συνθήκες ανθρώπινης άνεσης και συν τοις άλλοις θα έπρεπε να δαπανούσαμε πολύ περισσότερη ενέργεια προκειμένου μέσα στο χειμώνα να πετύχουμε αυτές τις θερμοκρασίες (μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας \rightarrow περισσότερη ενέργεια). Παρακάτω βλέπουμε τις επιπτώσεις αυτής της αλλαγής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.8 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του YAΦ RT20 για θερμοκρασία περιβάλλοντος 26°C και αρχική θερμοκρασία YAΦ 12°C και πάχος 4cm.

Time [hours]	$T_{\text{YAΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	12	1900
6:00	17,2063426	10010,5885

7:00	17,8270233	12292,2313
8:00	18,4050104	14416,9308
9:00	19,0833236	16910,4324
10:00	19,5370861	18578,4784
11:00	19,9902993	20244,5051
12:00	20,4260973	21846,5132
13:00	20,8252798	20393,4127
14:00	21,2368967	18970,1027
15:00	21,6293894	17612,9212
16:00	21,9700651	16434,9152
17:00	22,2289184	15539,8393
18:00	22,4422428	14802,1951
19:00	22,6120705	14214,9563
20:00	22,7804725	13632,6473
21:00	22,9473394	13055,6463
22:00	23,1125502	12484,3719
23:00	23,2759705	11919,2888
0:00	23,4374509	11360,9136
1:00	23,5968248	10809,8223
2:00	23,7539064	10266,6577
3:00	23,9084877	9732,13836
4:00	24,0603362	9207,06889



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.5 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας YAΦ RT20 για $T_{\delta\omega\mu}$ 26°C.

Και πάλι το αποτέλεσμα είναι να μην έχουμε ολοκλήρωση του κύκλου του YAΦ. Στην ουσία και πάλι οι συνθήκες δεν επαρκούν για να έχουμε μετάβαση στην υγρή φάση ωστόσο η διαφορά είναι αισθητή μιας και το υλικό μας φτάνει μέχρι και τους 24°C περίπου.

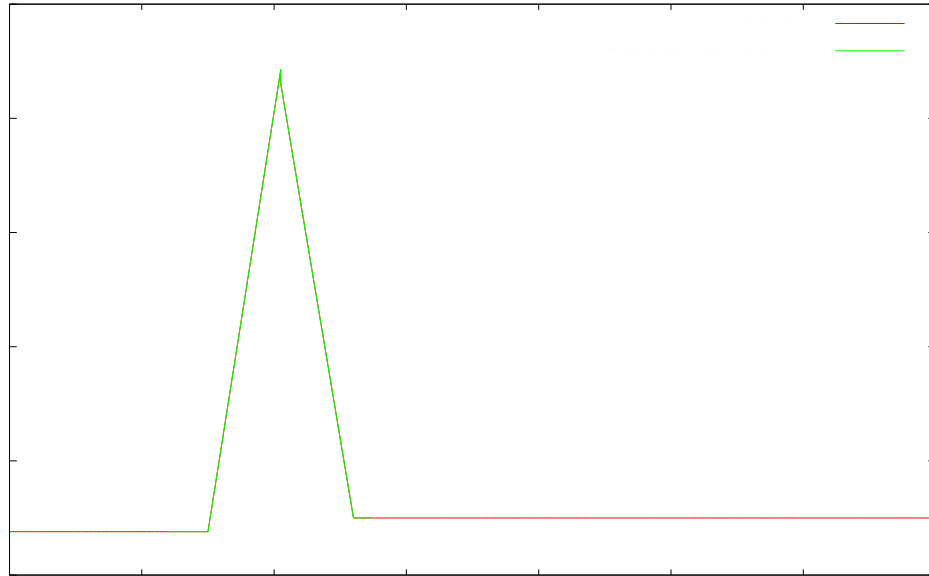
Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία από τους 27°C μέχρι και τους 30°C τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.9 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του RT20 με παράμετρο τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (πάχος: 4cm και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ:12°C)

Παράμετρος $T_{περ}$								
Time [hours]	27 °C		28°C		29°C		30°C	
	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]
5:00	12,0	1900,0	12,0	1900,0	12,0	1900,0	12,0	1900,0
6:00	17,6	11377,6	18,0	12744,7	18,3	14111,7	18,7	15478,8
7:00	18,2	13528,5	18,5	14792,9	18,9	16077,1	19,2	17376,0
8:00	18,7	15586,5	19,1	16790,1	19,4	18020,0	19,7	19270,3
9:00	19,4	18006,5	19,7	19140,7	20,0	20306,0	20,3	21497,0
10:00	19,8	19674,3	20,1	20803,5	20,5	21960,7	20,8	20555,4
11:00	20,3	21340,2	20,6	21191,5	20,9	20109,1	21,3	18811,1
12:00	20,7	20740,1	21,1	19591,0	21,4	18339,0	21,9	16837,7
13:00	21,2	19203,6	21,6	17881,1	22,0	16427,3	22,5	14673,5
14:00	21,6	17608,6	22,1	16083,8	22,6	14384,8	23,2	12304,8
15:00	22,1	16062,4	22,6	14306,0	23,2	12310,7	23,9	9801,0
16:00	22,5	14686,8	23,1	12677,5	23,7	10334,2	24,6	7250,1
17:00	22,8	13602,9	23,4	11341,1	24,2	8618,6	25,3	4768,2
18:00	23,1	12681,2	23,8	10161,1	24,7	7005,6	26,2	2500,0
19:00	23,3	11921,3	24,1	9147,5	25,1	5504,9	27,3	2500,0
20:00	23,5	11157,9	24,4	8099,8	25,6	3787,7	28,0	2500,0
21:00	23,7	10390,7	24,7	7008,1	26,3	2500,0	28,6	2500,0
22:00	23,9	9619,0	25,0	5856,3	27,0	2500,0	29,0	2500,0
23:00	24,2	8842,0	25,4	4616,9	27,6	2500,0	29,3	2500,0
0:00	24,4	8058,9	25,8	3234,6	28,0	2500,0	29,5	2500,0
1:00	24,6	7268,4	26,3	2500,0	28,3	2500,0	29,6	2500,0
2:00	24,9	6468,7	26,8	2500,0	28,5	2500,0	29,7	2500,0
3:00	25,1	5657,5	27,1	2500,0	28,6	2500,0	29,8	2500,0
4:00	25,3	4831,3	27,4	2500,0	28,7	2500,0	29,9	2500,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι το υλικό κάτω από τις συνθήκες που έχω ορίσει μπαίνει μεταβαίνει εξολοκλήρου στην υγρή φάση για θερμοκρασία δωματίου για 28°C ωστόσο χωρίς να έχει τη δυνατότητα μέσα στο 24ωρο να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση ολοκληρώνοντας τον κύκλο του. Παρατηρούμε ακόμα ότι όσο αυξάνουμε τη θερμοκρασία δωματίου και μεγαλώνει η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ δωματίου και ΥΑΦ τόσο μεγαλύτερο είναι το «άλμα» που σημειώνει το ΥΑΦ κατά τη διάρκεια της 1^{ης} ώρας.

Ενδεικτικά παρουσιάζουμε τη μεταβολή στους 28°C όπου έχουμε για πρώτη φορά μετάβαση στην υγρή φάση.



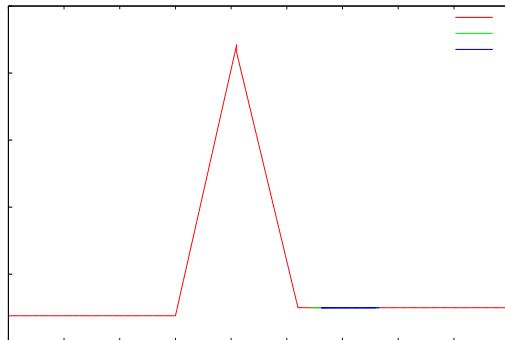
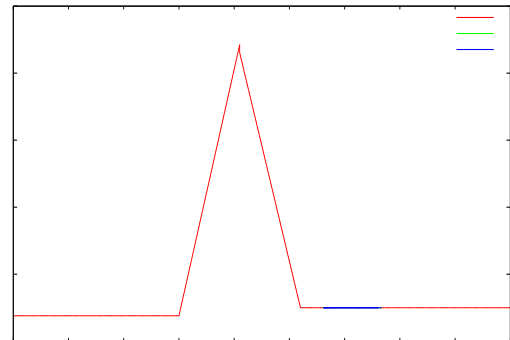
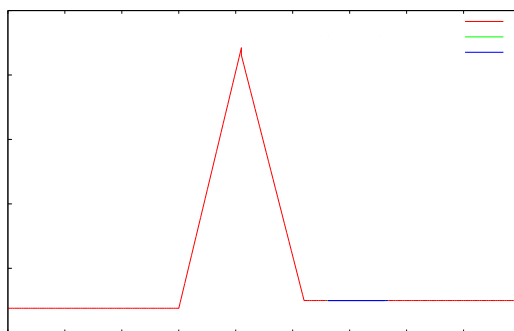
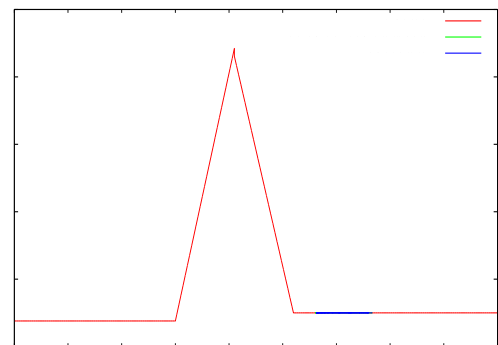
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.6 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του RT20 για $T_{\delta\omega\mu}$ 28°C.

Στην τελευταία εφαρμογή μπορούμε να πούμε πως έχουμε πετύχει κατά το ήμισυ τον πρώτο μας στόχο. Μελετώντας στη συνέχεια πως θα εξελιχθεί το εν λόγω ΥΑΦ με αυτά τα δεδομένα έχουμε την εξής εικόνα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.10 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ RT20 συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=28^{\circ}\text{C}$, $\chi=4\text{cm}$ τα επόμενα 24ωρα.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα		5 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]
5:00	27,12	2500,00	28,12	2500,00	28,12	2500,00	28,12	2500,00
6:00	27,37	2500,00	28,08	2500,00	28,08	2500,00	28,08	2500,00
7:00	27,55	2500,00	28,06	2500,00	28,06	2500,00	28,06	2500,00
8:00	27,67	2500,00	28,04	2500,00	28,04	2500,00	28,04	2500,00
9:00	28,30	2500,00	28,56	2500,00	28,56	2500,00	28,56	2500,00
10:00	29,33	2500,00	29,52	2500,00	29,52	2500,00	29,52	2500,00
11:00	30,49	2500,00	30,63	2500,00	30,63	2500,00	30,63	2500,00
12:00	31,62	2500,00	31,72	2500,00	31,72	2500,00	31,72	2500,00
13:00	32,51	2500,00	32,58	2500,00	32,58	2500,00	32,58	2500,00
14:00	33,13	2500,00	33,18	2500,00	33,18	2500,00	33,18	2500,00
15:00	33,31	2500,00	33,35	2500,00	33,35	2500,00	33,35	2500,00
16:00	32,98	2500,00	33,00	2500,00	33,00	2500,00	33,00	2500,00
17:00	32,13	2500,00	32,15	2500,00	32,15	2500,00	32,15	2500,00
18:00	31,22	2500,00	31,24	2500,00	31,24	2500,00	31,24	2500,00
19:00	30,31	2500,00	30,32	2500,00	30,32	2500,00	30,32	2500,00
20:00	29,66	2500,00	29,67	2500,00	29,67	2500,00	29,67	2500,00
21:00	29,19	2500,00	29,20	2500,00	29,20	2500,00	29,20	2500,00
22:00	28,85	2500,00	28,86	2500,00	28,86	2500,00	28,86	2500,00
23:00	28,61	2500,00	28,62	2500,00	28,62	2500,00	28,62	2500,00

0:00	28,44	2500,00	28,44	2500,00	28,44	2500,00	28,44	2500,00
1:00	28,32	2500,00	28,32	2500,00	28,32	2500,00	28,32	2500,00
2:00	28,23	2500,00	28,23	2500,00	28,23	2500,00	28,23	2500,00
3:00	28,16	2500,00	28,16	2500,00	28,16	2500,00	28,16	2500,00
4:00	28,12	2500,00	28,12	2500,00	28,12	2500,00	28,12	2500,00

2^η3^η4^η5^η

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.7 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ RT20 για $T_{\delta\omega\mu}=28^{\circ}\text{C}$, $x=4\text{cm}$ για την 2^η, 3^η, 4^η και 5^η μέρα

Μετά το πέρας του 1^{ου} 24ωρου οπότε και το υλικό είχε φτάσει σε μια θερμοκρασία παραπλήσια της θερμοκρασίας δωματίου, θα έχει αυτή ως αρχική θερμοκρασία. Αυτό σημαίνει πως δε θα υπάρχει μια σημαντική θερμοκρασιακή διαφορά που θα προκαλέσει έντονη μεταβολή στο ΥΑΦ με αποτέλεσμα από την 3^η μέρα και μετά το ΥΑΦ να φτάσει σε μια μόνιμη κατάσταση κατά την οποία θα παραμένει συνεχώς υγρό χωρίς ιδιαίτερα μεγάλο εύρος στη μεταβολή της θερμοκρασίας του.

Συνεχίζοντας την έρευνα μας αξιοσημείωτο είναι πως από δω και πέρα δεν έχει νόημα η περαιτέρω αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας μιας και δεν πρόκειται να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα της επαναφοράς του υλικού. Γι αυτό το λόγο στρεφόμαστε στις υπόλοιπες παραμέτρους και συγκεκριμένα στην πορεία εξετάζουμε πως θα επιδράσει η αλλαγή του πάχους του υλικού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.11 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

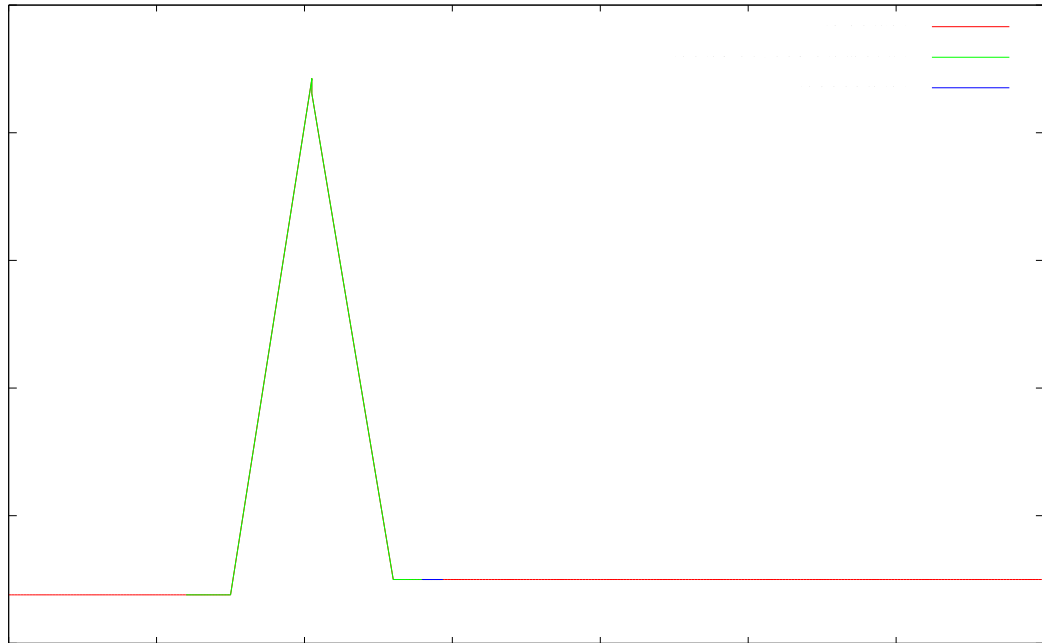
$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
28	12	0,03

Τη θερμοκρασία δωματίου-περιβάλλοντος την ανεβάζω στους 28°C διότι εκεί είδαμε τουλάχιστον ότι έχουμε μετάβαση στην υγρή φάση και δεν έχει νόημα εφόσον στοχεύουμε στη βέλτιστη χρήση του ΥΑΦ να ξεκινήσουμε από διαφορετική θερμοκρασία. Το πάχος το μειώνουμε κατά 1cm για να είναι πιο μικρή η μάζα του υλικού που έχουμε να επεξεργαστούμε.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.12 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ RT20 για θερμοκρασία περιβάλλοντος 28°C και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ 12°C και πάχος 3cm.

Time [hours]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]
5:00	12,000	1900,000
6:00	19,933	20035,615
7:00	20,313	21429,928
8:00	20,733	20710,899
9:00	21,348	18585,608
10:00	21,885	16728,522
11:00	22,537	14475,704
12:00	23,314	11788,714
13:00	24,229	8623,388
14:00	25,374	4665,747
15:00	27,070	2500,000
16:00	28,974	2500,000
17:00	29,357	2500,000
18:00	29,193	2500,000
19:00	28,743	2500,000
20:00	28,463	2500,000
21:00	28,289	2500,000
22:00	28,180	2500,000
23:00	28,112	2500,000
0:00	28,070	2500,000
1:00	28,044	2500,000
2:00	28,027	2500,000
3:00	28,017	2500,000
4:00	28,011	2500,000

Από τις τιμές που προέκυψαν είναι φανερό ότι σε αυτή την περίπτωση φτάνουμε κάποιο μέγιστο θερμοκρασίας και στη συνέχεια το υλικό αρχίζει να επαναφέρεται χωρίς ωστόσο να προλάβει να μπει στην περιοχή αλλαγής φάσης. Τη μεταβολή αυτή μπορούμε να διαπιστώσουμε και στο παρακάτω διάγραμμα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.8 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του RT20 για $T_{\delta\omega\mu}$ 28°C και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ 12°C και πάχος 3cm.

Εξετάζοντας για αυτή την περίπτωση θερμοκρασιών πάχη από (1-4) cm έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.13 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του RT20 με παράμετρο το πάχος ($T_{\text{περ}}: 28^\circ\text{C}$ και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ:12°C)

Παράμετρος χ								
Time [hours]	1cm		2cm		3cm		4cm	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^\circ\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^\circ\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^\circ\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^\circ\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^\circ\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^\circ\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^\circ\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^\circ\text{C}]$
5:00	12,00	1900,00	12,00	1900,00	12,00	1900,00	12,0	1900,0
6:00	35,80	2500,00	23,90	9760,76	19,93	20035,62	18,0	12744,7
7:00	26,98	2500,00	24,49	7708,31	20,31	21429,93	18,5	14792,9
8:00	30,26	2500,00	25,48	4292,45	20,73	20710,90	19,1	16790,1
9:00	34,77	2500,00	28,37	2500,00	21,35	18585,61	19,7	19140,7
10:00	31,57	2500,00	30,39	2500,00	21,89	16728,52	20,1	20803,5
11:00	33,70	2500,00	32,12	2500,00	22,54	14475,70	20,6	21191,5
12:00	34,58	2500,00	33,45	2500,00	23,31	11788,71	21,1	19591,0
13:00	34,79	2500,00	34,20	2500,00	24,23	8623,39	21,6	17881,1
14:00	34,69	2500,00	34,48	2500,00	25,37	4665,75	22,1	16083,8
15:00	33,65	2500,00	34,08	2500,00	27,07	2500,00	22,6	14306,0
16:00	31,92	2500,00	32,97	2500,00	28,97	2500,00	23,1	12677,5
17:00	29,74	2500,00	31,29	2500,00	29,36	2500,00	23,4	11341,1
18:00	28,81	2500,00	29,95	2500,00	29,19	2500,00	23,8	10161,1
19:00	27,89	2500,00	28,85	2500,00	28,74	2500,00	24,1	9147,5
20:00	28,01	2500,00	28,37	2500,00	28,46	2500,00	24,4	8099,8

21:00	28,00	2500,00	28,16	2500,00	28,29	2500,00	24,7	7008,1
22:00	28,00	2500,00	28,07	2500,00	28,18	2500,00	25,0	5856,3
23:00	28,00	2500,00	28,03	2500,00	28,11	2500,00	25,4	4616,9
0:00	28,00	2500,00	28,01	2500,00	28,07	2500,00	25,8	3234,6
1:00	28,00	2500,00	28,01	2500,00	28,04	2500,00	26,3	2500,0
2:00	28,00	2500,00	28,00	2500,00	28,03	2500,00	26,8	2500,0
3:00	28,00	2500,00	28,00	2500,00	28,02	2500,00	27,1	2500,0
4:00	28,00	2500,00	28,00	2500,00	28,01	2500,00	27,4	2500,0

Αξιοσημείωτη σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η κατάσταση που παίρνουμε για πάχος 1cm όπου σε βήμα μόλις 1 ώρας έχουμε τεράστια άνοδο της θερμοκρασίας το οποίο μάλιστα είναι και λογικό. Σε όλες τις περιπτώσεις πάντως έχουμε μια μικρή επαναφορά η οποία στην ουσία δεν είναι σημαντική μιας και δεν μπαίνει καν στην περιοχή αλλαγής φάσης, οπότε κρίνεται αναγκαία η στροφή σε άλλες παραμέτρους. Όπως και να έχει από αυτά τα νούμερα φαίνεται ότι βέλτιστο πάχος μπορεί να είναι μεταξύ (2-3)cm.

Επόμενο βήμα μας θα ήταν να μεταβάλλουμε κάπως τα χαρακτηριστικά του ίδιου του ΥΑΦ αλλάζοντας στην ουσία υλικό. Οποιαδήποτε παράμετρο κι αν αλλάξουμε έχουμε πολλές πιθανότητες να το φτιάξουμε εργαστηριακά με ανάμειξη δυο ή περισσότερων υλικών.

Για αρχή καλό θα ήταν να μελετήσουμε πως επηρεάζει την όλη κατάσταση το θερμοκρασιακό εύρος του υλικού. Το RT20 είναι γεγονός ότι διέθετε πολύ μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος. Ας πάρουμε στη συνέχεια τις εξής τιμές:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.14 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [°C]	T_l [°C]	C_{p_s} [J/kg°C]	C_{p_l} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
15	18	1900	2500	132100	1019

Στη συνέχεια, λοιπόν, μετέβαλλα τη θερμοκρασία ολοκλήρωσης τήξης.

Επιβάλλοντας όμως συνθήκες τις:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.15 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]
20	13

Με παράμετρο το πάχος του υλικού έχουμε

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.16 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ με παράμετρο το πάχος (Tπερ: 20°C και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ:13°C)

Παράμετρος x			
2cm		3cm	
$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]
13,00	1900,00	13,00	1900,00
18,21	2500,00	16,47	84531,62

19,22	2500,00	16,51	85000,33
20,72	2500,00	16,57	81703,12
22,54	2500,00	16,65	76994,82
24,19	2500,00	16,76	71032,68
25,48	2500,00	16,89	63897,92
26,21	2500,00	17,04	55833,47
26,49	2500,00	17,20	46799,03
26,09	2500,00	17,37	37240,24
24,98	2500,00	17,54	27785,55
23,29	2500,00	17,69	19434,57
21,95	2500,00	17,85	10773,40
20,85	2500,00	18,04	2500,00
20,37	2500,00	18,78	2500,00
20,16	2500,00	19,24	2500,00
20,07	2500,00	19,53	2500,00
20,03	2500,00	19,70	2500,00
20,01	2500,00	19,82	2500,00
20,01	2500,00	19,89	2500,00
20,00	2500,00	19,93	2500,00
20,00	2500,00	19,96	2500,00
20,00	2500,00	19,97	2500,00
20,00	2500,00	19,98	2500,00

Είναι φανερό πως για 3cm έχω πιο σταδιακή μετάβαση στη στέρεα φάση στην οποία και παραμένει. Στόχος μας όμως όπως έχουμε προαναφέρει είναι να προσπαθήσουμε να έχουμε ένα πλήρη κύκλο σε ένα 24ωρο και στη συνέχεια να τον επαναλάβουμε τα επόμενα 24ωρα όσο γίνεται αυτούσιο. Τα μικρά πάχη μας δίνουν τη δυνατότητα απότομων και γρήγορων μεταβολών. Αυτό μας δίνει ελπίδες πως θα έχουμε γρήγορη μετάβαση στην στέρεα φάση και όσο γίνεται να υπάρχει δυνατότητα επαναφοράς του υλικού στην ίδια μέρα. Αυτό μας βολεύει ιδιαίτερα διότι και το κόστος των υλικών αλλαγής φάσης είναι αρκετά υψηλό. Για πάχος 2cm σε βήμα μιας ώρας έχω κατευθείαν αλλαγή από τη στέρεα στην υγρή φάση και συν τοις άλλοις έχω μια κάποια επαναφορά του υλικού. Κάθε φορά όμως παρατηρώ ότι στην επιστροφή πάει και ισορροπεί στις συνθήκες περιβάλλοντος μιας και δεν υπάρχει κάτι που θα του αφαιρέσει περεταίρω ενέργεια. Συνεπώς καλό θα ήταν να εστιάσουμε στη θερμοκρασία δωματίου σε συνδυασμό με το εύρος τιμών αλλαγής φάσης.

Στη συνέχεια αλλάζοντας και πάλι το εύρος τιμών έχω:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.17 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [°C]	T_1 [°C]	C_{ps} [J/kg°C]	C_{pi} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
19	21	1900	2500	132100	1019

Με επικρατούσες συνθήκες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.18 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

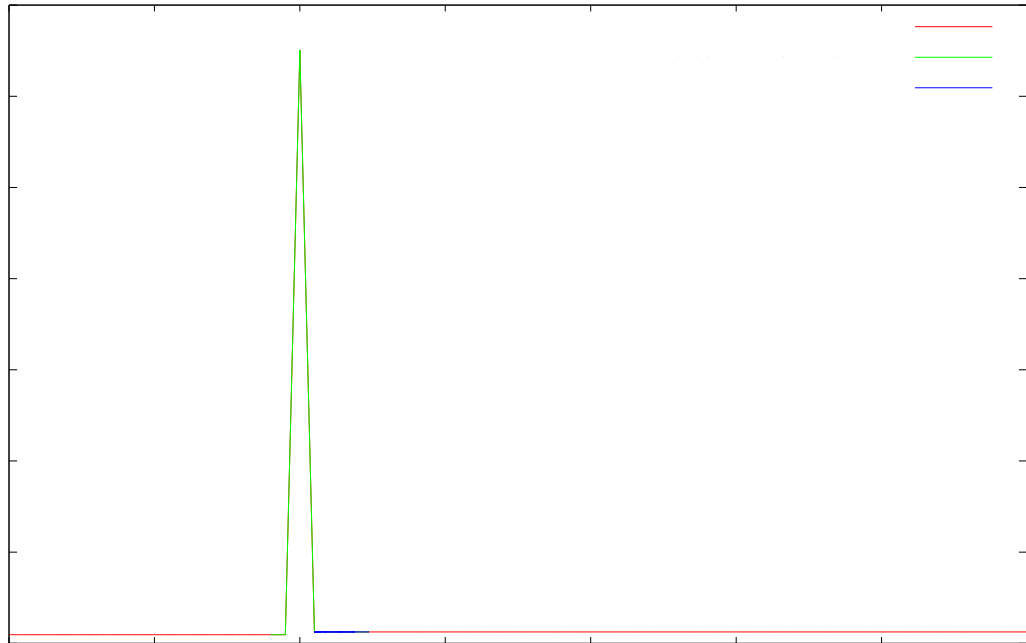
$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
18	0,02

Αυτή τη φορά θα εξετάσω το εν λόγω σενάριο με παράμετρο τη θερμοκρασία δωματίου.

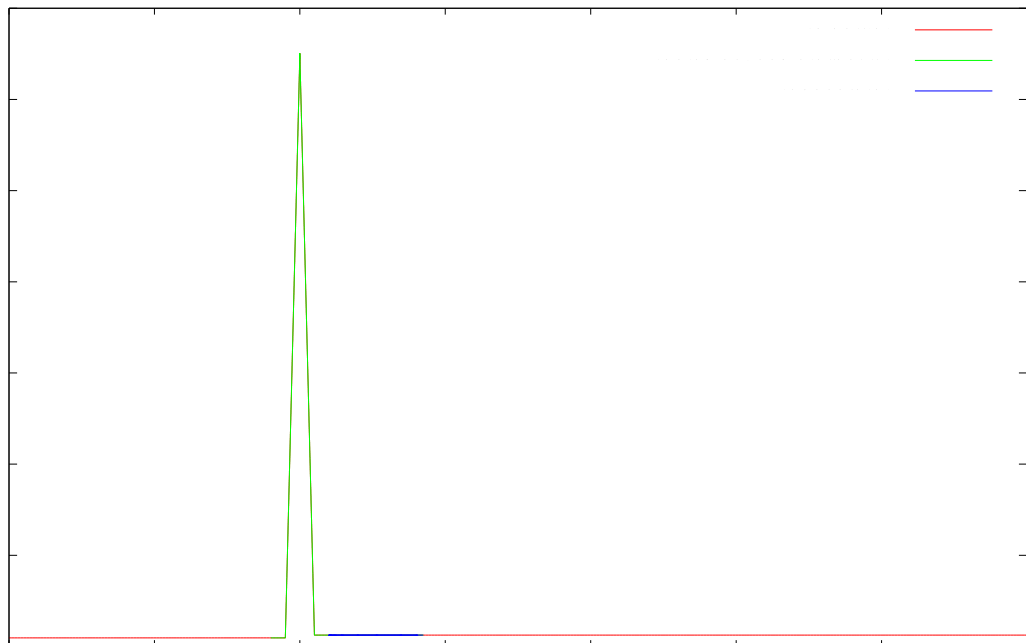
ΠΙΝΑΚΑΣ 12.19 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ με παράμετρο τη θερμοκρασία δωματίου ($x: 0,02m$ και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ: $18^{\circ}C$)

Time [hours]	Παράμετρος $T_{περ}$							
	19 °C		20 °C		21 °C		22 °C	
	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]
5:00	18,0	1900,0	18,0	1900,0	18,0	1900,0	18,0	1900,0
6:00	18,7	1900,0	19,5	64449,6	20,2	100203,1	21,0	5670,8
7:00	18,9	1900,0	19,5	65891,3	20,2	98825,2	21,2	2500,0
8:00	20,4	80907,8	19,5	72449,7	20,3	94026,9	22,7	2500,0
9:00	20,4	75224,5	19,6	83444,1	20,3	85119,0	24,5	2500,0
10:00	20,5	65611,9	19,7	96085,8	20,5	72239,3	26,2	2500,0
11:00	20,6	51998,0	19,8	108808,4	20,6	54772,0	27,5	2500,0
12:00	20,8	34181,9	19,9	120364,4	20,8	31228,1	28,2	2500,0
13:00	21,0	8146,6	20,0	129223,1	21,1	2500,0	28,5	2500,0
14:00	21,6	2500,0	20,1	121201,0	24,3	2500,0	28,1	2500,0
15:00	22,5	2500,0	20,1	115191,2	24,8	2500,0	27,0	2500,0
16:00	21,6	2500,0	20,1	112263,5	23,8	2500,0	25,3	2500,0
17:00	20,7	45069,8	20,1	111008,9	22,7	2500,0	23,9	2500,0
18:00	20,6	51705,4	20,1	111245,6	21,7	2500,0	22,8	2500,0
19:00	20,6	57308,0	20,1	111478,7	21,3	2500,0	22,4	2500,0
20:00	20,5	62224,8	20,1	111708,4	21,1	2500,0	22,2	2500,0
21:00	20,5	66641,4	20,1	111934,8	21,1	2500,0	22,1	2500,0
22:00	20,5	70671,7	20,1	112157,8	21,0	2500,0	22,0	2500,0
23:00	20,4	74391,5	20,1	112377,5	21,0	2500,0	22,0	2500,0
0:00	20,4	77854,6	20,1	112594,1	21,0	2500,0	22,0	2500,0
1:00	20,4	81100,9	20,1	112807,6	21,0	2500,0	22,0	2500,0
2:00	20,4	84160,6	20,1	113017,9	21,0	2500,0	22,0	2500,0
3:00	20,3	87057,8	20,1	113225,3	21,0	2500,0	22,0	2500,0
4:00	20,3	89811,4	20,1	113429,6	21,0	2500,0	22,0	2500,0

Επιλέγοντας να απεικονίσω τις δυο τελευταίες μεταβολές έχω την παρακάτω εικόνα:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.9 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}$ 21°C.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.10 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}$ 22°C.

Έχοντας πλήρη εικόνα των αποτελεσμάτων βλέπω ότι στην προηγούμενη περίπτωση των 21°C η επαναφορά πλησιάζει περισσότερο την περιοχή μετάβασης αλλαγής φάσης. Είναι φανερό πως για μικρό θερμοκρασιακό εύρος και θέτοντας στην ουσία τη θερμοκρασία του δωματίου κοντά σε αυτή την περιοχή

θα έχω καλύτερα αποτελέσματα. Στη συνέχεια θα μεταβάλλω το θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης για να μελετήσουμε περαιτέρω την επίδραση του δοκιμάζοντας τη θερμοκρασία δωματίου στο εύρος (19-22)°C.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.20 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [°C]	T_1 [°C]	C_{p_s} [J/kg°C]	C_{p_l} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
20	21	1900	2500	132100	1019

Και σαν συνθήκες περιβάλλοντος:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.21 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
18	0,02

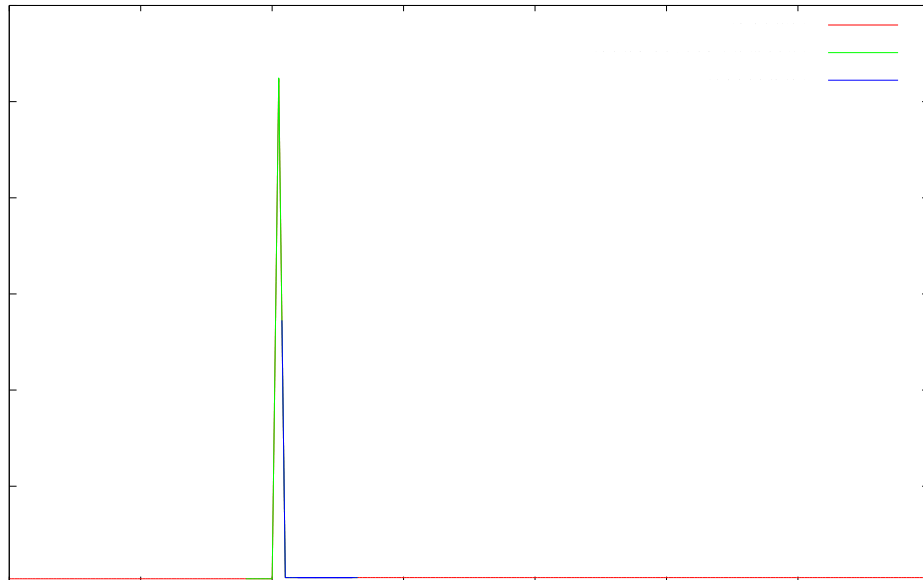
Τα αποτελέσματα έχουν ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.22 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ με παράμετρο τη θερμοκρασία δωματίου (x: 0,02m και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ:18°C)

Time [hours]	Παράμετρος $T_{\text{περ}}$							
	19 °C		20°C		21°C		22°C	
	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]
5:00	18,00	1900,0	18,00	1900,0	18,00	1900,0	18,00	1900,0
6:00	18,74	1900,0	19,49	1900,0	20,23	122355,7	20,98	15432,6
7:00	18,93	1900,0	19,87	1900,0	20,24	126979,5	21,07	2500,0
8:00	20,38	201419,2	21,37	2500,0	20,27	142292,7	22,66	2500,0
9:00	20,40	210773,6	22,82	2500,0	20,32	166465,7	24,52	2500,0
10:00	20,43	224924,5	24,31	2500,0	20,37	193601,6	26,18	2500,0
11:00	20,46	241443,1	25,53	2500,0	20,42	220624,4	27,48	2500,0
12:00	20,49	257624,3	26,23	2500,0	20,47	245137,5	28,21	2500,0
13:00	20,52	251526,3	26,50	2500,0	20,51	257151,8	28,49	2500,0
14:00	20,54	239133,8	26,09	2500,0	20,54	239301,8	28,09	2500,0
15:00	20,56	231236,4	24,98	2500,0	20,57	225286,3	26,98	2500,0
16:00	20,56	229867,1	23,29	2500,0	20,59	217414,7	25,29	2500,0
17:00	20,56	231909,3	21,95	2500,0	20,59	212915,8	23,95	2500,0
18:00	20,55	236829,2	20,85	81356,5	20,60	211519,2	22,85	2500,0
19:00	20,54	241617,5	20,83	88991,3	20,60	210122,8	22,37	2500,0
20:00	20,53	246282,9	20,82	95849,8	20,60	208726,5	22,16	2500,0
21:00	20,52	250833,1	20,81	102116,5	20,60	207330,2	22,07	2500,0
22:00	20,51	255275,2	20,80	107911,9	20,61	205934,1	22,03	2500,0
23:00	20,50	259615,4	20,79	113320,1	20,61	204538,1	22,01	2500,0
0:00	20,50	260130,6	20,78	118402,8	20,61	203142,2	22,01	2500,0
1:00	20,49	255898,5	20,77	123206,7	20,62	201746,5	22,00	2500,0
2:00	20,48	251619,8	20,76	127768,1	20,62	200350,8	22,00	2500,0
3:00	20,47	247292,4	20,75	132116,3	20,62	198955,3	22,00	2500,0

4:00	20,46	242914,0	20,74	136274,8	20,62	197559,9	22,00	2500,0
------	-------	----------	-------	----------	-------	----------	-------	--------

Εντύπωση προκαλεί η περίπτωση όπου η θερμοκρασία ολοκλήρωσης της τήξης συμπίπτει με τη θερμοκρασία δωματίου και δεν έχουμε ολοκλήρωση της αλλαγής φάσης εν αντιθέσει μάλιστα με τους 20°C όπου έχουμε πλήρη τήξη αλλά και μερική επιστροφή και μάλιστα μπαίνουμε στη διφασική περιοχή αλλαγής φάσης. Η εν λόγω μεταβολή παρουσιάζεται παρακάτω.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.11 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu} = 20^{\circ}\text{C}$ και εύρος (20-21)°C.

Ασφαλώς όπως φαίνεται είναι μέχρι στιγμής το καλύτερο αποτέλεσμα από άποψη χρήσης του ΥΑΦ. Κρατώντας αυτά τα δεδομένα σκέφτομαι να αλλάξω κάπως την ηλιακή ακτινοβολία κάνοντας πιο ομαλή ακόμα τη μετάβαση προς τη μηδενική ακτινοβολία στοχεύοντας έτσι να έχω κάτι που θα μου επηρεάζει την εξέλιξη του ΥΑΦ πιο πολλές ώρες. Ενδεικτικά χρησιμοποιώ τις παρακάτω τιμές:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.23 Τιμές της Ηλιακής ακτινοβολίας

Ω_{PA} [h]	G_T [W/m^2]
05:00	0
06:00	0
07:00	225,290
08:00	352,675
09:00	367,976
10:00	379,738
11:00	396,214
12:00	405,664
13:00	377,091
14:00	354,742
15:00	323
16:00	201
17:00	123
18:00	88

19:00	12
20:00	1
21:00	0
22:00	0
23:00	0
00:00	0
01:00	0
02:00	0
03:00	0
04:00	0

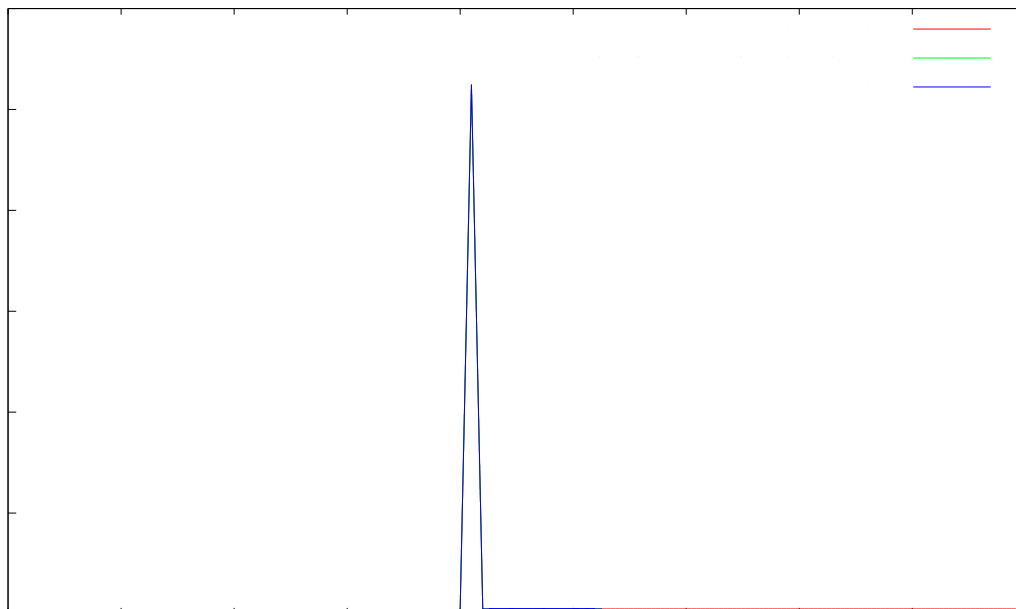
Το ότι έχουμε επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας μέχρι τόσο αργά μέσα στη μέρα και από το ύψος των τιμών θα μπορούσαμε να πούμε ότι πρόκειται για μια αρκετά ζεστή μέρα που μάλλον τοποθετείται στους καλοκαιρινούς μήνες.

Μελετώντας για αυτές τις τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας με τις προηγούμενες τιμές να παραμένουν σταθερές έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.24 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ με παράμετρο τη θερμοκρασία δωματίου ($x: 0,02m$ και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ: $18^{\circ}C$)

Time [hours]	Παράμετρος $T_{περ}$							
	19 °C		20 °C		21 °C		22 °C	
	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]
5:00	18,00	1900,00	18,00	1900,00	18,00	1900,00	18,00	1900
6:00	18,74	1900,00	19,49	1900,00	20,23	122355,68	20,98	15432,56
7:00	21,90	2500,00	22,84	2500,00	20,29	150976,35	21,43	2500
8:00	23,79	2500,00	24,76	2500,00	20,35	184899,78	25,28	2500
9:00	24,77	2500,00	25,75	2500,00	20,41	213418,54	27,11	2500
10:00	25,31	2500,00	26,30	2500,00	20,45	238655,81	28,02	2500
11:00	25,71	2500,00	26,71	2500,00	20,50	261974,60	28,58	2500
12:00	26,28	2500,00	27,28	2500,00	20,54	239050,33	29,22	2500
13:00	25,94	2500,00	26,94	2500,00	20,59	217188,08	28,91	2500
14:00	25,57	2500,00	26,57	2500,00	20,63	194602,34	28,56	2500
15:00	25,09	2500,00	26,09	2500,00	20,67	171675,29	28,08	2500
16:00	23,66	2500,00	24,66	2500,00	20,71	155094,06	26,66	2500
17:00	22,26	2500,00	23,26	2500,00	20,73	143415,45	25,26	2500
18:00	21,30	2500,00	22,30	2500,00	20,75	134066,85	24,30	2500
19:00	20,12	63641,00	21,12	2500,00	20,75	131518,90	23,12	2500
20:00	20,09	50910,45	20,50	260366,27	20,75	130033,97	22,50	2500
21:00	20,06	35093,90	20,49	258963,44	20,76	128647,99	22,22	2500
22:00	20,02	12785,84	20,49	257560,65	20,76	127262,30	22,09	2500
23:00	19,91	1900,00	20,49	256157,93	20,76	125876,91	22,04	2500
0:00	19,23	1900,00	20,49	254755,26	20,76	124491,83	22,02	2500
1:00	19,06	1900,00	20,48	253352,65	20,77	123107,06	22,01	2500
2:00	19,02	1900,00	20,48	251950,10	20,77	121722,60	22,00	2500
3:00	19,00	1900,00	20,48	250547,60	20,77	120338,48	22,00	2500
4:00	19,00	1900,00	20,47	249145,17	20,78	118954,69	22,00	2500

Για πρώτη φορά εδώ εξάγουμε ένα πετυχημένο παράδειγμα πλήρης ολοκλήρωσης του κύκλου για θερμοκρασία δωματίου 19°C. Όσο αυτή ανεβαίνει για το θερμοκρασιακό εύρος που έχω επιλέξει η επαναφορά του υλικού σταματάει σε κάποιο σημείο χωρίς να ολοκληρώνει τον κύκλο του. Παρακάτω παρουσιάζουμε το πρώτο πετυχημένο παράδειγμα μας.



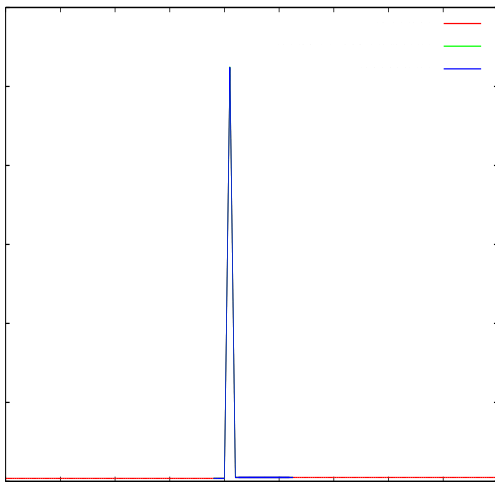
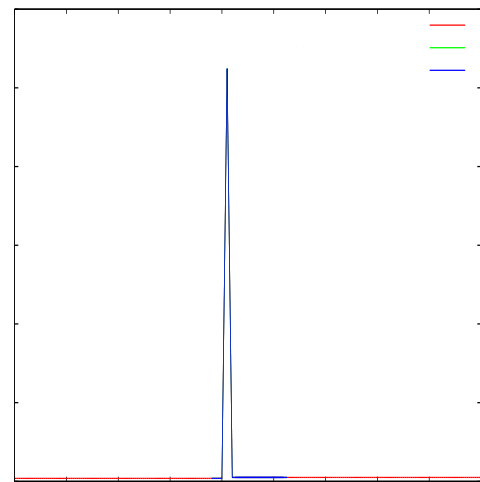
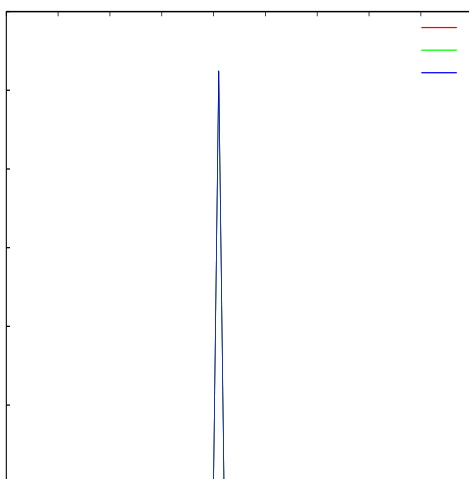
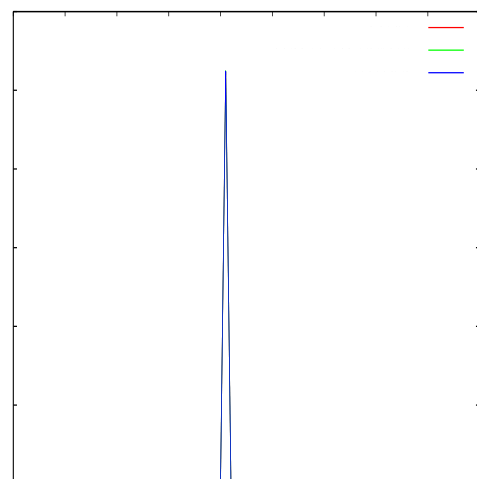
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.12 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}=19^{\circ}\text{C}$ και εύρος (20-21) $^{\circ}\text{C}$.

Εφόσον επιτεύχθει για πρώτη φορά ο στόχος μας σε πρώτη φάση θα δούμε το πώς εξελίσσεται το εν λόγω ΥΑΦ υπό την επίδραση αυτών των συνθηκών και στη συνέχεια κατά πόσο επαναλαμβάνεται από μέρα σε μέρα γεγονός που θα ήταν και το ιδανικό.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.25 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=19^{\circ}\text{C}$, $x=2\text{cm}$ τα επόμενα 24ωρα.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα		5 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	19,001	1900,00	19,001	1900,00	19,001	1900,00	19,001	1900,00
6:00	19,000	1900,00	19,000	1900,00	19,000	1900,00	19,000	1900,00
7:00	21,967	2500,00	21,967	2500,00	21,967	2500,00	21,967	2500,00
8:00	23,820	2500,00	23,820	2500,00	23,820	2500,00	23,820	2500,00
9:00	24,779	2500,00	24,779	2500,00	24,779	2500,00	24,779	2500,00
10:00	25,313	2500,00	25,313	2500,00	25,313	2500,00	25,313	2500,00
11:00	25,711	2500,00	25,711	2500,00	25,711	2500,00	25,711	2500,00
12:00	26,278	2500,00	26,278	2500,00	26,278	2500,00	26,278	2500,00
13:00	25,939	2500,00	25,939	2500,00	25,939	2500,00	25,939	2500,00
14:00	25,567	2500,00	25,567	2500,00	25,567	2500,00	25,567	2500,00
15:00	25,088	2500,00	25,088	2500,00	25,088	2500,00	25,088	2500,00
16:00	23,659	2500,00	23,659	2500,00	23,659	2500,00	23,659	2500,00

17:00	22,257	2500,00	22,257	2500,00	22,257	2500,00	22,257	2500,00
18:00	21,297	2500,00	21,297	2500,00	21,297	2500,00	21,297	2500,00
19:00	20,119	63642,56	20,119	63642,56	20,119	63642,56	20,119	63642,56
20:00	20,094	50912,28	20,094	50912,28	20,094	50912,28	20,094	50912,28
21:00	20,064	35096,25	20,064	35096,25	20,064	35096,25	20,064	35096,25
22:00	20,021	12789,60	20,021	12789,60	20,021	12789,60	20,021	12789,60
23:00	19,908	1900,00	19,908	1900,00	19,908	1900,00	19,908	1900,00
0:00	19,233	1900,00	19,233	1900,00	19,233	1900,00	19,233	1900,00
1:00	19,060	1900,00	19,060	1900,00	19,060	1900,00	19,060	1900,00
2:00	19,015	1900,00	19,015	1900,00	19,015	1900,00	19,015	1900,00
3:00	19,004	1900,00	19,004	1900,00	19,004	1900,00	19,004	1900,00
4:00	19,001	1900,00	19,001	1900,00	19,001	1900,00	19,001	1900,00

2^η3^η4^η5^η

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.13 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας YAΦ για $T_{\delta\omega\mu}=19^{\circ}\text{C}$, $\chi=2\text{cm}$ για την 2^η, 3^η, 4^η και 5^η μέρα

Για πρώτη φορά λοιπόν βλέπουμε ότι πετυχαίνουμε την ιδανικότερη περίπτωση όλων μιας και έχουμε πλήρη περιοδικότητα του κύκλου από τη 2^η κιάλας μέρα. Παρόλα αυτά στην πραγματικότητα κάτι τέτοιο είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί καθώς έχουμε επίδραση από πολλούς παράγοντες. Οι παράμετροι που αφορούν το υλικό θα μπορούσαν πιθανότατα να είναι γνωστές εφόσον θα μπορούσαμε να το κατασκευάσουμε εργαστηριακά, ωστόσο παράγοντες που επηρεάζονται από τον ήλιο όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία (εξωγενής παράγοντας) είναι πολύ δύσκολο να παραμείνει στα ίδια επίπεδα και να έχουμε πανομοιότυπες μέρες καθόλη τη διάρκεια του έτους

Όπως είπαμε η επιλογή του υλικού μπορεί να είναι τυχαία, δηλαδή να επιλέξω έτσι τα χαρακτηριστικά του τα οποία μπορώ να τα πάρω πιθανότατα κατόπιν εργαστηριακής έρευνας. Εφαρμόζοντας όμως το παράδειγμα αυτό με τιμές ακτινοβολιών που προσεγγίζουν τιμές καλοκαιριού δεν μπορούμε να έχουμε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες χώρου διότι θα είχαμε υψηλό κόστος ψυκτικής ενέργειας προκειμένου να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία σε αυτά τα επίπεδα. Τους καλοκαιρινούς μήνες ως θερμοκρασία άνεσης ορίζεται γύρω στους (24-26)^οC. Μεταβάλλοντας λοιπόν για άλλη μια φορά τις τιμές του θερμοκρασιακού εύρους και της θερμοκρασίας δωματίου έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.26 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [^ο C]	T_1 [^ο C]	C_{p_s} [J/kg ^ο C]	C_{p_l} [J/kg ^ο C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
25	27	1900	2500	132100	1019

Δοκιμάζοντας για τις παρακάτω συνθήκες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.27 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

$T_{ΥΑΦ}$ [^ο C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
18	0,02

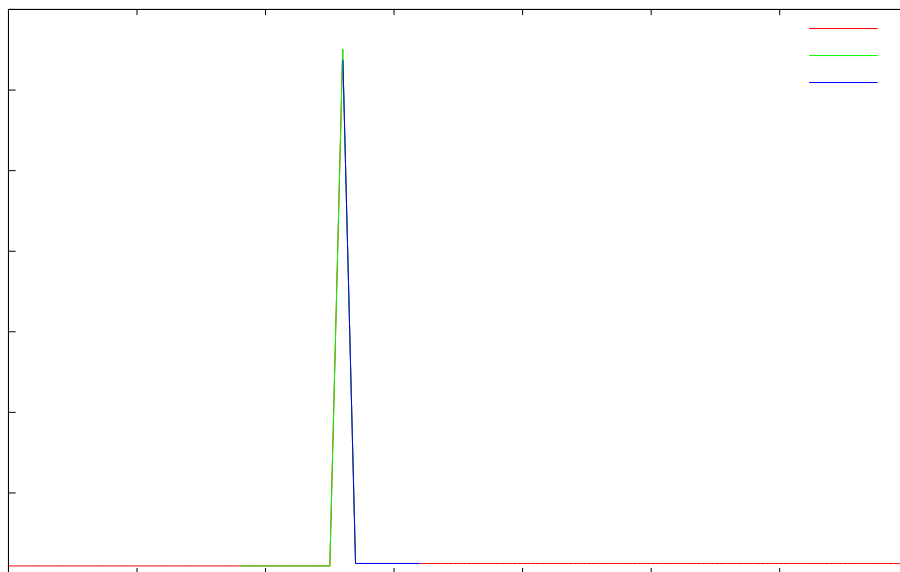
Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.28 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ με παράμετρο τη θερμοκρασία δωματίου (x: 0,02m και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ:18^οC)

Time [hours]	$T_{περ}$					
	24 ^ο C		25 ^ο C		26 ^ο C	
	$T_{ΥΑΦ}$ [^ο C]	C_{peff} [J/kg ^ο C]	$T_{ΥΑΦ}$ [^ο C]	C_{peff} [J/kg ^ο C]	$T_{ΥΑΦ}$ [^ο C]	C_{peff} [J/kg ^ο C]
5:00	18,00	1900,00	18,00	1900,00	18,00	1900,00
6:00	22,46	1900,00	23,21	1900,000	23,95	1900,000
7:00	26,57	56732,61	27,51	2500,000	28,44	2500,000
8:00	26,66	45107,39	29,62	2500,000	30,59	2500,000
9:00	26,79	29771,38	30,69	2500,000	31,68	2500,000
10:00	26,97	6006,74	31,28	2500,000	32,27	2500,000
11:00	27,92	2500,00	31,69	2500,000	32,69	2500,000
12:00	30,07	2500,00	32,27	2500,000	33,27	2500,000
13:00	30,41	2500,00	31,94	2500,000	32,94	2500,000
14:00	30,34	2500,00	31,57	2500,000	32,57	2500,000
15:00	29,99	2500,00	31,09	2500,000	32,09	2500,000
16:00	28,62	2500,00	29,66	2500,000	30,66	2500,000
17:00	27,24	2500,00	28,26	2500,000	29,26	2500,000

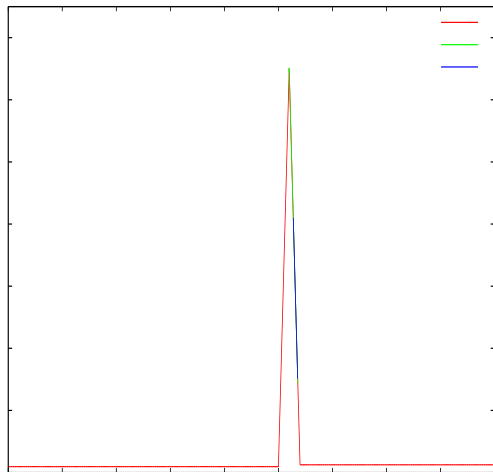
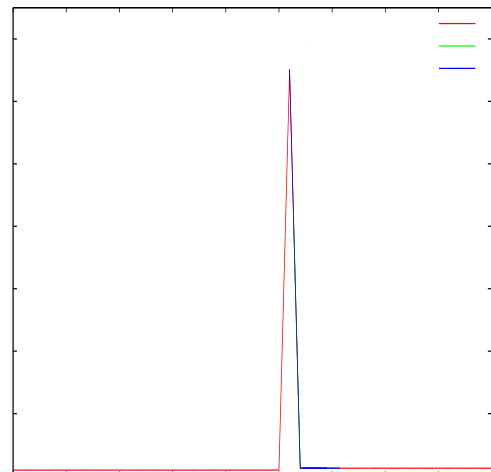
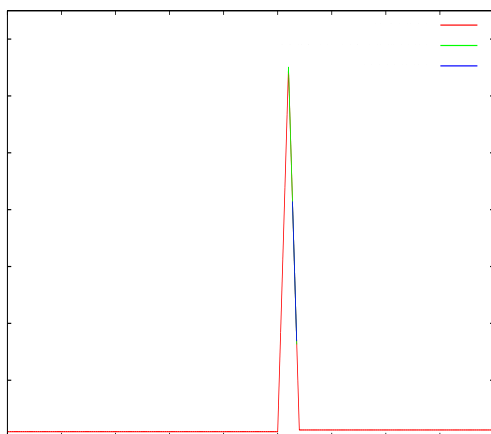
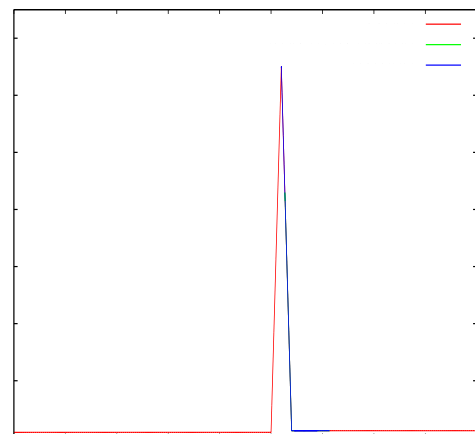
18:00	26,29	92938,33	27,30	2500,000	28,30	2500,000
19:00	26,26	96950,27	26,12	114534,538	27,12	2500,000
20:00	26,22	101098,62	26,10	116260,834	26,50	66522,914
21:00	26,19	105050,18	26,09	117967,872	26,49	67862,864
22:00	26,16	108799,96	26,08	119629,759	26,48	69148,454
23:00	26,14	112371,81	26,07	121248,929	26,47	70383,870
0:00	26,11	115785,20	26,05	122827,604	26,46	71572,797
1:00	26,08	119056,30	26,04	124367,826	26,45	72718,500
2:00	26,06	122198,70	26,03	125871,472	26,44	73823,887
3:00	26,03	125223,95	26,02	127340,275	26,43	74891,564
4:00	26,01	128141,98	26,01	128775,836	26,42	75923,873

Όπως βλέπουμε από τις τρεις περιπτώσεις που μελετήσαμε πιο κοντά σχετικά για να το πετύχουμε είναι τόσο η πρώτη όσο και η δεύτερη περίπτωση μιας και φτάνουμε στην ίδια τελική θερμοκρασία. Απεικονίζοντας τη στο διάγραμμα έχουμε:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.14 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}$ 25°C και εύρος (25-27)°C.

Για να έχουμε μια πιο ρεαλιστική εικόνα της πραγματικότητας μιας και η ηλιακή ακτινοβολία μας κυμαίνεται πιο κοντά σε καλοκαιρινές τιμές απεικονίζουμε στη συνέχεια την εξέλιξη της εν λόγω εφαρμογής του ΥΑΦ τα επόμενα 24ωρα.

2^η3^η4^η5^η

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.15 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}=25^{\circ}\text{C}$, $x=2\text{cm}$ για την 2^η, 3^η, 4^η και 5^η μέρα

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.29 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ RT20 συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $x=4\text{cm}$ τα επόμενα 24ωρα.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα		5 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	26,01	128776,39	26,37	82064,60	26,00	129558,50	26,37	82954,30
6:00	26,00	129614,34	26,35	85071,82	25,98	128166,07	26,34	85914,11

7:00	26,03	126031,18	26,39	79499,76	26,02	127403,20	26,39	80382,82
8:00	26,09	118595,96	26,48	68539,80	26,08	120032,83	26,47	69527,74
9:00	26,15	110372,84	26,58	55343,20	26,14	111891,22	26,58	56498,58
10:00	26,22	101303,40	26,72	38660,85	26,21	102925,69	26,70	40128,48
11:00	26,30	91031,22	26,91	14034,31	26,29	92793,14	26,89	16350,92
12:00	26,40	78380,99	27,49	2500,00	26,39	80356,27	27,39	2500,00
13:00	26,50	66293,99	29,86	2500,00	26,48	68531,65	29,82	2500,00
14:00	26,60	53333,14	30,66	2500,00	26,58	55947,85	30,64	2500,00
15:00	26,71	39458,99	30,70	2500,00	26,68	42656,07	30,69	2500,00
16:00	26,78	31037,33	29,49	2500,00	26,75	34759,70	29,48	2500,00
17:00	26,79	28707,21	28,18	2500,00	26,76	32527,77	28,18	2500,00
18:00	26,78	30180,48	27,26	2500,00	26,75	33662,02	27,26	2500,00
19:00	26,71	39522,24	26,10	116316,67	26,69	41891,44	26,10	116353,78
20:00	26,65	47207,13	26,09	117994,87	26,63	49061,78	26,09	118030,99
21:00	26,60	53478,32	26,08	119656,05	26,59	55042,49	26,08	119691,23
22:00	26,56	58848,40	26,07	121274,56	26,55	60219,80	26,07	121308,85
23:00	26,52	63599,49	26,05	122852,60	26,51	64830,51	26,05	122886,04
0:00	26,49	67890,09	26,04	124392,22	26,48	69012,81	26,04	124424,86
1:00	26,45	71820,22	26,03	125895,30	26,45	72856,01	26,03	125927,17
2:00	26,43	75457,95	26,02	127363,55	26,42	76421,94	26,02	127394,70
3:00	26,40	78852,19	26,01	128798,59	26,39	79755,53	26,01	128829,04
4:00	26,37	82039,49	26,00	129592,42	26,37	82890,73	26,00	129562,35

Έχοντας θεωρήσει λοιπόν πιο ρεαλιστικές τιμές βλέπουμε πως πράγματι δεν καταφέρνουμε να κάνουμε χρήση όλης της δυνατότητας του ΥΑΦ αλλά περιοριζόμαστε σε ένα κομμάτι της διφασικής περιοχής ενώ ανά δεύτερη ημέρα το υλικό μπαίνει για κάποιο χρονικό διάστημα στη στέρεα φάση και επιστρέφει αποδίδοντας έτσι ένα σημαντικό μέρος θερμότητας. Από άποψη πραγματικότητας θα μπορούσαμε να πούμε πως αυτό είναι μια καλή εφαρμογή σχετικά η οποία επαναλαμβάνεται όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα ανά δεύτερη ημέρα.

Προκειμένου να πετύχουμε ένα πλήρη κύκλο σε αυτά τα θερμοκρασιακά δεδομένα επιλέγω να μεταβάλλω κάποια από τις άλλες παραμέτρους που αφορούν τα χαρακτηριστικά του υλικού για να δω πως συμπεριφέρεται. Δοκιμάζοντας λοιπόν για τα παρακάτω στοιχεία έχω:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.30 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [°C]	T_1 [°C]	C_{ps} [J/kg°C]	C_{pi} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
25	27	1900	2500	132100	1019

Και με συνθήκες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.31 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
25	18	0,02

Κρατώντας σαν παράμετρο τη θερμοχωρητικότητα στη στέρεα φάση έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.32 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ με παράμετρο τη θερμοχωρητικότητα της στερεάς φάσης (χ : 0,02m και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ:18°C , Πτερ: 25°C)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ Cps								
Time [hours]	1500 [J/kg°C]		1800 [J/kg°C]		2100 [J/kg°C]		2400 [J/kg°C]	
	T _{ΥΑΦ} [°C]	Cpeff [J/kg °C]	T _{ΥΑΦ} [°C]	Cpeff [J/kg °C]	T _{ΥΑΦ} [°C]	Cpeff [J/kg °C]	T _{ΥΑΦ} [°C]	Cpeff [J/kg °C]
5:00	18,00	1500,00	18,00	1800,00	18,00	2100,00	18,00	2400,00
6:00	24,59	1500,00	23,50	1800,00	22,71	2100,00	22,12	2400,00
7:00	28,74	2500,00	27,81	2500,00	26,94	10656,50	26,17	108558,84
8:00	30,15	2500,00	29,75	2500,00	27,51	2500,00	26,23	100154,38
9:00	30,92	2500,00	30,75	2500,00	29,77	2500,00	26,31	90677,32
10:00	31,38	2500,00	31,30	2500,00	30,88	2500,00	26,39	79944,90
11:00	31,74	2500,00	31,71	2500,00	31,52	2500,00	26,49	67305,90
12:00	32,29	2500,00	32,28	2500,00	32,20	2500,00	26,62	50694,60
13:00	31,94	2500,00	31,94	2500,00	31,90	2500,00	26,76	32778,17
14:00	31,57	2500,00	31,57	2500,00	31,55	2500,00	26,96	8009,75
15:00	31,09	2500,00	31,09	2500,00	31,08	2500,00	27,62	2500,00
16:00	29,66	2500,00	29,66	2500,00	29,66	2500,00	28,15	2500,00
17:00	28,26	2500,00	28,26	2500,00	28,26	2500,00	27,60	2500,00
18:00	27,30	2500,00	27,30	2500,00	27,30	2500,00	27,01	2500,00
19:00	26,12	114527,43	26,12	114532,79	26,12	114562,70	25,99	129023,26
20:00	26,11	116253,92	26,10	116259,14	26,10	116288,22	25,98	127661,08
21:00	26,09	117961,14	26,09	117966,22	26,09	117994,52	25,97	126274,50
22:00	26,08	119623,21	26,08	119628,15	26,08	119655,72	25,96	124888,21
23:00	26,07	121242,54	26,07	121247,36	26,07	121274,23	25,95	123502,22
0:00	26,05	122821,37	26,05	122826,08	26,05	122852,28	25,94	122116,53
1:00	26,04	124361,75	26,04	124366,33	26,04	124391,91	25,93	120731,15
2:00	26,03	125865,53	26,03	125870,02	26,03	125894,99	25,92	119346,09
3:00	26,02	127334,47	26,02	127338,85	26,02	127363,25	25,91	117961,36
4:00	26,01	128770,16	26,01	128774,44	26,01	128798,30	25,90	116576,96

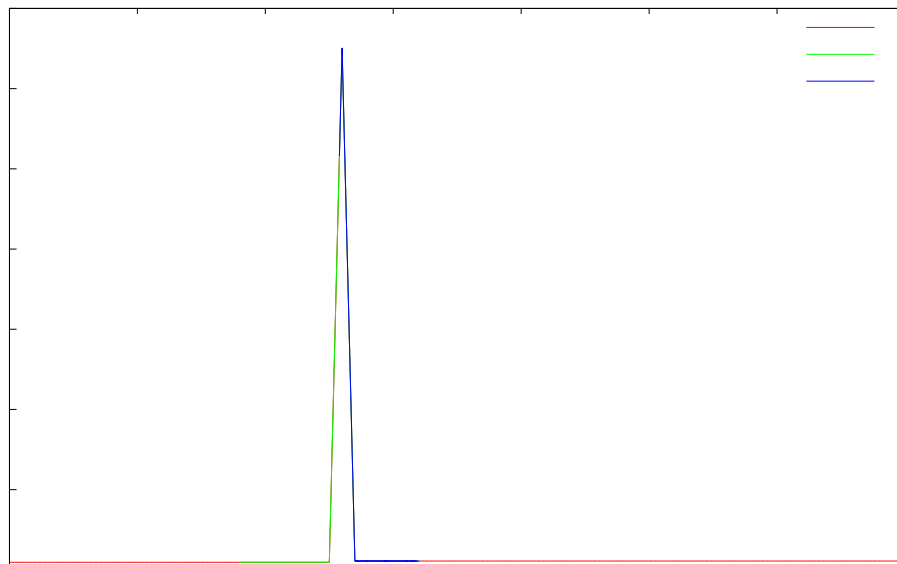
Χαρακτηριστικό λοιπόν είναι ότι η μεταβολή της θερμοχωρητικότητας της στερεάς φάσης δεν μεταβάλλει καθόλου σχεδόν τις τιμές μας, παρόλο που κινηθήκαμε σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος τιμών. Την ίδια συμπεριφορά αναμένω πως θα έχει και η μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υγρού. Ωστόσο στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας μιας και αποτελεί παράμετρο δεν μπορώ να μην την εξετάσω. Παρακάτω λοιπόν έχουμε τις αντίστοιχες μεταβολές λόγω της επίδρασης του Cpl.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.33 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ με παράμετρο τη θερμοχωρητικότητα της υγρής φάσης (χ : 0,02m και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ:18°C , Πτερ: 25°C)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ Cpl								
Time [hours]	1800 [J/kg°C]		2200 [J/kg°C]		2600 [J/kg°C]		2800 [J/kg°C]	
	T _{ΥΑΦ} [°C]	Cpeff [J/kg °C]	T _{ΥΑΦ} [°C]	Cpeff [J/kg °C]	T _{ΥΑΦ} [°C]	Cpeff [J/kg °C]	T _{ΥΑΦ} [°C]	Cpeff [J/kg °C]
5:00	18,00	1900,00	18,00	1900,00	18,00	1900,00	18,00	1900,00
6:00	23,21	1900,00	23,21	1900,00	23,21	1900,00	23,21	1900,00
7:00	27,51	1800,00	27,51	2200,00	27,51	2600,00	27,51	2800,00
8:00	30,44	1800,00	29,91	2200,00	29,54	2600,00	29,39	2800,00

9:00	31,29	1800,00	30,94	2200,00	30,61	2600,00	30,47	2800,00
10:00	31,63	1800,00	31,44	2200,00	31,22	2600,00	31,10	2800,00
11:00	31,93	1800,00	31,81	2200,00	31,65	2600,00	31,56	2800,00
12:00	32,55	1800,00	32,39	2200,00	32,23	2600,00	32,14	2800,00
13:00	31,86	1800,00	31,93	2200,00	31,93	2600,00	31,91	2800,00
14:00	31,41	1800,00	31,51	2200,00	31,58	2600,00	31,59	2800,00
15:00	30,87	1800,00	31,00	2200,00	31,11	2600,00	31,15	2800,00
16:00	29,06	1800,00	29,43	2200,00	29,72	2600,00	29,84	2800,00
17:00	27,58	1800,00	27,98	2200,00	28,34	2600,00	28,50	2800,00
18:00	26,78	30295,14	27,07	2200,00	27,37	2600,00	27,52	2800,00
19:00	26,71	39680,27	25,88	114333,47	26,20	104350,29	26,36	84390,12
20:00	26,65	47402,83	25,87	112971,89	26,18	106378,97	26,33	87222,94
21:00	26,60	53704,90	25,85	111582,51	26,17	108371,87	26,31	89954,16
22:00	26,55	59101,62	25,84	110193,42	26,15	110302,13	26,29	92559,54
23:00	26,52	63876,51	25,83	108804,64	26,14	112173,88	26,27	95051,81
0:00	26,48	68188,83	25,82	107416,16	26,12	113990,82	26,25	97441,68
1:00	26,45	72139,07	25,81	106028,01	26,11	115756,28	26,23	99738,28
2:00	26,42	75795,62	25,80	104640,18	26,09	117473,25	26,22	101949,45
3:00	26,40	79207,59	25,79	103252,69	26,08	119144,48	26,20	104082,02
4:00	26,37	82411,72	25,78	101865,54	26,07	120772,44	26,18	106141,93

Παρόλο που όπως είπα στην αρχή περίμενα διαφορετική συμπεριφορά το γεγονός ότι έχω να κάνω με τόσες πολλές διαφορετικές παραμέτρους που βρίσκονται μέσα στις σχέσεις, επηρεάζουν η μια την άλλη και το αποτέλεσμα μπορεί να είναι πιο κοντά στο επιθυμητό. Και πράγματι έτσι είναι αφού όπως φαίνεται για $C_{pl}=2200 \text{ [J/kg}^\circ\text{C]}$ έχουμε πλησιάσει ακόμα περισσότερο την ολοκλήρωση του κύκλου όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί: Παρόλα αυτά η εξέλιξη του ΥΑΦ τις επόμενες μέρες αναμένεται να είναι παρόμοια, πλην ελαχίστων διαφορών, με αυτή της τελευταίας εφαρμογής μιας και τα θερμοκρασιακά δεδομένα παρέμειναν τα ίδια.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.16 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu} 25^\circ\text{C}$ και εύρος $(25-27)^\circ\text{C}$ και $C_{pl}=2200 \text{ [J/kg}^\circ\text{C]}$

Η προσέγγιση αυτή ίσως εν μέρει οφείλεται και στο γεγονός ότι οι δυο θερμοχωρητικότητες βρίσκονται πολύ κοντά η μια στην άλλη. Στόχος μας όμως όπως είπαμε είναι να φτάσουμε στη βέλτιστη χρήση αυτού του ΥΑΦ.

Συνεχίζοντας με τη μελέτη των υπόλοιπων παραμέτρων έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.35 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [°C]	T_l [°C]	Cp_s [J/kg°C]	Cp_l [J/kg°C]	ρ [kg/m ³]
25	27	1900	2200	1019

Μεταβάλλοντας την ειδική θερμότητα έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.36 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ με παράμετρο την ειδική θερμότητα ($x: 0,02m$ και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ:18°C , $T_{περ}: 25^\circ C$)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ Η								
Time [hours]	83000 [J/kg]		112000 [J/kg]		143000 [J/kg]		156000 [J/kg]	
	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]
5:00	18,00	1900,00	18,00	1900,00	18,00	1900,00	18,00	1900,00
6:00	23,21	1900,00	23,21	1900,00	23,21	1900,00	23,21	1900,00
7:00	27,51	2200,00	27,51	2200,00	27,51	2200,00	27,51	2200,00
8:00	29,91	2200,00	29,91	2200,00	29,91	2200,00	29,91	2200,00
9:00	30,94	2200,00	30,94	2200,00	30,94	2200,00	30,94	2200,00
10:00	31,44	2200,00	31,44	2200,00	31,44	2200,00	31,44	2200,00
11:00	31,81	2200,00	31,81	2200,00	31,81	2200,00	31,81	2200,00
12:00	32,39	2200,00	32,39	2200,00	32,39	2200,00	32,39	2200,00
13:00	31,93	2200,00	31,93	2200,00	31,93	2200,00	31,93	2200,00
14:00	31,51	2200,00	31,51	2200,00	31,51	2200,00	31,51	2200,00
15:00	31,00	2200,00	31,00	2200,00	31,00	2200,00	31,00	2200,00
16:00	29,43	2200,00	29,43	2200,00	29,43	2200,00	29,43	2200,00
17:00	27,98	2200,00	27,98	2200,00	27,98	2200,00	27,98	2200,00
18:00	27,07	2200,00	27,07	2200,00	27,07	2200,00	27,07	2200,00
19:00	25,88	71305,54	25,88	96719,19	25,88	123885,50	25,88	135277,82
20:00	25,86	69957,84	25,86	95361,79	25,87	122522,14	25,87	133912,68
21:00	25,84	68583,07	25,85	93976,80	25,86	121130,91	25,86	132519,58
22:00	25,82	67209,07	25,84	92592,22	25,85	119739,92	25,85	131126,69
23:00	25,81	65835,87	25,83	91208,07	25,84	118349,19	25,84	129734,01
0:00	25,79	64463,50	25,81	89824,36	25,83	116958,73	25,83	128341,56
1:00	25,77	63092,01	25,80	88441,10	25,82	115568,54	25,82	126949,33
2:00	25,76	61721,41	25,79	87058,31	25,81	114178,62	25,81	125557,33
3:00	25,74	60351,76	25,77	85676,00	25,80	112788,99	25,80	124165,56
4:00	25,72	58983,10	25,76	84294,19	25,79	111399,64	25,79	122774,04

Η μεταβολή της ειδικής θερμότητας του υλικού πράγματι έχει μια επίδραση η οποία όμως είναι πάρα πολύ μικρή και παρατηρείται θετική ως προς το αποτέλεσμα μας καθώς μικραίνει. Σαν τελευταία παράμετρο που δεν έχουμε μελετήσει καθόλου πως επηρεάζει την κατάσταση είναι η πυκνότητα του υλικού η οποία όμως δεν αναμένεται να δώσει σημαντική διαφορά διότι η

πυκνότητα των υλικών αλλαγής φάσης κυμαίνεται κοντά σε αυτή του νερού. Όποτε έχουμε για το υλικό:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.37 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

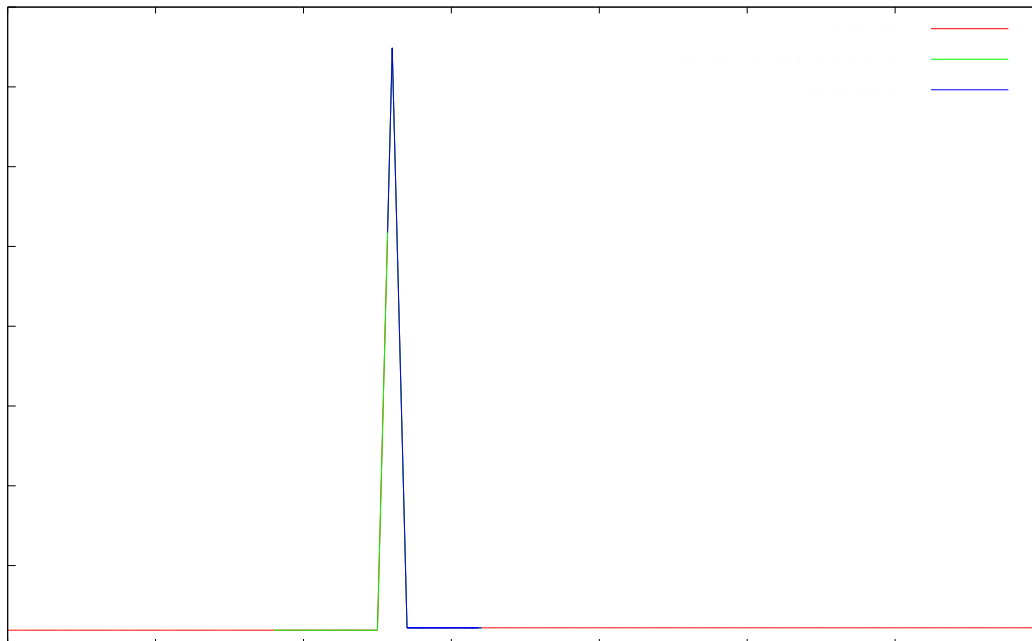
T_s [°C]	T_l [°C]	C_{p_s} [J/kg°C]	C_{p_l} [J/kg°C]	H [J/kg]
25	27	1900	2200	76800

Επιλέγω συν τοις άλλοις να μειώσω λίγο ακόμα την ειδική θερμότητα μιας και είδαμε ότι είχε θετικό αποτέλεσμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.38 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ με παράμετρο την πυκνότητα (x: 0,02m και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ:18°C , Tπερ: 25°C)

Time [hours]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ρ							
	996 [kg/m ³]		1007 [kg/m ³]		1021 [J/kg]		1123 [J/kg]	
	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]
5:00	18,00	1900,00	18	1900,00	18,00	1900,00	18,00	1900,00
6:00	23,33	1900,00	23,27	1900,00	23,20	1900,00	22,72	1900,00
7:00	27,64	2200,00	27,57	2200,00	27,50	2200,00	26,95	5635,10
8:00	30,01	2200,00	29,96	2200,00	29,90	2200,00	27,93	2200,00
9:00	31,00	2200,00	30,97	2200,00	30,94	2200,00	30,02	2200,00
10:00	31,48	2200,00	31,46	2200,00	31,44	2200,00	31,01	2200,00
11:00	31,83	2200,00	31,82	2200,00	31,81	2200,00	31,60	2200,00
12:00	32,41	2200,00	32,40	2200,00	32,39	2200,00	32,25	2200,00
13:00	31,93	2200,00	31,93	2200,00	31,93	2200,00	31,92	2200,00
14:00	31,50	2200,00	31,51	2200,00	31,52	2200,00	31,55	2200,00
15:00	30,99	2200,00	31,00	2200,00	31,01	2200,00	31,06	2200,00
16:00	29,39	2200,00	29,41	2200,00	29,44	2200,00	29,60	2200,00
17:00	27,94	2200,00	27,96	2200,00	27,99	2200,00	28,19	2200,00
18:00	27,03	2200,00	27,05	2200,00	27,07	2200,00	27,24	2200,00
19:00	25,84	62923,55	25,86	64334,37	25,88	66128,48	26,06	70409,63
20:00	25,82	61551,13	25,84	62975,34	25,86	64786,19	26,04	71781,12
21:00	25,80	60149,98	25,82	61588,50	25,84	63417,17	26,02	73124,81
22:00	25,78	58749,86	25,80	60202,62	25,82	62049,04	26,00	74420,25
23:00	25,76	57350,84	25,78	58817,76	25,81	60681,85	25,99	73820,31
0:00	25,74	55952,95	25,76	57433,97	25,79	59315,63	25,97	72571,03
1:00	25,72	54556,26	25,74	56051,28	25,77	57950,42	25,95	71322,32
2:00	25,70	53160,83	25,72	54669,76	25,75	56586,28	25,93	70074,20
3:00	25,68	51766,72	25,70	53289,47	25,73	55223,26	25,92	68826,69
4:00	25,66	50374,00	25,69	51910,47	25,71	53861,40	25,90	67579,81

Το συμπέρασμα μας είναι φυσικά το αναμενόμενο, δηλαδή η επίδραση της πυκνότητας όπως και των τελευταίων παραμέτρων που εξετάσαμε δεν είναι ουσιαστική. Η συνολική μεταβολή μας έχει ως εξής:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.17 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}$ 25°C και εύρος $(25-27)^{\circ}\text{C}$ και $C_{pl}=2200$ $[\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}]$, $\rho=996$ $[\text{kg}/\text{m}^3]$, $H=76800$ $[\text{J}/\text{kg}]$

Το διάγραμμα μας επιβεβαιώνει πως στην ουσία παρόλο που αλλάξαμε αρκετές παραμέτρους δεν καταφέραμε να φτάσουμε στην πλήρη επαναφορά του υλικού στην αρχική του κατάσταση. Ανατρέχω και πάλι στις προηγούμενες παραμέτρους που είχαν και τη πιο σημαντική επίδραση και αφορούν τις επιμέρους θερμοκρασίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.39 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_1 [$^{\circ}\text{C}$]	C_{ps} [$\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$]	C_{pl} [$\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$]	H [J/kg]	ρ [kg/m^3]
27	1900	2200	76800	996

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.40 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

$T_{\text{περ}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
25	18	0,02

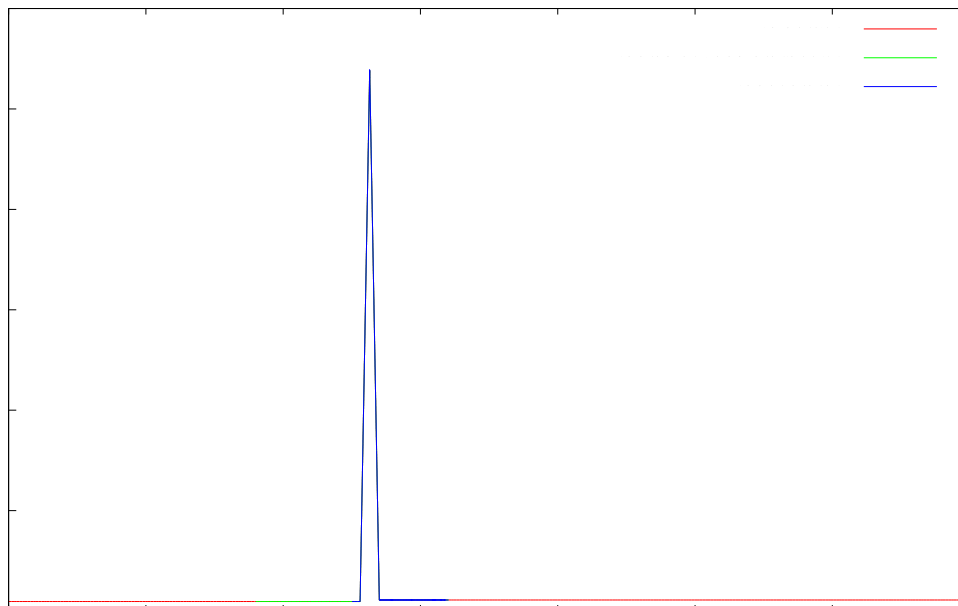
Επιβάλλοντας διαφορετική θερμοκρασία έναρξης αλλαγής φάσης έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.41 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ με παράμετρο τη θερμοκρασία έναρξης στερεοποίησης (x : 0,02m και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ: 18°C , $T_{\text{περ}}$: 25°C)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ T_s			
25,3 $^{\circ}\text{C}$	25,6 $^{\circ}\text{C}$	25,9 $^{\circ}\text{C}$	26,1 $^{\circ}\text{C}$

Time [hours]	$T_{\gamma\alpha\phi}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{\gamma\alpha\phi}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{\gamma\alpha\phi}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{\gamma\alpha\phi}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]
5:00	18,00	1900	18,00	1900,00	18,00	1900,00	18,00	1900,00
6:00	23,33	1900,00	23,33	1900,00	23,33	1900,00	23,33	1900,00
7:00	27,64	2200,00	27,64	2200,00	27,64	2200,00	27,64	2200,00
8:00	30,01	2200,00	30,01	2200,00	30,01	2200,00	30,01	2200,00
9:00	31,00	2200,00	31,00	2200,00	31,00	2200,00	31,00	2200,00
10:00	31,48	2200,00	31,48	2200,00	31,48	2200,00	31,48	2200,00
11:00	31,83	2200,00	31,83	2200,00	31,83	2200,00	31,83	2200,00
12:00	32,41	2200,00	32,41	2200,00	32,41	2200,00	32,41	2200,00
13:00	31,93	2200,00	31,93	2200,00	31,93	2200,00	31,93	2200,00
14:00	31,50	2200,00	31,50	2200,00	31,50	2200,00	31,50	2200,00
15:00	30,99	2200,00	30,99	2200,00	30,99	2200,00	30,99	2200,00
16:00	29,39	2200,00	29,39	2200,00	29,39	2200,00	29,39	2200,00
17:00	27,94	2200,00	27,94	2200,00	27,94	2200,00	27,94	2200,00
18:00	27,03	2200,00	27,03	2200,00	27,03	2200,00	27,03	2200,00
19:00	25,84	56473,06	25,84	37599,03	25,84	1900,00	25,84	1900,00
20:00	25,81	54340,02	25,80	32838,46	25,21	1900,00	25,21	1900,00
21:00	25,79	52132,02	25,77	27479,39	25,05	1900,00	25,05	1900,00
22:00	25,77	49891,73	25,73	21357,13	25,01	1900,00	25,01	1900,00
23:00	25,75	47615,77	25,68	13894,32	25,00	1900,00	25,00	1900,00
0:00	25,73	45300,13	25,61	3199,68	25,00	1900,00	25,00	1900,00
1:00	25,70	42940,03	25,33	1900,00	25,00	1900,00	25,00	1900,00
2:00	25,68	40529,67	25,08	1900,00	25,00	1900,00	25,00	1900,00
3:00	25,66	38061,94	25,02	1900,00	25,00	1900,00	25,00	1900,00
4:00	25,63	35527,96	25,00	1900,00	25,00	1900,00	25,00	1900,00

Με την αλλαγή αυτής της παραμέτρου έχουμε καταφέρει να εξασφαλίσουμε πλήρη κύκλο ενώ αξιοσημείωτο είναι πως για τις τρεις τελευταίες τιμές της T_s ουσιαστικά οι μεταβολές δεν έχουν καμιά διαφορά. Οπότε για θερμοκρασιακό εύρος (25,6-27)°C έχουμε:



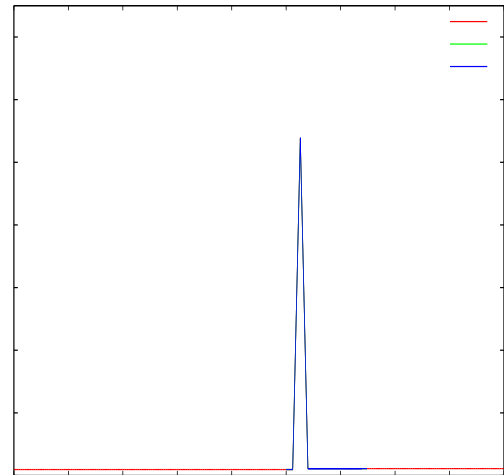
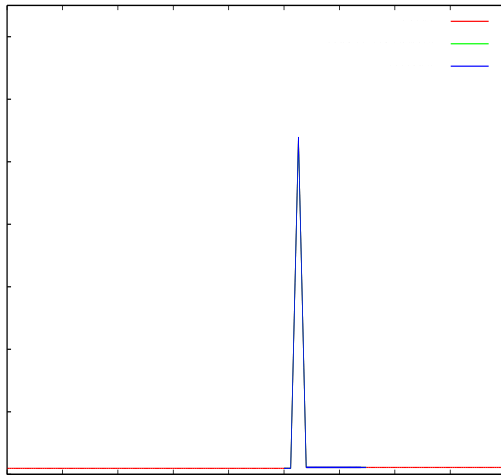
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.18 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}$ 25°C και εύρος $(25,6-27)^{\circ}\text{C}$ και $C_{pl}=2200$ $[\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}]$, $\rho=996$ $[\text{kg}/\text{m}^3]$, $H=76800$ $[\text{J}/\text{kg}]$

Όπου όπως φαίνεται έχουμε μια πετυχημένη εφαρμογή. Συνεχίζοντας να δούμε την εξέλιξη της συγκεκριμένης εφαρμογής τα επόμενα 24ωρα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.42 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ RT20 συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=25^{\circ}\text{C}$, $x=2\text{cm}$ τα επόμενα 24ωρα.

Εξέλιξη ΥΑΦ				
Time [hours]	2 ^η μέρα		3 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	25,00	1900	25,00	1900,00
6:00	25,00	1900,00	25,00	1900,00
7:00	28,04	2200,00	28,04	2200,00
8:00	30,14	2200,00	30,15	2200,00
9:00	31,05	2200,00	31,05	2200,00
10:00	31,49	2200,00	31,49	2200,00
11:00	31,84	2200,00	31,84	2200,00
12:00	32,41	2200,00	32,41	2200,00
13:00	31,93	2200,00	31,93	2200,00
14:00	31,50	2200,00	31,50	2200,00
15:00	30,99	2200,00	30,99	2200,00
16:00	29,39	2200,00	29,39	2200,00
17:00	27,94	2200,00	27,94	2200,00
18:00	27,03	2200,00	27,03	2200,00
19:00	25,84	37599,19	25,84	37599,19
20:00	25,80	32838,63	25,80	32838,63

21:00	25,77	27479,58	25,77	27479,58
22:00	25,73	21357,36	25,73	21357,36
23:00	25,68	13894,61	25,68	13894,61
0:00	25,61	3200,17	25,61	3200,17
1:00	25,33	1900,00	25,33	1900,00
2:00	25,08	1900,00	25,08	1900,00
3:00	25,02	1900,00	25,02	1900,00
4:00	25,00	1900,00	25,00	1900,00

2^η3^η

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.19 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας YAΦ για $T_{\delta\omega\mu}=25^{\circ}\text{C}$, $x=2\text{cm}$ για την 2^η και 3^η μέρα

Παρατηρούμε ότι για άλλη μια φορά έχουμε ένα πετυχημένο παράδειγμα που επαναλαμβάνεται και τις επόμενες ημέρες μπαίνοντας στη μόνιμη κατάσταση από τη 2^η μέρα κιόλας.

Στόχος της εργασίας μας είναι η ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΧΡΗΣΗ των YAΦ όμως σε όλη τη διάρκεια του έτους και όχι για μεμονωμένες περιόδους του έτους. Οπότε θα πρέπει να αναζητήσουμε θερμοκρασιακά εύρη που βρίσκονται λίγο χαμηλότερα. Κάνοντας τις ίδιες δοκιμές για τα παρακάτω στοιχεία έχουμε:

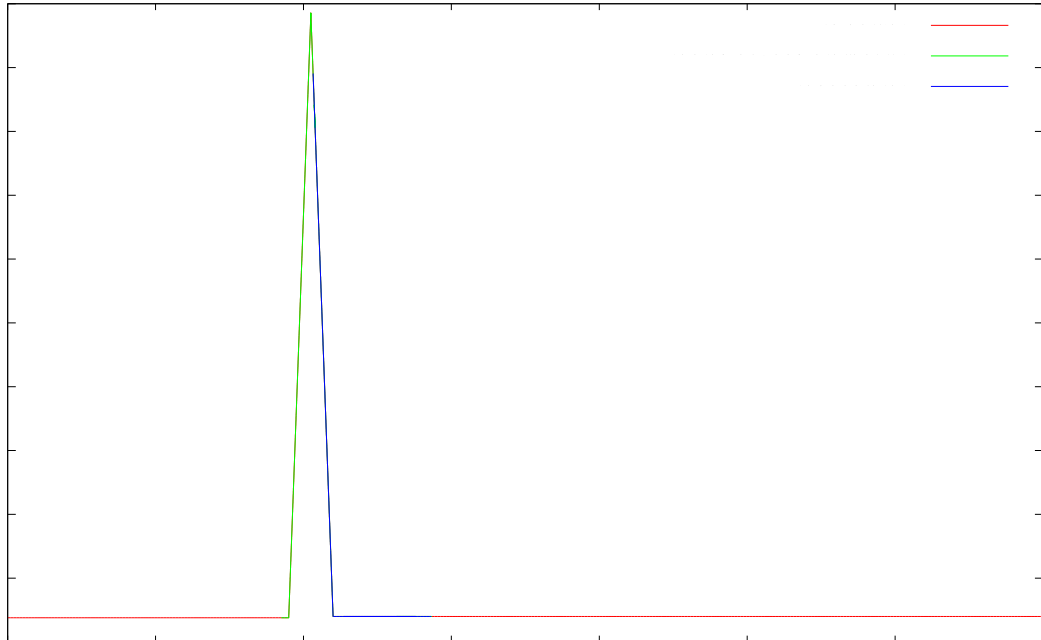
ΠΙΝΑΚΑΣ 12.43 Χαρακτηριστικά προς μελέτη YAΦ

T_s [$^{\circ}\text{C}$]	T_l [$^{\circ}\text{C}$]	C_{p_s} [$\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$]	C_{p_l} [$\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$]	H [J/kg]	ρ [kg/m^3]
19	22	1900	2000	76800	996

Με συνθήκες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.44 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
18,7	18,5	0,01



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.20 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ για $T_{δωμ} = 18,7^{\circ}\text{C}$ και εύρος $(19-22)^{\circ}\text{C}$ και $C_{pl} = 2000 \text{ [J/kg}^{\circ}\text{C]}$, $\rho = 996 \text{ [kg/m}^3]$, $H = 76800 \text{ [J/kg]}$

Αν κρατήσω τις ίδιες συνθήκες και αυξήσω την αρχική θερμοκρασία του ΥΑΦ τότε έχω:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.45 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

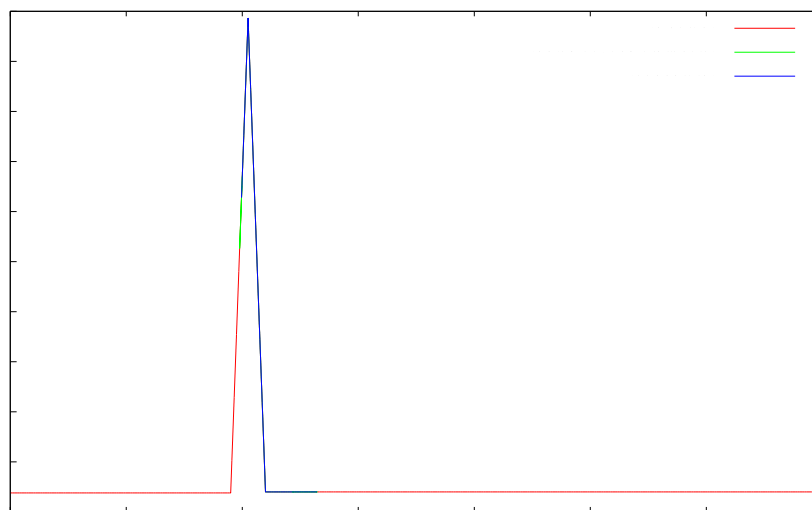
$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
18,7	20	0,01

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.46 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ ($\chi = 0,01\text{m}$ και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ: 20°C , $T_{περ} = 18,7^{\circ}\text{C}$)

Time [hours]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]
5:00	20,00	33500,0
6:00	19,89	29954,2
7:00	19,77	26330,9

8:00	20,29	42596,5
9:00	20,60	45926,8
10:00	20,89	36789,3
11:00	21,25	25585,3
12:00	21,76	9703,7
13:00	22,99	2000,0
14:00	26,44	2000,0
15:00	24,33	2000,0
16:00	24,46	2000,0
17:00	21,28	24704,2
18:00	21,23	26178,7
19:00	21,12	29561,5
20:00	20,91	36368,6
21:00	20,73	41847,8
22:00	20,59	46269,5
23:00	20,47	48504,4
0:00	20,37	45160,9
1:00	20,26	41784,0
2:00	20,15	38367,9
3:00	20,04	34905,1
4:00	19,93	31385,6

Το οποίο φαίνεται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.21 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}=18,7^{\circ}\text{C}$ και $T_{\text{ΥΑΦ}}=20^{\circ}\text{C}$, εύρος $(19-22)^{\circ}\text{C}$ και $C_{pl}=2000$ [J/kg $^{\circ}\text{C}$], $\rho=996$ [kg/m 3], $H=76800$ [J/kg]

Όπως παρατηρούμε είναι πολύ σημαντική η αλλαγή που σημειώθηκε αλλά παρόλα αυτά όπως ήταν αναμενόμενο όταν η αριχή θερμοκρασία δεν είναι στην περιοχή του στερεού η διαδικασία στην ουσία δεν ολοκληρώνεται. Στη συνέχεια δουλεύοντας πάνω σε αυτό το σενάριο κοιτάω να δω πως αλλάζοντας αυτές τις παραμέτρους να το φέρω πιο κοντά στον πλήρη κύκλο.

Σκέφτομαι αμέσως να μικρύνω κάπως τη διάρκεια κατά την οποία έχουμε επίδραση του ηλίου και να τροποποιήσω την ακτινοβολία φέρνοντας τη σε περισσότερο τιμές ακτινοβολίας που επικρατούν κατά μέσο όρο σε μια σχετικά ηλιόλουστη χώρα όπως είναι η Ελλάδα.

Οπότε με δεδομένα τα παρακάτω έχω:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.47 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας

Ω_{PA} [h]	G_T [W/m^2]
05:00	0
06:00	0
07:00	225,290
08:00	352,675
09:00	367,976
10:00	379,738
11:00	365,214
12:00	338,664
13:00	257,091
14:00	176,742
15:00	112
16:00	88
17:00	45
18:00	12
19:00	1
20:00	0
21:00	0
22:00	0
23:00	0
00:00	0
01:00	0
02:00	0
03:00	0
04:00	0

Και τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής μας:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.48 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

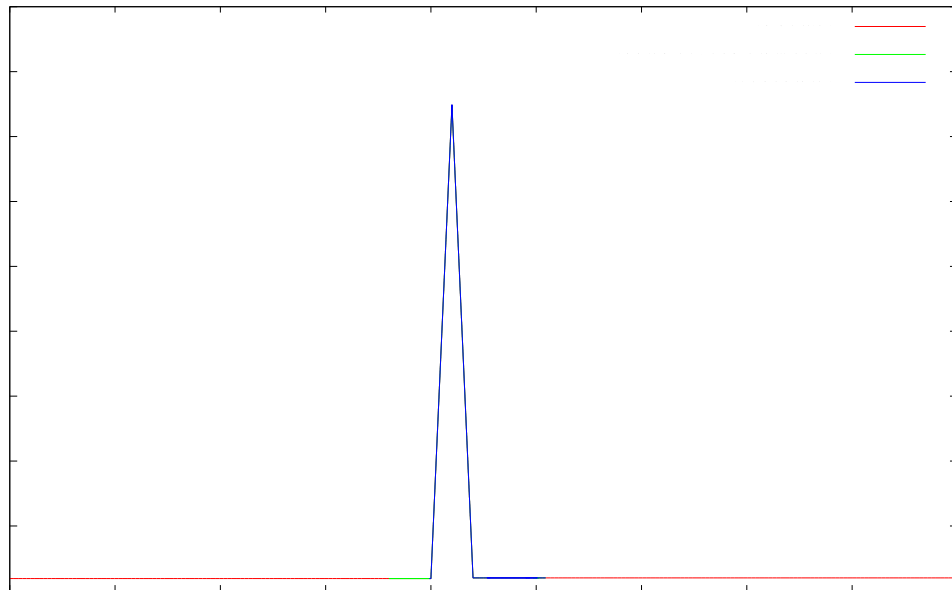
T_s [°C]	T_l [°C]	C_{ps} [J/kg°C]	C_{pl} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
20	22	1900	2000	76800	996

Με συνθήκες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.49 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
18,7	20	0,01

Το αποτέλεσμα οδηγεί πραγματικά στο επιθυμητό όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.22 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}=18,7^{\circ}\text{C}$ και $T_{\text{ΥΑΦ}}=20^{\circ}\text{C}$, εύρος $(20-22)^{\circ}\text{C}$ και $C_{pl}=2000\text{ [J/kg}^{\circ}\text{C]}$, $\rho=996\text{ [kg/m}^3\text{]}$, $H=76800\text{ [J/kg]}$

Αναλυτικά οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.50 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό εξέταση ΥΑΦ ($\chi: 0,01\text{m}$ και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ: 20°C , $T_{\text{περ}}: 18,7^{\circ}\text{C}$)

Time [hours]	$T_{\text{ΥΑΦ}}\text{ [}^{\circ}\text{C]}$	C_{peff} [J/kg $^{\circ}\text{C}$]
5:00	20,00	1900
6:00	18,02	1900,00
7:00	25,13	2000,00
8:00	24,86	2000,00
9:00	25,37	2000,00
10:00	25,45	2000,00
11:00	25,04	2000,00
12:00	24,54	2000,00
13:00	22,68	2000,00
14:00	21,45	41894,34
15:00	21,40	45756,66
16:00	21,33	51004,11
17:00	21,22	58556,92
18:00	21,11	66863,36
19:00	21,01	74391,93
20:00	20,92	68767,12
21:00	20,82	61965,03

22:00	20,72	54733,67
23:00	20,62	46928,94
0:00	20,50	38307,10
1:00	20,36	28395,53
2:00	20,19	16033,62
3:00	19,92	1900,00
4:00	18,06	1900,00

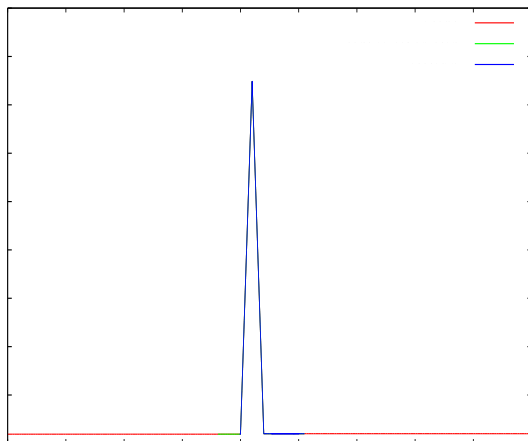
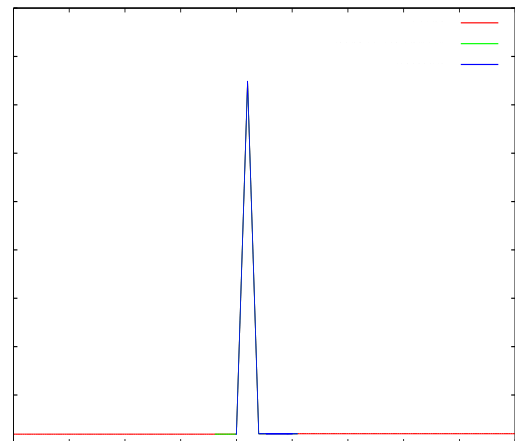
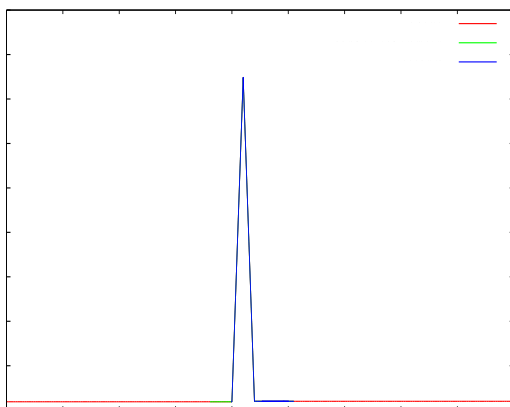
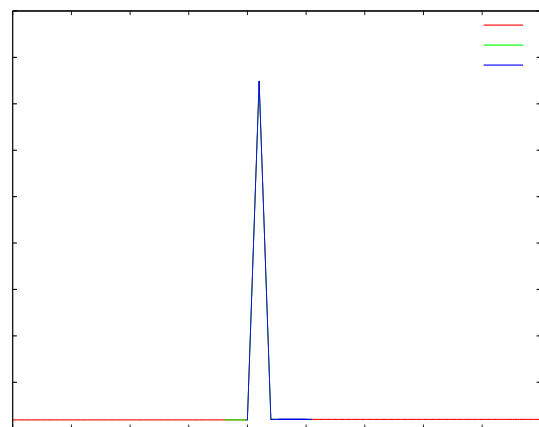
Το γεγονός ότι καταφέρνει να ολοκληρώσει το κύκλο του οφείλεται σε όλες τις παραμέτρους φυσικά αλλά κυρίως στο γεγονός ότι παρόλο που δεν ξεκινάει από τη θερμοκρασία στέρεας φάσης το ΥΑΦ λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς που έχει με το δωμάτιο ρίχνει τη θερμοκρασία του ξεκινώντας έτσι από την επιθυμητή περιοχή πραγματοποιώντας έτσι έναν πλήρη κύκλο μέσα σε ένα 24ωρο. Μετά από όλες αυτές τις εφαρμογές παρατηρώ ότι γενικά για να έχουμε πλήρη αξιοποίηση του ΥΑΦ θα ήταν καλό να τοποθετούνται τέτοια στις μονώσεις που να έχουν μικρό πάχος για λόγους οικονομίας πρώτον αλλά και ευκολότερης αλλαγής της θερμοκρασίας. Από εκεί και πέρα στην πραγματικότητα αυτό που δεν μπορούμε να έχουμε τον έλεγχο είναι σίγουρα η ηλιακή ακτινοβολία και οι συνθήκες περιβάλλοντος (δωματίου και αρχική θερμοκρασία του ΥΑΦ) μιας και συνήθως στα κτίρια έχουμε πρόσθετες πηγές ενέργειας (είτε θέρμανσης το χειμώνα, είτε ψύξης το καλοκαίρι). Συν τοις άλλοις βλέπουμε ότι σε κάθε εφαρμογή οριακά πετυχαίνω όσο είναι δυνατό με λογικές τιμές τη στερεοποίηση του ΥΑΦ. Οπότε αν έχω επιπλέον πηγές ή καταβόθρες ενέργειας αυτά τα δέκατα της ανόδου ή μείωσης της θερμοκρασίας αυτομάτως αλλάζουν. Γι αυτό και είναι πολύ δύσκολο στην πραγματικότητα να πετύχουμε την πλήρη αξιοποίηση τους.

Εξετάζοντας και σε αυτή την περίπτωση πως θα μεταβληθεί η θερμοχωρητικότητα του υπό μελέτη ΥΑΦ τα επόμενα 24ωρα έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.51 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=18,7^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ τα επόμενα 24ωρα.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα		5 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	18,06	1900,00	18,06	1900,00	18,06	1900,00	18,06	1900,00
6:00	19,03	1900,00	19,03	1900,00	19,03	1900,00	19,03	1900,00
7:00	24,60	2000,00	24,60	2000,00	24,60	2000,00	24,60	2000,00
8:00	25,10	2000,00	25,10	2000,00	25,10	2000,00	25,10	2000,00
9:00	25,27	2000,00	25,27	2000,00	25,27	2000,00	25,27	2000,00
10:00	25,49	2000,00	25,49	2000,00	25,49	2000,00	25,49	2000,00
11:00	25,02	2000,00	25,02	2000,00	25,02	2000,00	25,02	2000,00
12:00	24,55	2000,00	24,55	2000,00	24,55	2000,00	24,55	2000,00
13:00	22,67	2000,00	22,67	2000,00	22,67	2000,00	22,67	2000,00
14:00	21,45	41759,78	21,45	41759,78	21,45	41759,78	21,45	41759,78
15:00	21,40	45643,85	21,40	45643,85	21,40	45643,85	21,40	45643,85
16:00	21,33	50911,43	21,33	50911,43	21,33	50911,43	21,33	50911,43
17:00	21,22	58483,25	21,22	58483,25	21,22	58483,25	21,22	58483,25
18:00	21,11	66803,79	21,11	66803,79	21,11	66803,79	21,11	66803,79
19:00	21,01	74341,65	21,01	74341,65	21,01	74341,65	21,01	74341,65
20:00	20,92	68811,15	20,92	68811,15	20,92	68811,15	20,92	68811,15
21:00	20,82	62011,56	20,82	62011,56	20,82	62011,56	20,82	62011,56
22:00	20,72	54783,46	20,72	54783,46	20,72	54783,46	20,72	54783,46

23:00	20,62	46983,19	20,62	46983,19	20,62	46983,19	20,62	46983,19
0:00	20,50	38367,96	20,50	38367,96	20,50	38367,96	20,50	38367,96
1:00	20,36	28467,54	20,36	28467,54	20,36	28467,54	20,36	28467,54
2:00	20,19	16129,58	20,19	16129,58	20,19	16129,58	20,19	16129,58
3:00	19,93	1900,00	19,93	1900,00	19,93	1900,00	19,93	1900,00
4:00	18,06	1900,00	18,06	1900,00	18,06	1900,00	18,06	1900,00

2^η3^η4^η5^η

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.23 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}=18,7^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ για την 2^η, 3^η, 4^η και 5^η μέρα

Παρατηρώντας την μεταβολή του ΥΑΦ τις επόμενες μέρες βλέπουμε ότι από τη 2^η κιόλας μέρες έχουμε τη μόνιμη κατάσταση κατά την οποία έχουμε μετάβαση τόσο από τη στέρεα φάση στην υγρή όσο και την αντίστροφη σε ένα 24ωρο γεγονός το οποίο είναι και το πιο βολικό και επιθυμητό. Το γεγονός που συνεισφέρει στην ολοκλήρωση του κύκλου είναι αφενός η θερμοκρασία στο τέλος της 1^{ης} μέρας που είναι μικρότερη της θερμοκρασίας δωματίου και έτσι υπάρχει στην ουσία «κινητήρια» δύναμη αύξησης της

θερμοκρασίας του και το γεγονός ότι η θερμοκρασία δωματίου είναι χαμηλότερη της θερμοκρασίας έναρξης αλλαγής φάσης επιτρέπει την επιστροφή του υλικού στην αρχική του κατάσταση.

Στην πορεία θα μελετήσουμε λίγο περαιτέρω την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας για κάποιες ενδεικτικές μέρες κατά τη διάρκεια του έτους στην απόδοση των ΥΑΦ με τιμές που προκύπτουν από τις σχέσεις που δίνονται στο βιβλίο της ηλιακής ενέργειας και παρουσιάζονται στη συνέχεια.

—

—

G_b , G_d είναι η συγκεντρωνέμη και η διάχυτη ακτινοβολία.

Όπου οι σταθερές M_t , A_t , P_t , m_t , a_t , ρ_t δίνονται από τον πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.52 Σταθερές για τον υπολογισμό των G_b , G_d

Σταθερές για τον υπολογισμό των G_b , G_d						
Time t	M_t	A_t	P_t	m_t	a_t	P_t
hrs (LST)		KW/m ²	Degrees		KW/m ²	Degrees
7:00	0,007	0,046	86,18	0,048	0,111	81,23
8:00	0,057	0,068	87,31	0,134	0,127	82,45
9:00	0,119	0,104	87,94	0,208	0,133	83,94
10:00	0,191	0,129	88,31	0,261	0,129	85,6
11:00	0,258	0,153	89,35	0,283	0,117	85,06
12:00	0,319	-0,181	-88,88	0,271	0,095	82,71
13:00	0,342	-0,194	-89,18	0,243	0,081	81,95
14:00	0,325	0,183	87,21	0,21	0,083	87,23
15:00	0,269	0,166	86,22	0,176	0,087	89,53
16:00	0,183	0,147	82,1	0,141	-0,085	-88,19
17:00	0,078	0,131	79,85	0,104	-0,079	-88,97
18:00	-0,025	0,114	77,36	0,051	0,091	86,79

Και D είναι ο αύξων αριθμός της μέρας που μελετάμε και παίρνει τιμές στο εύρος $1 \div 365$.

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ασφαλώς είναι ένας συνδυασμός αυτών των δυο και προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

—

—

—

Όπου δ :είναι η ηλιακή απόκλιση

n : είναι ο αύξων αριθμός της μέρας που μελετάμε και παίρνει τιμές στο εύρος $1 \div 365$.

Όπου ω : είναι η ωριαία γωνία

R_b είναι ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς τη άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου (η συγκεκριμένη σχέση ισχύει όταν $\gamma=0$, η επιφάνεια μου είναι στραμμένη προς το Νότο).

Τα μεγέθη ϕ και β που παρουσιάζονται επίσης στη σχέση υπολογίζονται ως εξής:

Φ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής όπου βρίσκεται το υπό μελέτη κτίριο. Στην εν λόγω εργασία έστω ότι μελετώ ένα σπίτι στην γεωγραφική περιοχή της Αθήνας οπότε το ϕ παίρνει την τιμή:

$$\Phi=37,97^\circ \quad (12.11)$$

Το β είναι η κλίση της προς μελέτη επιφάνειας μας οπότε θα πάρει την τιμή:

$$\beta=90^\circ \quad (12.12)$$

διότι υποθέτουμε ότι πρόκειται για κατακόρυφο τοίχο.

Έχοντας ορίσει αυτά τα μεγέθη θα υπολογίσουμε στη συνέχεια την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για τις 21 κάθε μήνα (ως ενδεικτική μέρα). Και θα επαναλάβουμε μερικώς τη διαδικασία που προηγήθηκε μόνο που τώρα δε θα υποθέτουμε τιμές τις ηλιακής ακτινοβολίας. Από τους παραπάνω υπολογισμούς όπως αυτοί πραγματοποιήθηκαν σε ένα φύλλο εργασίας του EXCELL προκύπτουν τα νούμερα του πίνακα που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.53 Τιμές της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας για μια χαρακτηριστική ημέρα κάθε έτους όπως προέκυψε από τις παραπάνω σχέσεις

Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία G_b [kW/m^2]												
Time hrs	21 Ιαν.	21 Φεβ.	21 Μαρ.	21 Απρ.	21 Μαί.	21 Ιουν.	21 Ιουλ.	21 Αυγ.	21 Σεπ.	21 Οκτ.	21 Νοε.	21 Δεκ.
07:00	-0,03	-0,02	0,00	0,03	0,04	0,05	0,05	0,01	-0,01	-0,01	-0,03	-0,04
08:00	-0,01	0,02	0,05	0,08	0,11	0,12	0,12	0,07	0,03	0,03	0,00	-0,01
09:00	0,02	0,06	0,10	0,16	0,20	0,22	0,22	0,13	0,08	0,08	0,04	0,02
10:00	0,07	0,11	0,17	0,24	0,29	0,32	0,31	0,21	0,14	0,14	0,09	0,06
11:00	0,12	0,16	0,23	0,31	0,37	0,41	0,40	0,28	0,20	0,20	0,14	0,11
12:00	0,15	0,20	0,28	0,38	0,45	0,50	0,49	0,35	0,26	0,26	0,18	0,14
13:00	0,16	0,22	0,30	0,40	0,49	0,53	0,53	0,38	0,28	0,28	0,19	0,15
14:00	0,16	0,22	0,30	0,39	0,47	0,51	0,49	0,35	0,25	0,25	0,18	0,14
15:00	0,12	0,17	0,25	0,33	0,40	0,43	0,42	0,29	0,20	0,20	0,13	0,10
16:00	0,05	0,11	0,17	0,25	0,31	0,33	0,31	0,19	0,11	0,11	0,06	0,04
17:00	-0,03	0,02	0,08	0,14	0,19	0,21	0,19	0,08	0,01	0,01	-0,04	-0,05
18:00	-0,12	-0,08	-0,02	0,04	0,08	0,09	0,07	-0,03	-0,09	-0,09	-0,13	-0,14

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.54 Τιμές της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας για μια χαρακτηριστική ημέρα κάθε έτους όπως προέκυψε από τις παραπάνω σχέσεις

Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία G_d [kW/m ²]												
Time hrs	21 Ιαν.	21 Φεβ.	21 Μαρ.	21 Απρ.	21 Μαί.	21 Ιουν.	21 Ιουλ.	21 Αυγ.	21 Σεπ.	21 Οκτ.	21 Νοε.	21 Δεκ.
07:00	-0,05	-0,01	0,04	0,10	0,14	0,16	0,15	0,11	0,05	-0,01	-0,05	-0,06
08:00	0,02	0,07	0,13	0,19	0,24	0,26	0,25	0,20	0,14	0,08	0,03	0,01
09:00	0,09	0,14	0,20	0,27	0,32	0,34	0,33	0,28	0,22	0,15	0,10	0,08
10:00	0,14	0,19	0,25	0,31	0,36	0,39	0,38	0,34	0,27	0,21	0,16	0,13
11:00	0,18	0,22	0,27	0,33	0,38	0,40	0,39	0,35	0,29	0,24	0,19	0,17
12:00	0,19	0,22	0,26	0,31	0,35	0,37	0,36	0,32	0,27	0,23	0,19	0,18
13:00	0,17	0,20	0,24	0,28	0,31	0,32	0,31	0,29	0,25	0,20	0,17	0,16
14:00	0,13	0,16	0,20	0,24	0,28	0,29	0,29	0,26	0,22	0,18	0,14	0,13
15:00	0,09	0,12	0,16	0,21	0,24	0,26	0,26	0,23	0,19	0,15	0,11	0,09
16:00	0,06	0,09	0,12	0,17	0,20	0,22	0,22	0,20	0,16	0,11	0,08	0,06
17:00	0,03	0,05	0,09	0,13	0,16	0,18	0,18	0,16	0,12	0,08	0,04	0,03
18:00	-0,03	0,00	0,04	0,09	0,12	0,14	0,14	0,11	0,06	0,02	-0,02	-0,04

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.55 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για μια χαρακτηριστική ημέρα κάθε μήνα του έτους

Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία G_T [W/m ²]												
Time hrs	21 Ιαν.	21 Φεβ.	21 Μαρ.	21 Απρ.	21 Μαί.	21 Ιουν.	21 Ιουλ.	21 Αυγ.	21 Σεπ.	21 Οκτ.	21 Νοε.	21 Δεκ.
07:00	691,41	-80,81	27,18	62,67	76,35	80,20	77,22	66,45	40,30	-53,53	513,07	267,35
08:00	-6,40	71,69	118,20	146,51	158,37	162,49	163,09	158,40	141,30	102,85	25,17	-50,20
09:00	106,29	164,77	209,85	237,83	247,54	251,63	257,29	260,34	247,63	209,36	142,61	89,46
10:00	222,67	263,64	299,42	320,76	325,95	329,46	340,28	352,41	348,84	319,12	264,44	219,06
11:00	307,98	338,33	366,52	380,25	379,21	380,75	396,39	418,75	426,54	406,09	358,11	313,17
12:00	365,74	388,41	409,16	412,45	401,24	397,72	417,79	453,33	477,47	469,99	427,68	379,19
13:00	382,21	399,46	412,63	405,70	385,78	378,21	401,13	445,59	481,40	484,02	447,45	398,88
14:00	378,66	386,13	385,59	365,33	337,88	327,79	351,26	398,28	439,51	451,51	428,79	392,57
15:00	326,09	327,04	318,21	290,75	260,25	249,42	272,63	321,03	367,90	389,58	376,43	342,43
16:00	232,74	245,96	231,12	195,52	161,84	150,31	171,59	216,80	261,84	282,65	262,67	222,42
17:00	730,15	92,85	122,61	90,69	59,12	48,67	66,97	105,92	140,46	100,36	672,17	433,25
18:00	122,71	87,61	49,01	9,59	-15,26	-20,25	-3,77	30,69	73,33	111,22	136,29	140,41

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Είναι φανερό πως τα παραπάνω νούμερα όπως προέκυψαν δεν είναι αποδεκτά γι αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιούνται οι ώρες δύσης και ανατολής του ηλίου και επίσης γίνονται δεκτές οι τιμές για τις ώρες όπου $G_b, G_d > 0$ καθώς επίσης και $R_b > 0$ διότι εκφράζει το λόγο της ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου προς την ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου, οι οποίες είναι και οι δυο θετικές. Όπως είναι φανερό από τους πίνακες υπάρχουν περιπτώσεις που τυχαίνει για την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία, για κάποια ώρα, να προκύπτει αποδεκτή τιμή για την μία και μη αποδεκτή τιμή για την άλλη. Αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι η G_T που απορρέει δεν έχει λογική τιμή. Όμως προκειμένου να υπάρξει ομοιομορφία στα διαγράμματα γίνεται η παραπάνω θεώρηση. Μια άλλη θεώρηση που κάνουμε είναι ότι επειδή οι τύποι είναι γενικοί και υπολογίζουν την ακτινοβολία από τις 7:00 μέχρι τις 18:00 κοντά στις ώρες ανατολής και δύσης του ηλίου όπου και οι τιμές της ακτινοβολίας κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα τις θεωρούμε μηδενικές (αυτό το δείχνω στους πίνακες που ακολουθούν για τους υπολογισμούς των ακτινοβολιών κάθε μήνα χωριστά με ΚΙΤΡΙΝΟ χρώμα). Προκειμένου όμως όπως είπαμε να το πραγματοποιήσουμε αυτό το στάδιο θα χρησιμοποιήσουμε τις ώρες ανατολής και δύσης του ηλίου που υπολογίζονται από τις απρακάτω σχέσεις:

$$\text{Time}_{\text{ανατολής}} = 12 - N/2$$

$$(12.13)$$

$$\text{Time}_{\text{δύσης}} = 12 + N/2$$

(12.14)

Όπου N είναι η διάρκεια της μέρας σε ώρες και δίνεται από τη σχέση:

—

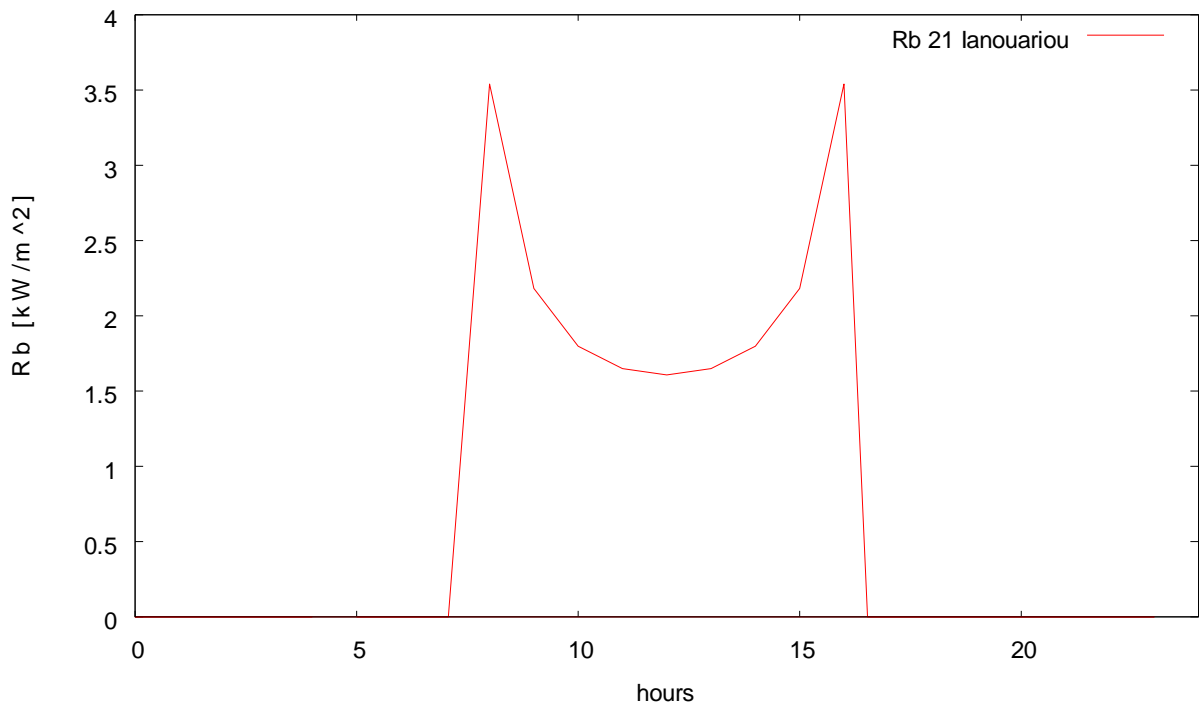
Έτσι για κάθε μήνα του έτους την επιλεγμένη ημέρα (21) έχουμε την κατάσταση που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.56 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Ιανουαρίου

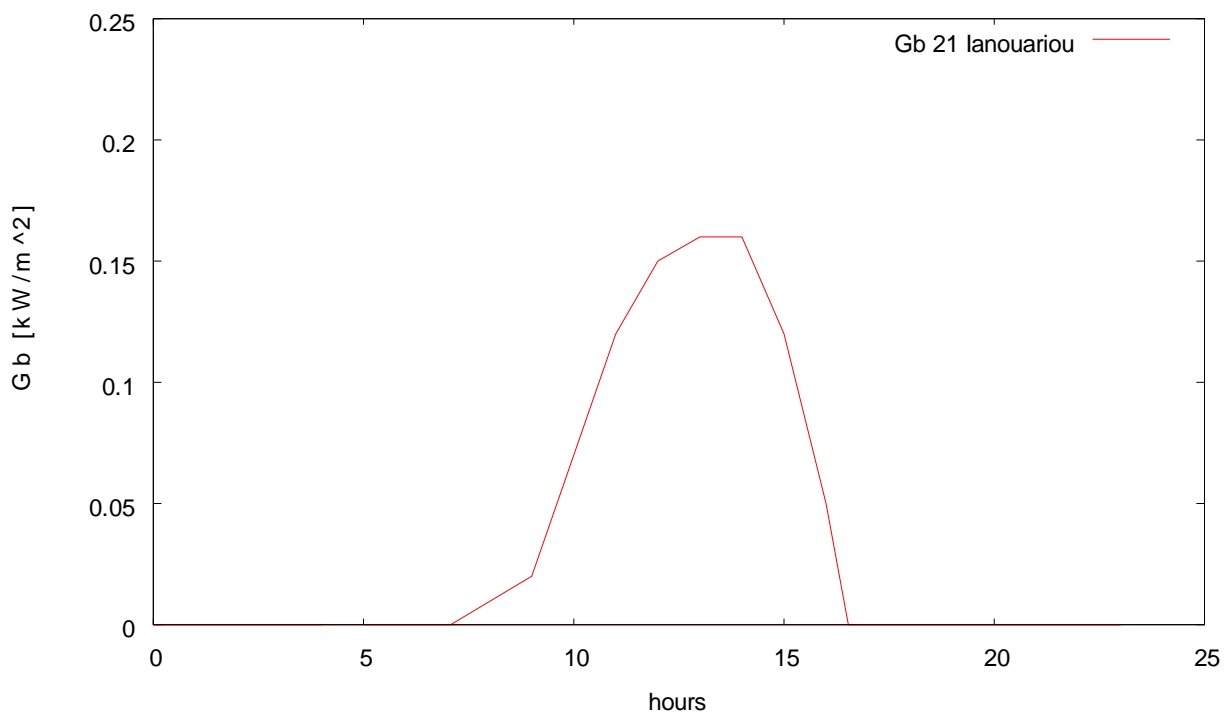
n=	21	
δ=	-20,138	
N=	9,782677	
time _{δύσης} =	16,89134	16:53
time _{ανατολής} =	7,108661	7:07

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.57 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Ιανουαρίου

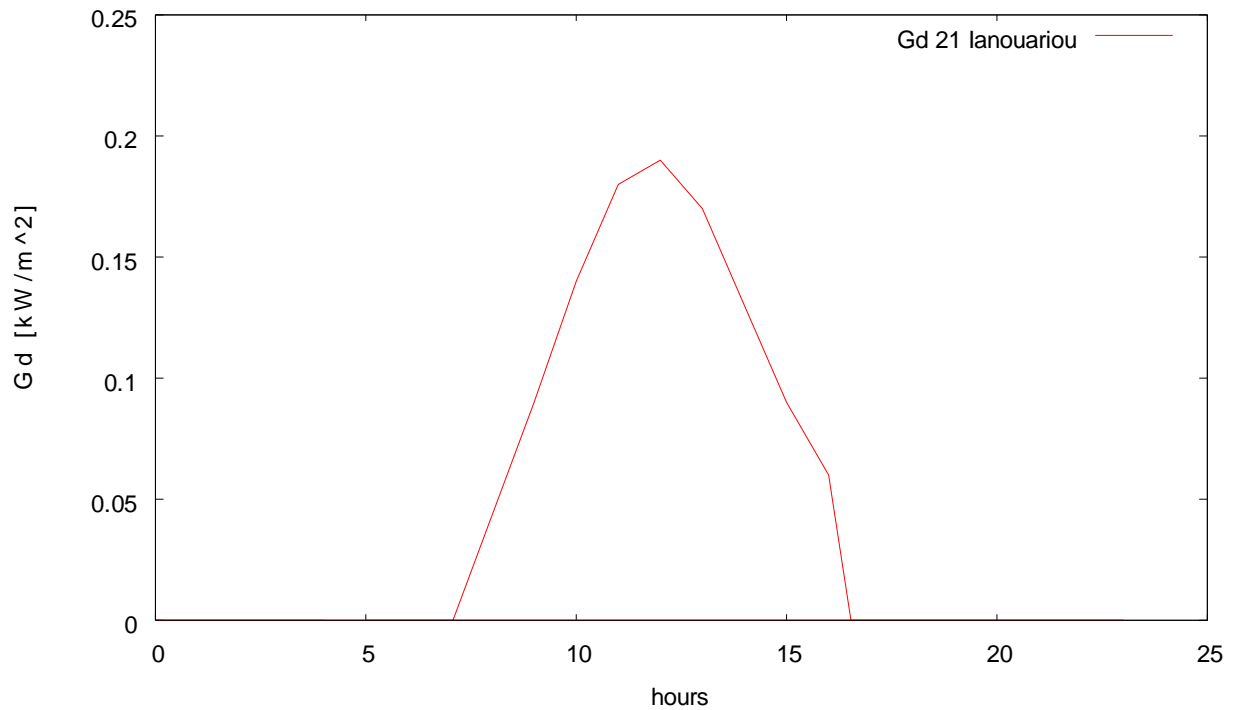
Time hrs	R_b	G_b [kW/m ²]	G_d [kW/m ²]	G_T [W/m ²]
05:00	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0
07:07	0	0	0	0
09:00	2,182	0,02	0,09	106,29
10:00	1,798	0,07	0,14	222,67
11:00	1,649	0,12	0,18	307,98
12:00	1,607	0,15	0,19	365,74
13:00	1,649	0,16	0,17	382,21
14:00	1,798	0,16	0,13	378,66
15:00	2,182	0,12	0,09	326,09
16:00	3,540	0,05	0,06	232,74
16:53	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



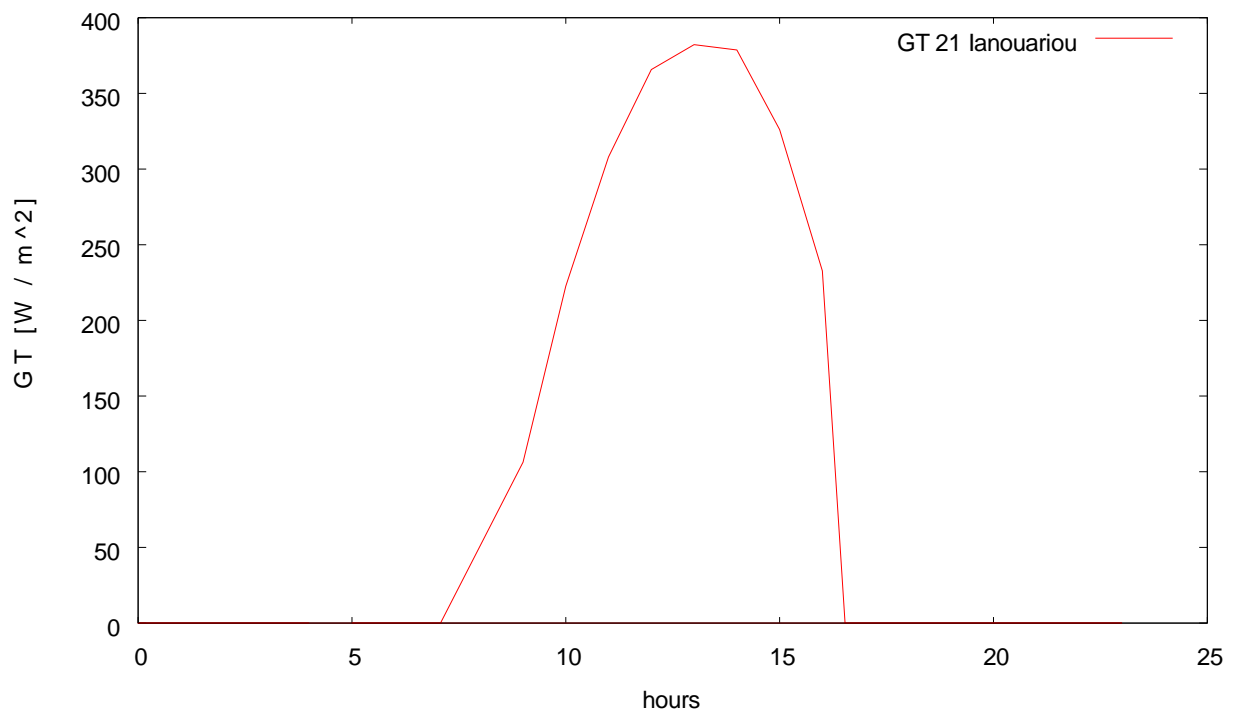
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.24 Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Ιανουαρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.25 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Ιανουαρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.26 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Ιανουαρίου



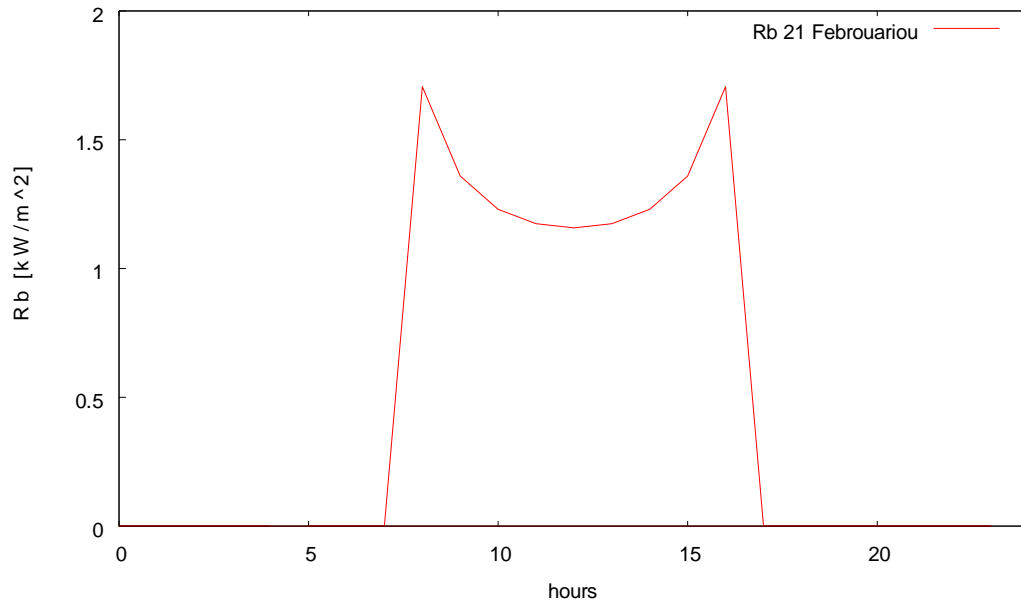
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.27 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Ιανουαρίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.58 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Φεβρουαρίου

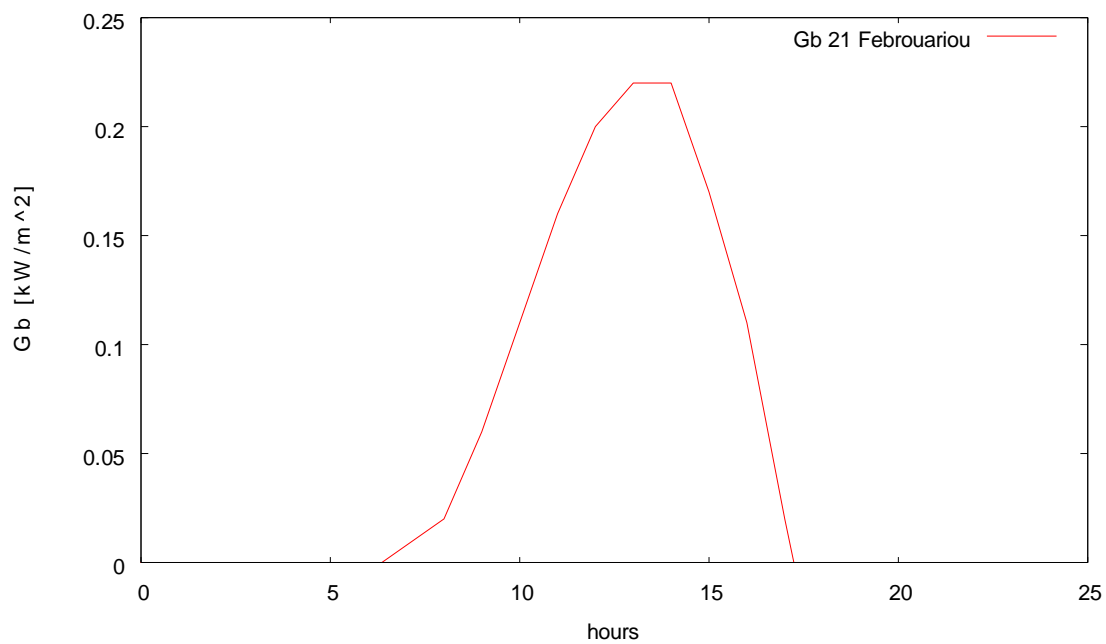
n=	52	
δ=	-11,2263	
N=	10,81183	
time δ υσης=	17,40592	17:24
time ανατολής=	6,594083	6:36

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.59 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Φεβρουαρίου

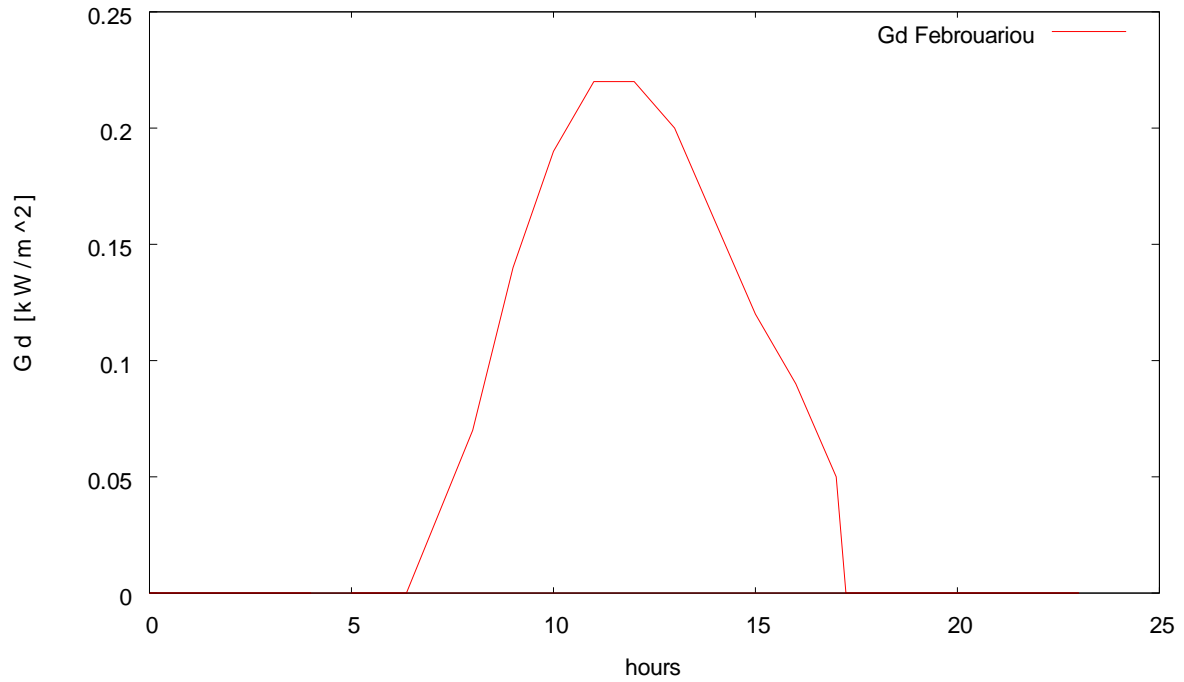
Time hrs	R_b	G_b [kW/m ²]	G_d [kW/m ²]	G_T [W/m ²]
05:00	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
06:36	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0
08:00	1,706	0,02	0,07	71,69
09:00	1,359	0,06	0,14	164,77
10:00	1,230	0,11	0,19	263,64
11:00	1,174	0,16	0,22	338,33
12:00	1,158	0,20	0,22	388,41
13:00	1,174	0,22	0,20	399,46
14:00	1,230	0,22	0,16	386,13
15:00	1,359	0,17	0,12	327,04
16:00	1,706	0,11	0,09	245,96
17:00	0	0	0	0
17:24	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



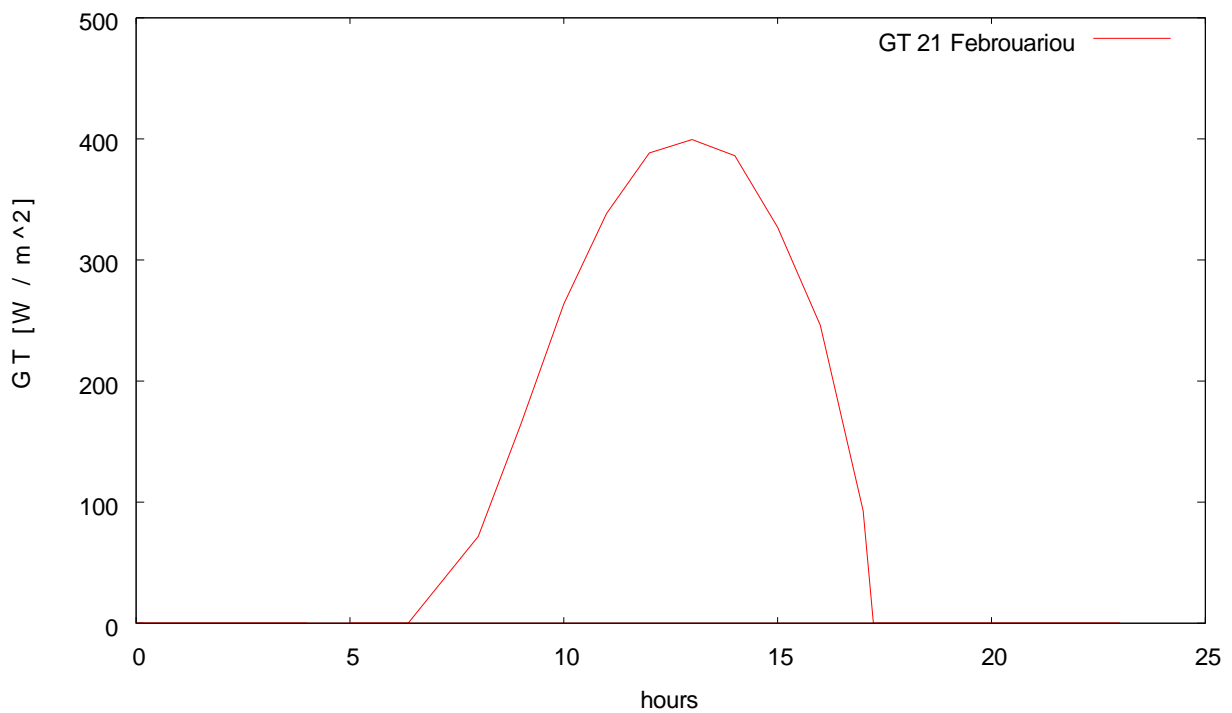
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.28 Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Φεβρουαρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.29 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Φεβρουαρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.30 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Φεβρουαρίου



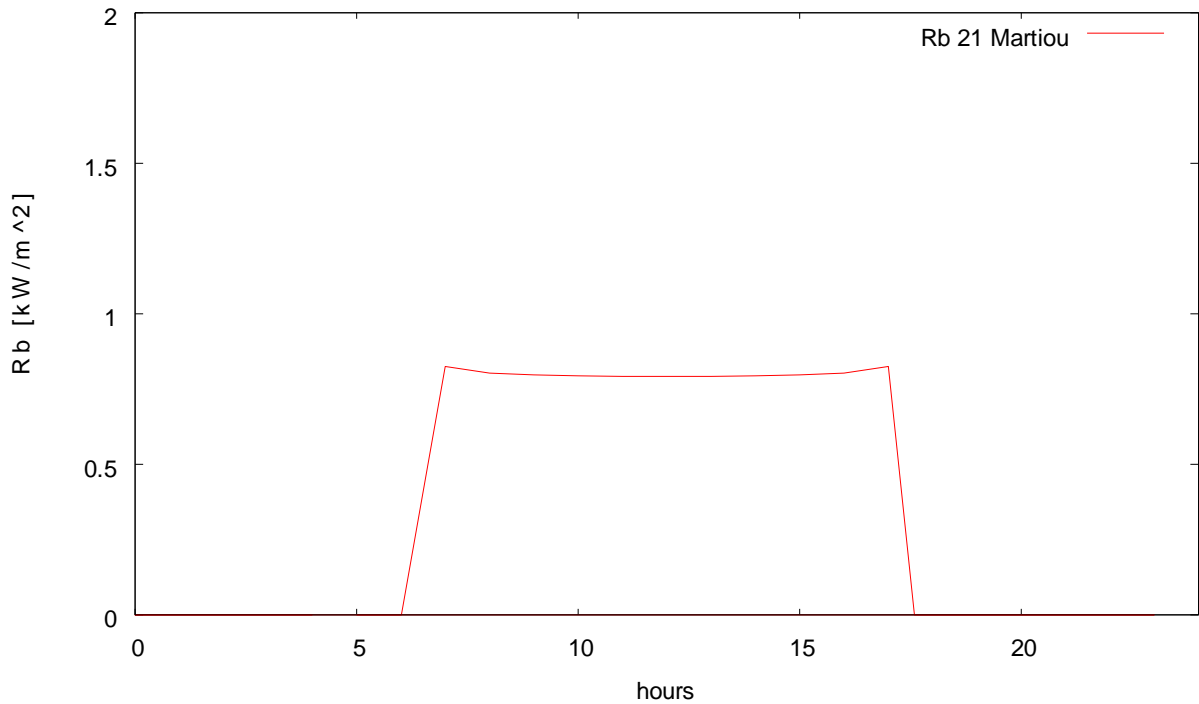
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.31 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Φεβρουαρίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.60 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Μαρτίου

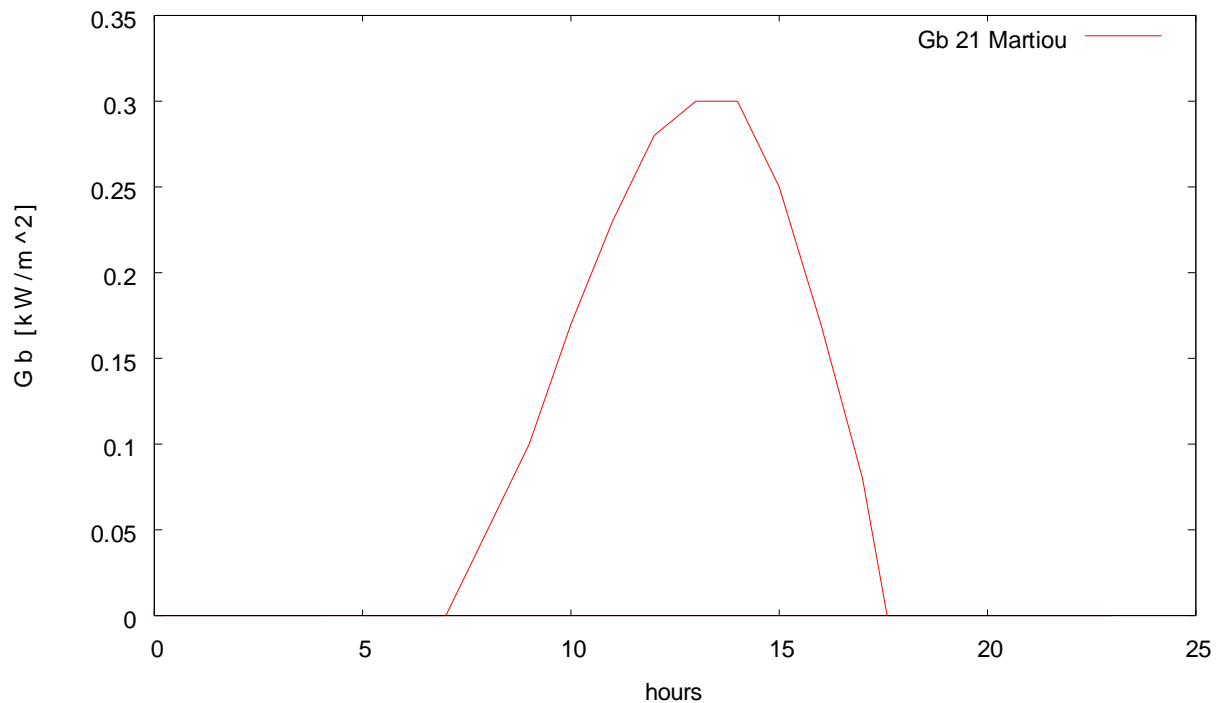
n=	80	
δ=	-0,40365	
N=	11,958	
time <small>δυσης=</small>	17,979	17:59
time <small>ανατολής=</small>	6,021002	6:01

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.61 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Μαρτίου

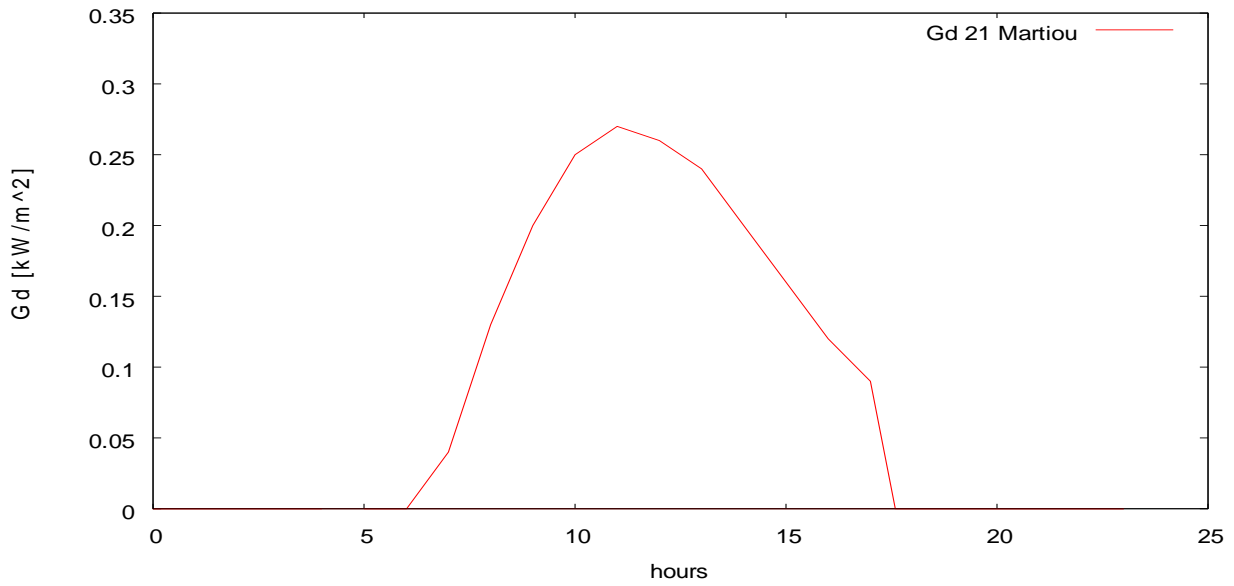
Time hrs	R_b	G_b	G_d	G_T
		[kW/m ²]	[kW/m ²]	[W/m ²]
05:00	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
06:01	0	0	0	0
07:00	0,825	0,00	0,04	27,18
08:00	0,803	0,05	0,13	118,20
09:00	0,797	0,10	0,20	209,85
10:00	0,794	0,17	0,25	299,42
11:00	0,792	0,23	0,27	366,52
12:00	0,792	0,28	0,26	409,16
13:00	0,792	0,30	0,24	412,63
14:00	0,794	0,30	0,20	385,59
15:00	0,797	0,25	0,16	318,21
16:00	0,803	0,17	0,12	231,12
17:00	0,825	0,08	0,09	122,61
17:59	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



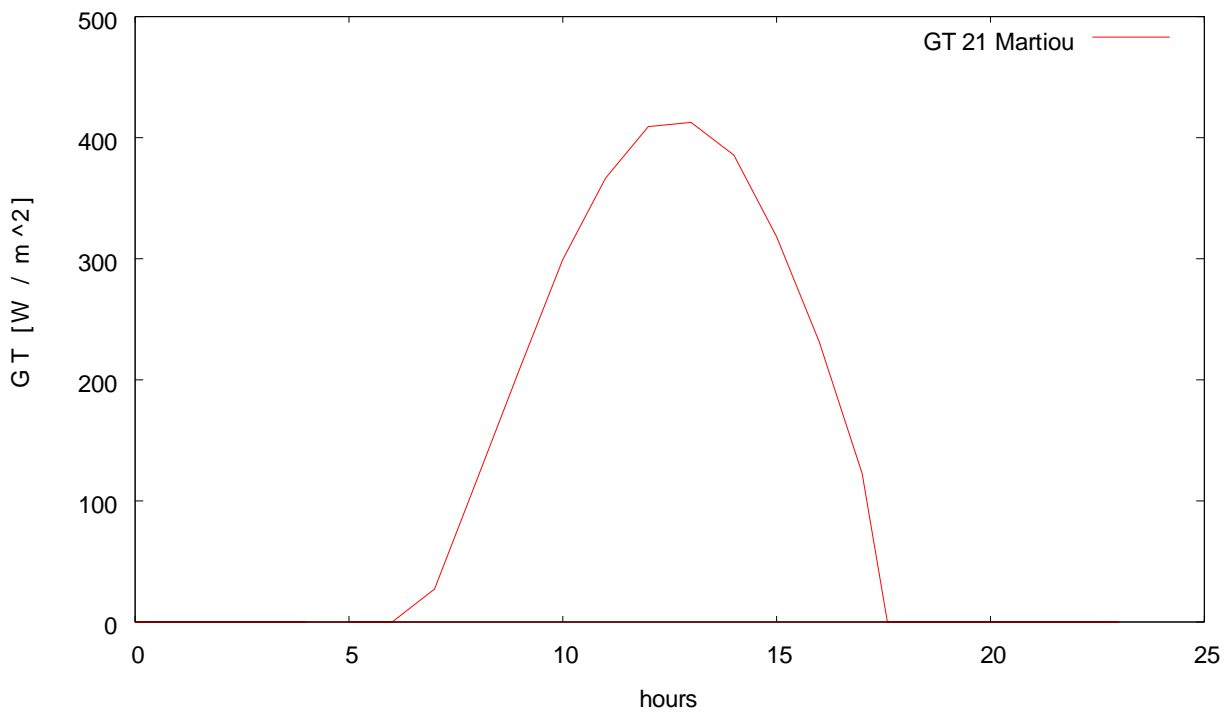
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.32 Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά 21^η Μαρτίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.33 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Μαρτίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.34 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Μαρτίου



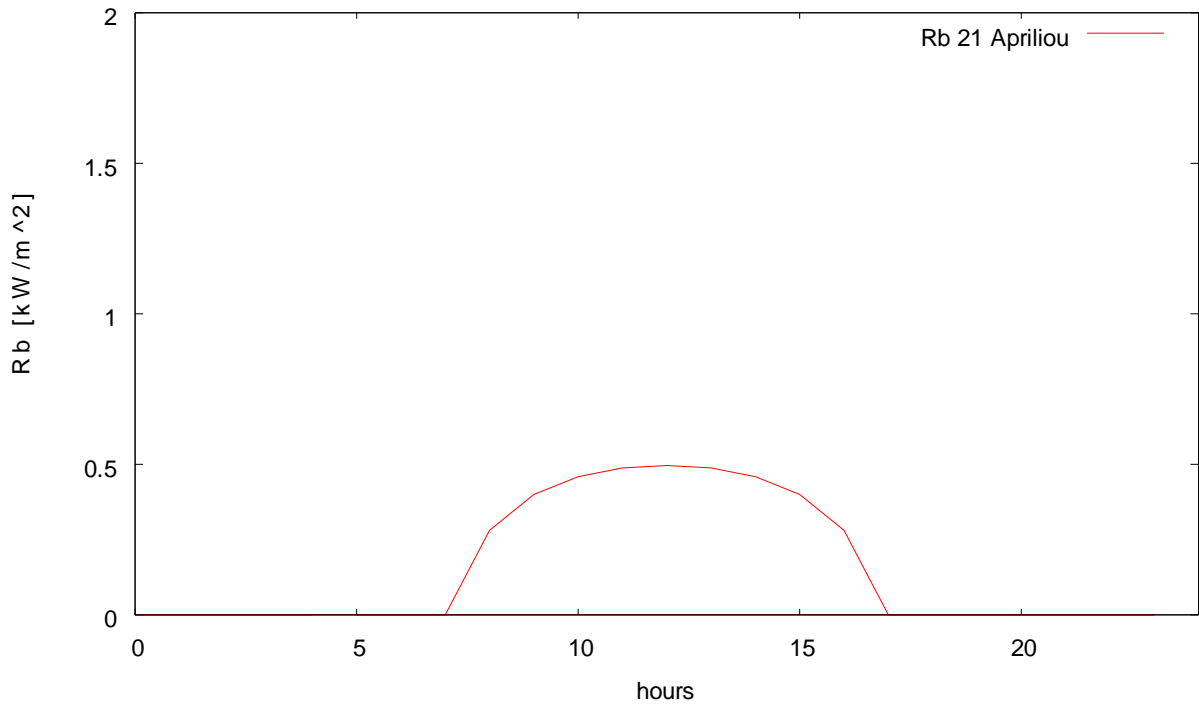
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.35 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Μαρτίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.62 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Απριλίου

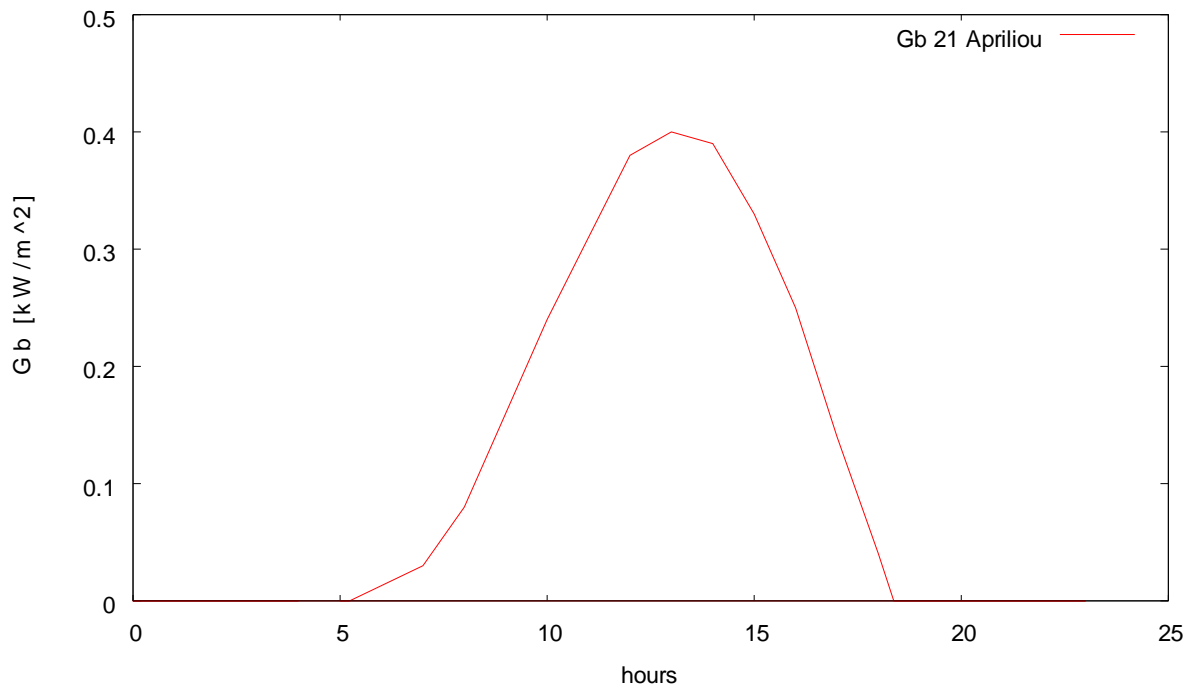
n=	111	
δ=	11,57904	
N=	13,22685	
time <small>δυσσης=</small>	18,61342	18:37
time <small>ανατολής=</small>	5,386577	5:23

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.63 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Απριλίου

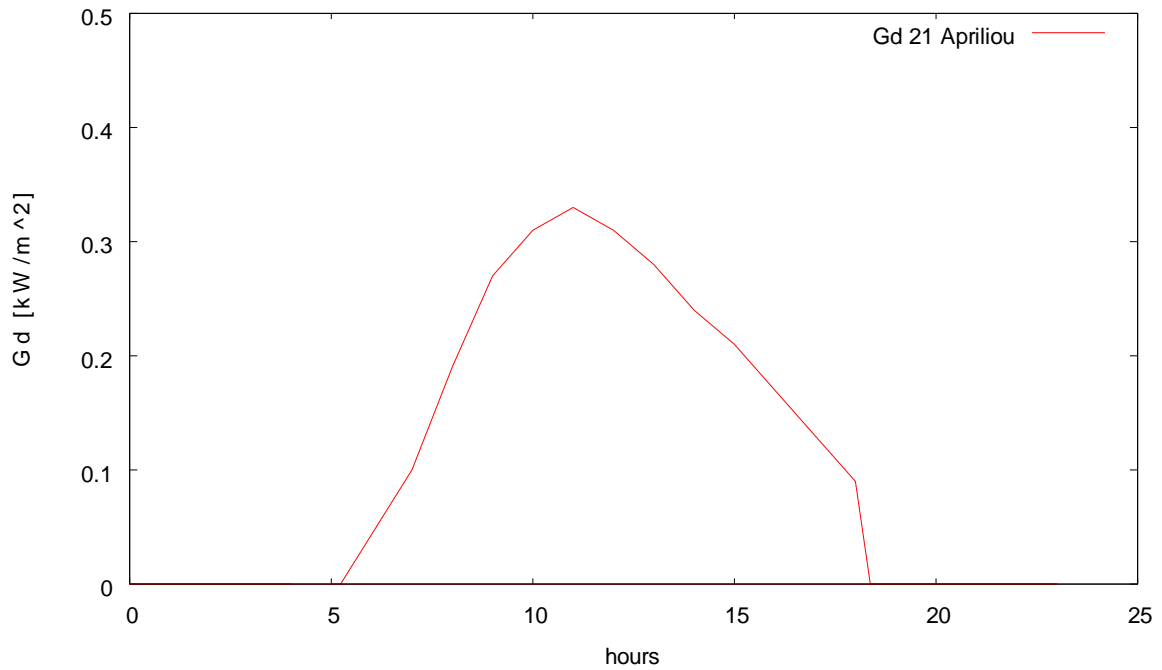
Time hrs	R_b	G_b	G_d	G_T
		[kW/m ²]	[kW/m ²]	[W/m ²]
05:00	0	0	0	0
05:23	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0
08:00	0,281	0,08	0,19	146,51
09:00	0,400	0,16	0,27	237,83
10:00	0,459	0,24	0,31	320,76
11:00	0,488	0,31	0,33	380,25
12:00	0,496	0,38	0,31	412,45
13:00	0,488	0,40	0,28	405,70
14:00	0,459	0,39	0,24	365,33
15:00	0,400	0,33	0,21	290,75
16:00	0,281	0,25	0,17	195,52
17:00	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
18:37	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



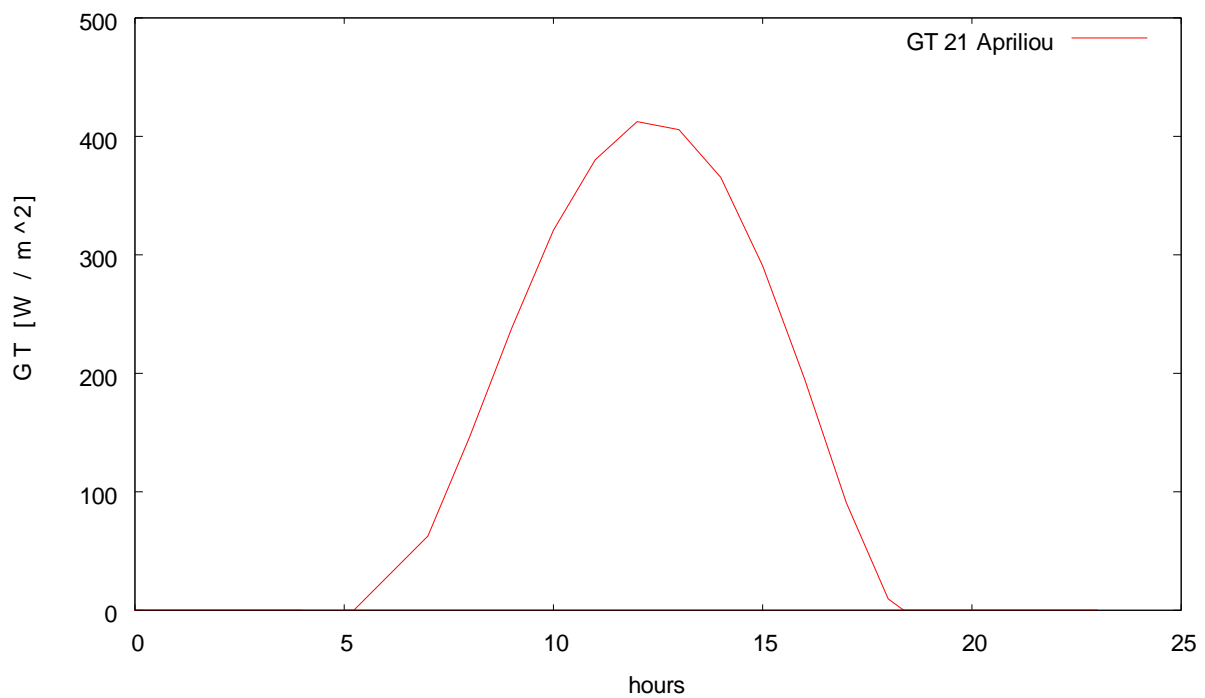
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.36 Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά 21^η Απριλίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.37 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Απριλίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.38 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Απριλίου



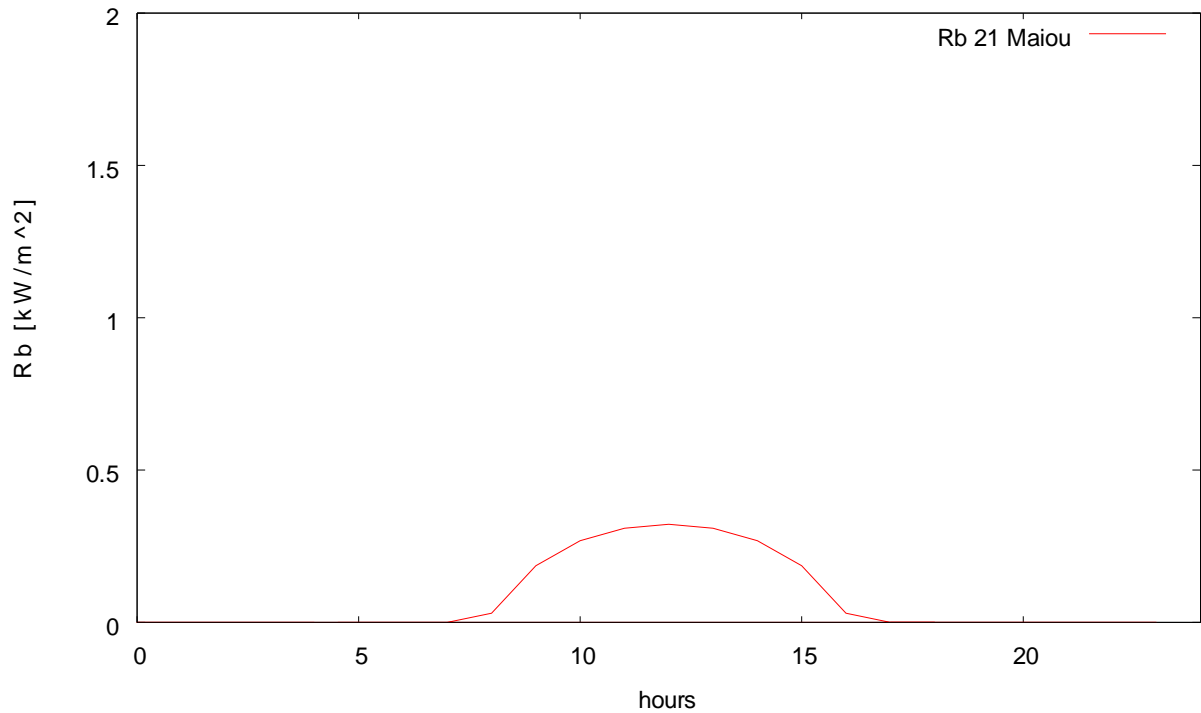
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.39 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Απριλίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.64 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Μαΐου

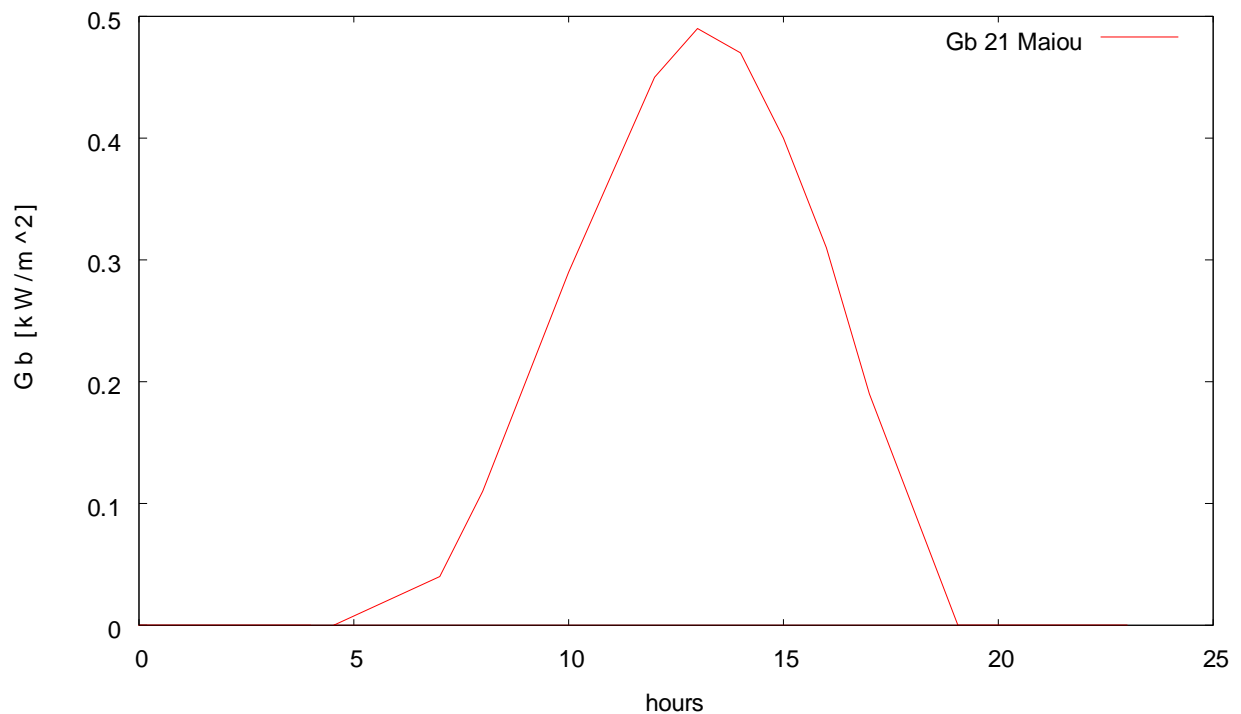
n=	141	
δ=	20,13801	
N=	14,21732	
time _{δυσσης} =	19,10866	19:06
time _{ανατολής} =	4,891339	4:53

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.65 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Μαΐου

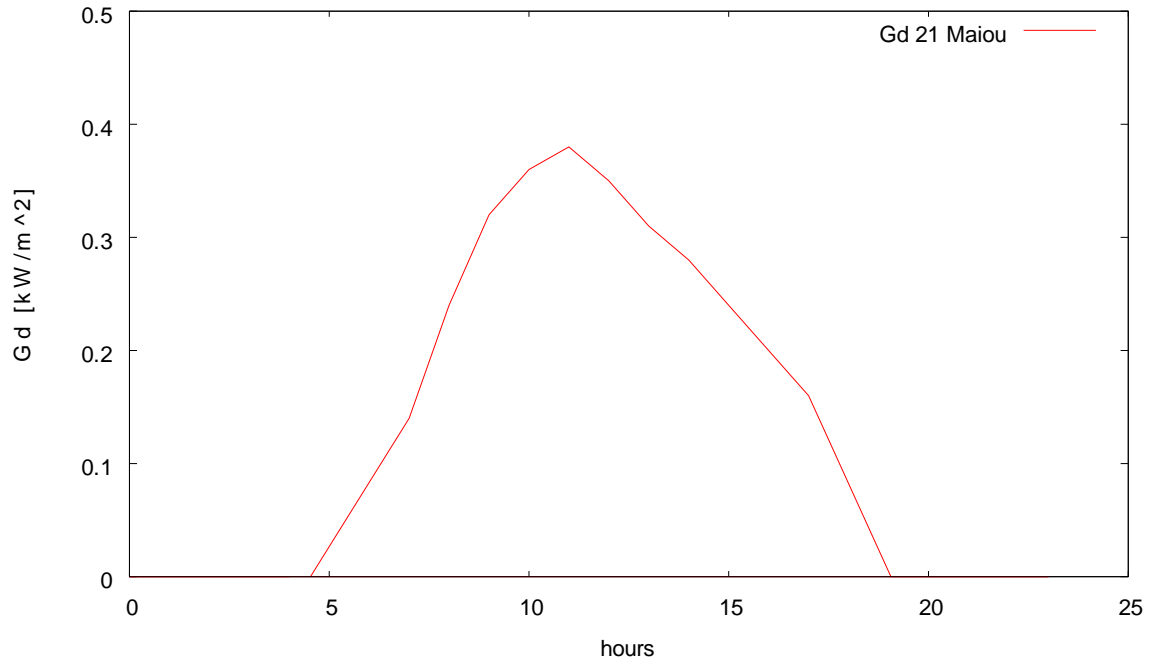
Time hrs	R_b	G_b	G_d	G_T
		[kW/m ²]	[kW/m ²]	[W/m ²]
04:53	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0
08:00	0,030	0,11	0,24	158,37
09:00	0,186	0,20	0,32	247,54
10:00	0,268	0,29	0,36	325,95
11:00	0,309	0,37	0,38	379,21
12:00	0,322	0,45	0,35	401,24
13:00	0,309	0,49	0,31	385,78
14:00	0,268	0,47	0,28	337,88
15:00	0,186	0,40	0,24	260,25
16:00	0,030	0,31	0,20	161,84
17:00	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
19:06	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



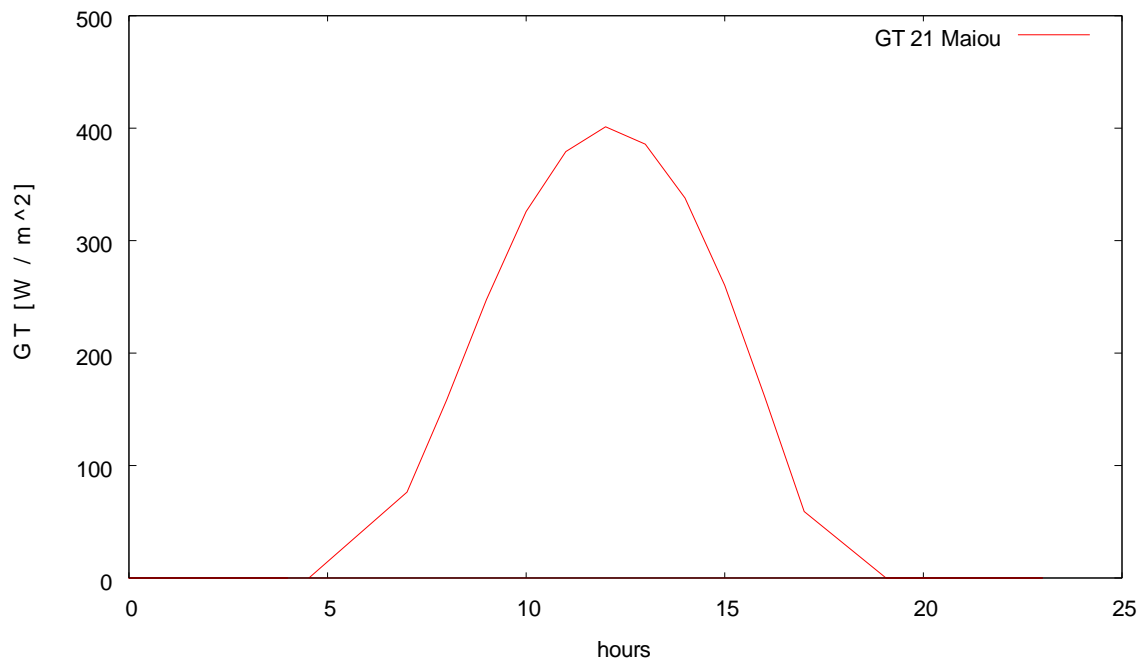
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.40 Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά 21^η Μαΐου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.41 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Μαΐου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.42 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Μαΐου



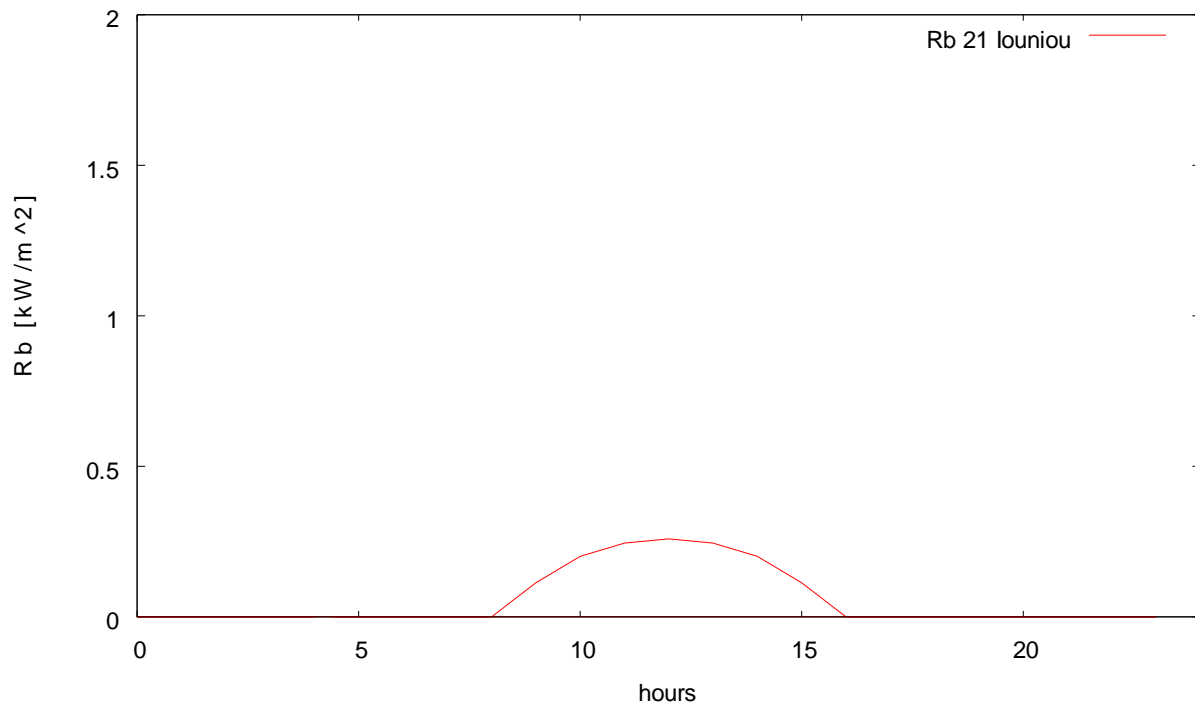
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.43 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Μαΐου

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.66 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Ιουνίου

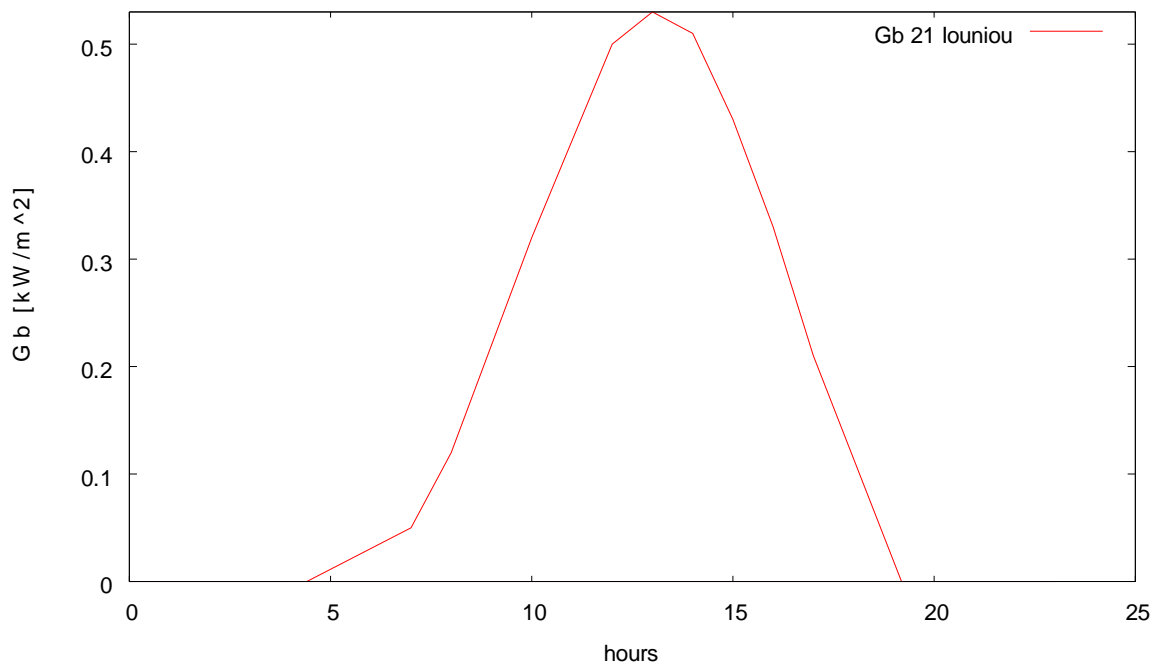
n=	172	
δ=	23,44978	
N=	14,63834	
time <small>δυσσης=</small>	19,31917	19:19
time <small>ανατολής=</small>	4,680831	4:41

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.67 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Ιουνίου

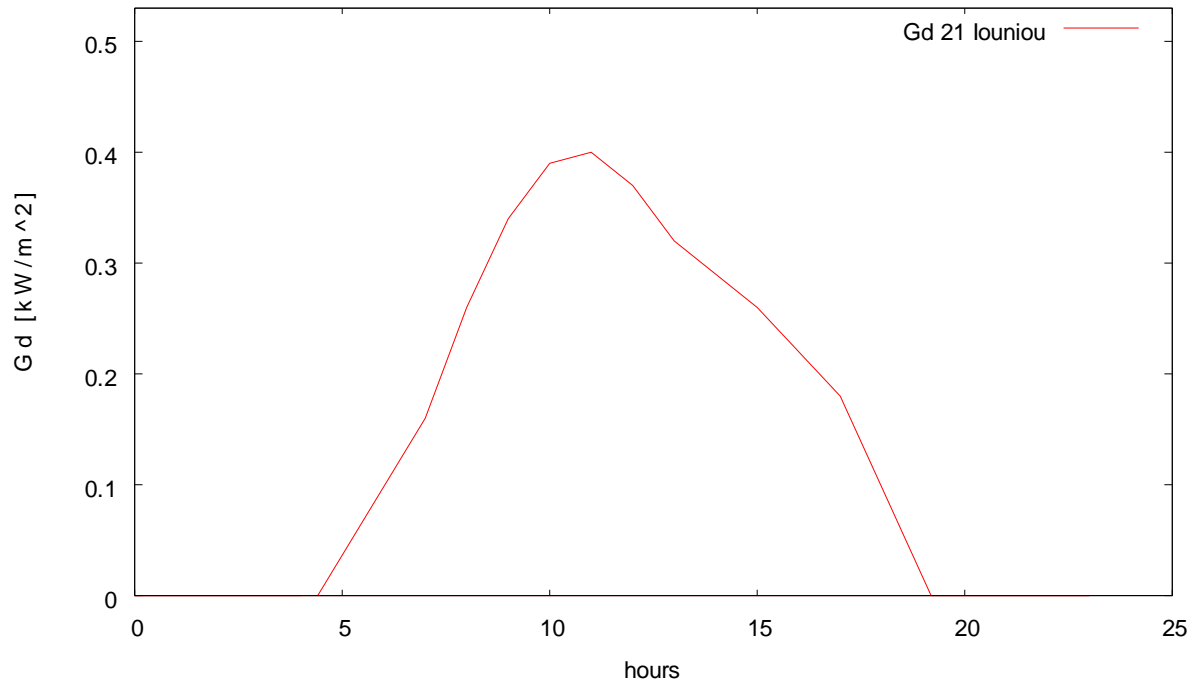
Time hrs	R_b	G_b	G_d	G_T
		[kW/m ²]	[kW/m ²]	[W/m ²]
04:41	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0
08:00	0	0	0	0
09:00	0,113	0,22	0,34	251,63
10:00	0,201	0,32	0,39	329,46
11:00	0,245	0,41	0,40	380,75
12:00	0,259	0,50	0,37	397,72
13:00	0,245	0,53	0,32	378,21
14:00	0,201	0,51	0,29	327,79
15:00	0,113	0,43	0,26	249,42
16:00	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
19:19	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



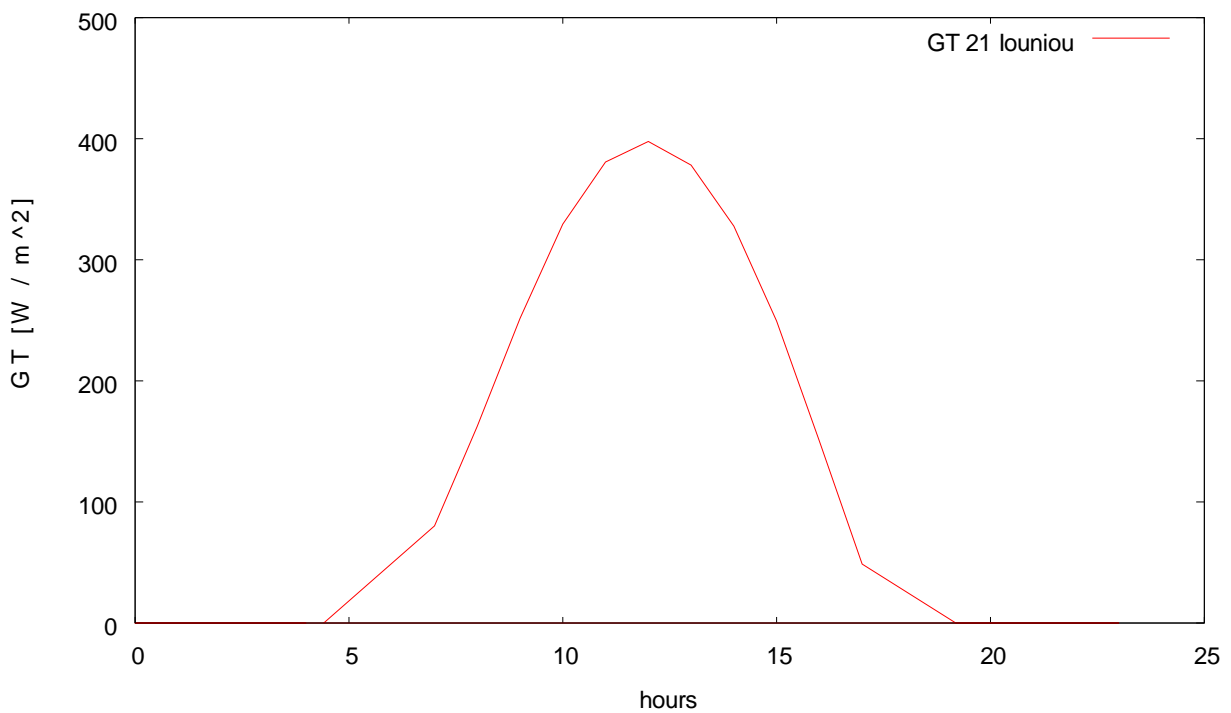
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.44 Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά 21^η Ιουνίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.45 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Ιουνίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.46 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Ιουνίου



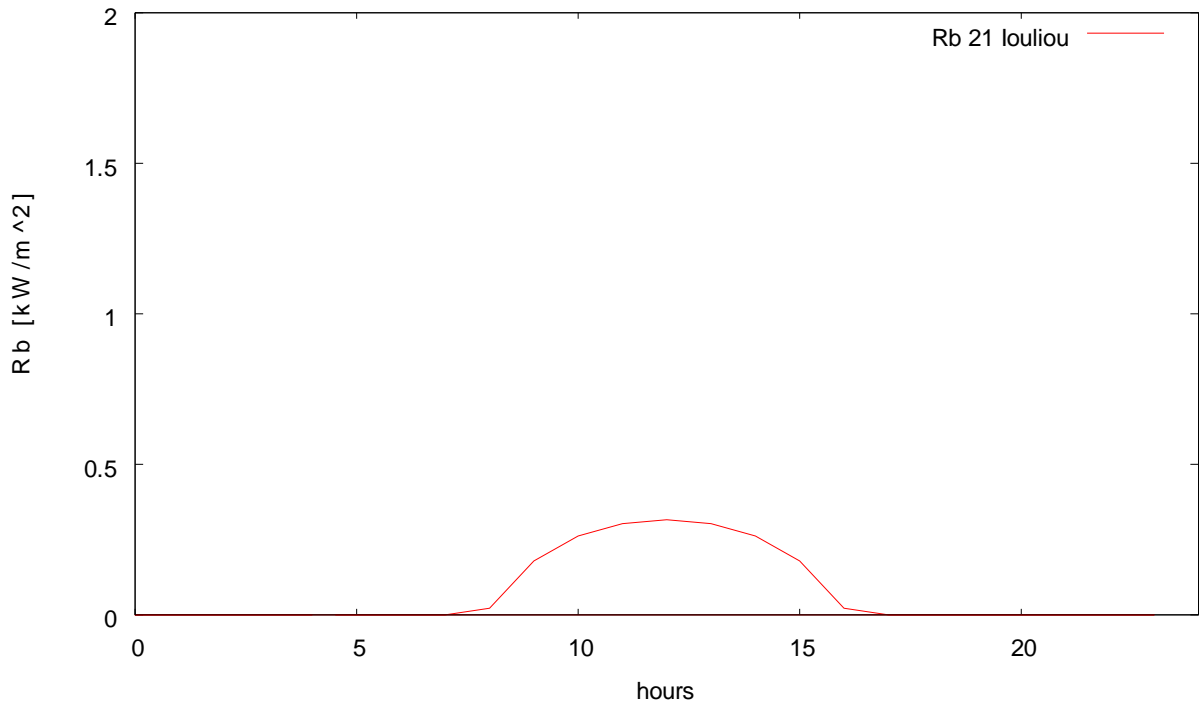
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.47 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Ιουνίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.68 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Ιουλίου

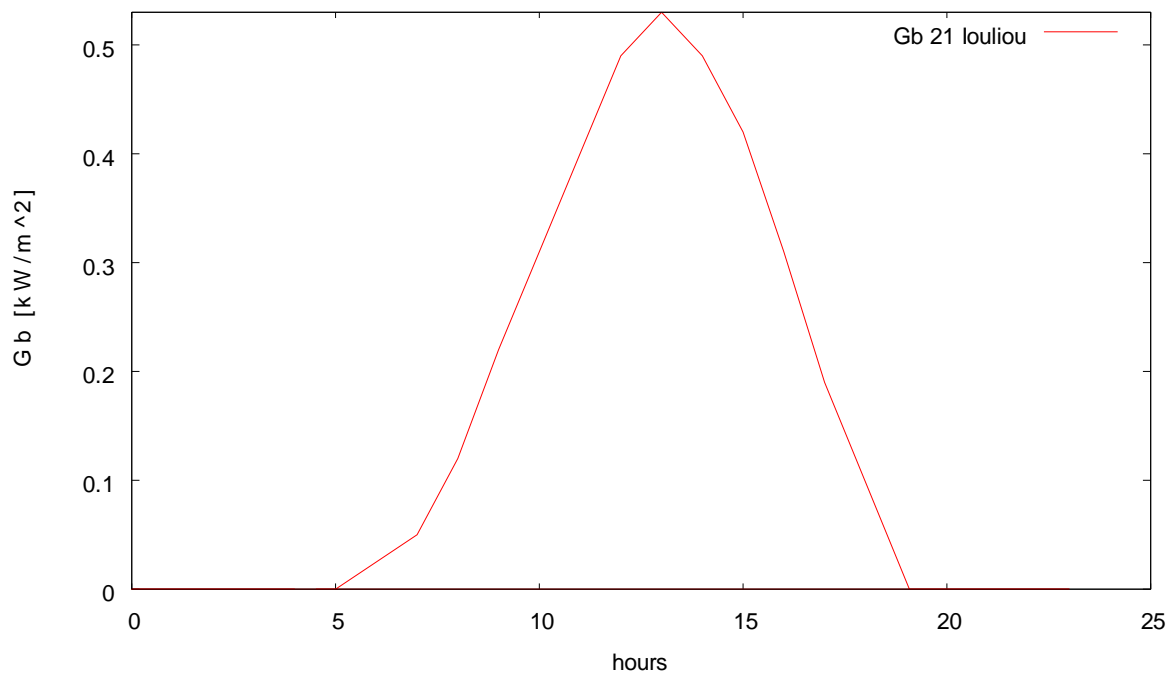
n=	202	
δ=	20,44151	
N=	14,25482	
time _{δυσσης} =	19,12741	19:08
time _{ανατολής} =	4,872592	4:52

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.69 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Ιουλίου

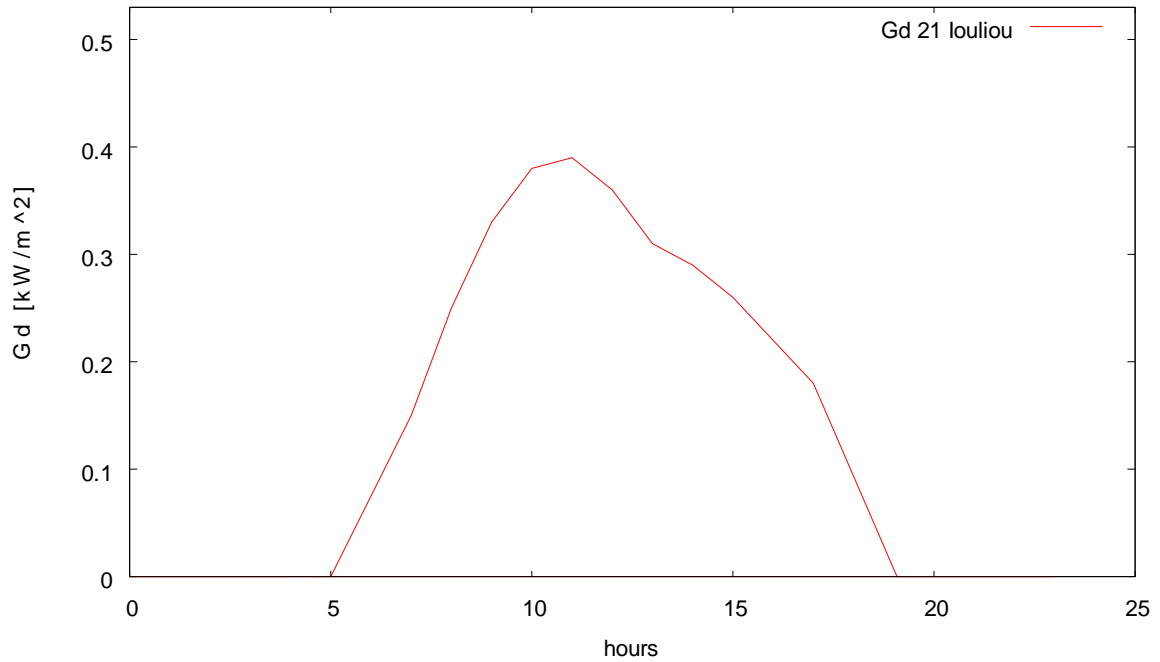
Time hrs	R _b	G _b	G _d	G _T
		[kW/m ²]	[kW/m ²]	[W/m ²]
04:52		0	0	0
05:00	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0
08:00	0,022	0,12	0,25	163,09
09:00	0,179	0,22	0,33	257,29
10:00	0,262	0,31	0,38	340,28
11:00	0,303	0,40	0,39	396,39
12:00	0,316	0,49	0,36	417,79
13:00	0,303	0,53	0,31	401,13
14:00	0,262	0,49	0,29	351,26
15:00	0,179	0,42	0,26	272,63
16:00	0,022	0,31	0,22	171,59
17:00	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
19:08	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



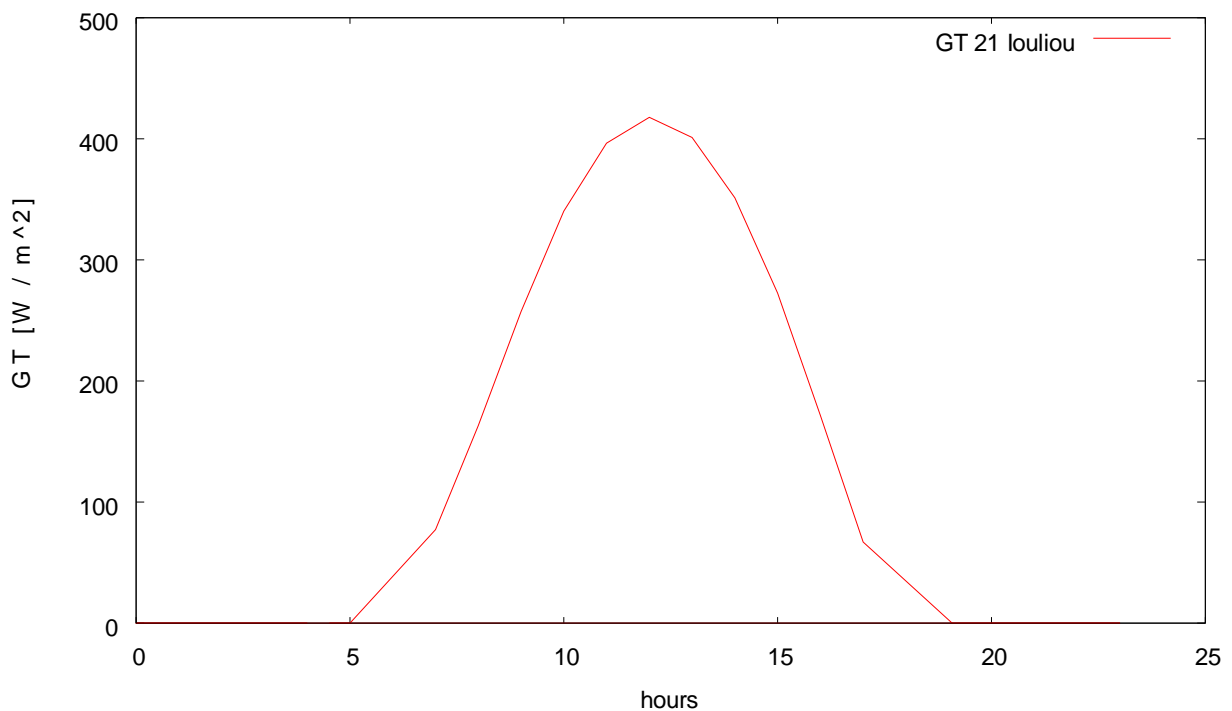
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.48 Λόγος Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά 21^η Ιουλίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.49 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Ιουλίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.50 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Ιουλίου



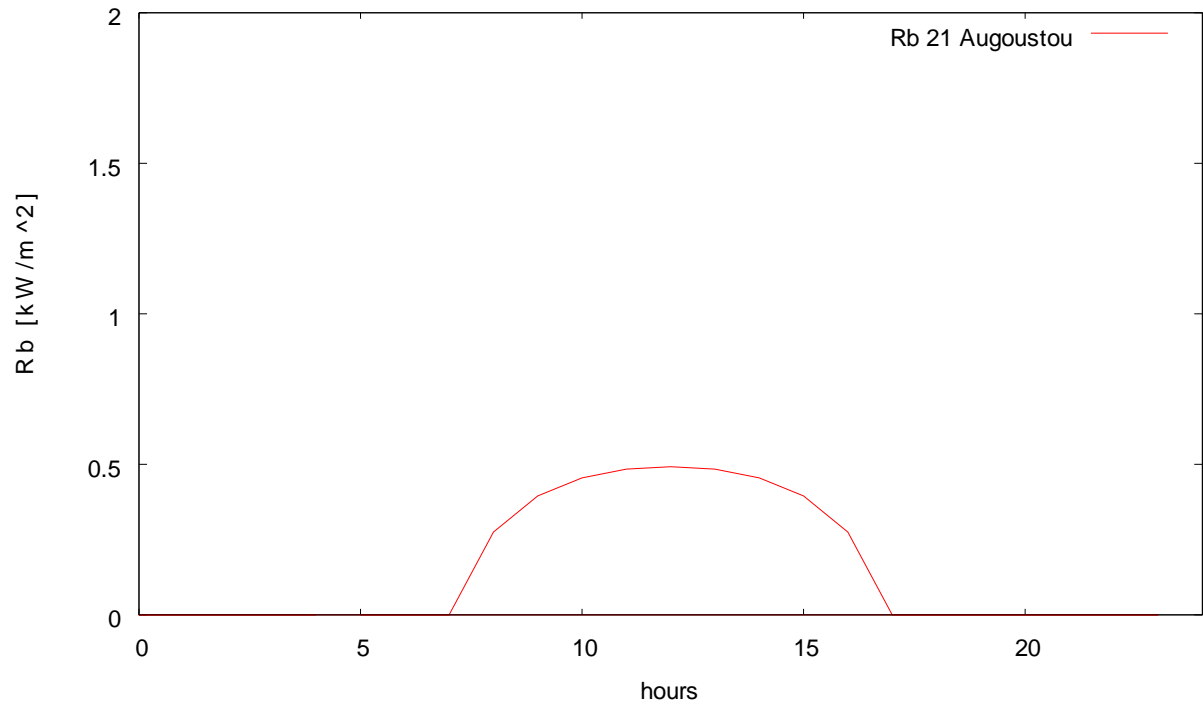
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.51 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Ιουλίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.70 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Αυγούστου

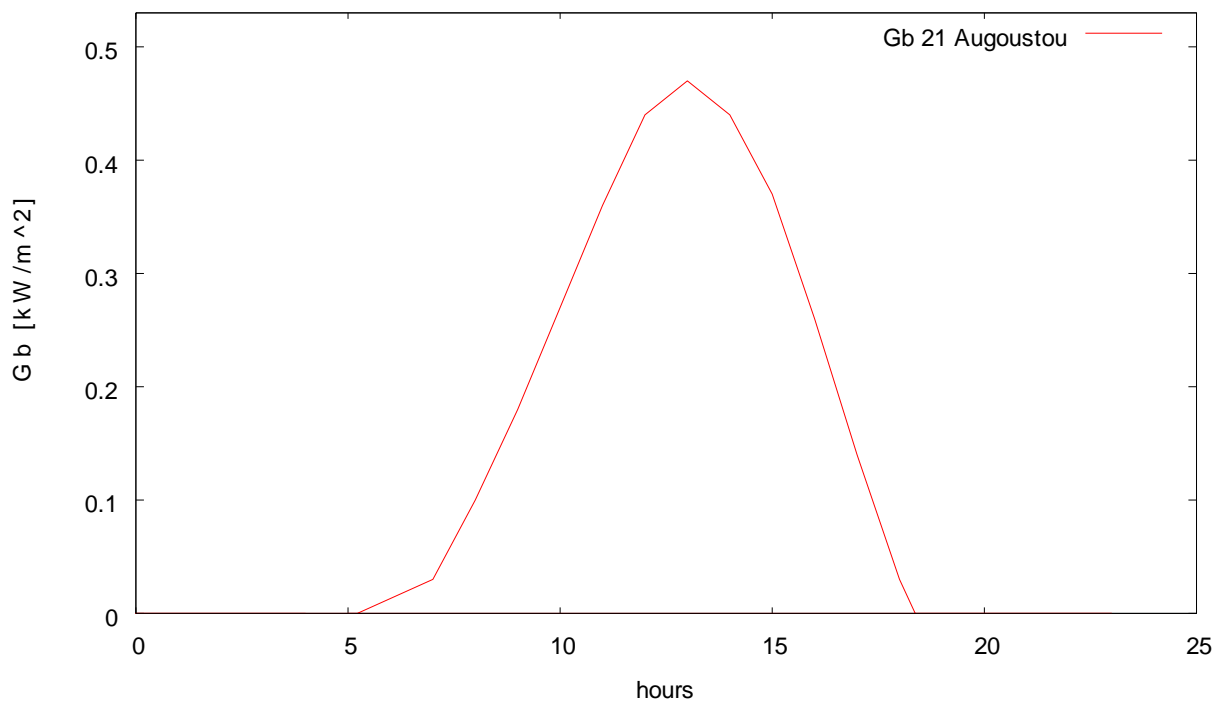
n=	233	
δ=	11,75412	
N=	13,24609	
time <small>δυσσης=</small>	18,62305	18:37
time <small>ανατολής=</small>	5,376953	5:22

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.71 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Αυγούστου

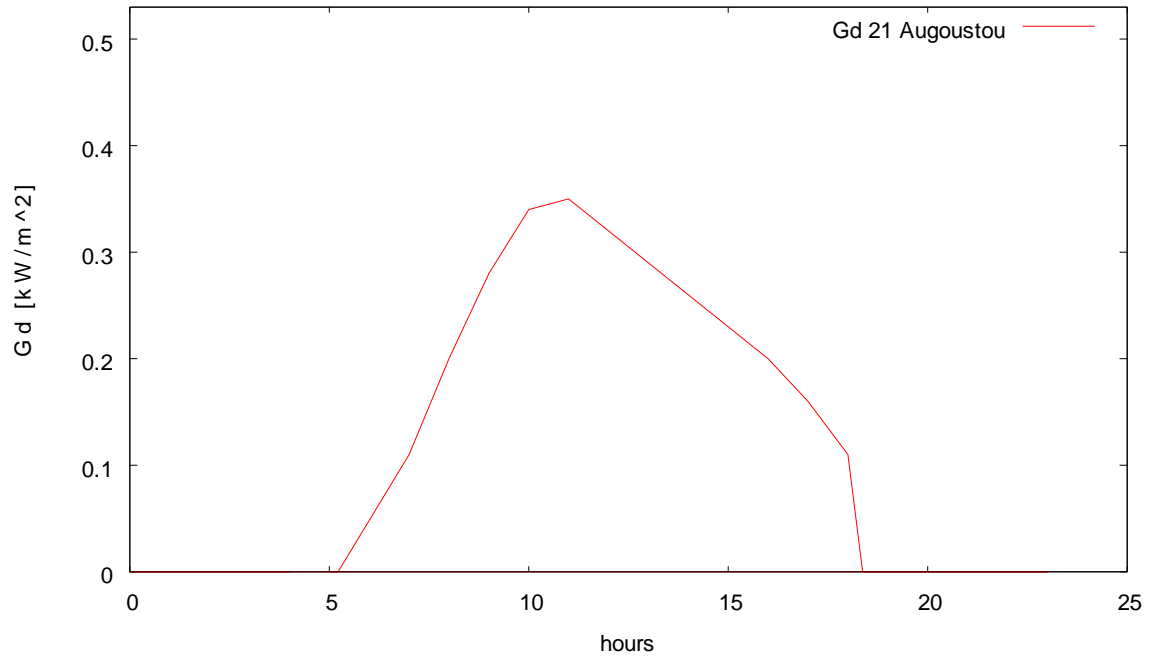
Time hrs	R_b	G_b [kW/m ²]	G_d [kW/m ²]	G_T [W/m ²]
05:00	0	0	0	0
05:22	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0
08:00	0,275	0,10	0,20	158,40
09:00	0,395	0,18	0,28	260,34
10:00	0,455	0,27	0,34	352,41
11:00	0,484	0,36	0,35	418,75
12:00	0,492	0,44	0,32	453,33
13:00	0,484	0,47	0,29	445,59
14:00	0,455	0,44	0,26	398,28
15:00	0,395	0,37	0,23	321,03
16:00	0,275	0,26	0,20	216,80
17:00	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
18:37	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



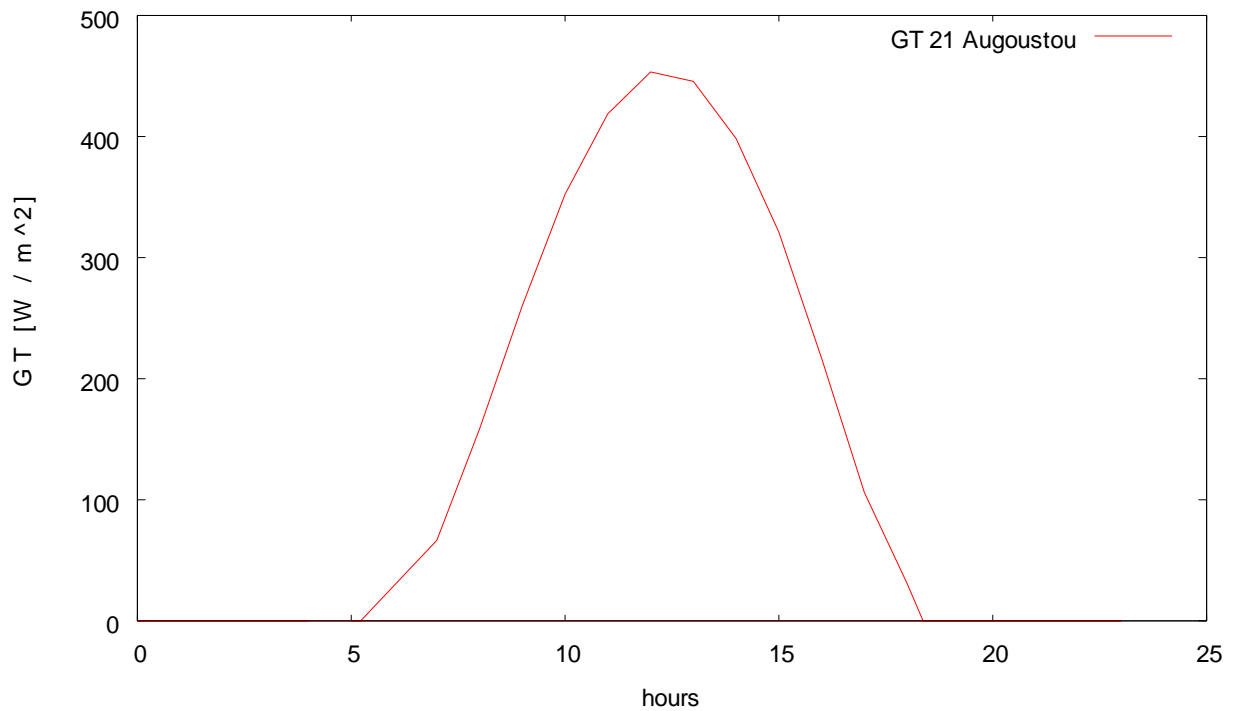
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.52 Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Αυγούστου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.53 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Αυγούστου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.54 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Αυγούστου



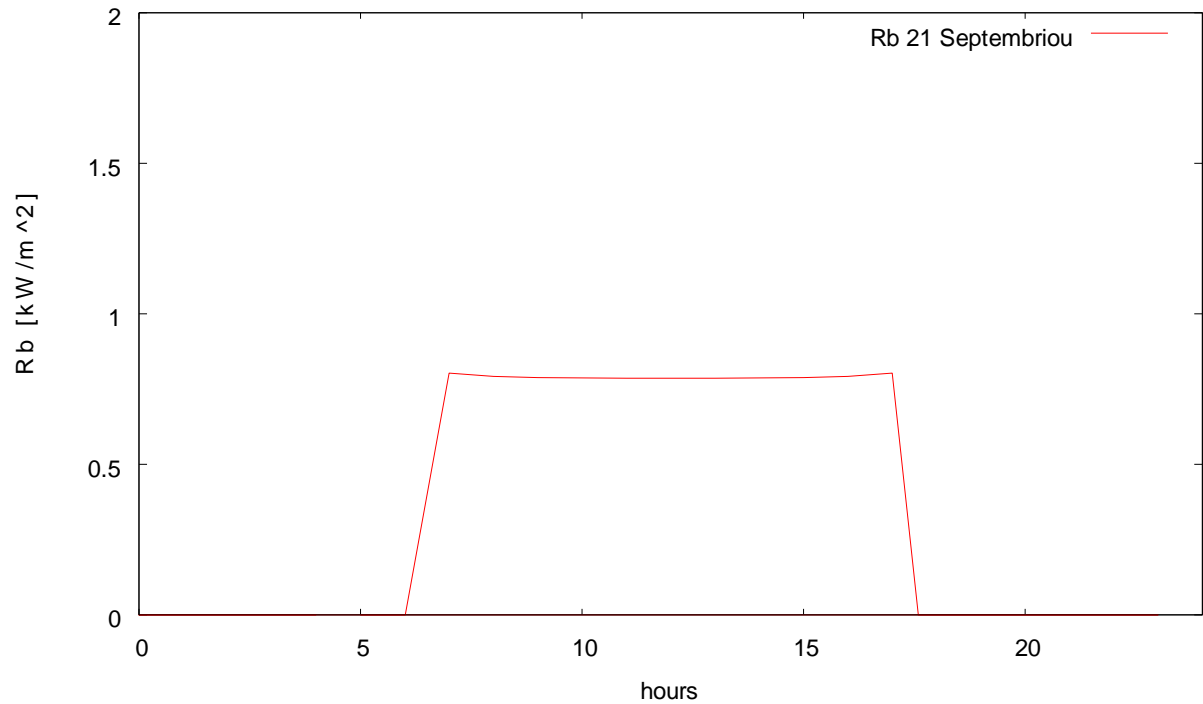
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.55 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Αυγούστου

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.72 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Σεπτεμβρίου

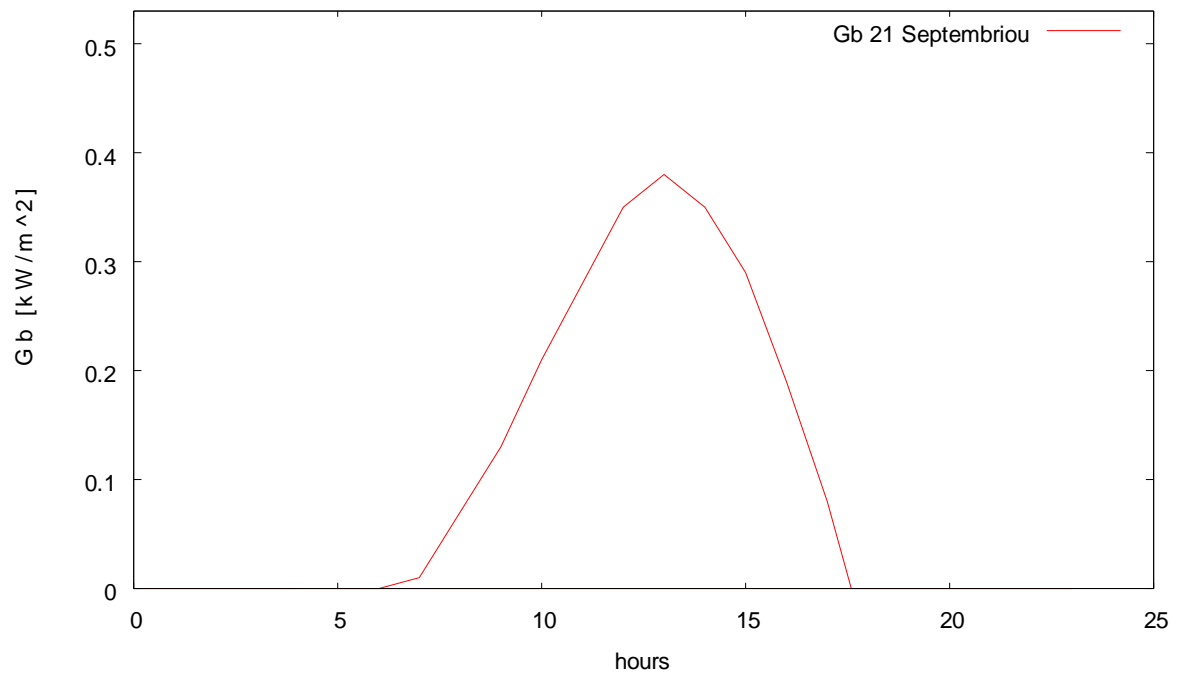
n=	264	
δ=	-0,20183	
N=	11,979	
time <small>δυσσης=</small>	17,9895	17:59
time <small>ανατολής=</small>	6,010501	6:01

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.73 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Σεπτεμβρίου

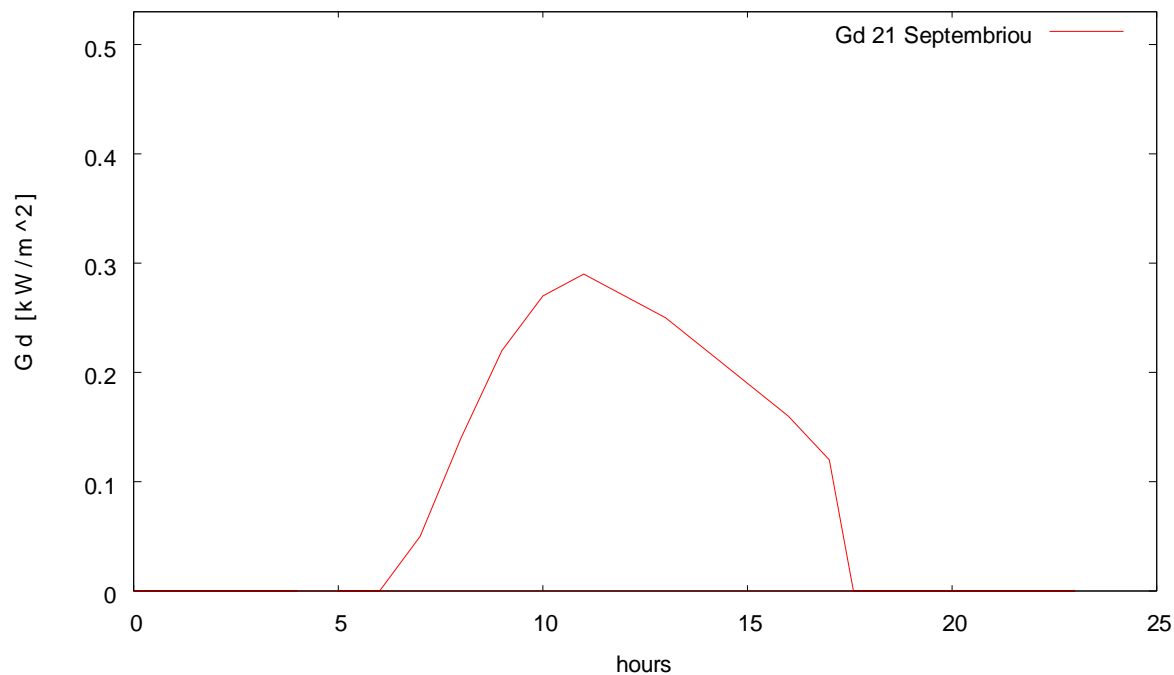
Time hrs	R_b	G_b	G_d	G_T
		[kW/m ²]	[kW/m ²]	[W/m ²]
05:00	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
06:01	0	0	0	0
07:00	0,803	0,01	0,05	40,30
08:00	0,792	0,07	0,14	141,30
09:00	0,788	0,13	0,22	247,63
10:00	0,787	0,21	0,27	348,84
11:00	0,786	0,28	0,29	426,54
12:00	0,786	0,35	0,27	477,47
13:00	0,786	0,38	0,25	481,40
14:00	0,787	0,35	0,22	439,51
15:00	0,788	0,29	0,19	367,90
16:00	0,792	0,19	0,16	261,84
17:00	0,803	0,08	0,12	140,46
17:59	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



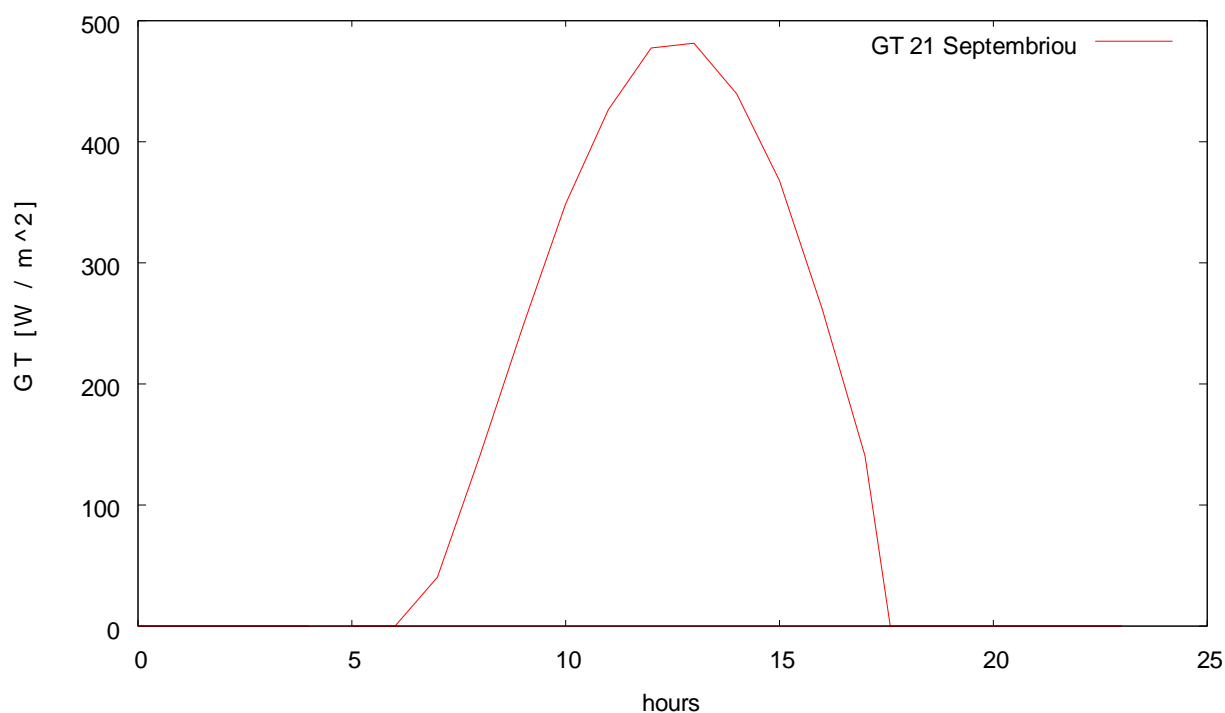
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.56 Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά 21^η Σεπτεμβρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.57 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Σεπτεμβρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.58 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Σεπτεμβρίου



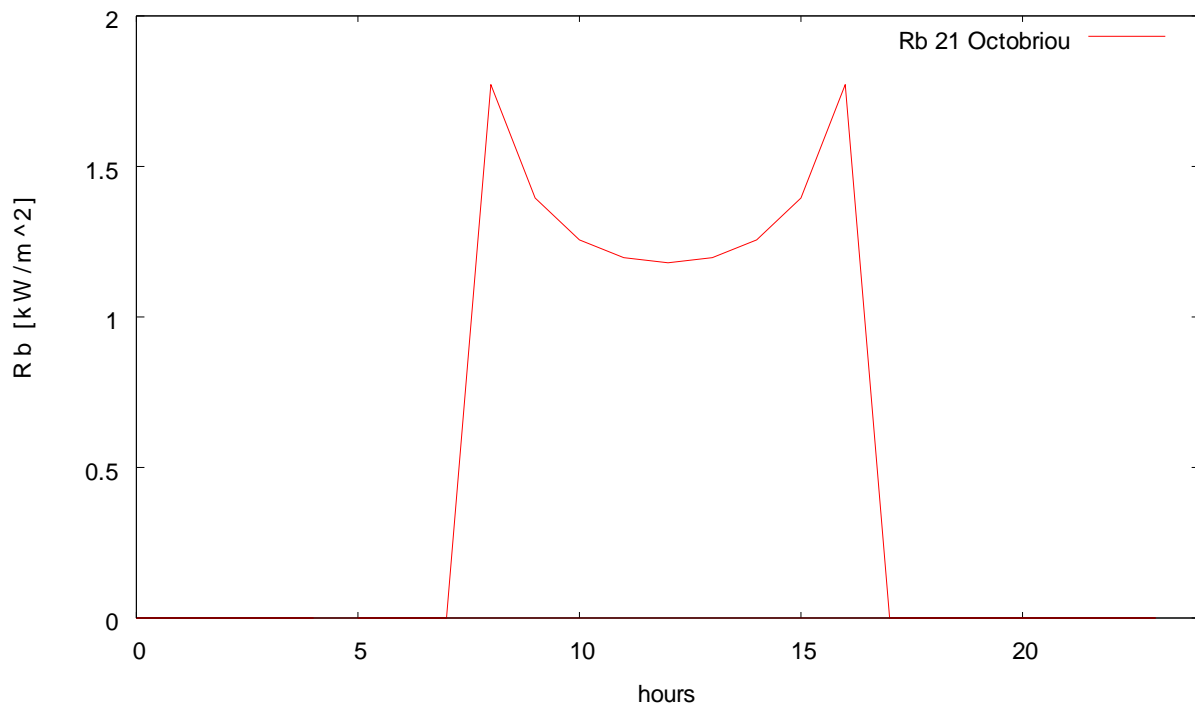
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.59 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Σεπτεμβρίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.74 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Οκτωβρίου

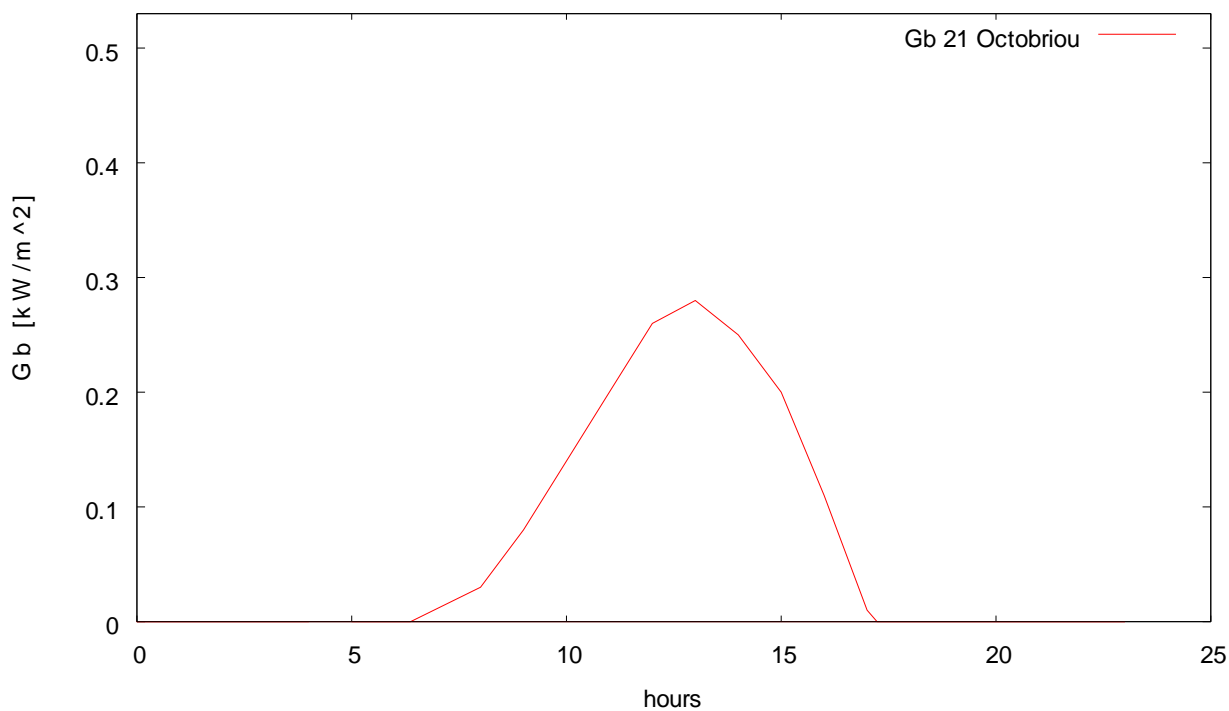
n=	294	
δ=	-11,7541	
N=	10,75391	
time _{δυσσης} =	17,37695	17:23
time _{ανατολής} =	6,623047	6:37

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.75 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Οκτωβρίου

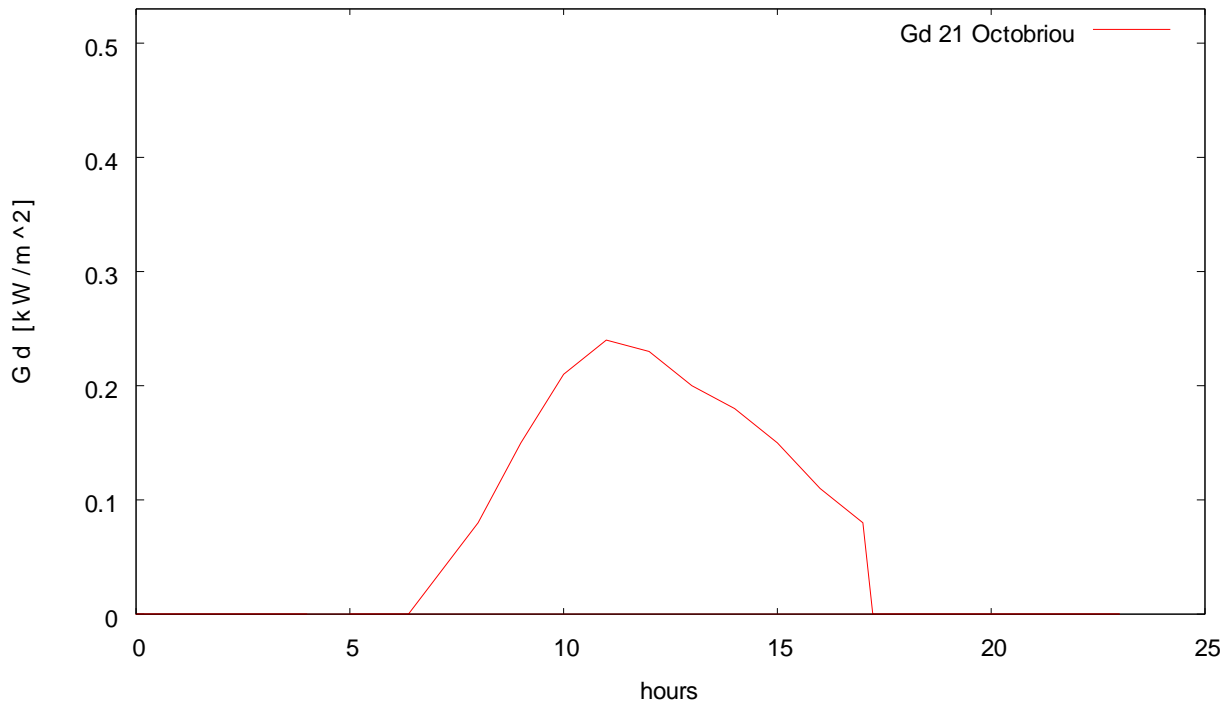
Time hrs	R_b	G_b [kW/m ²]	G_d [kW/m ²]	G_T [W/m ²]
05:00	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
06:37	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0
08:00	1,772	0,03	0,08	102,85
09:00	1,395	0,08	0,15	209,36
10:00	1,256	0,14	0,21	319,12
11:00	1,197	0,20	0,24	406,09
12:00	1,180	0,26	0,23	469,99
13:00	1,197	0,28	0,20	484,02
14:00	1,256	0,25	0,18	451,51
15:00	1,395	0,20	0,15	389,58
16:00	1,772	0,11	0,11	282,65
17:00	0	0	0	0
17:23	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



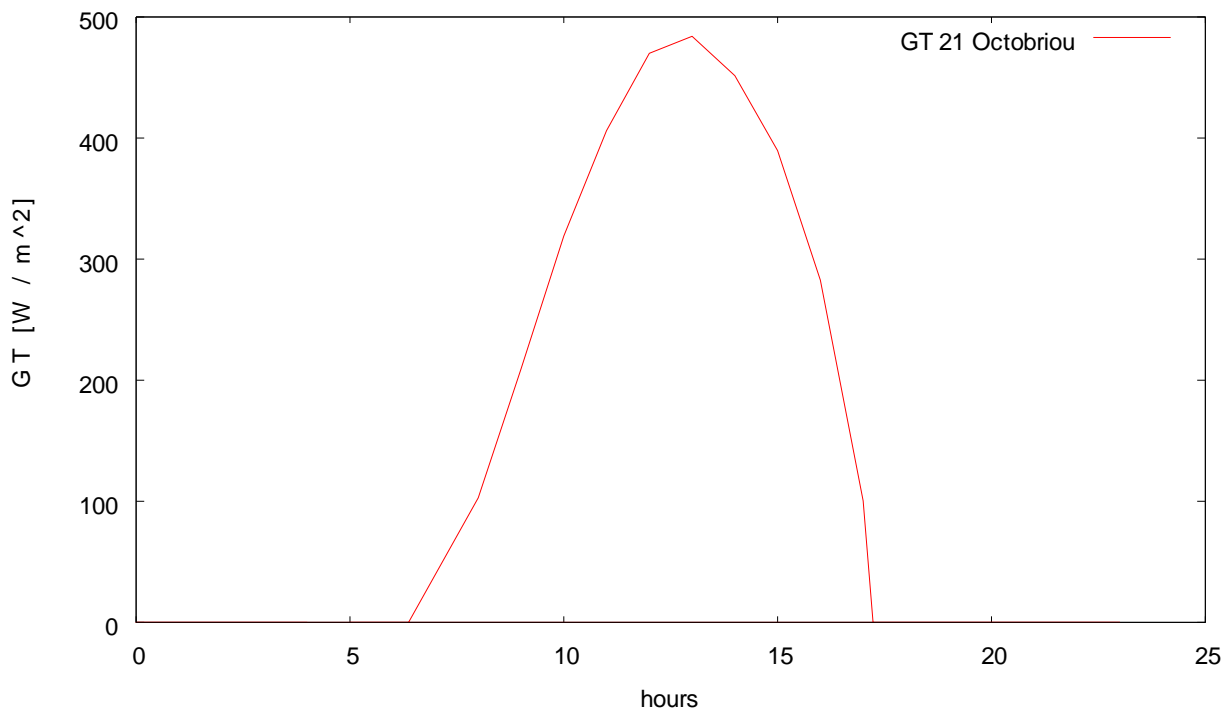
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.60 Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά 21^η Οκτωβρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.61 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Οκτωβρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.62 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Οκτωβρίου



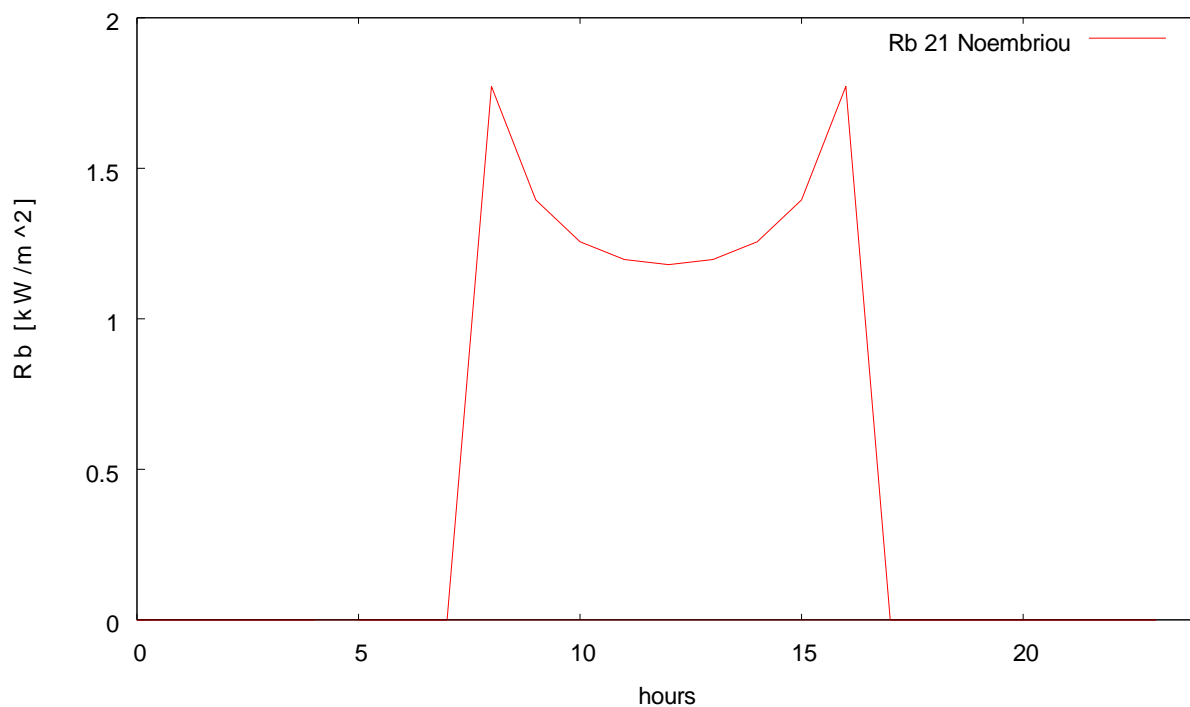
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.63 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Οκτωβρίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.76 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Νοεμβρίου

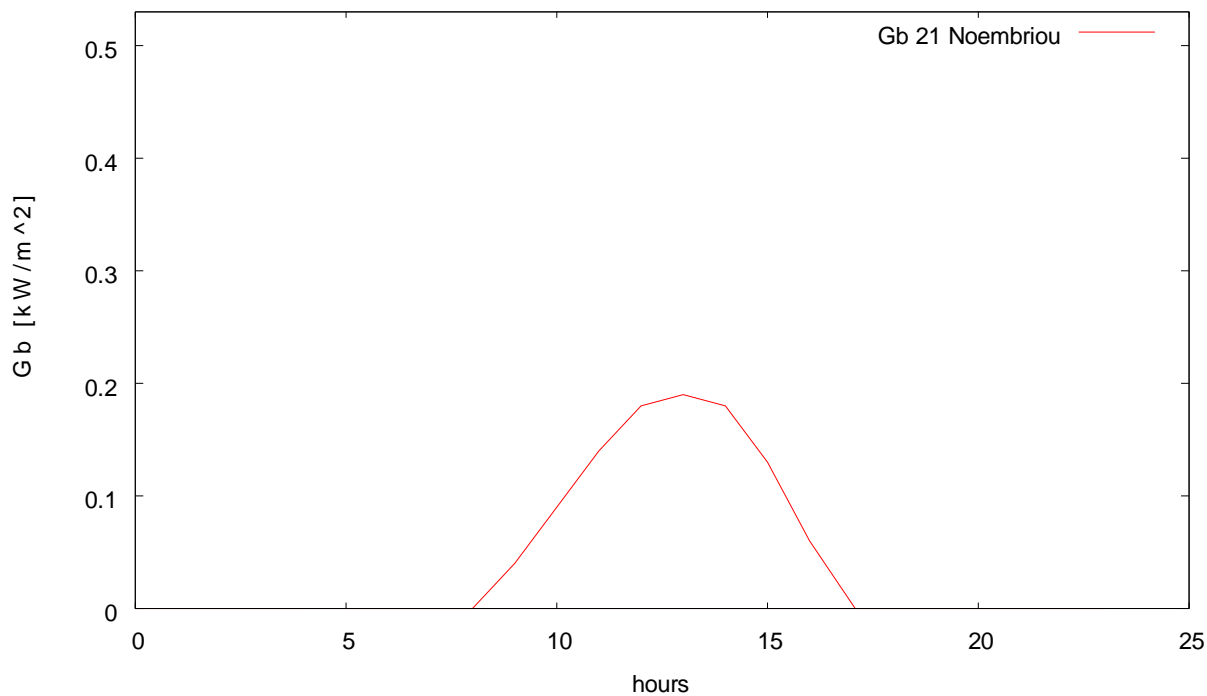
n=	325	
δ=	-20,4415	
N=	9,745184	
time _{δυσσης} =	16,87259	16:52
time _{ανατολής} =	7,127408	7:08

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.77 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Νοεμβρίου

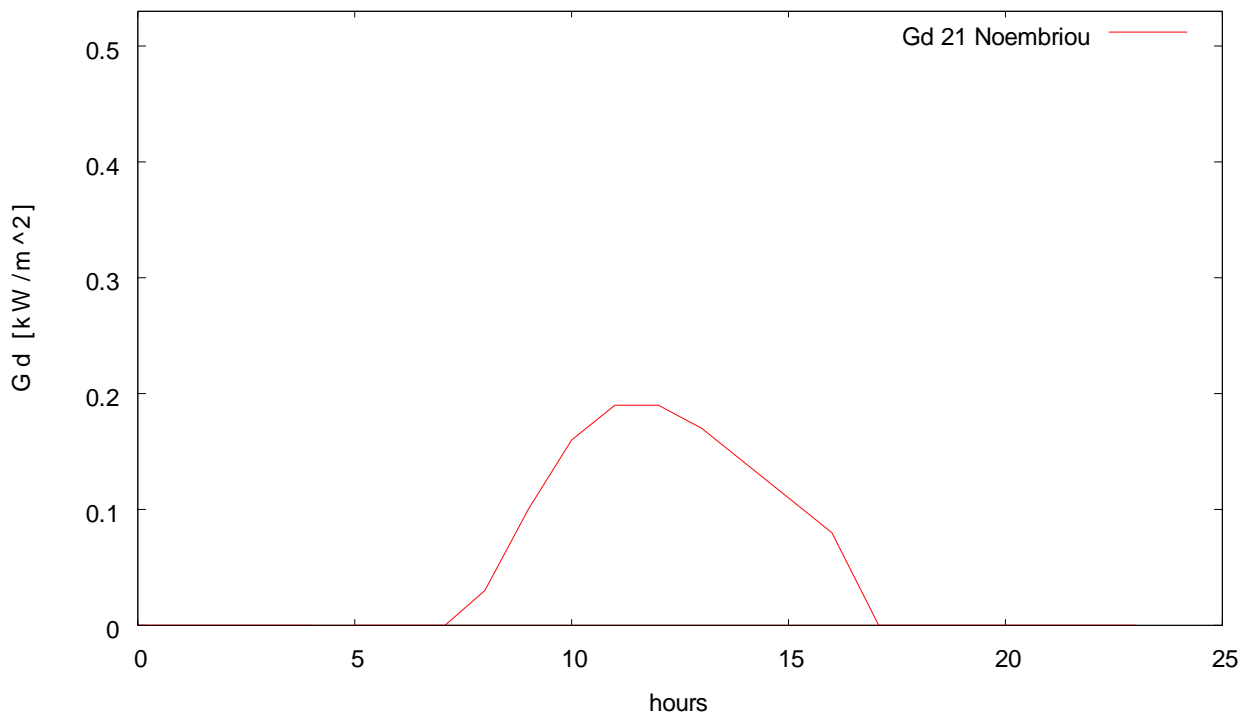
Time hrs	R_b	G_b [kW/m ²]	G_d [kW/m ²]	G_T [W/m ²]
05:00	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0
07:08	0	0	0	0
08:00	3,648	0,00	0,03	25,17
09:00	2,221	0,04	0,10	142,61
10:00	1,823	0,09	0,16	264,44
11:00	1,669	0,14	0,19	358,11
12:00	1,626	0,18	0,19	427,68
13:00	1,669	0,19	0,17	447,45
14:00	1,823	0,18	0,14	428,79
15:00	2,221	0,13	0,11	376,43
16:00	3,648	0,06	0,08	262,67
17:08	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



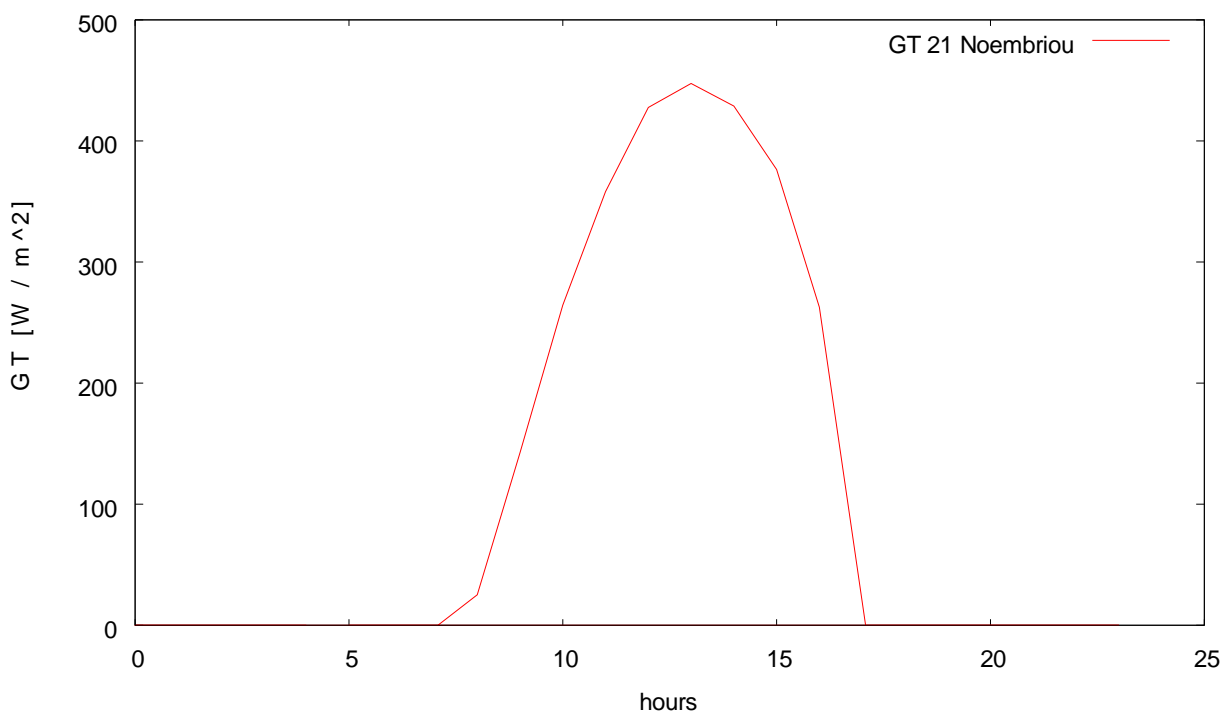
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.64 Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά 21^η Νοεμβρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.65 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Νοεμβρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.66 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Νοεμβρίου



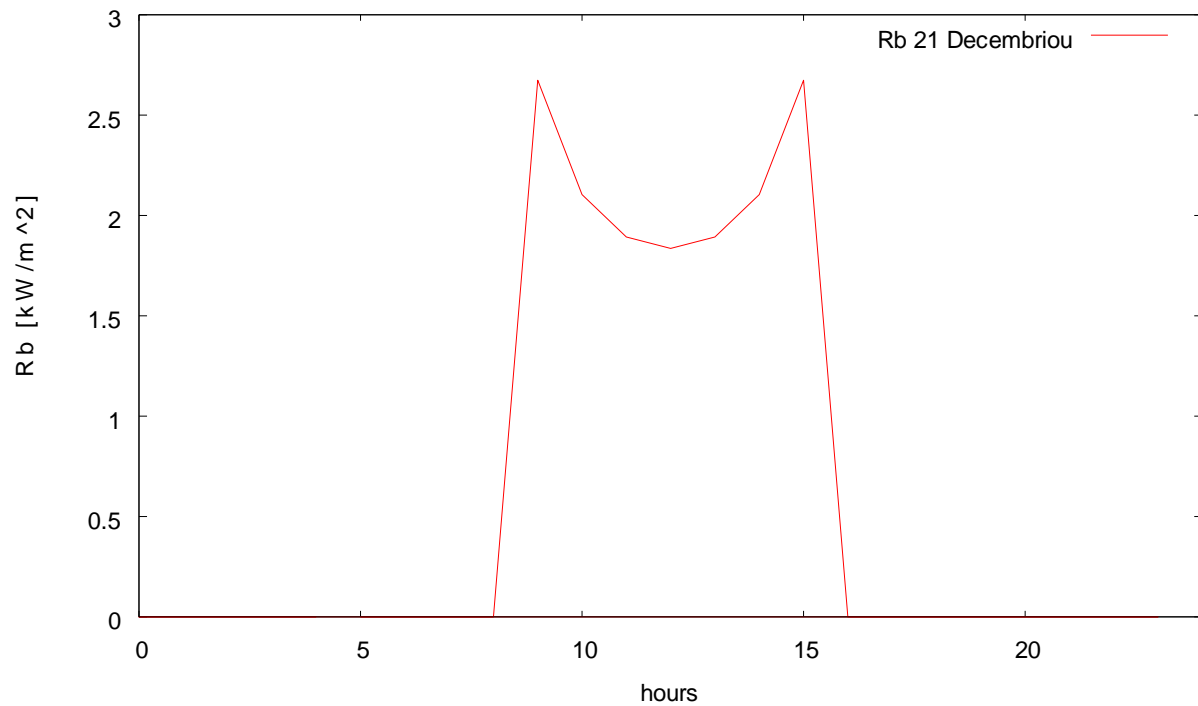
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.67 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Νοεμβρίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.78 Τιμές για τους υπολογισμούς της 21^η Δεκεμβρίου

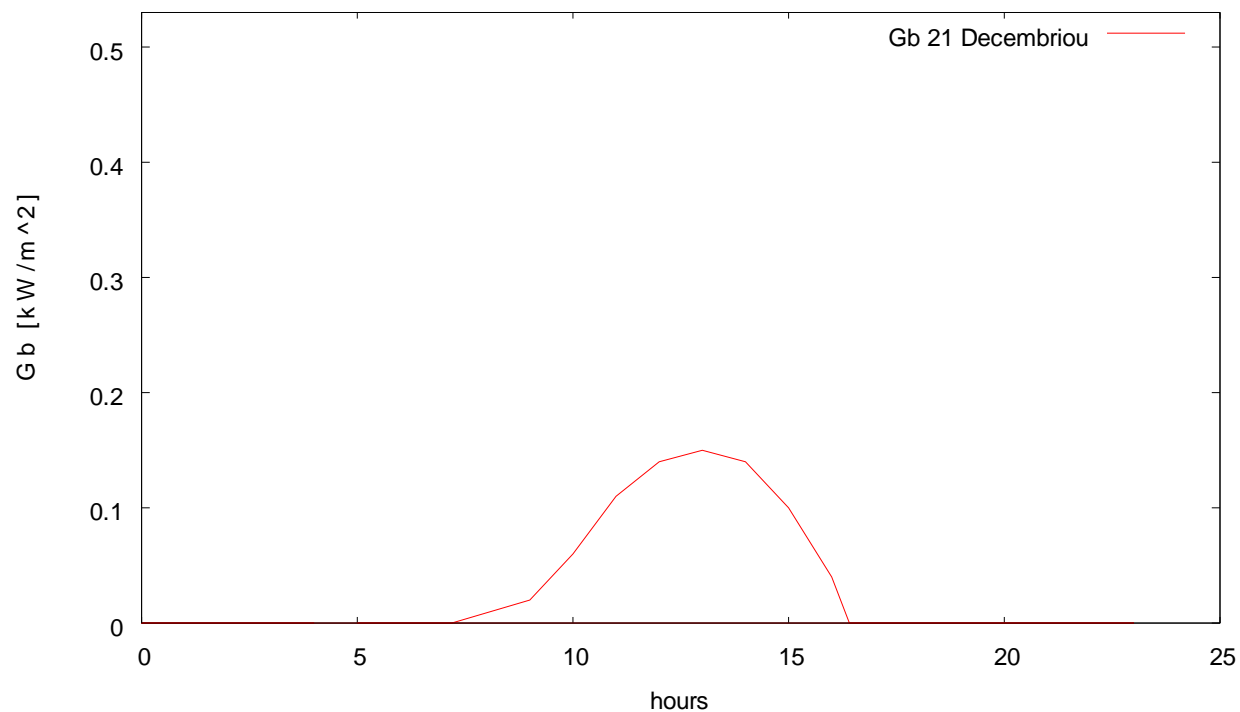
n=	355	
δ=	-23,4498	
N=	9,361663	
time _{δυσσης} =	16,68083	16:41
time _{ανατολής} =	7,319169	7:19

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.79 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για την 21^η Δεκεμβρίου

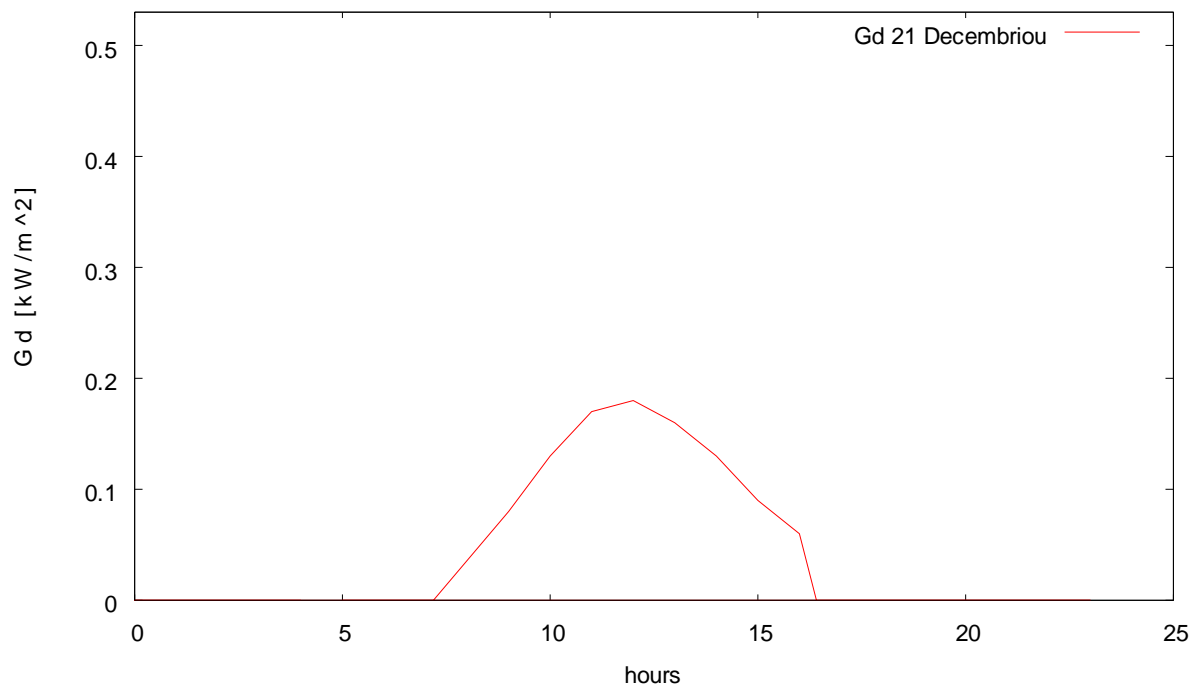
Time hrs	R_b	G_b [kW/m ²]	G_d [kW/m ²]	G_T [W/m ²]
05:00	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0
07:19	0	0	0	0
08:00	0	0	0	0
09:00	2,674	0,02	0,08	89,46
10:00	2,104	0,06	0,13	219,06
11:00	1,893	0,11	0,17	313,17
12:00	1,836	0,14	0,18	379,19
13:00	1,893	0,15	0,16	398,88
14:00	2,104	0,14	0,13	392,57
15:00	2,674	0,10	0,09	342,43
16:00	0	0	0	0
16:41	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0



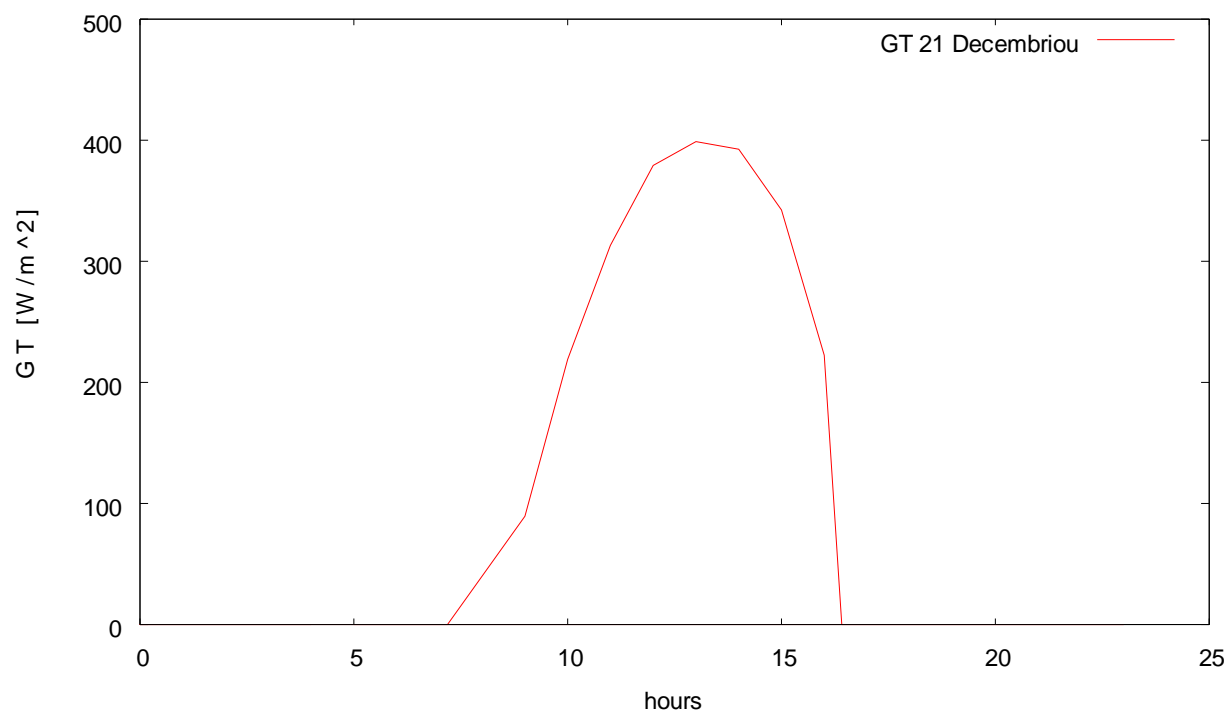
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.68 Διακύμανση του λόγου R_b της άμεσου ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου συναρτήσει των ωρών κατά 21^η Δεκεμβρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.69 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Δεκεμβρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.70 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κατακόρυφου τοίχου με νότιο προσανατολισμό συναρτήσει των ωρών κατά την 21^η Δεκεμβρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.71 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία 21^η Δεκεμβρίου

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Οι κώδικες που έχουμε κατασκευάσει για την εν λόγω εργασία έχουν χρονικό βήμα μιας (1) ώρας και δε λαμβάνουν υπόψη την ώρα ανατολής και δύσης του ηλίου. Προκειμένου λοιπόν να έχουμε μια ομοιομορφία θα λάβουμε υπόψη τις ώρες στρογγυλοποιημένες δίνοντας προσοχή όμως στο ΠΟΤΕ μηδενίζεται η ηλιακή ακτινοβολία. Υπάρχουν διαστήματα κατά την ανατολή και δύση του ηλίου στα οποία η ηλιακή ακτινοβολία έχει υποστεί απότομη μεταβολή και χάνεται στην ουσία μέσα σε αυτό το χρονικό βήμα της μιας ώρας, ενώ επιπλέον οι τύποι που χρησιμοποιήσαμε μας δίνουν πληροφορία από τις επτά (7:00) το πρωί μέχρι και τις έξι (18:00) το απόγευμα, ενώ για παράδειγμα τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούνιο και Ιούλιο έχουμε ακτινοβολία και στις 19:00, ενώ υπάρχουν και μήνες που έχουμε ανατολή του ηλίου πολύ πριν της 7:00 το πρωί. Γι' αυτό το λόγο και μόνο για αυτές τις περιπτώσεις θα τις θεωρήσουμε μηδενικές διότι είναι πάρα πολύ μικρές οι τιμές τους (παριστάνονται στον πίνακα με κίτρινο χρώμα).

Άρα ο πίνακας με τις τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας που διαμορφώνεται και τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.80 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κατά την 21^η κάθε μήνα του έτους

Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία G_T [W/m^2]												
Time [h]	21-Ιαν	21-Φεβ	21-Μαρ	21-Απρ	21-Μαί	21-Ιουν	21-Ιουλ	21-Αυγ	21-Σεπ	21-Οκτ	21-Νοε	21-Δεκ
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	27,18	0	0	0	0	0	40,3	0	0	0
8:00	0	71,69	118,2	146,51	158,37	162,49	163,09	158,4	141,3	102,85	25,17	0
9:00	106,29	164,77	209,85	237,83	247,54	251,63	257,29	260,34	247,63	209,36	142,61	89,46
10:00	222,67	263,64	299,42	320,76	325,95	329,46	340,28	352,41	348,84	319,12	264,44	219,06
11:00	307,98	338,33	366,52	380,25	379,21	380,75	396,39	418,75	426,54	406,09	358,11	313,17
12:00	365,74	388,41	409,16	412,45	401,24	397,72	417,79	453,33	477,47	469,99	427,68	379,19
13:00	382,21	399,46	412,63	405,7	385,78	378,21	401,13	445,59	481,4	484,02	447,45	398,88
14:00	378,66	386,13	385,59	365,33	337,88	327,79	351,26	398,28	439,51	451,51	428,79	392,57
15:00	326,09	327,04	318,21	290,75	260,25	249,42	272,63	321,03	367,9	389,58	376,43	342,43
16:00	232,74	245,96	231,12	195,52	161,84	150,31	171,59	216,8	261,84	282,65	262,67	0
17:00	0	92,85	122,61	0	0	0	0	105,92	140,46	0	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Βλέποντας συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα καταλαβαίνουμε ότι η σύγκριση δημιουργείται κυρίως τους θερινούς μήνες (Μάιο- Οκτώβριο) κατά τη διάρκεια των οποίων η μέρα διαρκεί περισσότερο και κατά συνέπεια έχουμε και ακτινοβολία έστω και χαμηλής τιμής πέρα των ωρών υπολογισμού. Βέβαια για να μην ξεφύγουμε στις τιμές τις θεωρούμε μηδενικές (κίτρινο χρώμα) εκτός όμως από το μήνα Ιούνιο όπου το πρώτο και το τελευταίο R_b βγήκαν αρνητικά, κρατώ τις τιμές της G_T όπως τις υπολόγισα με το EXCELL διότι είναι καλοκαίρι και οι τιμές τους δεν ήταν διόλου αμελητέες. Το ίδιο θεώρησα και για τον Αύγουστο στις 17:00.

Εφαρμόζοντας αυτές τις τιμές των ακτινοβολιών για το εμπορικό υλικό αλλαγής φάσης RT20 που μελετήσαμε αρχικά

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.81 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [°C]	T_1 [°C]	C_{p_s} [J/kg°C]	C_{p_l} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
15	26	1900	2500	132100	1019

και έχοντας σαν επιπλέον συνθήκες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.82 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
20	12	0,02

Με αυτά τα χαρακτηριστικά το ΥΑΦ RT20 αναπτύσσει τις παρακάτω θερμοκρασίες για κάθε μήνα χωριστά όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. Παρουσιάζονται επίσης και τα σχετικά διαγράμματα.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Σχετικά με τα διαγράμματα που ακολουθούν έχω αναφέρει πιο πάνω πως το πράσινο χρώμα αφορά την αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι τη μέγιστη ενώ η μπλε είναι το χρώμα με το οποίο παρουσιάζουμε την αντίστροφη πορεία. Παρατηρείται ότι σε κάποια διαγράμματα η αρχή της μπλε δε συμπίπτει ακριβώς με το τέλος της πράσινης. Αυτό προέκυψε μετά από τροποποιήσεις του κώδικα όπου παρέλειψα να δηλώσω σαν αρχικό σημείο της μπλε γραμμής τη μέγιστη θερμοκρασία και συνεπώς λαμβάνει υπόψη την επόμενη τιμή με αποτέλεσμα αν υπάρχει μεγάλη διαφορά σε χρονικό βήμα μιας ώρας φαίνεται να ξεκινάει να επανέρχεται από χαμηλότερη τιμή της μέγιστης.

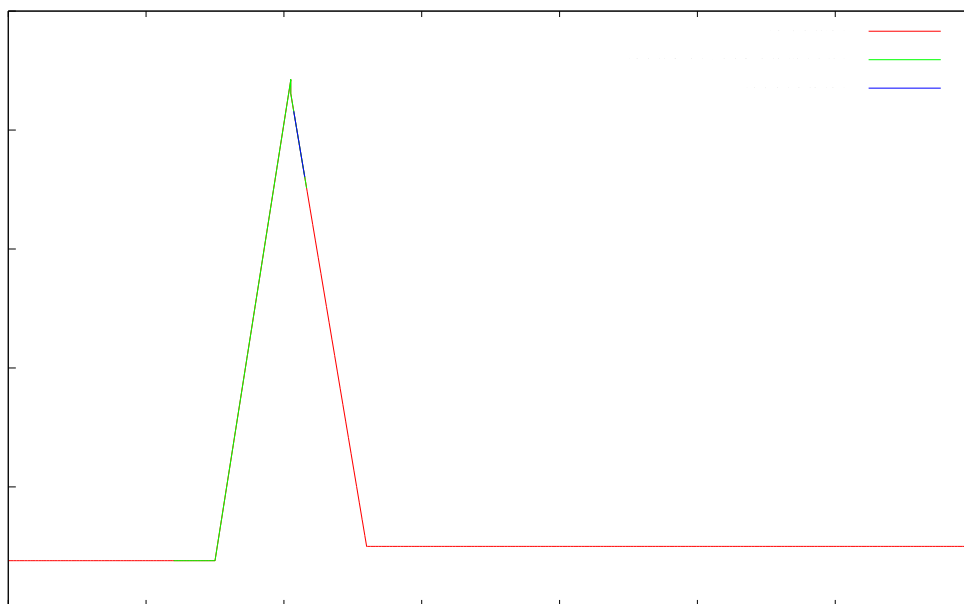
Στους πίνακες που ακολουθούν στην ουσία είναι οι τιμές στις οποίες βασίζονται τα διαγράμματα. Τα νούμερα έχουν παρασταθεί με τους χρωματισμούς που ακολουθούνται και στα διαγράμματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.83 Εξέλιξη της χρήσης του ΥΑΦ καθόλη τη διάρκεια του έτους.

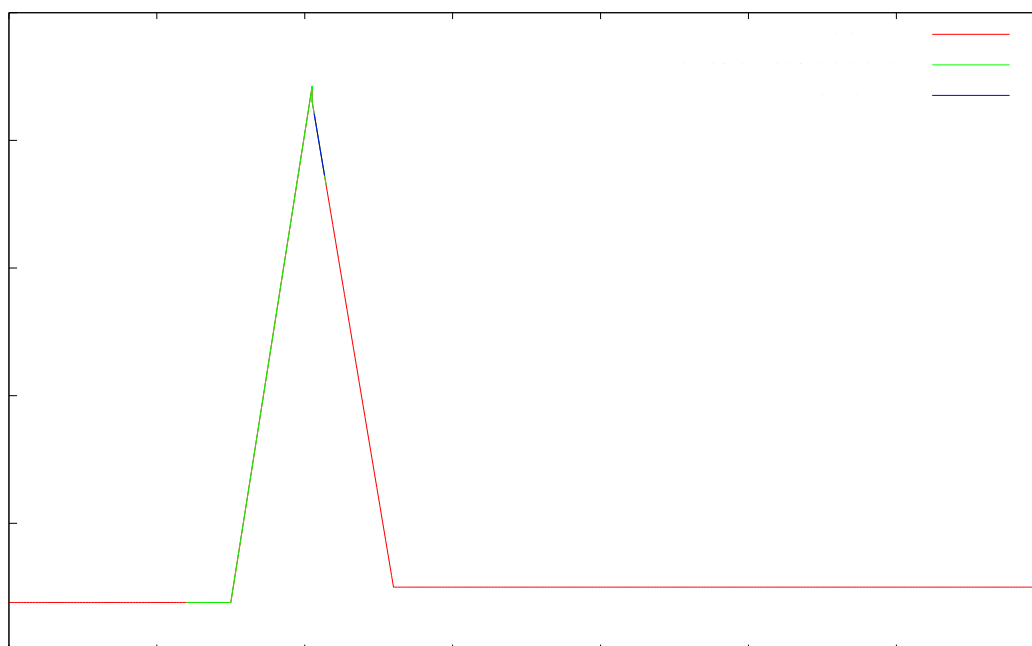
Time	21 Ιαν.		21 Φεβ.		21 Μαρ.		21 Απρ.		21 Μαί.		21 Ιουν.	
	T _{ΥΑΦ}	Cpeff	T _{ΥΑΦ}	Cpeff	T _{ΥΑΦ}	Cpeff	T _{ΥΑΦ}	Cpeff	T _{ΥΑΦ}	Cpeff	T _{ΥΑΦ}	Cpeff
5:00	12,00	1900,00	12,00	1900,00	12,00	1900,00	12,00	1900,00	12,00	1900,00	12,00	1900,00
6:00	17,95	12744,69	17,95	12744,69	17,95	12744,69	17,95	12744,69	17,95	12744,69	17,95	12744,69
7:00	18,18	13580,23	18,18	13580,23	18,23	13776,42	18,18	13580,23	18,18	13580,23	18,18	13580,23
8:00	18,37	14277,42	18,50	14763,04	18,63	15232,83	18,64	15269,87	18,66	15350,20	18,67	15378,11
9:00	18,71	15556,40	18,92	16317,86	19,10	16968,35	19,15	17166,32	19,19	17287,52	19,20	17333,82
10:00	19,19	17302,24	19,42	18147,26	19,62	18867,42	19,69	19141,54	19,72	19266,61	19,74	19322,47
11:00	19,70	19182,90	19,93	20028,39	20,13	20760,26	20,21	21053,02	20,24	21151,54	20,25	21205,20
12:00	20,20	21017,63	20,42	21830,14	20,61	21120,82	20,69	20873,69	20,70	20840,74	20,70	20812,01
13:00	20,64	21026,47	20,85	20300,12	21,06	19572,56	21,13	19352,56	21,11	19402,14	21,11	19404,85
14:00	21,05	19617,40	21,27	18859,35	21,48	18133,16	21,52	18003,44	21,47	18175,28	21,45	18222,96
15:00	21,39	18440,50	21,61	17687,59	21,80	17013,20	21,80	17017,58	21,71	17330,60	21,68	17428,21
16:00	21,60	17716,73	21,83	16928,49	21,99	16355,50	21,94	16540,70	21,81	17004,97	21,76	17153,74
17:00	21,47	18157,85	21,81	16981,34	22,01	16302,27	21,77	17113,66	21,66	17523,71	21,62	17655,72
18:00	21,36	18553,93	21,66	17502,76	21,83	16904,27	21,63	17620,13	21,52	17985,25	21,49	18103,25
19:00	21,25	18911,38	21,53	17966,56	21,68	17434,52	21,50	18071,42	21,40	18398,69	21,37	18504,78
20:00	21,16	19235,37	21,41	18381,89	21,54	17905,65	21,38	18476,15	21,29	18771,08	21,27	18866,94
21:00	21,07	19530,09	21,30	18755,92	21,42	18327,21	21,27	18841,05	21,20	19108,05	21,17	19195,02
22:00	21,00	19799,05	21,20	19094,30	21,31	18706,57	21,18	19171,52	21,11	19414,16	21,09	19493,33
23:00	20,93	20045,15	21,11	19401,65	21,21	19049,58	21,09	19471,94	21,03	19693,16	21,01	19765,46
0:00	20,86	20270,88	21,03	19681,74	21,12	19360,96	21,01	19745,92	20,95	19948,19	20,93	20014,38
1:00	20,80	20478,37	20,96	19937,73	21,04	19644,61	20,94	19996,49	20,89	20181,88	20,87	20242,64
2:00	20,75	20669,43	20,89	20172,30	20,97	19903,76	20,87	20226,21	20,82	20396,51	20,81	20452,38
3:00	20,69	20845,66	20,83	20387,70	20,90	20141,13	20,81	20437,27	20,77	20594,01	20,75	20645,48
4:00	20,65	21008,46	20,77	20585,89	20,84	20359,05	20,76	20631,56	20,71	20776,07	20,70	20823,56

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.83

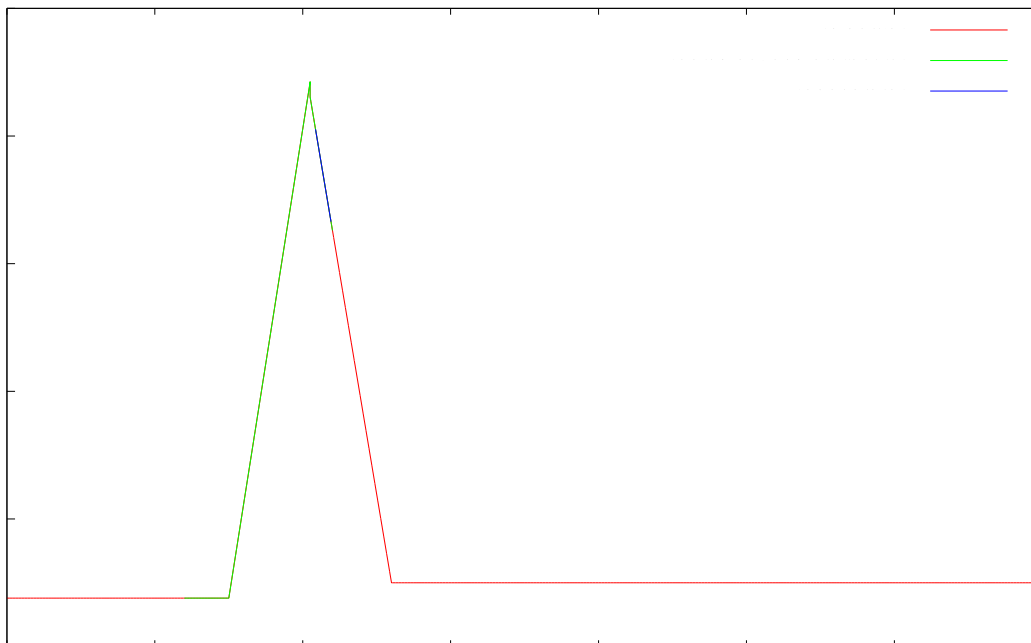
Time	21 Ιουλ.		21 Αυγ.		21 Σεπ.		21 Οκτ.		21 Νοε.		21 Δεκ.	
	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff
5:00	12,00	1900,00	12,00	1900,00	12,00	1900,00	12,00	1900,00	12,00	1900,00	12,00	1900,00
6:00	17,95	12744,69	17,95	12744,69	17,95	12744,69	17,95	12744,69	17,95	12744,69	17,95	12744,69
7:00	18,18	13580,23	18,31	14059,87	18,26	13871,12	18,18	13580,23	18,18	13580,23	18,18	13580,23
8:00	18,67	15382,18	18,76	15721,45	18,69	15461,13	18,56	14974,12	18,41	14447,92	18,37	14277,42
9:00	19,21	17370,84	19,29	17654,54	19,21	17374,95	19,04	16761,03	18,82	15926,38	18,69	15447,96
10:00	19,76	19409,54	19,84	19700,98	19,78	19458,16	19,60	18809,19	19,34	17840,10	19,16	17194,48
11:00	20,29	21351,61	20,39	21697,82	20,34	21534,38	20,17	20905,79	19,89	19879,95	19,69	19123,55
12:00	20,76	20612,79	20,88	20192,56	20,87	20226,15	20,72	20753,06	20,44	21887,41	20,20	21033,06
13:00	21,20	19106,71	21,37	18496,84	21,41	18377,70	21,26	18904,74	20,92	20063,89	20,67	20945,47
14:00	21,57	17822,14	21,81	16996,54	21,90	16682,70	21,76	17162,68	21,39	18438,81	21,09	19478,95
15:00	21,83	16928,60	22,13	15881,84	22,29	15330,51	22,18	15699,47	21,79	17040,78	21,45	18231,15
16:00	21,93	16578,96	22,28	15355,97	22,51	14582,33	22,44	14820,96	22,03	16221,65	21,34	18619,95
17:00	21,76	17147,34	22,24	15485,30	22,50	14588,53	22,20	15624,38	21,85	16833,67	21,24	18971,12
18:00	21,62	17650,04	22,09	16022,13	22,26	15427,26	22,01	16313,82	21,70	17372,07	21,14	19289,64
19:00	21,49	18098,16	21,91	16659,37	22,05	16143,57	21,83	16914,40	21,56	17849,98	21,06	19579,56
20:00	21,37	18500,21	21,74	17218,19	21,87	16765,39	21,68	17443,48	21,44	18277,26	20,98	19844,27
21:00	21,27	18862,80	21,60	17713,00	21,72	17311,73	21,54	17913,65	21,33	18661,51	20,91	20086,59
22:00	21,17	19191,26	21,47	18154,51	21,58	17796,23	21,42	18334,39	21,23	19008,76	20,85	20308,94
23:00	21,09	19489,92	21,36	18550,92	21,45	18229,07	21,31	18713,04	21,13	19323,85	20,79	20513,39
0:00	21,01	19762,34	21,25	18908,66	21,34	18618,08	21,21	19055,44	21,05	19610,75	20,74	20701,71
1:00	20,94	20011,52	21,16	19232,90	21,24	18969,43	21,12	19366,30	20,98	19872,79	20,69	20875,47
2:00	20,87	20240,01	21,08	19527,84	21,14	19288,10	21,04	19649,48	20,91	20112,74	20,64	21036,01
3:00	20,81	20449,96	21,00	19796,99	21,06	19578,16	20,97	19908,21	20,84	20332,96	20,60	21184,55
4:00	20,75	20643,25	20,93	20043,27	20,98	19842,98	20,90	20145,22	20,78	20535,50	20,56	21322,13



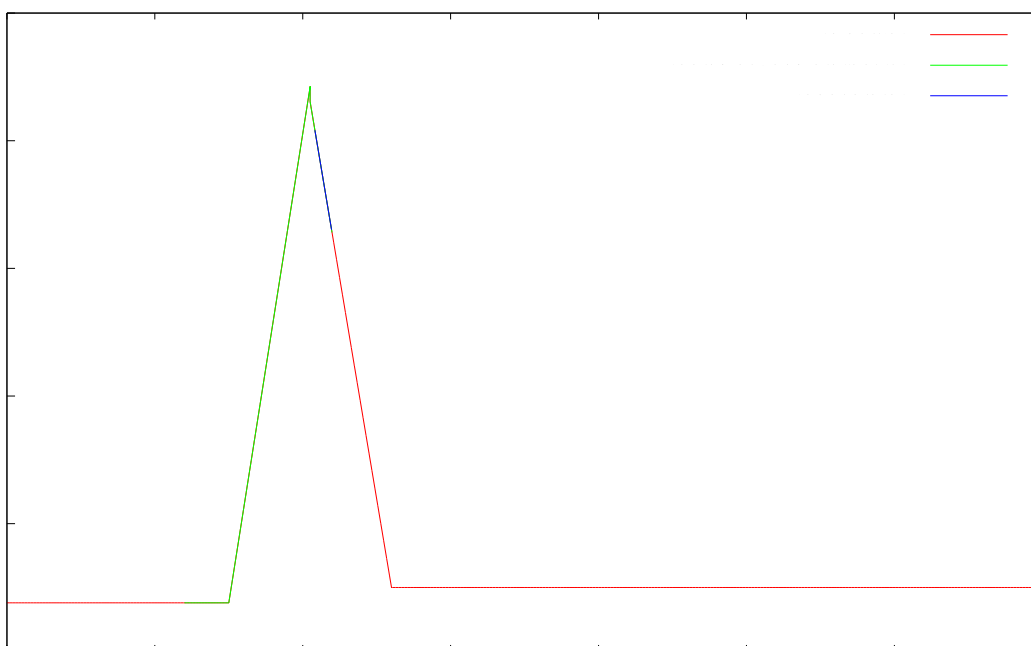
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.72 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Ιανουαρίου



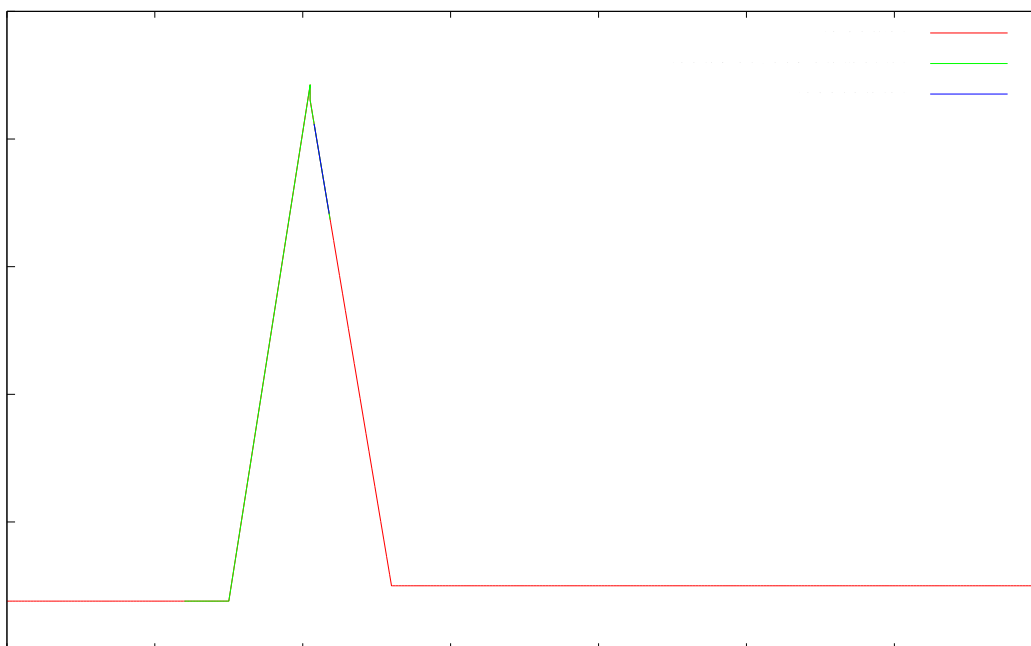
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.73 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Φεβρουαρίου



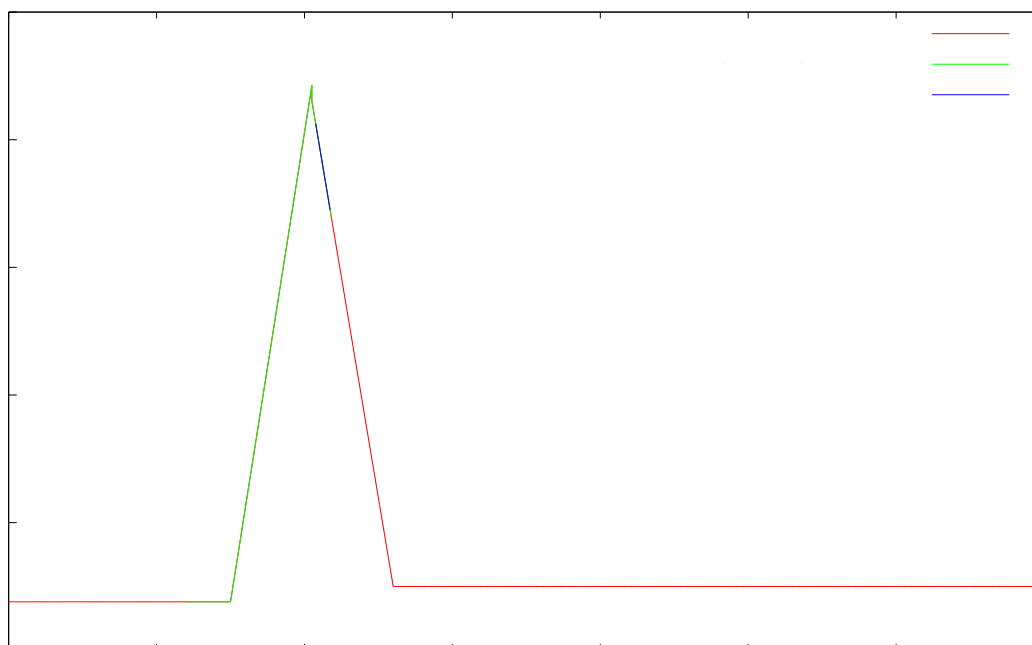
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.74 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Μαρτίου



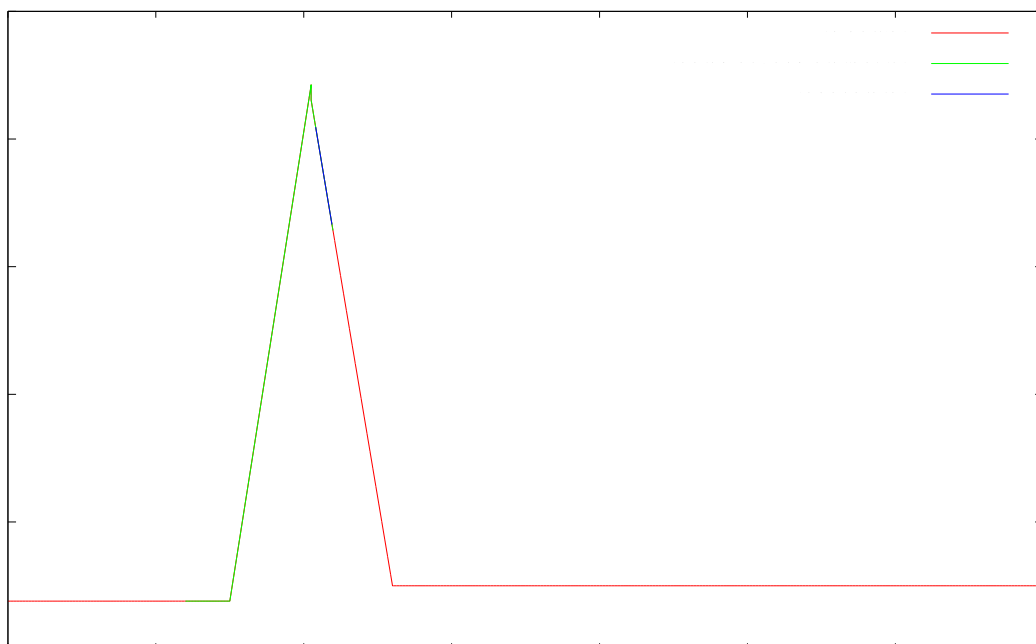
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.75 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Απριλίου



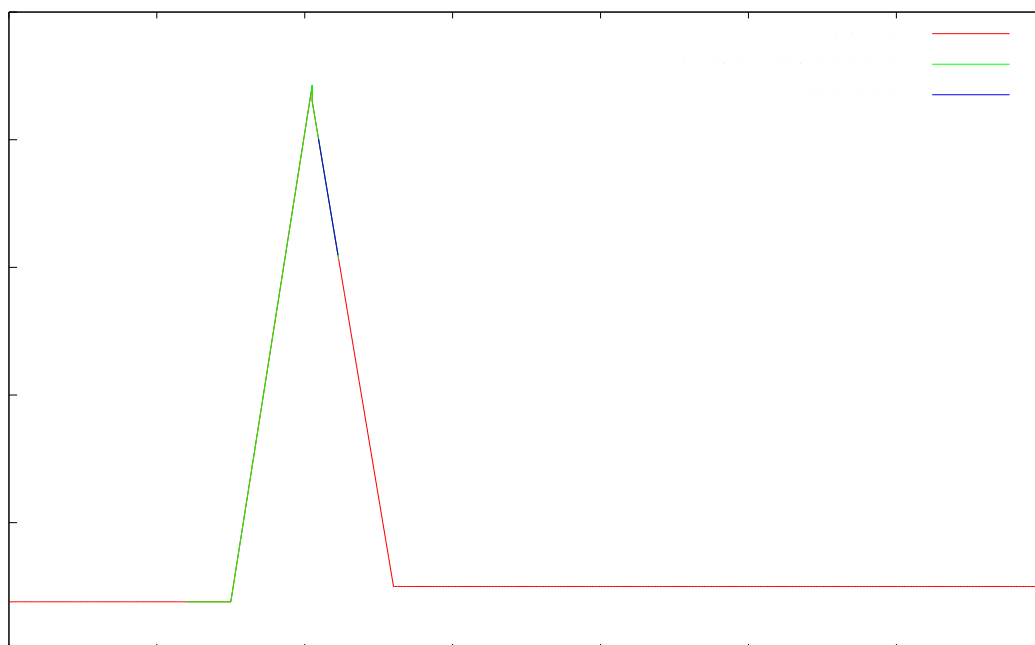
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.76 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Μαΐου



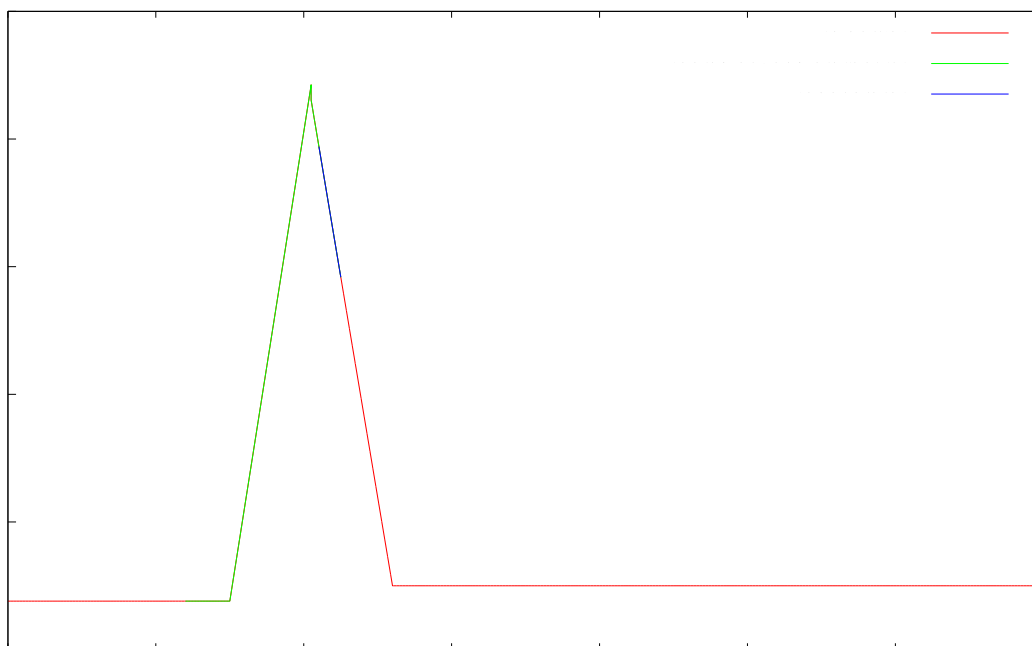
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.77 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Ιουνίου



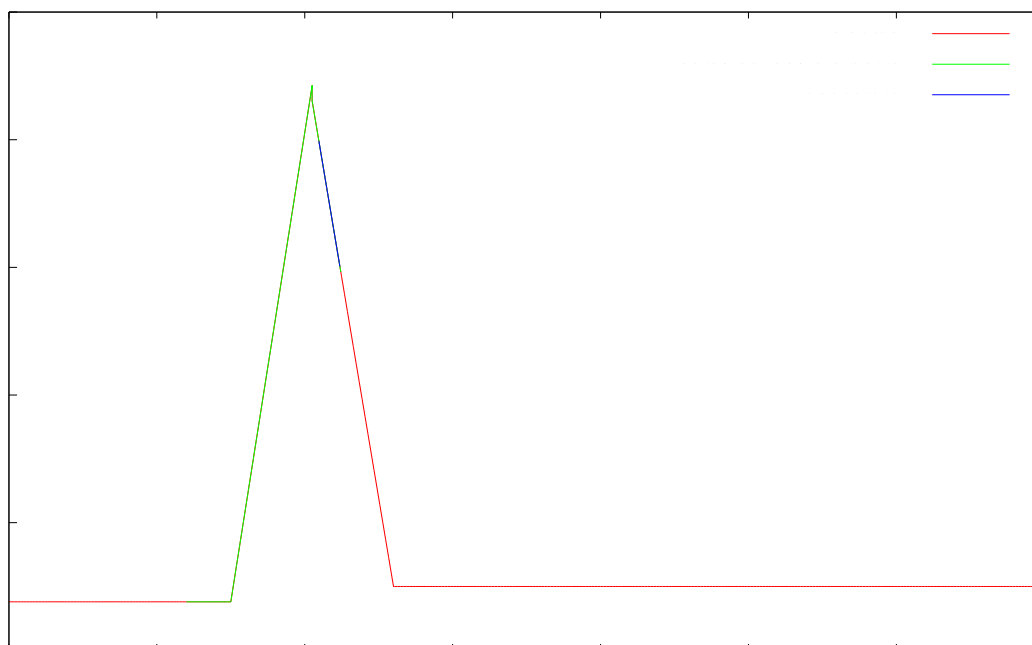
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.78 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Ιουλίου



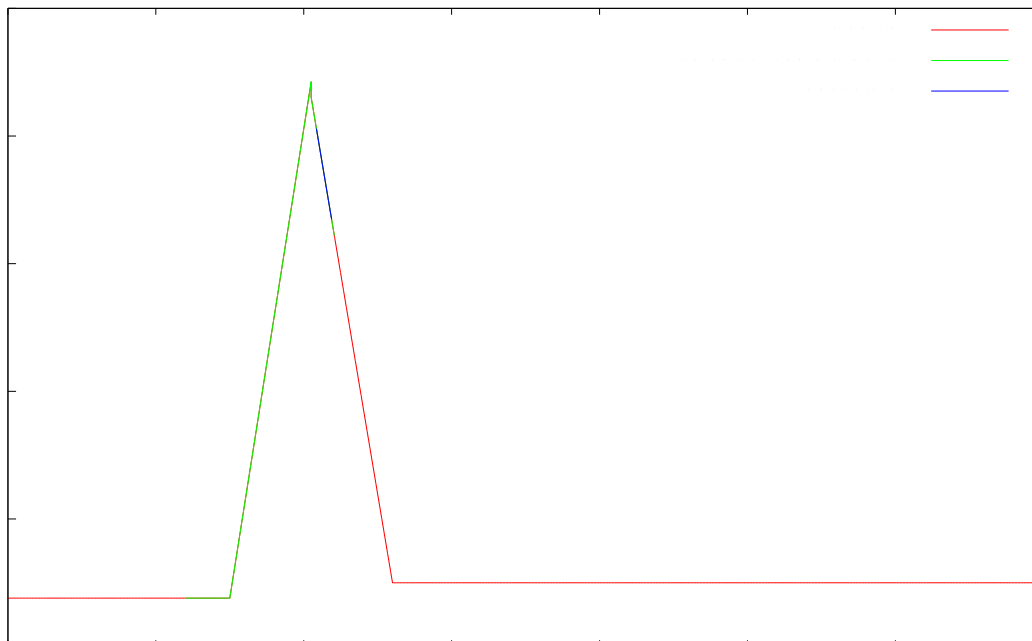
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.79 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Αυγούστου



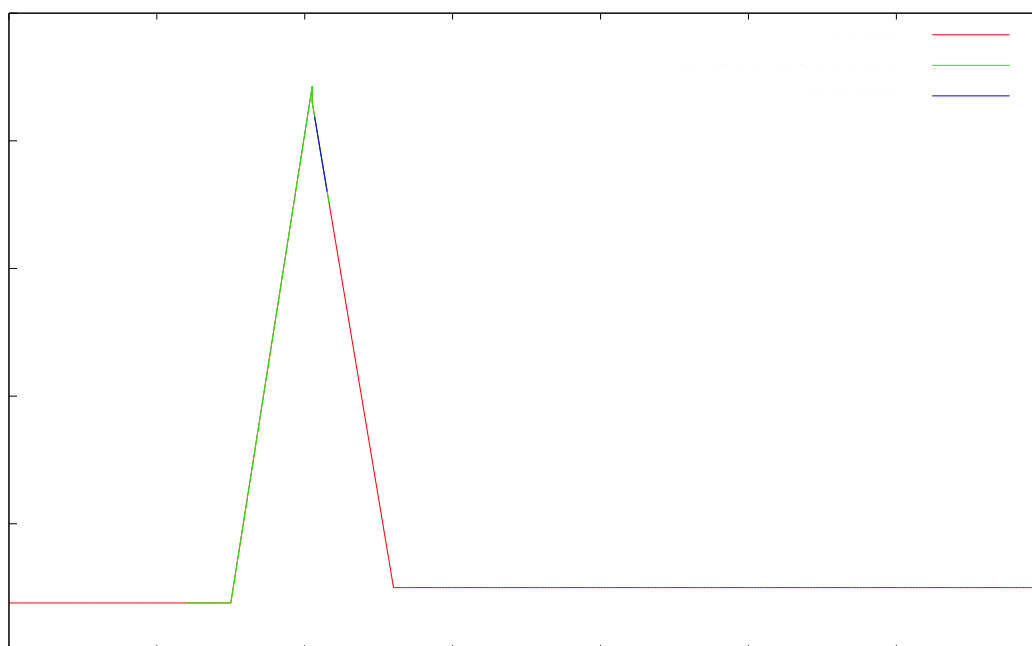
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.80 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Σεπτεμβρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.81 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Οκτωβρίου

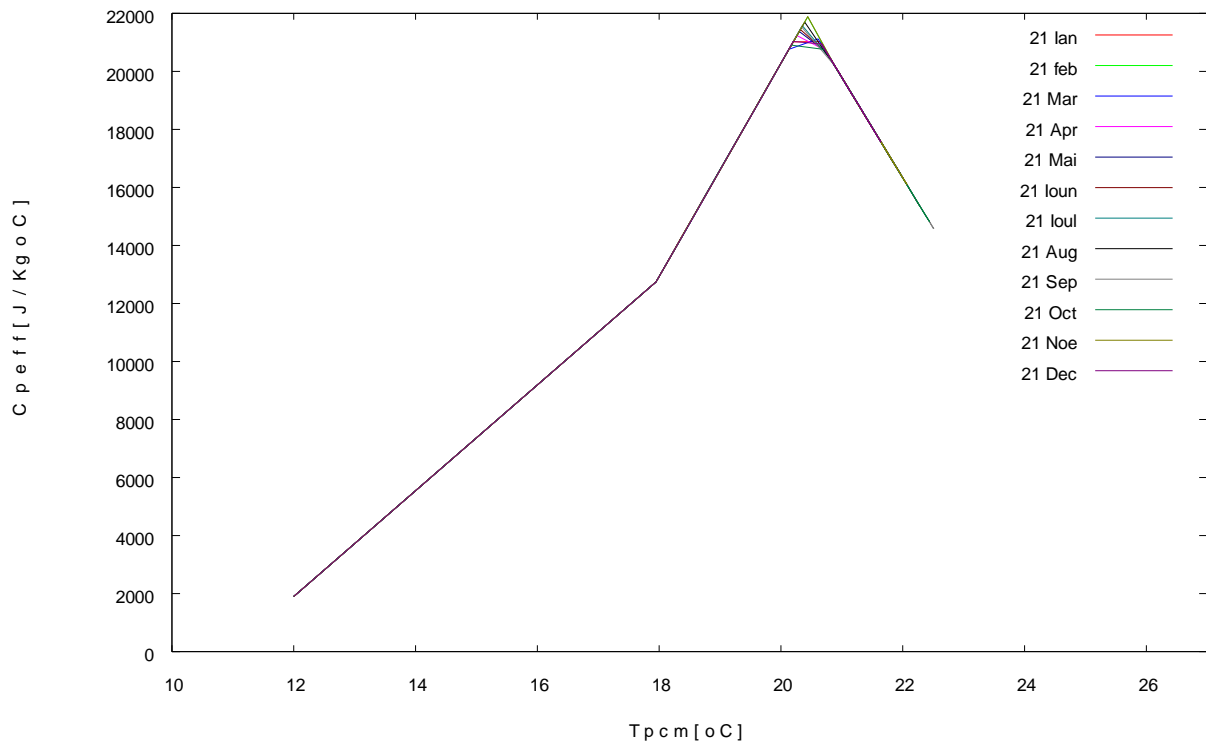


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.82 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Νοεμβρίου



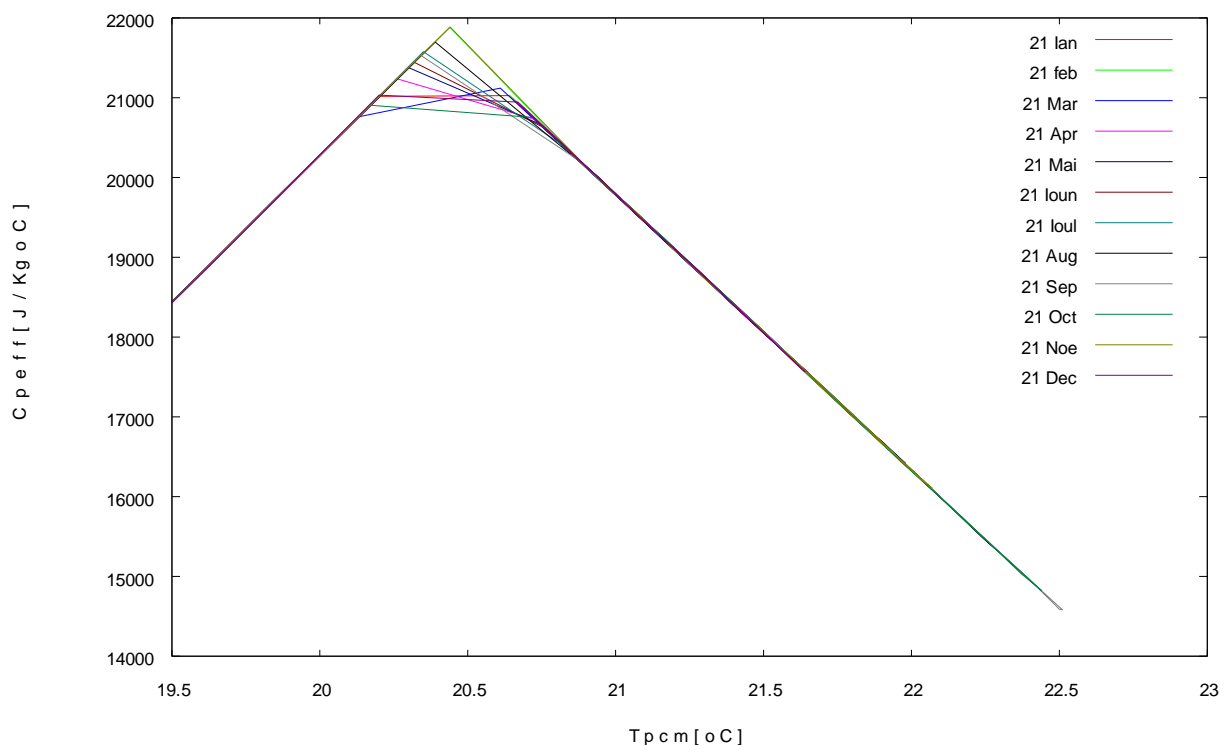
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.83 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ 21^η Δεκεμβρίου

Στα διαγράμματα που προηγήθηκαν δεν είναι τόσο ορατή η διαφορά που υπάρχει από μήνα σε μήνα. Ασφαλώς υπάρχει μια διαφορά μεταξύ καλοκαιρινών και χειμερινών μηνών αλλά καθόλη τη διάρκεια του κύκλου δεν πετυχαίνεται ο πλήρης κύκλος. Παρακάτω παρουσιάζουμε όλα τα διαγράμματα σε ένα για καλύτερη κατανόηση.



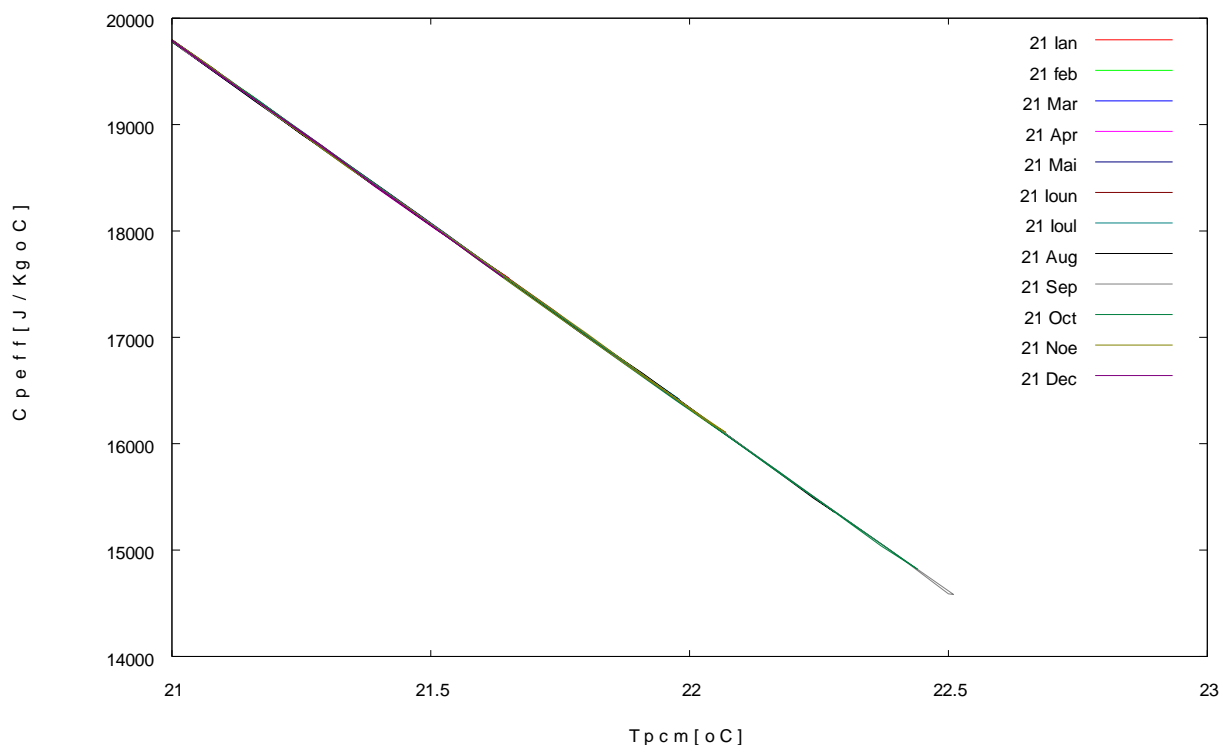
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.84 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ . Παρουσιάζονται μαζί οι καμπύλες όλου του έτους.

Ο λόγος που φαίνεται αυτό το «σπάσιμο» στο διάγραμμα είναι επειδή δεν έχω χρησιμοποιήσει τα αποτελέσματα από τους κώδικες 2 και 3 με αποτέλεσμα τα σημεία που μου δίνονται για βήμα μιας ώρας να έχουν διαφορά μεταξύ τους ωστόσο φαίνεται ότι ακολουθείται η βασική δομή που είναι το τρίγωνο. Στα σημεία που βλέπουμε ουσιαστικές διαφορές είναι η κορυφή του τριγώνου και το τελείωμα των μεταβολών τα οποία παρουσιάζουμε στη συνέχεια.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.85 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ . Εστίαση στην κορυφή.

Το μέγιστο παρουσιάζεται πολύ κοντά σε όλες τις καμπύλες ωστόσο υπάρχει μια κάποια διαφορά



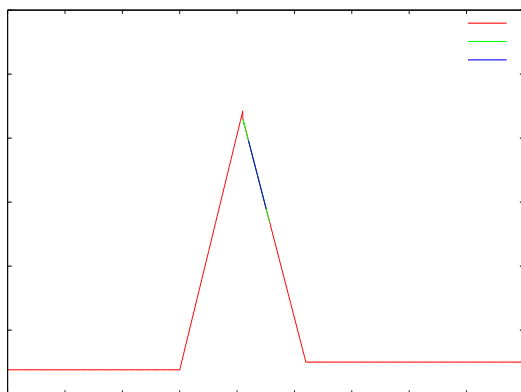
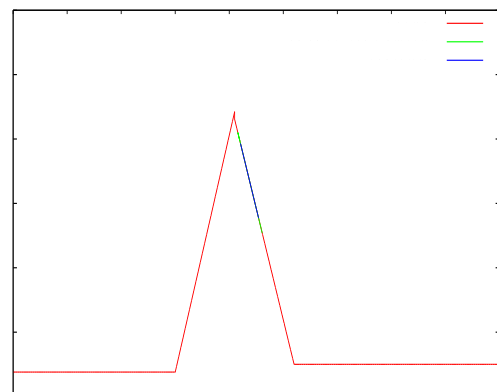
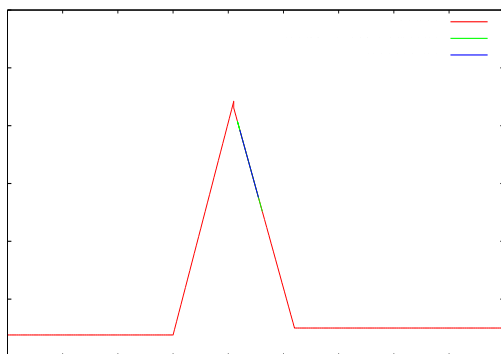
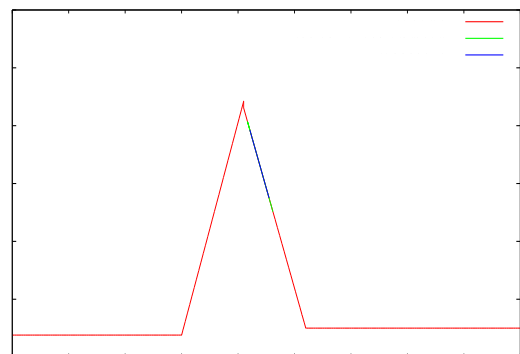
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.86 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του ΥΑΦ. Τελείωμα των μεταβολών.

Εδώ παρόλο που έχουμε εστιάσει δεν είναι καθόλου εμφανής το που φτάνει η κάθε μεταβολή. Γι' αυτό άλλωστε έχουμε εξαρχής παραθέσει τους πίνακες. Στην περίπτωση που θέλουμε να δούμε πως μεταβάλλεται η θερμοχωρητικότητα του υλικού τις επόμενες μέρες συναρτήσει της θερμοκρασίας θεωρώντας ότι η 21^η κάθε μήνα είναι χαρακτηριστική ημέρα κάθε μήνα τότε για τον Ιανουάριο έχουμε την ακόλουθη κατάσταση:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.84 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ RT20 συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $x=2\text{cm}$ τα επόμενα 24ωρα του μήνα Ιανουαρίου.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα		5 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	20,65	20999,50	20,99	19813,46	21,04	19650,94	21,05	19630,20
6:00	20,61	21150,76	20,92	20058,36	20,97	19909,55	20,97	19890,57
7:00	20,57	21290,82	20,86	20283,01	20,90	20146,45	20,90	20129,04
8:00	20,53	21420,67	20,80	20489,53	20,83	20363,94	20,84	20347,94
9:00	20,62	21111,79	20,87	20230,83	20,91	20112,36	20,91	20097,28
10:00	20,84	20342,06	21,09	19489,12	21,12	19374,61	21,12	19360,03
11:00	21,16	19233,78	21,40	18394,19	21,44	18281,56	21,44	18267,22
12:00	21,55	17883,22	21,79	17046,48	21,83	16934,25	21,83	16919,97
13:00	21,96	16457,69	22,21	15620,34	22,24	15508,03	22,24	15493,73
14:00	22,37	15049,75	22,61	14212,68	22,65	14100,41	22,65	14086,12
15:00	22,69	13944,56	22,93	13125,63	22,96	13015,95	22,96	13002,00
16:00	22,84	13443,05	23,06	12681,00	23,09	12579,48	23,09	12566,58
17:00	22,54	14473,66	22,72	13858,47	22,74	13777,86	22,74	13767,63

18:00	22,29	15330,27	22,44	14815,83	22,46	14749,09	22,46	14740,63
19:00	22,08	16060,05	22,21	15620,01	22,22	15563,31	22,22	15556,13
20:00	21,90	16692,45	22,01	16310,04	22,02	16261,00	22,02	16254,79
21:00	21,74	17247,35	21,83	16911,09	21,84	16868,12	21,85	16862,69
22:00	21,59	17738,94	21,68	17440,55	21,69	17402,53	21,69	17397,72
23:00	21,47	18177,74	21,54	17911,04	21,55	17877,13	21,55	17872,85
0:00	21,35	18571,84	21,42	18332,04	21,43	18301,62	21,43	18297,77
1:00	21,25	18927,58	21,31	18710,93	21,32	18683,48	21,32	18680,01
2:00	21,16	19250,08	21,21	19053,52	21,22	19028,66	21,22	19025,52
3:00	21,07	19543,50	21,12	19364,55	21,13	19341,94	21,13	19339,08
4:00	20,99	19811,30	21,04	19647,88	21,05	19627,25	21,05	19624,65

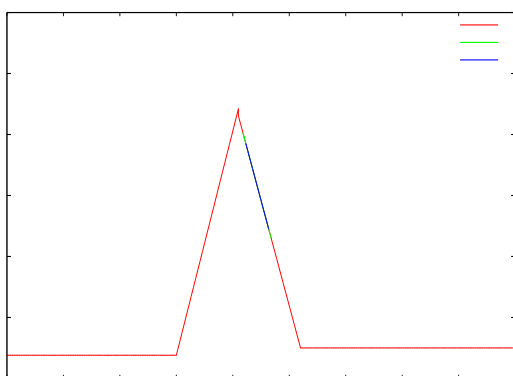
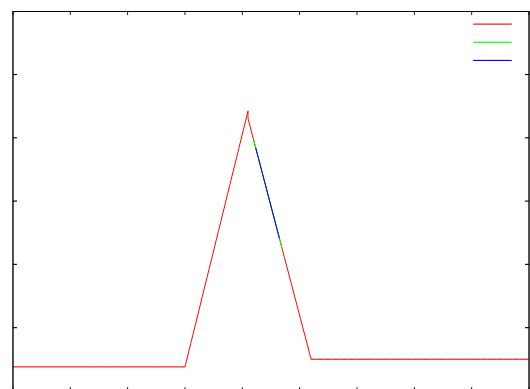
2^η3^η4^η5^η

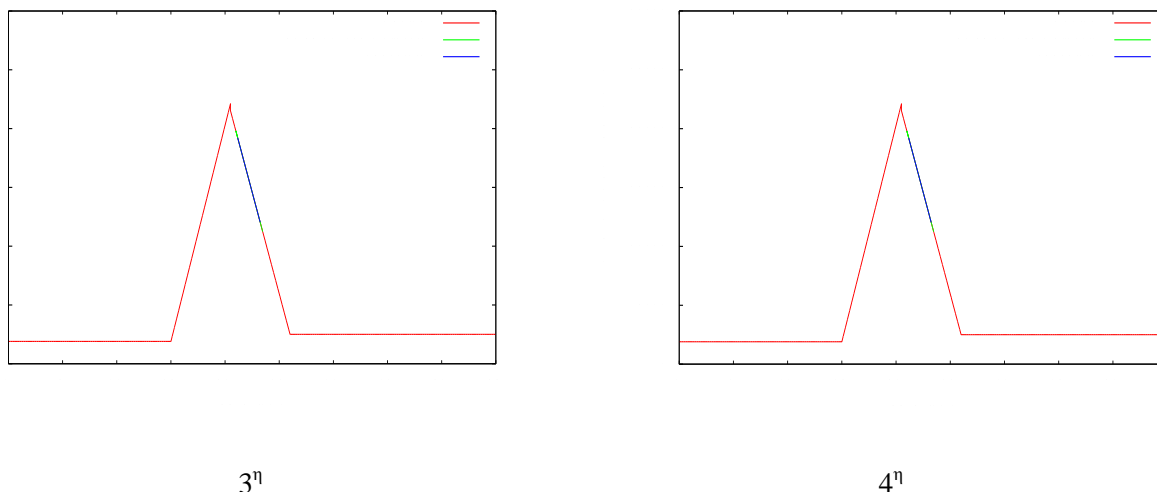
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.87 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας YAΦ για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $\kappa=2\text{cm}$ για το μήνα Ιανουάριο την 2^η, 3^η, 4^η και 5^η μέρα.

Παρατηρούμε πως ήδη όπως έχει γίνει αντιληπτό μέσα στα πρώτα τέσσερα 24ωρα το υλικό μπαίνει σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή το υλικό βρίσκεται στη διφασική περιοχή και κινείται σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών γύρω στους $(20-22)^{\circ}\text{C}$ μη μπορώντας να αξιοποιήσουμε τις δυνατότητες του. Θεωρώντας όπως είπαμε αυτή τη κατάσταση χαρακτηριστική για όλο το μήνα Ιανουάριο, με την εισοδο του μήνα Φεβρουαρίου θα έχουμε σαν αρχικές συνθήκες αυτές της μόνιμης κατάστασης του τελευταίου (Ιανουαρίου). Συνεπώς ας δούμε μερικώς ποια θα είναι η εξέλιξη τον επόμενο μήνα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.85 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ RT20 συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $x=2\text{cm}$ τα επόμενα 24ωρα του μήνα Φεβρουαρίου.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	1 ^η μέρα		2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	21,05	19616,36	21,15	19270,58	21,16	19236,00	21,16	19236,00
6:00	20,97	19877,92	21,07	19562,19	21,07	19530,67	21,07	19530,67
7:00	20,91	20117,44	20,99	19828,38	21,00	19799,58	21,00	19799,58
8:00	20,93	20028,92	21,01	19759,17	21,02	19732,32	21,02	19732,32
9:00	21,07	19544,13	21,15	19287,05	21,15	19261,48	21,15	19261,48
10:00	21,33	18644,61	21,40	18394,38	21,41	18369,51	21,41	18369,51
11:00	21,68	17423,24	21,76	17175,62	21,76	17151,00	21,76	17151,00
12:00	22,11	15966,59	22,18	15718,34	22,18	15693,66	22,18	15693,66
13:00	22,55	14446,09	22,62	14196,14	22,62	14171,29	22,62	14171,29
14:00	22,97	12994,13	23,04	12743,50	23,04	12718,58	23,04	12718,58
15:00	23,27	11931,33	23,34	11687,60	23,35	11663,38	23,35	11663,38
16:00	23,40	11487,77	23,47	11264,25	23,47	11242,09	23,47	11242,09
17:00	23,18	12234,94	23,24	12054,29	23,24	12036,47	23,24	12036,47
18:00	22,82	13506,86	22,86	13366,45	22,86	13352,66	22,86	13352,66
19:00	22,52	14525,93	22,56	14411,07	22,56	14399,82	22,56	14399,82
20:00	22,28	15374,36	22,30	15277,53	22,31	15268,06	22,31	15268,06
21:00	22,07	16097,99	22,09	16014,70	22,09	16006,57	22,09	16006,57
22:00	21,89	16725,57	21,91	16652,90	21,91	16645,81	21,91	16645,81
23:00	21,73	17276,58	21,75	17212,48	21,75	17206,22	21,75	17206,22
0:00	21,59	17764,94	21,60	17707,92	21,60	17702,36	21,60	17702,36
1:00	21,46	18201,03	21,47	18149,97	21,48	18144,99	21,48	18144,99
2:00	21,35	18592,82	21,36	18546,83	21,36	18542,35	21,36	18542,35
3:00	21,24	18946,57	21,26	18904,96	21,26	18900,91	21,26	18900,91
4:00	21,15	19267,33	21,16	19229,54	21,16	19225,86	21,16	19225,86

1^η2^η



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.88 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $\kappa=2\text{cm}$ για το μήνα Φεβρουάριο την 1^η, 2^η, 3^η και 4^η μέρα.

Όπως αντιλαμβανόμαστε η κατάσταση δε διαφέρει πάρα πολύ από την αντίστοιχη του Ιανουαρίου, ωστόσο έχουμε μια άνοδο στη θερμοκρασία κατά 2°C . Αυτό σημαίνει πως με την πάροδο των μηνών όσο πλησιάζει το καλοκαίρι το υλικό θα τείνει να μπει στην περιοχή υγρή φάσης. Παρόλα αυτά δεν είναι, όπως μπορούμε να αντιληφθούμε, μια χρήσιμη εφαρμογή αφού δεν έχουμε ουσιαστική αξιοποίηση του υλικού μας. Γι αυτό το λόγο δε θα παρουσιάσουμε την εξέλιξη του τους επόμενους μήνες ενώ θα συνεχίσουμε τη μελέτη μας για μια καλύτερη και γενικότερη εφαρμογή για όλητη διάρκεια του έτους.

Στην πορεία θα εξετάσουμε ΑΝ μπορούμε να καλύψουμε όσο το δυνατό μεγαλύτερο μέρος της καμπύλης της ενεργού θερμοχωρητικότητας σε όλη τη διάρκεια του έτους. Στην τελευταία εφαρμογή παρατηρήσαμε ότι σύμφωνα με τις θερμοκρασίες που αναπτύσσει το εν λόγω ΥΑΦ μέσα στο έτος η μέγιστη που επιτυγχάνεται είναι γύρω στους $20-24^{\circ}\text{C}$. Για να κάνω πλήρη αξιοποίηση του κύκλου ή όσο γίνεται μεγαλύτερη πρέπει να μεταβάλλω τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το υλικό μου, δηλαδή στην ουσία να αλλάξω υλικό (το οποίο όπως έχω προαναφέρει είναι εφικτό μέσα από την μίξη διάφορων παραφινών εργαστηριακά) ή να αλλάξω το πάχος της μόνωσης. Εφόσον στόχος αυτού του σεναρίου είναι να έχουμε τη βέλτιστη χρήση για πραγματικές και λογικές τιμές θα θεωρήσω στη συνέχεια για τη θερμοκρασία δωματίου ότι κυμαίνεται στους $(18-20)^{\circ}\text{C}$ τους χειμερινούς μήνες και $(23-26)^{\circ}\text{C}$ τους καλοκαιρινούς. Το πάχος της μόνωσης θα θεωρηθεί 1cm για να έχω πιο γρήγορες μεταβολές όπως αποδείξαμε προηγουμένως. Η θερμοκρασία του ΥΑΦ στην αρχή δεν διαδραματίζει τόσο πολύ σημαντικό ρόλο αρκεί να είναι μικρότερη κατά κανόνα από την διφασική περιοχή για να κάνει αυτή την μετάβαση. Από τα χαρακτηριστικά του ΥΑΦ λίγο ρόλο παίζουν η πυκνότητα, οι θερμοχωρητικότητες της στερεάς και της υγρής φάσης καθώς και το Η. Βασικό είναι να προσδιορίσουμε το καλύτερο δυνατό εύρος θερμοκρασιών αλλαγής φάσης. Ας δούμε όμως όλα αυτά στη συνέχεια με πίνακες και διαγράμματα.

Για λόγους πληρότητας της εργασίας παραθέτω και εδώ τον πίνακα με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η κάθε μήνα (χαρακτηριστική μέρα που επελέγη).

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.86 Τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας για μια χαρακτηριστική ημέρα κάθε μήνα του έτους

Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία G_T [W/m^2]												
Time [h]	21-Ιαν	21-Φεβ	21-Μαρ	21-Απρ	21-Μαί	21-Ιουν	21-Ιουλ	21-Αυγ	21-Σεπ	21-Οκτ	21-Νοε	21-Δεκ
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	27,18	0	0	0	0	0	40,3	0	0	0
8:00	0	71,69	118,2	146,51	158,37	162,49	163,09	158,4	141,3	102,85	25,17	0
9:00	106,29	164,77	209,85	237,83	247,54	251,63	257,29	260,34	247,63	209,36	142,61	89,46
10:00	222,67	263,64	299,42	320,76	325,95	329,46	340,28	352,41	348,84	319,12	264,44	219,06
11:00	307,98	338,33	366,52	380,25	379,21	380,75	396,39	418,75	426,54	406,09	358,11	313,17
12:00	365,74	388,41	409,16	412,45	401,24	397,72	417,79	453,33	477,47	469,99	427,68	379,19
13:00	382,21	399,46	412,63	405,7	385,78	378,21	401,13	445,59	481,4	484,02	447,45	398,88
14:00	378,66	386,13	385,59	365,33	337,88	327,79	351,26	398,28	439,51	451,51	428,79	392,57

15:00	326,09	327,04	318,21	290,75	260,25	249,42	272,63	321,03	367,9	389,58	376,43	342,43
16:00	232,74	245,96	231,12	195,52	161,84	150,31	171,59	216,8	261,84	282,65	262,67	0
17:00	0	92,85	122,61	0	0	0	0	105,92	140,46	0	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Έχοντας ήδη κάνει μια σχετική έρευνα πάνω στις τιμές των χαρακτηριστικών του ΥΑΦ που ευνοούν τον πλήρη κύκλο θέτω εξαρχής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.87 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [°C]	T_1 [°C]	C_{ps} [J/kg°C]	C_{pi} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
-	-	1900	2000	82100	996

Και συνθήκες :

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.88 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
-	-	0,01

Με μπλε χρώμα παρουσιάζω μόνο όσα στοιχεία παίζουν καθοριστικό ρόλο και αυτά θα είναι τα οποία θα εξετάσω περαιτέρω για όλους τους μήνες ώστε να πάρω το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Είναι πολύ σημαντικό να σημειώσουμε πως εφόσον δε διαθέτουμε κάποια επιπλέον πηγή θερμότητας ή ψύξης το ΥΑΦ καθώς επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση θα ισορροπήσει στις συνθήκες του δωματίου. Συνεπώς ο συνδυασμός εύρους θερμοκρασιών αλλαγής φάσης και θερμοκρασίας δωματίου είναι ο πλέον κρίσιμος για να έχουμε τον πλήρη κύκλο του ΥΑΦ ή έστω το βέλτιστο αποτέλεσμα καθόλη τη διάρκεια του έτους. Γι αυτό καλό θα ήταν να κινηθούμε στις μέσες τιμές θερμοκρασιών του έτους. Για παράδειγμα το χειμώνα θα ήταν ιδανικό να έχουμε ένα εύρος θερμοκρασιών αλλαγής φάσης σε αρκετά χαμηλά επίπεδα θερμοκρασιών, ενώ το καλοκαίρι σε υψηλά. Δε γίνεται όμως να αλλάζουμε υλικό ανάλογα με την περίοδο εφόσον αυτό αποτελεί δομικό στοιχείο. Συνεπώς θεωρώ ένα πολύ μικρό εύρος (όσο πιο μικρό είναι τόσο πιο εφικτή είναι η ολοκλήρωση της αλλαγής φάσης) της τάξης του 1°C και θα κινηθώ περίπου στους 22-23°C μιας και τη καλοκαιρινή περίοδο έχουμε ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες.

Για αρχή λοιπόν:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.89 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [°C]	T_1 [°C]	C_{ps} [J/kg°C]	C_{pi} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
22	23	1900	2000	82100	996

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.90 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

$T_{περ}$ [°C]	$T_{γαφ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
-	16	0,01

Ακολουθεί κατά τμήματα η ανάλυση για όλο το έτος (με κόκκινο είναι οι ανεπιτυχείς εφαρμογές και με γαλάζιο οι επιτυχείς):

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.91 Εξέλιξη της χρήσης του ΥΑΦ καθόλη τη διάρκεια του έτους

Παράμετρος	21 Ιαν.					
	Τδωμ					
	18		19		20	
Time	$T_{γαφ}$	Cpeff	$T_{γαφ}$	Cpeff	$T_{γαφ}$	Cpeff
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00
6:00	19,04	1900,00	20,57	1900,00	22,09	29972,54
7:00	17,46	1900,00	18,18	1900,00	21,89	1900,00
8:00	18,28	1900,00	19,43	1900,00	19,02	1900,00
9:00	20,72	1900,00	21,64	1900,00	23,38	2000,00
10:00	22,58	135466,14	23,62	2000,00	24,19	2000,00
11:00	22,60	129513,62	24,82	2000,00	26,01	2000,00
12:00	22,64	116103,73	25,77	2000,00	26,68	2000,00
13:00	22,70	99151,68	25,77	2000,00	26,81	2000,00
14:00	22,76	80383,10	25,68	2000,00	26,66	2000,00
15:00	22,79	68636,83	24,37	2000,00	25,38	2000,00
16:00	22,76	77688,33	22,56	141721,75	23,56	2000,00
17:00	22,59	134497,78	22,49	159476,85	18,41	1900,00
18:00	22,49	158404,55	22,43	139169,91	20,83	1900,00
19:00	22,41	132123,73	22,36	116321,80	19,57	1900,00
20:00	22,31	101190,54	22,27	89553,81	20,23	1900,00
21:00	22,19	61685,24	22,17	55649,05	19,88	1900,00
22:00	21,99	1900,00	22,00	2849,18	20,06	1900,00
23:00	15,92	1900,00	18,96	1900,00	19,97	1900,00
0:00	19,09	1900,00	19,02	1900,00	20,02	1900,00
1:00	17,43	1900,00	18,99	1900,00	19,99	1900,00
2:00	18,30	1900,00	19,01	1900,00	20,00	1900,00
3:00	17,85	1900,00	19,00	1900,00	20,00	1900,00
4:00	18,08	1900,00	19,00	1900,00	20,00	1900,00

Παράμετρος	21. Φεβ.						21. Μαρ.					
	Τδωμ						Τδωμ					
	18		19		20		18		19		20	
Time	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16	1900,00
6:00	19,04	1900,00	20,57	1900,00	22,09	29972,54	19,04	1900,00	20,57	1900,00	22,09	29972,54
7:00	17,46	1900,00	18,18	1900,00	21,89	1900,00	18,19	1900,00	18,92	1900,00	21,93	1900,00
8:00	20,22	1900,00	21,36	1900,00	20,95	1900,00	21,09	1900,00	22,23	75559,86	22,18	58657,32
9:00	21,28	1900,00	22,21	69177,09	23,95	2000,00	22,04	16064,73	22,25	81532,16	22,25	82997,94
10:00	23,39	2000,00	22,27	88739,99	24,99	2000,00	22,27	88708,85	22,32	104901,09	22,36	117079,46
11:00	24,26	2000,00	22,36	117178,50	26,44	2000,00	22,34	111921,55	22,41	132927,16	22,46	149812,48
12:00	25,15	2000,00	22,45	145033,78	27,07	2000,00	22,42	135978,37	22,49	159703,87	22,55	145084,24
13:00	25,04	2000,00	22,52	156272,07	27,07	2000,00	22,48	155686,76	22,56	142661,23	22,65	114729,59
14:00	24,75	2000,00	22,58	136594,12	26,73	2000,00	22,52	154827,97	22,63	121443,84	22,75	80975,52
15:00	23,36	2000,00	22,63	121595,06	25,37	2000,00	22,54	148174,24	22,68	106127,21	22,86	48008,14
16:00	21,91	1900,00	22,64	116042,11	23,90	2000,00	22,53	150994,27	22,69	102480,46	22,93	24149,22
17:00	18,46	1900,00	22,59	132008,49	20,64	1900,00	22,49	158998,28	22,64	116178,12	22,84	53292,39
18:00	17,76	1900,00	22,52	157233,40	19,67	1900,00	22,41	132804,80	22,55	145234,18	22,69	102662,63
19:00	18,13	1900,00	22,45	146532,74	20,17	1900,00	22,31	102015,42	22,48	156594,21	22,61	126900,28
20:00	17,93	1900,00	22,38	124687,39	19,91	1900,00	22,19	62806,17	22,42	135966,68	22,55	145956,31
21:00	18,03	1900,00	22,30	99521,33	20,05	1900,00	22,00	1900,00	22,35	112648,42	22,50	162146,87
22:00	17,98	1900,00	22,21	68722,68	19,98	1900,00	15,91	1900,00	22,26	85101,83	22,46	148050,17
23:00	18,01	1900,00	22,07	25417,25	20,01	1900,00	19,09	1900,00	22,15	49574,66	22,41	132664,63
0:00	18,00	1900,00	21,72	1900,00	19,99	1900,00	17,43	1900,00	21,96	1900,00	22,36	115830,13
1:00	18,00	1900,00	17,58	1900,00	20,00	1900,00	18,30	1900,00	17,45	1900,00	22,30	96969,19
2:00	18,00	1900,00	19,74	1900,00	20,00	1900,00	17,85	1900,00	19,81	1900,00	22,23	75002,13
3:00	18,00	1900,00	18,61	1900,00	20,00	1900,00	18,08	1900,00	18,58	1900,00	22,14	47448,13
4:00	18,00	1900,00	19,20	1900,00	20,00	1900,00	17,96	1900,00	19,22	1900,00	22,01	5572,20

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.91

Παράμετρος	21. Απρ.						21. Μαι.					
	Τδωμ						Τδωμ					
	18		19		20		19		20		21	
Time	Τ _{ΥΑΦ}	Сρεff	Τ _{ΥΑΦ}	Сρεff	Τ _{ΥΑΦ}	Сρεff	Τ _{ΥΑΦ}	Сρεff	Τ _{ΥΑΦ}	Сρεff	Τ _{ΥΑΦ}	Сρεff
5:00	16,00	1900,00	16	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16	1900,00	16,00	1900,00
6:00	19,04	1900,00	20,57	1900,00	22,09	29972,54	20,57	1900,00	22,09	29972,54	23,61	2000,00
7:00	17,46	1900,00	18,18	1900,00	21,89	1900,00	18,18	1900,00	21,89	1900,00	19,84	1900,00
8:00	22,23	76551,05	23,37	2000,00	22,96	13499,48	23,69	2000,00	23,28	2000,00	25,88	2000,00
9:00	22,23	76295,01	23,14	2000,00	23,23	2000,00	23,24	2000,00	24,87	2000,00	25,16	2000,00
10:00	22,29	93902,85	25,37	2000,00	26,77	2000,00	25,45	2000,00	26,17	2000,00	27,49	2000,00
11:00	22,36	118073,45	25,90	2000,00	26,72	2000,00	25,83	2000,00	26,96	2000,00	27,82	2000,00
12:00	22,43	141183,91	26,49	2000,00	27,57	2000,00	26,23	2000,00	27,17	2000,00	28,23	2000,00
13:00	22,49	159252,73	26,05	2000,00	27,01	2000,00	25,66	2000,00	26,68	2000,00	27,65	2000,00
14:00	22,53	153731,25	25,21	2000,00	26,23	2000,00	24,68	2000,00	25,67	2000,00	26,69	2000,00
15:00	22,54	149981,17	23,68	2000,00	24,67	2000,00	23,13	2000,00	24,13	2000,00	25,13	2000,00
16:00	22,52	156626,58	21,92	1900,00	22,92	26107,14	21,30	1900,00	22,30	98307,42	23,30	2000,00
17:00	22,43	141126,29	17,48	1900,00	22,60	129897,37	17,80	1900,00	22,23	76600,03	19,97	1900,00
18:00	22,34	111981,90	19,80	1900,00	22,54	148447,01	19,63	1900,00	22,15	49560,50	21,54	1900,00
19:00	22,23	76004,95	18,58	1900,00	22,49	160179,95	18,67	1900,00	22,02	9346,17	20,72	1900,00
20:00	22,07	24367,04	19,22	1900,00	22,45	145740,53	19,17	1900,00	21,40	1900,00	21,15	1900,00
21:00	21,59	1900,00	18,89	1900,00	22,40	130156,99	18,91	1900,00	19,27	1900,00	20,92	1900,00
22:00	16,13	1900,00	19,06	1900,00	22,35	113053,86	19,05	1900,00	20,38	1900,00	21,04	1900,00
23:00	18,98	1900,00	18,97	1900,00	22,29	93800,75	18,98	1900,00	19,80	1900,00	20,98	1900,00
0:00	17,49	1900,00	19,02	1900,00	22,22	71189,36	19,01	1900,00	20,10	1900,00	21,01	1900,00
1:00	18,27	1900,00	18,99	1900,00	22,13	42314,48	18,99	1900,00	19,95	1900,00	20,99	1900,00
2:00	17,86	1900,00	19,00	1900,00	21,98	1900,00	19,00	1900,00	20,03	1900,00	21,00	1900,00
3:00	18,07	1900,00	19,00	1900,00	18,97	1900,00	19,00	1900,00	19,99	1900,00	21,00	1900,00
4:00	17,96	1900,00	19,00	1900,00	20,54	1900,00	19,00	1900,00	20,01	1900,00	21,00	1900,00

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.91

Παράμετρος	21. Ιουν.						21. Ιουλ.					
	Τδωμ						Τδωμ					
	21		22		23		23		24		25	
Time	T _{ΥΑΦ}	Cpeff	T _{ΥΑΦ}	Cpeff	T _{ΥΑΦ}	Cpeff	T _{ΥΑΦ}	Cpeff	T _{ΥΑΦ}	Cpeff	T _{ΥΑΦ}	Cpeff
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00
6:00	23,61	2000,00	25,13	2000,00	26,65	2000,00	26,65	2000,00	28,18	2000,00	29,70	2000,00
7:00	19,84	1900,00	20,60	1900,00	21,37	1900,00	21,37	1900,00	22,14	46442,55	22,91	32052,11
8:00	25,99	2000,00	27,11	2000,00	28,23	2000,00	28,25	2000,00	22,43	141300,17	23,36	2000,00
9:00	25,22	2000,00	26,17	2000,00	27,11	2000,00	27,25	2000,00	22,56	143036,12	32,32	2000,00
10:00	27,55	2000,00	28,58	2000,00	29,60	2000,00	29,82	2000,00	22,71	94678,29	30,45	2000,00
11:00	27,83	2000,00	28,82	2000,00	29,80	2000,00	30,11	2000,00	22,96	13375,32	32,72	2000,00
12:00	28,14	2000,00	29,14	2000,00	30,15	2000,00	30,53	2000,00	24,79	2000,00	32,26	2000,00
13:00	27,50	2000,00	28,50	2000,00	29,50	2000,00	29,93	2000,00	33,94	2000,00	32,05	2000,00
14:00	26,49	2000,00	27,50	2000,00	28,50	2000,00	28,90	2000,00	28,56	2000,00	30,85	2000,00
15:00	24,94	2000,00	25,94	2000,00	26,94	2000,00	27,35	2000,00	28,95	2000,00	29,37	2000,00
16:00	23,09	2000,00	24,09	2000,00	25,09	2000,00	25,45	2000,00	26,19	2000,00	27,44	2000,00
17:00	20,07	1900,00	21,07	1900,00	22,07	23259,57	21,91	1900,00	23,02	2000,00	23,91	2000,00
18:00	21,49	1900,00	22,49	158156,94	22,18	60485,19	23,57	2000,00	24,43	2000,00	25,49	2000,00
19:00	20,75	1900,00	22,48	155300,11	22,22	73020,68	22,75	83564,42	23,81	2000,00	24,78	2000,00
20:00	21,13	1900,00	22,47	152443,92	22,25	82907,80	22,75	80742,06	24,09	2000,00	25,10	2000,00
21:00	20,93	1900,00	22,46	149588,39	22,28	91271,00	22,76	77922,12	23,96	2000,00	24,96	2000,00
22:00	21,04	1900,00	22,45	146733,55	22,30	98602,93	22,77	75104,77	24,02	2000,00	25,02	2000,00
23:00	20,98	1900,00	22,44	143879,43	22,32	105174,66	22,78	72290,20	23,99	2000,00	24,99	2000,00
0:00	21,01	1900,00	22,43	141026,05	22,34	111155,08	22,79	69478,64	24,00	2000,00	25,00	2000,00
1:00	20,99	1900,00	22,42	138173,44	22,36	116658,17	22,80	66670,31	24,00	2000,00	25,00	2000,00
2:00	21,00	1900,00	22,42	135321,63	22,37	121765,26	22,81	63865,48	24,00	2000,00	25,00	2000,00
3:00	21,00	1900,00	22,41	132470,66	22,39	126536,87	22,82	61064,47	24,00	2000,00	25,00	2000,00
4:00	21,00	1900,00	22,40	129620,57	22,40	131019,50	22,82	58267,61	24,00	2000,00	25,00	2000,00

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.91

Παράμετρος	21. Αυγ.						21. Σεπ.					
	Τδωμ						Τδωμ					
	24		25		26		23		24		25	
Time	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16	1900,00	16,00	1900,00
6:00	26,65	2000,00	28,18	2000,00	29,70	2000,00	26,65	2000,00	28,18	2000,00	29,70	2000,00
7:00	23,07	2000,00	23,84	2000,00	24,61	2000,00	22,40	131268,83	23,17	2000,00	23,94	2000,00
8:00	27,02	2000,00	28,13	2000,00	29,23	2000,00	22,47	153167,41	27,99	2000,00	29,09	2000,00
9:00	27,87	2000,00	28,83	2000,00	29,78	2000,00	22,56	141600,60	28,56	2000,00	29,52	2000,00
10:00	29,85	2000,00	30,87	2000,00	31,89	2000,00	22,70	98332,84	30,90	2000,00	31,92	2000,00
11:00	30,67	2000,00	31,66	2000,00	32,65	2000,00	22,93	24335,39	31,85	2000,00	32,84	2000,00
12:00	31,19	2000,00	32,19	2000,00	33,20	2000,00	23,94	2000,00	32,73	2000,00	33,73	2000,00
13:00	30,76	2000,00	31,76	2000,00	32,75	2000,00	34,90	2000,00	32,43	2000,00	33,43	2000,00
14:00	29,74	2000,00	30,74	2000,00	31,74	2000,00	28,95	2000,00	31,49	2000,00	32,49	2000,00
15:00	28,22	2000,00	29,21	2000,00	30,21	2000,00	29,77	2000,00	30,08	2000,00	31,08	2000,00
16:00	26,23	2000,00	27,23	2000,00	28,23	2000,00	26,69	2000,00	27,99	2000,00	28,99	2000,00
17:00	24,27	2000,00	25,27	2000,00	26,27	2000,00	24,95	2000,00	25,82	2000,00	26,82	2000,00
18:00	23,22	2000,00	24,22	2000,00	25,22	2000,00	22,13	43437,65	23,19	2000,00	24,19	2000,00
19:00	22,90	33121,15	23,90	2000,00	24,90	2000,00	22,19	62027,64	24,36	2000,00	25,36	2000,00
20:00	22,91	30404,19	24,04	2000,00	25,04	2000,00	22,23	74179,51	23,84	2000,00	24,84	2000,00
21:00	22,92	27702,83	23,98	2000,00	24,98	2000,00	22,26	83867,00	24,07	2000,00	25,07	2000,00
22:00	22,93	25020,02	24,01	2000,00	25,01	2000,00	22,28	92101,48	23,97	2000,00	24,97	2000,00
23:00	22,94	22359,59	24,00	2000,00	25,00	2000,00	22,30	99341,22	24,01	2000,00	25,01	2000,00
0:00	22,94	19726,67	24,00	2000,00	25,00	2000,00	22,32	105842,62	23,99	2000,00	24,99	2000,00
1:00	22,95	17128,27	24,00	2000,00	25,00	2000,00	22,34	111767,05	24,00	2000,00	25,00	2000,00
2:00	22,96	14574,34	24,00	2000,00	25,00	2000,00	22,36	117224,18	24,00	2000,00	25,00	2000,00
3:00	22,97	12079,57	24,00	2000,00	25,00	2000,00	22,38	122292,65	24,00	2000,00	25,00	2000,00
4:00	22,98	9666,76	24,00	2000,00	25,00	2000,00	22,39	127031,21	24,00	2000,00	25,00	2000,00

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.91

Παράμετρος	21. Οκτ.						21. Νοε.					
	Τδωμ						Τδωμ					
	21		22		23		19		20		21	
Time	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff
5:00	16,00	1900,00	16	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16	1900,00	16,00	1900,00
6:00	23,61	2000,00	25,13	2000,00	26,65	2000,00	20,57	1900,00	22,09	29972,54	23,61	2000,00
7:00	19,84	1900,00	20,60	1900,00	21,37	1900,00	18,18	1900,00	21,89	1900,00	19,84	1900,00
8:00	24,38	2000,00	25,50	2000,00	26,62	2000,00	20,10	1900,00	19,69	1900,00	22,29	93452,06
9:00	24,85	2000,00	25,80	2000,00	26,75	2000,00	22,27	87485,88	24,00	2000,00	22,32	105760,41
10:00	27,45	2000,00	28,48	2000,00	29,50	2000,00	22,31	102499,78	24,99	2000,00	22,42	135222,21
11:00	28,52	2000,00	29,51	2000,00	30,50	2000,00	22,40	129902,40	26,95	2000,00	22,52	155494,59
12:00	29,68	2000,00	30,69	2000,00	31,69	2000,00	22,49	159711,83	27,85	2000,00	22,63	119432,54
13:00	29,52	2000,00	30,52	2000,00	31,52	2000,00	22,57	139077,72	27,95	2000,00	22,79	70639,11
14:00	28,76	2000,00	29,76	2000,00	30,76	2000,00	22,66	112292,14	27,43	2000,00	23,02	2000,00
15:00	27,51	2000,00	28,51	2000,00	29,51	2000,00	22,73	87456,87	26,32	2000,00	29,74	2000,00
16:00	25,33	2000,00	26,33	2000,00	27,33	2000,00	22,76	77730,44	23,91	2000,00	23,83	2000,00
17:00	19,07	1900,00	20,07	1900,00	21,07	1900,00	22,62	122588,69	18,26	1900,00	19,74	1900,00
18:00	22,01	4435,86	23,01	2000,00	24,01	2000,00	22,54	149974,10	20,91	1900,00	21,66	1900,00
19:00	21,35	1900,00	21,55	1900,00	22,55	145970,53	22,47	152657,07	19,53	1900,00	20,66	1900,00
20:00	20,82	1900,00	22,23	77125,42	22,56	143118,59	22,40	131572,12	20,25	1900,00	21,18	1900,00
21:00	21,10	1900,00	22,23	74305,09	22,57	140267,43	22,33	107571,60	19,87	1900,00	20,91	1900,00
22:00	20,95	1900,00	22,22	71487,46	22,58	137417,09	22,24	78861,42	20,07	1900,00	21,05	1900,00
23:00	21,03	1900,00	22,21	68672,75	22,59	134567,61	22,12	40751,76	19,96	1900,00	20,97	1900,00
0:00	20,99	1900,00	22,20	65861,18	22,60	131719,02	21,90	1900,00	20,02	1900,00	21,01	1900,00
1:00	21,01	1900,00	22,19	63053,03	22,60	128871,36	17,49	1900,00	19,99	1900,00	20,99	1900,00
2:00	21,00	1900,00	22,18	60248,60	22,61	126024,67	19,79	1900,00	20,00	1900,00	21,00	1900,00
3:00	21,00	1900,00	22,17	57448,22	22,62	123178,99	18,59	1900,00	20,00	1900,00	21,00	1900,00
4:00	21,00	1900,00	22,16	54652,29	22,63	120334,37	19,22	1900,00	20,00	1900,00	21,00	1900,00

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.91

	21. Δεκ.					
Παράμετρος	Τδωμ					
	19		20		21	
Time	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00
6:00	20,57	1900,00	22,09	29972,54	23,61	2000,00
7:00	18,18	1900,00	21,89	1900,00	19,84	1900,00
8:00	19,43	1900,00	19,02	1900,00	21,61	1900,00
9:00	21,19	1900,00	22,92	26147,50	23,09	2000,00
10:00	23,76	2000,00	23,03	2000,00	25,67	2000,00
11:00	24,90	2000,00	26,67	2000,00	26,93	2000,00
12:00	26,08	2000,00	26,74	2000,00	28,06	2000,00
13:00	26,06	2000,00	27,21	2000,00	28,06	2000,00
14:00	25,91	2000,00	26,84	2000,00	27,90	2000,00
15:00	24,69	2000,00	25,72	2000,00	26,69	2000,00
16:00	16,46	1900,00	17,45	1900,00	18,46	1900,00
17:00	20,32	1900,00	21,33	1900,00	22,32	105780,24
18:00	18,31	1900,00	19,31	1900,00	22,29	94171,35
19:00	19,36	1900,00	20,36	1900,00	22,25	81487,84
20:00	18,81	1900,00	19,81	1900,00	22,20	67280,22
21:00	19,10	1900,00	20,10	1900,00	22,15	50682,99
22:00	18,95	1900,00	19,95	1900,00	22,09	29597,53
23:00	19,03	1900,00	20,03	1900,00	21,98	1900,00
0:00	18,99	1900,00	19,99	1900,00	20,49	1900,00
1:00	19,01	1900,00	20,01	1900,00	21,27	1900,00
2:00	19,00	1900,00	20,00	1900,00	20,86	1900,00
3:00	19,00	1900,00	20,00	1900,00	21,07	1900,00
4:00	19,00	1900,00	20,00	1900,00	20,96	1900,00

Όπως φαίνεται λοιπόν στους πίνακες που προηγήθηκαν τους περισσότερους μήνες δεν έχουμε πλήρη κύκλο του υλικού αλλαγής φάσης αλλά μερική αξιοποίηση του. Στη συνέχεια αλλάζοντας ελάχιστα στην ουσία το εύρος θερμοκρασιών αλλαγής φάσης πετυχαίνουμε ουσιαστική διαφορά σε σχέση με την προηγούμενη εφαρμογή και έχουμε ασφαλώς ένα καλύτερο αποτέλεσμα από άποψη χρήσης:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.92 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [°C]	T_l [°C]	C_{p_s} [J/kg°C]	C_{p_l} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
23	24	1900	2000	82100	996

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.93 Παράμετροι – Συνθήκες περιβάλλοντος

$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
-	16	0,01

Ακολουθεί κατά τμήματα η ανάλυση για όλο το έτος (με κόκκινο είναι οι ανεπιτυχείς εφαρμογές και με γαλάζιο οι επιτυχείς):

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.94 Εξέλιξη της χρήσης του ΥΑΦ καθόλη τη διάρκεια του έτους

Παράμετρος	21 Ιαν.					
	Τδωμ					
	18		19		20	
Time	$T_{ΥΑΦ}$	C_{peff}	$T_{ΥΑΦ}$	C_{peff}	$T_{ΥΑΦ}$	C_{peff}
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00
6:00	19,04	1900,00	20,57	1900,00	22,09	1900,00
7:00	17,46	1900,00	18,18	1900,00	18,91	1900,00
8:00	18,28	1900,00	19,43	1900,00	20,57	1900,00
9:00	20,72	1900,00	21,64	1900,00	22,57	1900,00
10:00	22,58	1900,00	23,62	123062,95	24,66	2000,00
11:00	23,91	31463,86	23,64	116801,93	25,81	2000,00
12:00	23,96	14721,19	23,69	102247,32	26,78	2000,00
13:00	24,12	2000,00	23,75	83389,81	26,77	2000,00
14:00	24,97	2000,00	23,81	61620,25	26,68	2000,00
15:00	23,24	79848,51	23,86	47177,80	25,37	2000,00
16:00	23,20	66819,34	23,81	61661,66	23,56	141624,41
17:00	23,07	24764,23	23,69	101339,32	23,54	150725,35
18:00	22,48	1900,00	23,56	144215,50	23,47	152028,39
19:00	15,66	1900,00	23,46	151001,27	23,40	130868,20
20:00	19,22	1900,00	23,38	123573,73	23,33	106754,15
21:00	17,36	1900,00	23,28	90700,35	23,24	77846,26
22:00	18,33	1900,00	23,14	46960,39	23,12	39277,33
23:00	17,83	1900,00	22,89	1900,00	22,89	1900,00
0:00	18,09	1900,00	16,97	1900,00	18,49	1900,00
1:00	17,95	1900,00	20,06	1900,00	20,79	1900,00
2:00	18,02	1900,00	18,45	1900,00	19,59	1900,00
3:00	17,99	1900,00	19,29	1900,00	20,21	1900,00
4:00	18,01	1900,00	18,85	1900,00	19,89	1900,00

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.94

Παράμετρος	21. Φεβ.						21. Μαρ.					
	Τδωμ						Τδωμ					
	18		19		20		18		19		20	
Time	T _{ΥΑΦ}	C _{peff}	T _{ΥΑΦ}	C _{peff}	T _{ΥΑΦ}	C _{peff}	T _{ΥΑΦ}	C _{peff}	T _{ΥΑΦ}	C _{peff}	T _{ΥΑΦ}	C _{peff}
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00
6:00	19,04	1900,00	20,57	1900,00	22,09	1900,00	19,04	1900,00	20,57	1900,00	22,09	1900,00
7:00	17,46	1900,00	18,18	1900,00	18,91	1900,00	18,19	1900,00	18,92	1900,00	19,64	1900,00
8:00	20,22	1900,00	21,36	1900,00	22,50	1900,00	21,09	1900,00	22,23	1900,00	23,37	121157,12
9:00	21,28	1900,00	22,21	1900,00	23,14	45380,93	22,04	1900,00	22,97	1900,00	23,38	123793,53
10:00	23,39	127423,95	24,43	2000,00	23,23	76718,16	23,96	15203,87	25,00	2000,00	23,42	138197,49
11:00	23,40	131791,63	25,24	2000,00	23,34	110066,13	24,06	2000,00	25,71	2000,00	23,49	158774,47
12:00	23,44	142160,70	26,16	2000,00	23,43	139908,25	25,77	2000,00	26,48	2000,00	23,56	143801,57
13:00	23,47	152839,37	26,03	2000,00	23,51	160436,49	25,10	2000,00	26,23	2000,00	23,63	119644,56
14:00	23,50	161137,25	25,75	2000,00	23,57	141194,26	24,71	2000,00	25,65	2000,00	23,71	94901,74
15:00	23,50	161665,44	24,36	2000,00	23,61	126589,67	23,16	52215,18	24,18	2000,00	23,77	76110,08
16:00	23,48	156258,91	22,91	1900,00	23,63	121141,72	23,10	33311,33	22,61	1900,00	23,78	72165,49
17:00	23,41	133481,26	19,46	1900,00	23,58	136314,25	22,84	1900,00	20,42	1900,00	23,72	92831,88
18:00	23,33	106665,34	21,12	1900,00	23,54	150106,80	16,79	1900,00	19,58	1900,00	23,63	121260,97
19:00	23,18	60342,82	17,89	1900,00	23,47	152546,12	18,63	1900,00	18,70	1900,00	23,54	148977,89
20:00	22,93	1900,00	19,58	1900,00	23,40	131447,93	17,67	1900,00	19,16	1900,00	23,47	153488,83
21:00	15,43	1900,00	18,70	1900,00	23,33	107427,47	18,17	1900,00	18,92	1900,00	23,41	132502,47
22:00	19,34	1900,00	19,16	1900,00	23,24	78682,65	17,91	1900,00	19,04	1900,00	23,33	108650,16
23:00	17,30	1900,00	18,92	1900,00	23,12	40492,97	18,05	1900,00	18,98	1900,00	23,24	80196,28
0:00	18,37	1900,00	19,04	1900,00	22,90	1900,00	17,98	1900,00	19,01	1900,00	23,13	42672,82
1:00	17,81	1900,00	18,98	1900,00	18,49	1900,00	18,01	1900,00	18,99	1900,00	22,92	1900,00
2:00	18,10	1900,00	19,01	1900,00	20,79	1900,00	17,99	1900,00	19,00	1900,00	18,48	1900,00
3:00	17,95	1900,00	18,99	1900,00	19,59	1900,00	18,00	1900,00	19,00	1900,00	20,79	1900,00
4:00	18,03	1900,00	19,00	1900,00	20,21	1900,00	18,00	1900,00	19,00	1900,00	19,59	1900,00

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.94

Παράμετρος	21. Απρ.						21. Μαί.					
	Τδωμ						Τδωμ					
	18		19		20		19		20		21	
Time	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	C _{peff}
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00
6:00	19,04	1900,00	20,57	1900,00	22,09	1900,00	20,57	1900,00	22,09	1900,00	23,61	127153,08
7:00	19,14	1900,00	19,87	1900,00	20,60	1900,00	18,18	1900,00	18,91	1900,00	23,55	146165,48
8:00	21,35	1900,00	22,49	1900,00	23,64	118769,59	23,69	99893,49	24,84	2000,00	23,56	144552,83
9:00	22,66	1900,00	23,59	134529,21	23,65	114276,35	23,69	102777,33	24,18	2000,00	23,59	132834,11
10:00	24,21	2000,00	23,61	126996,84	23,70	97814,33	23,72	92982,76	26,48	2000,00	23,66	110652,42
11:00	24,97	2000,00	23,66	111504,02	23,79	69090,39	23,78	73063,78	26,82	2000,00	23,77	76707,11
12:00	25,45	2000,00	23,73	89522,63	23,94	21980,66	23,87	43556,01	27,23	2000,00	23,93	24307,79
13:00	25,06	2000,00	23,81	64090,94	24,36	2000,00	24,00	2000,00	26,65	2000,00	24,39	2000,00
14:00	24,20	2000,00	23,88	40049,10	27,41	2000,00	25,42	2000,00	25,68	2000,00	28,14	2000,00
15:00	22,68	1900,00	23,90	33862,10	24,14	2000,00	22,80	1900,00	24,13	2000,00	24,48	2000,00
16:00	20,83	1900,00	23,78	73211,46	23,16	53059,90	21,38	1900,00	22,30	1900,00	23,59	132856,77
17:00	18,97	1900,00	23,65	113348,81	23,07	25900,87	17,76	1900,00	18,80	1900,00	23,54	150928,81
18:00	17,75	1900,00	23,54	149987,78	22,75	1900,00	19,65	1900,00	20,63	1900,00	23,49	158003,96
19:00	18,13	1900,00	23,45	146461,04	18,56	1900,00	18,66	1900,00	19,67	1900,00	23,44	143405,50
20:00	17,93	1900,00	23,36	118272,89	20,75	1900,00	19,18	1900,00	20,17	1900,00	23,39	127615,30
21:00	18,04	1900,00	23,26	84055,77	19,61	1900,00	18,91	1900,00	19,91	1900,00	23,34	110229,12
22:00	17,98	1900,00	23,11	37086,76	20,20	1900,00	19,05	1900,00	20,05	1900,00	23,28	90556,73
23:00	18,01	1900,00	22,79	1900,00	19,89	1900,00	18,97	1900,00	19,98	1900,00	23,20	67238,91
0:00	18,00	1900,00	17,02	1900,00	20,06	1900,00	19,01	1900,00	20,01	1900,00	23,11	36837,46
1:00	18,00	1900,00	20,03	1900,00	19,97	1900,00	18,99	1900,00	19,99	1900,00	22,94	1900,00
2:00	18,00	1900,00	18,46	1900,00	20,02	1900,00	19,00	1900,00	20,00	1900,00	19,99	1900,00
3:00	18,00	1900,00	19,28	1900,00	19,99	1900,00	19,00	1900,00	20,00	1900,00	21,53	1900,00
4:00	18,00	1900,00	18,85	1900,00	20,00	1900,00	19,00	1900,00	20,00	1900,00	20,72	1900,00

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.94

Παράμετρος	21. Ιουν.						21. Ιουλ.					
	Τδωμ						Τδωμ					
	21		22		23		23		24		25	
Time	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00
6:00	23,61	127153,08	25,13	2000,00	26,65	2000,00	26,65	2000,00	28,18	2000,00	29,70	2000,00
7:00	23,58	135817,61	22,66	1900,00	23,42	138177,63	23,35	113702,13	24,12	2000,00	24,88	2000,00
8:00	23,59	133804,73	26,04	2000,00	23,48	154642,57	23,41	134420,44	28,12	2000,00	29,23	2000,00
9:00	23,63	120875,47	26,64	2000,00	23,55	146004,94	23,50	161489,68	28,75	2000,00	29,70	2000,00
10:00	23,71	96308,94	28,37	2000,00	23,66	112478,20	23,60	129801,22	30,60	2000,00	31,62	2000,00
11:00	23,83	57476,39	28,91	2000,00	23,81	62338,78	23,74	83990,62	31,21	2000,00	32,20	2000,00
12:00	24,04	2000,00	29,10	2000,00	24,10	2000,00	23,97	10590,80	31,48	2000,00	32,49	2000,00
13:00	29,33	2000,00	28,52	2000,00	32,19	2000,00	25,65	2000,00	30,95	2000,00	31,95	2000,00
14:00	25,68	2000,00	27,49	2000,00	27,29	2000,00	30,81	2000,00	29,89	2000,00	30,90	2000,00
15:00	25,30	2000,00	25,94	2000,00	27,47	2000,00	26,50	2000,00	28,35	2000,00	29,35	2000,00
16:00	22,93	1900,00	24,09	2000,00	24,86	2000,00	25,83	2000,00	26,45	2000,00	27,45	2000,00
17:00	21,30	1900,00	22,31	1900,00	23,42	136356,29	23,45	146669,34	24,62	2000,00	25,62	2000,00
18:00	21,39	1900,00	22,38	1900,00	23,42	135944,48	23,44	144237,46	23,82	59788,98	24,82	2000,00
19:00	20,80	1900,00	21,80	1900,00	23,41	133093,33	23,43	141383,98	23,83	56994,14	25,08	2000,00
20:00	21,11	1900,00	22,10	1900,00	23,40	130243,04	23,43	138531,27	23,84	54204,05	24,96	2000,00
21:00	20,94	1900,00	21,95	1900,00	23,39	127393,66	23,42	135679,37	23,85	51419,17	25,02	2000,00
22:00	21,03	1900,00	22,03	1900,00	23,38	124545,22	23,41	132828,29	23,85	48640,08	24,99	2000,00
23:00	20,99	1900,00	21,99	1900,00	23,37	121697,77	23,40	129978,09	23,86	45867,41	25,00	2000,00
0:00	21,01	1900,00	22,01	1900,00	23,36	118851,34	23,39	127128,79	23,87	43101,92	25,00	2000,00
1:00	21,00	1900,00	22,00	1900,00	23,36	116006,00	23,38	124280,44	23,88	40344,53	25,00	2000,00
2:00	21,00	1900,00	22,00	1900,00	23,35	113161,80	23,37	121433,08	23,89	37596,31	25,00	2000,00
3:00	21,00	1900,00	22,00	1900,00	23,34	110318,78	23,36	118586,76	23,90	34858,56	25,00	2000,00
4:00	21,00	1900,00	22,00	1900,00	23,33	107477,01	23,35	115741,52	23,91	32132,90	25,00	2000,00

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.94

Παράμετρος	21. Αυγ.						21. Σεπ.					
	Τδωμ						Τδωμ					
	24		25		26		23		24		25	
Time	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00
6:00	26,65	2000,00	28,18	2000,00	29,70	2000,00	26,65	2000,00	28,18	2000,00	29,70	2000,00
7:00	23,07	25245,40	23,84	53222,84	24,61	2000,00	22,40	1900,00	23,17	56636,65	23,94	21870,73
8:00	23,39	125638,11	24,00	2000,00	29,23	2000,00	27,12	2000,00	23,34	111202,11	24,41	2000,00
9:00	23,48	156828,32	30,66	2000,00	29,78	2000,00	27,50	2000,00	23,47	153280,95	31,60	2000,00
10:00	23,59	133651,74	30,05	2000,00	31,89	2000,00	29,92	2000,00	23,60	130678,61	30,99	2000,00
11:00	23,74	86332,90	32,02	2000,00	32,65	2000,00	30,83	2000,00	23,77	74281,41	33,25	2000,00
12:00	23,98	8092,29	32,03	2000,00	33,20	2000,00	31,73	2000,00	24,11	2000,00	33,55	2000,00
13:00	26,45	2000,00	31,83	2000,00	32,75	2000,00	31,43	2000,00	36,27	2000,00	33,52	2000,00
14:00	31,66	2000,00	30,71	2000,00	31,74	2000,00	30,49	2000,00	29,78	2000,00	32,46	2000,00
15:00	27,36	2000,00	29,23	2000,00	30,21	2000,00	29,08	2000,00	30,84	2000,00	31,10	2000,00
16:00	26,61	2000,00	27,22	2000,00	28,23	2000,00	26,99	2000,00	27,65	2000,00	28,99	2000,00
17:00	24,10	2000,00	25,28	2000,00	26,27	2000,00	24,82	2000,00	25,97	2000,00	26,82	2000,00
18:00	23,29	96128,20	24,22	2000,00	25,22	2000,00	24,07	2000,00	25,00	2000,00	26,07	2000,00
19:00	23,28	93293,79	23,90	32943,13	24,90	2000,00	22,52	1900,00	23,55	144883,97	24,52	2000,00
20:00	23,28	90461,11	23,91	30227,11	25,04	2000,00	23,25	81609,46	23,56	142032,32	25,21	2000,00
21:00	23,27	87630,28	23,92	27526,87	24,98	2000,00	23,24	78785,22	23,57	139181,47	24,91	2000,00
22:00	23,26	84801,40	23,93	24845,39	25,01	2000,00	23,23	75963,38	23,58	136331,45	25,04	2000,00
23:00	23,25	81974,62	23,94	22186,59	25,00	2000,00	23,22	73144,14	23,59	133482,31	24,98	2000,00
0:00	23,24	79150,08	23,95	19555,68	25,00	2000,00	23,21	70327,69	23,60	130634,06	25,01	2000,00
1:00	23,23	76327,92	23,95	16959,84	25,00	2000,00	23,20	67514,24	23,61	127786,77	25,00	2000,00
2:00	23,22	73508,34	23,96	14409,27	25,00	2000,00	23,20	64704,05	23,62	124940,46	25,00	2000,00
3:00	23,21	70691,51	23,97	11919,05	25,00	2000,00	23,19	61897,39	23,63	122095,18	25,00	2000,00
4:00	23,21	67877,66	23,98	9512,68	25,00	2000,00	23,18	59094,59	23,63	119250,98	25,00	2000,00

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.94

Παράμετρος	21. Οκτ.						21. Νοε.					
	Τδωμ						Τδωμ					
	21		22		23		19		20		21	
Time	Τ _{ΥΑΦ}	С _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	С _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	С _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	С _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	С _{peff}	Τ _{ΥΑΦ}	С _{peff}
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00
6:00	23,61	127153,08	25,13	2000,00	26,65	2000,00	20,57	1900,00	22,09	1900,00	23,61	127153,08
7:00	23,55	146165,48	20,60	1900,00	21,37	1900,00	18,18	1900,00	18,91	1900,00	23,55	146165,48
8:00	23,54	150784,55	25,50	2000,00	26,62	2000,00	20,10	1900,00	21,25	1900,00	23,51	159503,58
9:00	23,56	143584,80	25,80	2000,00	26,75	2000,00	22,27	1900,00	23,19	63689,72	23,51	159405,01
10:00	23,62	123627,82	28,48	2000,00	29,50	2000,00	24,42	2000,00	23,26	85393,58	23,55	146769,38
11:00	23,73	89374,66	29,51	2000,00	30,50	2000,00	25,75	2000,00	23,36	118864,78	23,62	122824,35
12:00	23,91	31372,27	30,69	2000,00	31,69	2000,00	26,94	2000,00	23,47	151710,79	23,74	85482,18
13:00	24,43	2000,00	30,52	2000,00	31,52	2000,00	26,92	2000,00	23,55	145560,71	23,91	29296,25
14:00	31,03	2000,00	29,76	2000,00	30,76	2000,00	26,45	2000,00	23,63	119839,33	24,38	2000,00
15:00	26,50	2000,00	28,51	2000,00	29,51	2000,00	25,32	2000,00	23,71	96386,02	29,13	2000,00
16:00	25,78	2000,00	26,33	2000,00	27,33	2000,00	22,91	1900,00	23,73	87292,77	24,10	2000,00
17:00	21,44	1900,00	22,64	1900,00	23,64	117990,64	20,63	1900,00	23,69	101305,67	23,11	36398,64
18:00	21,07	1900,00	21,97	1900,00	23,63	121439,96	18,15	1900,00	23,58	135051,88	22,94	1900,00
19:00	20,96	1900,00	22,02	1900,00	23,61	126224,96	19,44	1900,00	23,51	159643,19	19,99	1900,00
20:00	21,02	1900,00	21,99	1900,00	23,60	130718,94	18,77	1900,00	23,44	144476,71	21,53	1900,00
21:00	20,99	1900,00	22,00	1900,00	23,59	134959,02	19,12	1900,00	23,38	122361,64	20,72	1900,00
22:00	21,01	1900,00	22,00	1900,00	23,57	138975,04	18,94	1900,00	23,30	96772,20	21,14	1900,00
23:00	21,00	1900,00	22,00	1900,00	23,56	142791,45	19,03	1900,00	23,20	65180,76	20,92	1900,00
0:00	21,00	1900,00	22,00	1900,00	23,55	146428,57	18,98	1900,00	23,06	19679,24	21,04	1900,00
1:00	21,00	1900,00	22,00	1900,00	23,54	149903,53	19,01	1900,00	22,61	1900,00	20,98	1900,00
2:00	21,00	1900,00	22,00	1900,00	23,53	153230,90	19,00	1900,00	18,64	1900,00	21,01	1900,00
3:00	21,00	1900,00	22,00	1900,00	23,52	156423,23	19,00	1900,00	20,71	1900,00	20,99	1900,00
4:00	21,00	1900,00	22,00	1900,00	23,51	159491,40	19,00	1900,00	19,63	1900,00	21,00	1900,00

ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 12.94

	21. Δεκ.					
Παράμετρος	Τδωμ					
	19		20		21	
Time	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff	Τ _{ΥΑΦ}	Cpeff
5:00	16,00	1900,00	16,00	1900,00	16,00	1900,00
6:00	20,57	1900,00	22,09	1900,00	23,61	127153,08
7:00	18,18	1900,00	18,91	1900,00	23,55	146165,48
8:00	19,43	1900,00	20,57	1900,00	23,50	162171,11
9:00	21,19	1900,00	22,11	1900,00	23,48	156934,99
10:00	23,76	78393,76	24,80	2000,00	23,51	159317,63
11:00	23,79	69126,65	25,88	2000,00	23,56	141658,60
12:00	23,87	43336,13	27,09	2000,00	23,65	114512,64
13:00	24,02	2000,00	27,05	2000,00	23,76	78796,06
14:00	26,81	2000,00	26,91	2000,00	23,91	29514,41
15:00	24,28	2000,00	25,69	2000,00	24,22	2000,00
16:00	22,34	1900,00	23,16	52851,84	25,26	2000,00
17:00	17,26	1900,00	22,99	1900,00	19,10	1900,00
18:00	19,91	1900,00	18,44	1900,00	21,99	1900,00
19:00	18,53	1900,00	20,81	1900,00	20,48	1900,00
20:00	19,25	1900,00	19,58	1900,00	21,27	1900,00
21:00	18,87	1900,00	20,22	1900,00	20,86	1900,00
22:00	19,07	1900,00	19,88	1900,00	21,07	1900,00
23:00	18,96	1900,00	20,06	1900,00	20,96	1900,00
0:00	19,02	1900,00	19,97	1900,00	21,02	1900,00
1:00	18,99	1900,00	20,02	1900,00	20,99	1900,00
2:00	19,01	1900,00	19,99	1900,00	21,01	1900,00
3:00	19,00	1900,00	20,00	1900,00	21,00	1900,00
4:00	19,00	1900,00	20,00	1900,00	21,00	1900,00

Η αλλαγή στην αξιοποίηση του ΥΑΦ είναι αρκετά αισθητή με βάση τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν στην προηγούμενη εφαρμογή. Ασφαλώς όλες αυτές οι τιμές είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενες από το χρόνο και δεν μπορούμε να προβλέψουμε τις τιμές τους αλλά εξετάζοντας κάθε παράμετρο ξεχωριστά προσπαθούμε να φτάσουμε στο βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα που είναι η πλήρη αξιοποίηση του υλικού κατά το μεγαλύτερο δυνατό διάστημα.

Έχοντας μελετήσει εκτενώς τις διάφορες παραμέτρους, τροποποιώντας τις κατάλληλα για διάστημα ενός έτους έχουμε πάρει στην ουσία το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα που είναι η πλήρη αξιοποίηση του υλικού αλλαγής φάσης μέσα σε ένα 24ωρο που είναι μια χαρακτηριστική ημέρα κάθε μήνα του έτους.

Ασφαλώς όμως όπως είπαμε σε μια εφαρμογή με υλικά αλλαγής φάσης οι παράμετροι είναι πάρα πολλές και είναι πολύ δύσκολο έως ακατόρθωτο να προβλέψουμε τις τιμές τους μιας και πρόκειται για θερμοκρασιακά δεδομένα τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού χώρου που αλληλεπιδρούν πάνω σε ένα υλικό με μεταβλητές ιδιότητες. Σκοπός μας ήταν να εξετάσουμε τη χρήση του ΥΑΦ και να φτάσουμε στο βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα γεγονός το οποίο πραγματοποιήθηκε μέσα από τη σχετική μελέτη που πραγματοποιήθηκε.

Στη συνέχεια λοιπόν έχοντας καθορίσει τα όρια των παραμέτρων μέσα στα οποία το ΥΑΦ λειτουργεί πιο αποδοτικά σαν δομικό υλικό ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ τοίχου ενός συνήθους κτιρίου στην περιοχή της Αθήνας θα μελετήσουμε πώς αυτό εξελίσσεται καθόλη τη διάρκεια του έτους ξεκινώντας με αρχή το μήνα Ιανουάριο. Έχοντας λοιπόν σα δεδομένα τα παρακάτω έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.95 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [°C]	T_l [°C]	C_{ps} [J/kg°C]	C_{pl} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
23	24	1900	2000	82100	996

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.96 Παράμετροι – Συνθήκες Περιβάλλοντος

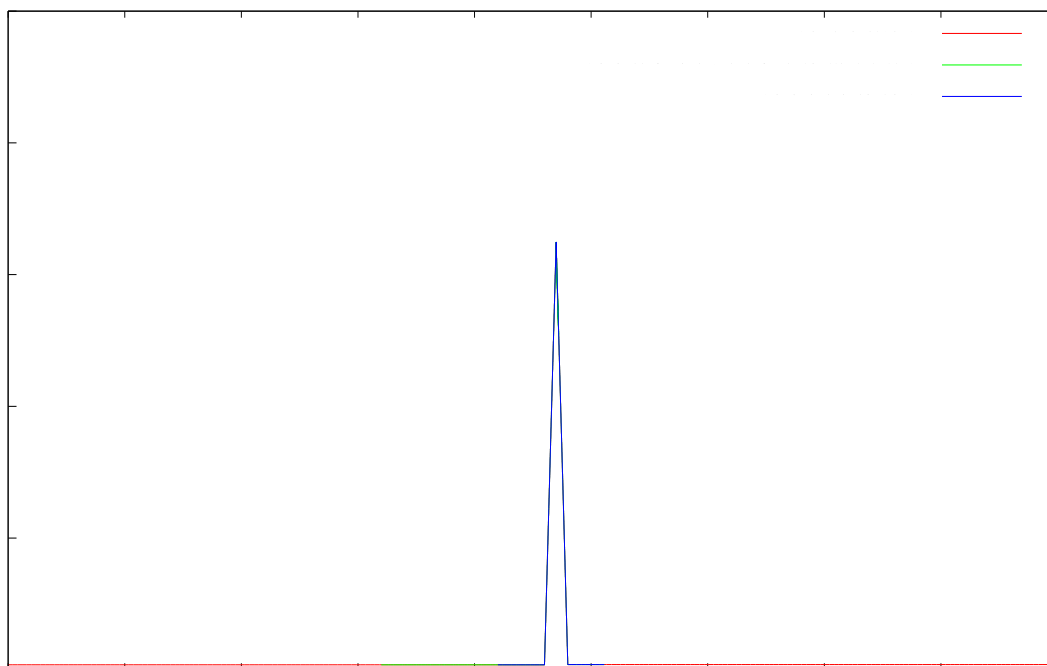
$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
21	16	0,01

Η αρχική θερμοκρασία του ΥΑΦ δεν παίζει ιδιαίτερο ρόλο από τη στιγμή που το ΥΑΦ θα αποτελεί δομικό υλικό διότι κάποια στιγμή θα βρεθεί στη μόνιμη κατάσταση. Συνεπώς η τιμή της είναι τελείως αυθαίρετη. Όπως έχουμε προαναφέρει η 21^η κάθε μήνα θα θεωρηθεί χαρακτηριστική ημέρα για ολόκληρο το μήνα. Συνεπώς για αυτά τα δεδομένα είχαμε για το μήνα Ιανουάριο:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.97 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ για θερμοκρασία περιβάλλοντος 21°C και αρχική θερμοκρασία ΥΑΦ 16°C το μήνα Ιανουάριο .

Time [hours]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	C_{peff} [J/kg °C]
5:00	16,00	1900,00
6:00	23,61	127153,08
7:00	23,55	146165,48
8:00	23,50	162171,11
9:00	23,49	158639,72
10:00	23,52	157361,28
11:00	23,57	140059,75
12:00	23,65	114212,39
13:00	23,75	80804,08
14:00	23,90	35499,45

15:00	24,13	2000,00
16:00	25,56	2000,00
17:00	18,97	1900,00
18:00	22,06	1900,00
19:00	20,45	1900,00
20:00	21,29	1900,00
21:00	20,85	1900,00
22:00	21,08	1900,00
23:00	20,96	1900,00
0:00	21,02	1900,00
1:00	20,99	1900,00
2:00	21,01	1900,00
3:00	21,00	1900,00
4:00	21,00	1900,00



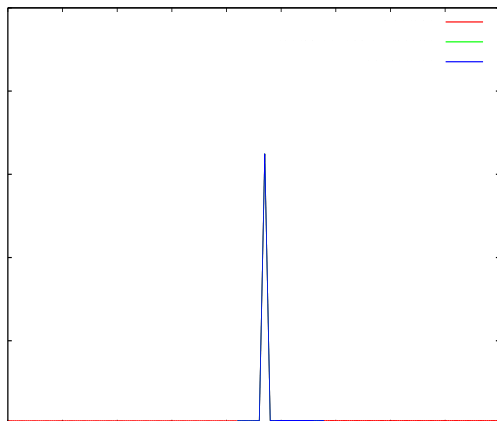
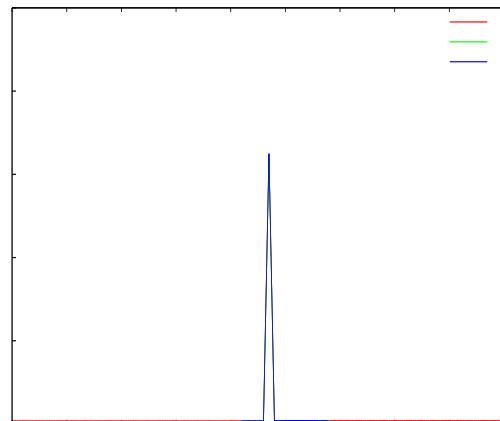
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.89 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του YAΦ για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $T_{\gamma\alpha\phi}=16^{\circ}\text{C}$, εύρος $(23-24)^{\circ}\text{C}$ και $x=2\text{cm}$.

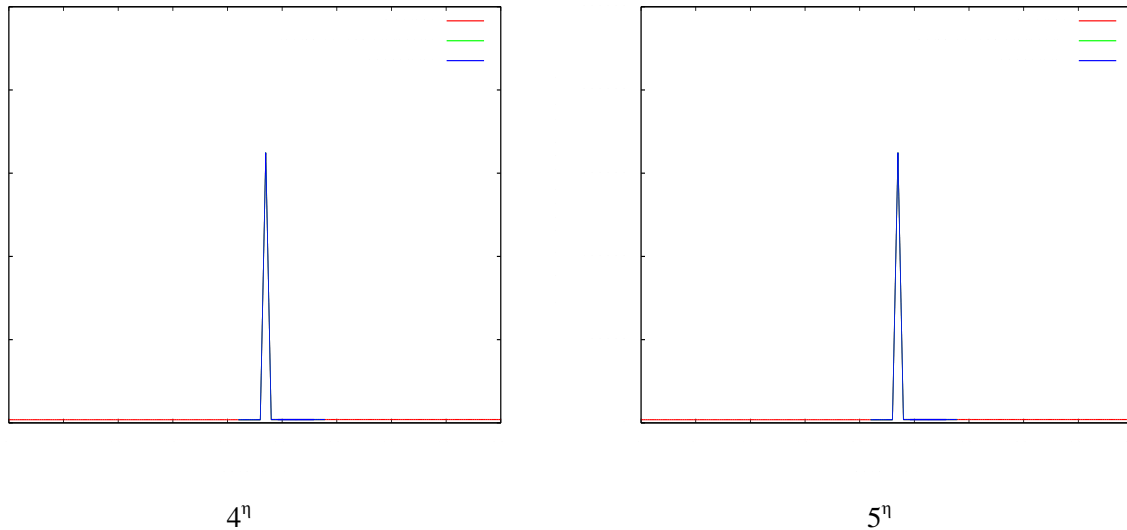
Συνεχίζοντας για τα επόμενα 24ωρα η εικόνα που παίρνουμε έχει ως ακολούθως:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.98 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη YAΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ τα επόμενα 24ωρα του μήνα Ιανουαρίου.

Εξέλιξη YAΦ								
Time [hours]	2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα		5 ^η μέρα	
	$T_{\gamma\alpha\phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	C_{peff} [$\text{J}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$]	$T_{\gamma\alpha\phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	C_{peff} [$\text{J}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$]	$T_{\gamma\alpha\phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	C_{peff} [$\text{J}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$]	$T_{\gamma\alpha\phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	C_{peff} [$\text{J}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$]
5:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00

6:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
7:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
8:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
9:00	23,86	45412,47	23,86	45412,47	23,86	45412,47	23,86	45412,47
10:00	23,93	23407,82	23,93	23407,82	23,93	23407,82	23,93	23407,82
11:00	24,24	2000,00	24,24	2000,00	24,24	2000,00	24,24	2000,00
12:00	28,92	2000,00	28,92	2000,00	28,92	2000,00	28,92	2000,00
13:00	27,26	2000,00	27,26	2000,00	27,26	2000,00	27,26	2000,00
14:00	27,91	2000,00	27,91	2000,00	27,91	2000,00	27,91	2000,00
15:00	26,27	2000,00	26,27	2000,00	26,27	2000,00	26,27	2000,00
16:00	24,61	2000,00	24,61	2000,00	24,61	2000,00	24,61	2000,00
17:00	19,39	1900,00	19,39	1900,00	19,39	1900,00	19,39	1900,00
18:00	21,84	1900,00	21,84	1900,00	21,84	1900,00	21,84	1900,00
19:00	20,56	1900,00	20,56	1900,00	20,56	1900,00	20,56	1900,00
20:00	21,23	1900,00	21,23	1900,00	21,23	1900,00	21,23	1900,00
21:00	20,88	1900,00	20,88	1900,00	20,88	1900,00	20,88	1900,00
22:00	21,06	1900,00	21,06	1900,00	21,06	1900,00	21,06	1900,00
23:00	20,97	1900,00	20,97	1900,00	20,97	1900,00	20,97	1900,00
0:00	21,02	1900,00	21,02	1900,00	21,02	1900,00	21,02	1900,00
1:00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00
2:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
3:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
4:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00

2¹3¹



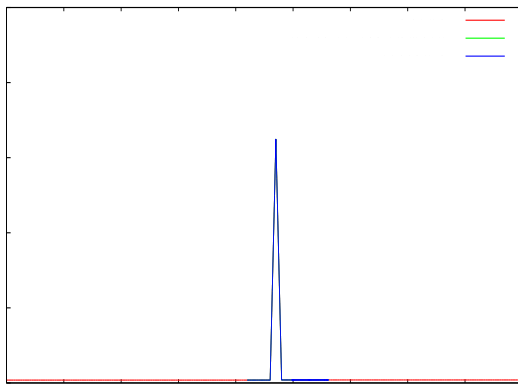
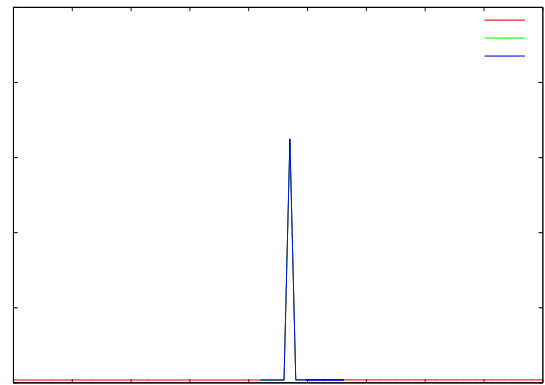
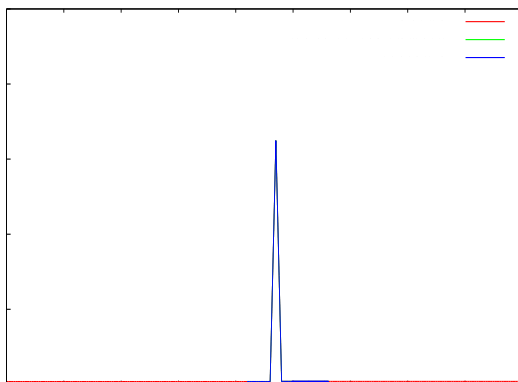
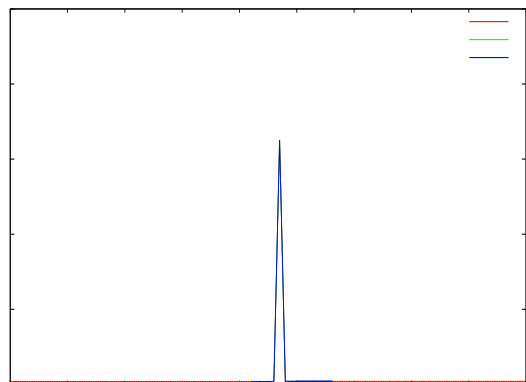
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.90 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ για το μήνα Ιανουάριο την 2^η, 3^η, 4^η και 5^η μέρα.

Με τον κύκλο που επαναλαμβάνεται το μήνα Ιανουάριο φαίνεται να έχουμε πετύχει την τέλεια εφαρμογή. Την πρώτη μέρα ολοκληρώνεται ο κύκλος και από τη 2η κιάλας μέρα που έχουμε την επανάληψη μμπαίνουμε στη μόνιμη κατάσταση. Ο λόγος που το πετύχαμε οφείλεται στο συνδυασμό των τιμών των παραμέτρων η επιλογήτων οποίων προήλθε κατόπιν της έρευνας που προηγήθηκε. Ήταν εμφανές ότι τα μικρά πάχη μόνωσης ευνοούν τις απότομες και γρήγορες μεταβολές γεγονός που είναι και απόλυτα λογικό και φαίνεται και στις μεταβολές που σημειώνονται από ώρα σε ώρα στους πίνακες που προηγήθηκαν γι' αυτό και επιλέχθηκε πάχος υλικού μόλις 1cm. Στη συνέχεια είχε γίνει αντιληπτό ότι το υλικό επιστρέφοντας στην κατάσταση από την οποία ξεκίνησε στην αρχή της μέρας ισορροπεί πάρα πολύ κοντά στη θερμοκρασία του δωματίου γι αυτό και τη τοποθετώ (εφόσον υποθέτω ότι με κάποιο τρόπο (ψύξη, θέρμανση) μπορώ να τη κρατήσω σταθερή) πιο κάτω από την περιοχή αλλαγής φάσης και ταυτόχρονα ρυθμίζω το εν λόγω εύρος ώστε να με καλύπτει για τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται καθόλητη διάρκεια του έτους έτσι ώστε με την υπάρχουσα ακτινοβολία να μπορώ να ανεβάσω τη θερμοκρασία του υλικού μου κάθε μήνα πάνω από τη θερμοκρασία στερεοποίησης. Συνεχίζοντας λοιπόν να δούμε πως επιδρούν οι υπόλοιποι μήνες στο υλικό έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.99 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ το μήνα Φεβρουάριο.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	1 ^η μέρα		2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	C_{peff}	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	C_{peff}	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	C_{peff}	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	C_{peff}
		[J/kg °C]		[J/kg °C]		[J/kg °C]		[J/kg °C]
5:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
6:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
7:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
8:00	22,93	1900,00	22,93	1900,00	22,93	1900,00	22,93	1900,00
9:00	24,43	2000,00	24,43	2000,00	24,43	2000,00	24,43	2000,00
10:00	26,22	2000,00	26,22	2000,00	26,22	2000,00	26,22	2000,00
11:00	27,34	2000,00	27,34	2000,00	27,34	2000,00	27,34	2000,00
12:00	28,12	2000,00	28,12	2000,00	28,12	2000,00	28,12	2000,00
13:00	28,05	2000,00	28,05	2000,00	28,05	2000,00	28,05	2000,00
14:00	27,74	2000,00	27,74	2000,00	27,74	2000,00	27,74	2000,00
15:00	26,37	2000,00	26,37	2000,00	26,37	2000,00	26,37	2000,00
16:00	24,90	2000,00	24,90	2000,00	24,90	2000,00	24,90	2000,00
17:00	21,64	1900,00	21,64	1900,00	21,64	1900,00	21,64	1900,00

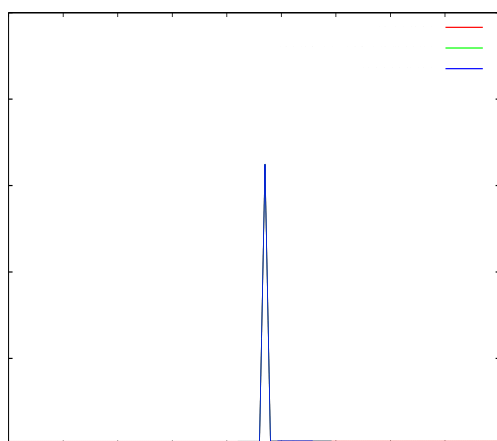
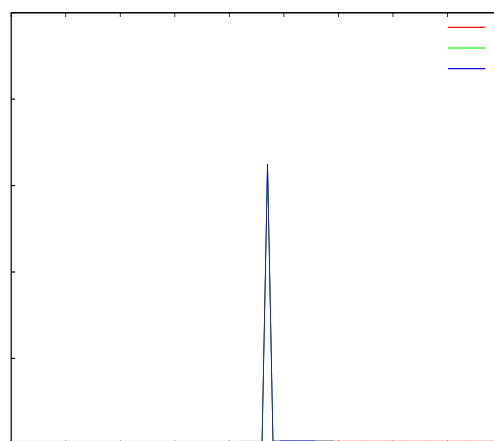
18:00	20,67	1900,00	20,67	1900,00	20,67	1900,00	20,67	1900,00
19:00	21,17	1900,00	21,17	1900,00	21,17	1900,00	21,17	1900,00
20:00	20,91	1900,00	20,91	1900,00	20,91	1900,00	20,91	1900,00
21:00	21,05	1900,00	21,05	1900,00	21,05	1900,00	21,05	1900,00
22:00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00
23:00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00
0:00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00
1:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
2:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
3:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
4:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00

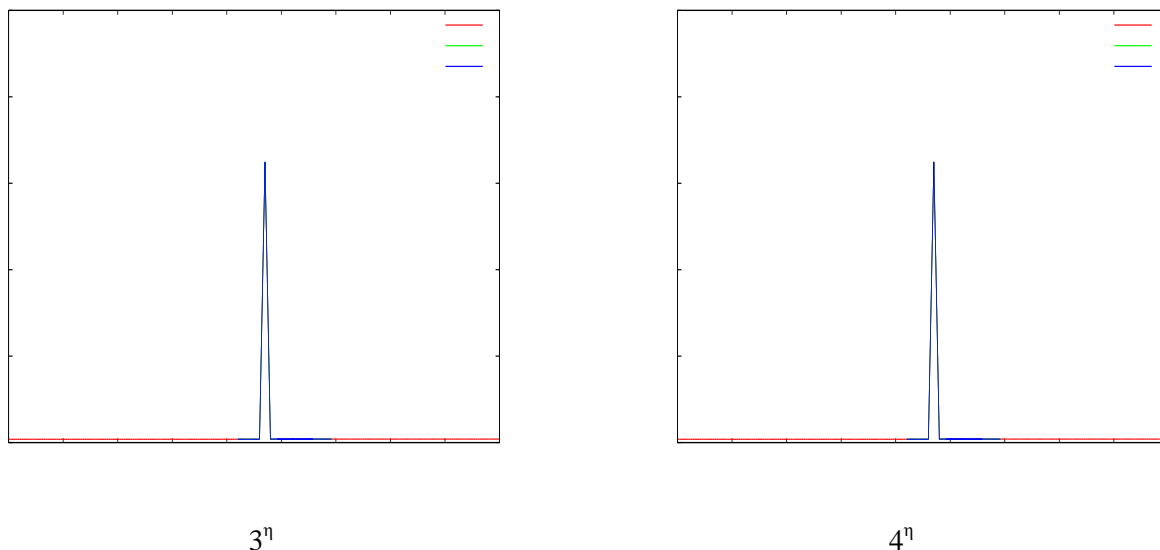
1^η2^η3^η4^η

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.91 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας YAΦ για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $\chi=1\text{cm}$ για το μήνα Φεβρουάριο την 1^η, 2^η, 3^η και 4^η μέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.100 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ το μήνα Μάρτιο.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	1 ^η μέρα		2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	C_{peff}	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	C_{peff}	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	C_{peff}	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	C_{peff}
		[J/kg $^{\circ}\text{C}$]		[J/kg $^{\circ}\text{C}$]		[J/kg $^{\circ}\text{C}$]		[J/kg $^{\circ}\text{C}$]
5:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
6:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
7:00	21,73	1900,00	21,73	1900,00	21,73	1900,00	21,73	1900,00
8:00	23,80	65053,22	23,80	65053,22	23,80	65053,22	23,80	65053,22
9:00	23,84	52052,27	23,84	52052,27	23,84	52052,27	23,84	52052,27
10:00	23,98	8295,34	23,98	8295,34	23,98	8295,34	23,98	8295,34
11:00	25,20	2000,00	25,20	2000,00	25,20	2000,00	25,20	2000,00
12:00	29,60	2000,00	29,60	2000,00	29,60	2000,00	29,60	2000,00
13:00	27,73	2000,00	27,73	2000,00	27,73	2000,00	27,73	2000,00
14:00	27,87	2000,00	27,87	2000,00	27,87	2000,00	27,87	2000,00
15:00	26,08	2000,00	26,08	2000,00	26,08	2000,00	26,08	2000,00
16:00	24,65	2000,00	24,65	2000,00	24,65	2000,00	24,65	2000,00
17:00	22,51	1900,00	22,51	1900,00	22,51	1900,00	22,51	1900,00
18:00	20,21	1900,00	20,21	1900,00	20,21	1900,00	20,21	1900,00
19:00	21,41	1900,00	21,41	1900,00	21,41	1900,00	21,41	1900,00
20:00	20,79	1900,00	20,79	1900,00	20,79	1900,00	20,79	1900,00
21:00	21,11	1900,00	21,11	1900,00	21,11	1900,00	21,11	1900,00
22:00	20,94	1900,00	20,94	1900,00	20,94	1900,00	20,94	1900,00
23:00	21,03	1900,00	21,03	1900,00	21,03	1900,00	21,03	1900,00
0:00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00
1:00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00
2:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
3:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
4:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00

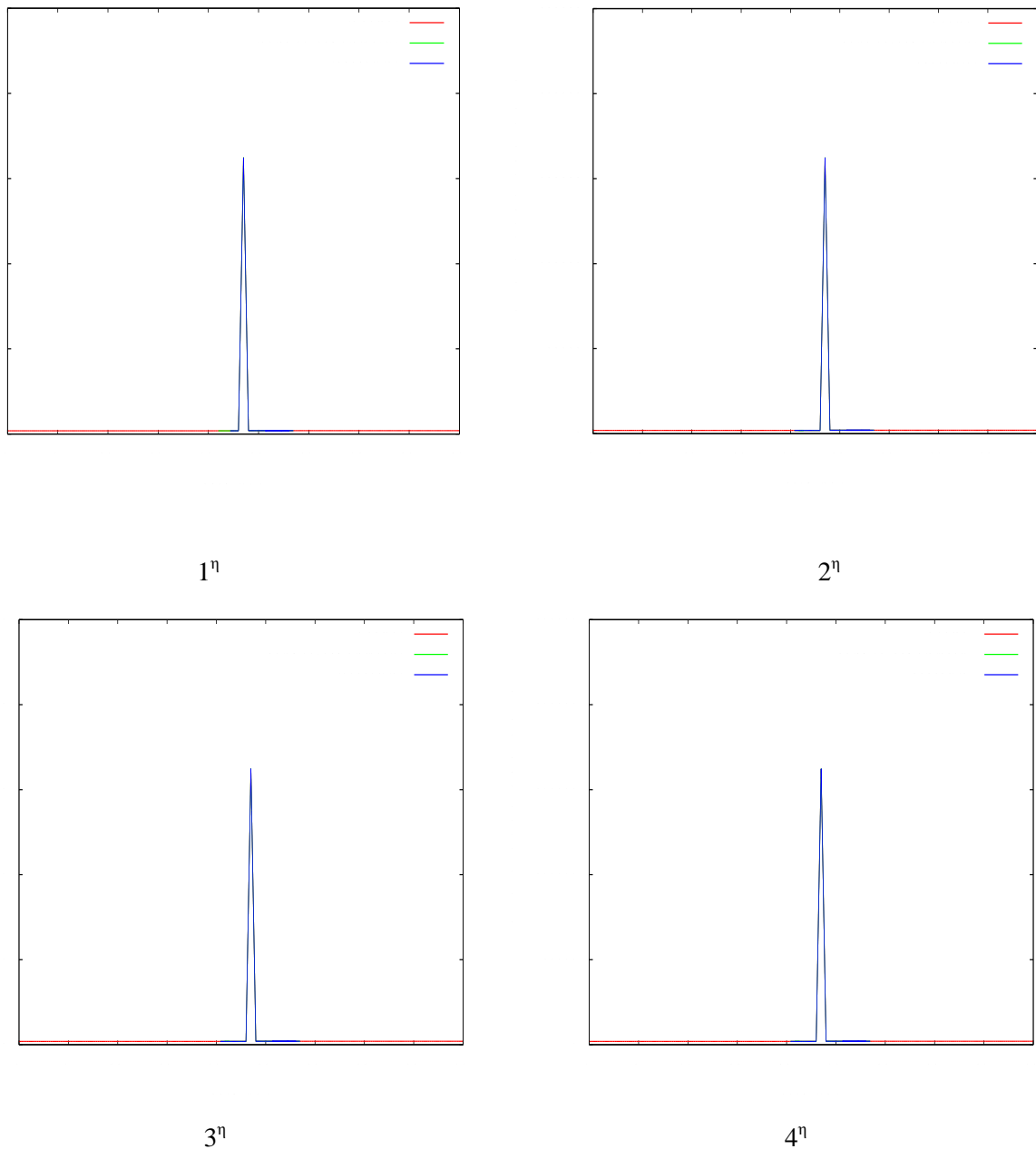
1^η2^η



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.92 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας YAΦ για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ για το μήνα Μάρτιο την 1^η, 2^η, 3^η και 4^η μέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.101 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη YAΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ το μήνα Απρίλιο.

Εξέλιξη YAΦ								
Time [hours]	1 ^η μέρα		2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα	
	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]
5:00	21,00	1900,00	20,38	1900,00	20,40	1900,00	20,40	1900,00
6:00	21,00	1900,00	21,32	1900,00	21,31	1900,00	21,31	1900,00
7:00	21,00	1900,00	20,83	1900,00	20,84	1900,00	20,84	1900,00
8:00	24,95	2000,00	25,04	2000,00	25,03	2000,00	25,03	2000,00
9:00	25,33	2000,00	25,29	2000,00	25,29	2000,00	25,29	2000,00
10:00	27,28	2000,00	27,30	2000,00	27,30	2000,00	27,30	2000,00
11:00	27,93	2000,00	27,93	2000,00	27,93	2000,00	27,93	2000,00
12:00	28,47	2000,00	28,47	2000,00	28,47	2000,00	28,47	2000,00
13:00	28,06	2000,00	28,06	2000,00	28,06	2000,00	28,06	2000,00
14:00	27,21	2000,00	27,21	2000,00	27,21	2000,00	27,21	2000,00
15:00	25,68	2000,00	25,68	2000,00	25,68	2000,00	25,68	2000,00
16:00	23,92	27337,37	23,92	27293,34	23,92	27294,76	23,92	27294,76
17:00	23,61	126326,72	23,61	126447,05	23,61	126443,16	23,61	126443,16
18:00	23,55	145482,40	23,55	145581,76	23,55	145578,54	23,55	145578,54
19:00	23,50	161735,12	23,50	161821,41	23,50	161818,62	23,50	161818,62
20:00	23,46	148418,66	23,46	148341,45	23,46	148343,95	23,46	148343,95
21:00	23,41	133064,13	23,41	132980,45	23,41	132983,15	23,41	132983,15
22:00	23,36	116271,49	23,36	116179,05	23,36	116182,04	23,36	116182,04
23:00	23,30	97471,17	23,30	97366,07	23,30	97369,47	23,30	97369,47
0:00	23,23	75602,35	23,23	75476,77	23,23	75480,83	23,23	75480,83
1:00	23,14	48244,15	23,14	48077,86	23,14	48083,24	23,14	48083,24
2:00	23,02	7011,45	23,02	6712,56	23,02	6722,25	23,02	6722,25
3:00	22,18	1900,00	22,15	1900,00	22,15	1900,00	22,15	1900,00
4:00	20,38	1900,00	20,40	1900,00	20,40	1900,00	20,40	1900,00

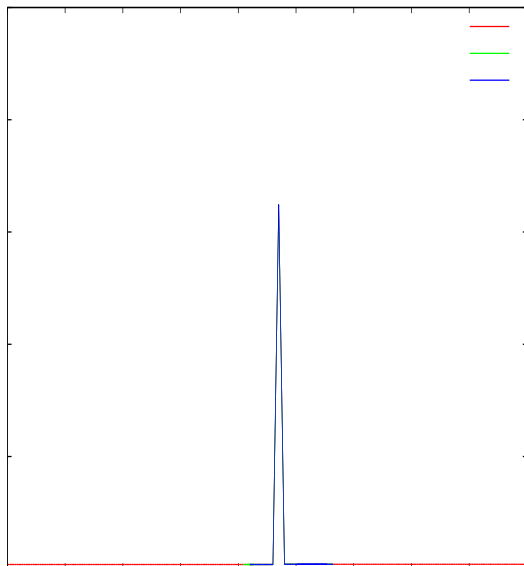
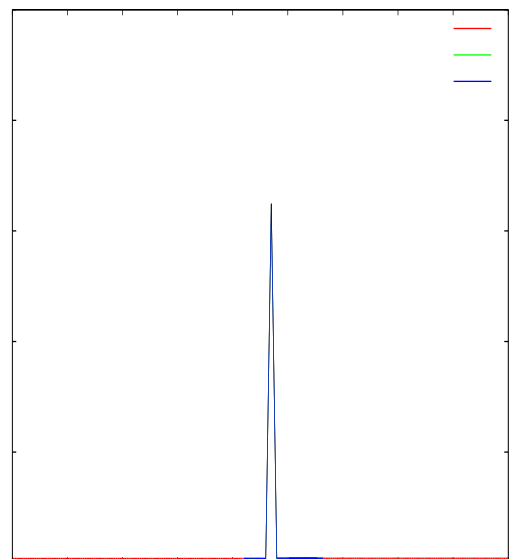


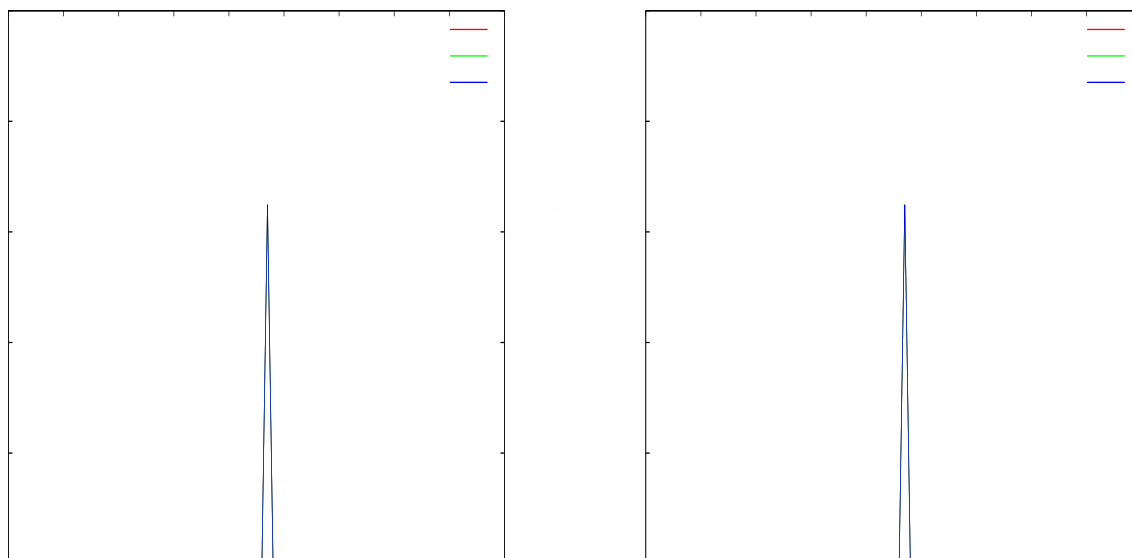
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.93 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ για το μήνα Απρίλιο την 1^η, 2^η, 3^η και 4^η μέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.102 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ το μήνα Μάιο.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	1 ^η μέρα		2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	20,40	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00
6:00	21,31	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00
7:00	20,84	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
8:00	25,35	2000,00	25,27	2000,00	25,27	2000,00	25,27	2000,00
9:00	25,40	2000,00	25,44	2000,00	25,44	2000,00	25,44	2000,00
10:00	27,39	2000,00	27,37	2000,00	27,37	2000,00	27,37	2000,00

11:00	27,86	2000,00	27,87	2000,00	27,87	2000,00	27,87	2000,00
12:00	28,21	2000,00	28,21	2000,00	28,21	2000,00	28,21	2000,00
13:00	27,66	2000,00	27,66	2000,00	27,66	2000,00	27,66	2000,00
14:00	26,68	2000,00	26,68	2000,00	26,68	2000,00	26,68	2000,00
15:00	25,13	2000,00	25,13	2000,00	25,13	2000,00	25,13	2000,00
16:00	23,30	98842,53	23,30	98799,16	23,30	98799,16	23,30	98799,16
17:00	23,23	77237,01	23,23	77185,42	23,23	77185,42	23,23	77185,42
18:00	23,15	50396,63	23,15	50329,03	23,15	50329,03	23,15	50329,03
19:00	23,03	10801,52	23,03	10684,62	23,03	10684,62	23,03	10684,62
20:00	22,48	1900,00	22,48	1900,00	22,48	1900,00	22,48	1900,00
21:00	20,23	1900,00	20,23	1900,00	20,23	1900,00	20,23	1900,00
22:00	21,40	1900,00	21,40	1900,00	21,40	1900,00	21,40	1900,00
23:00	20,79	1900,00	20,79	1900,00	20,79	1900,00	20,79	1900,00
0:00	21,11	1900,00	21,11	1900,00	21,11	1900,00	21,11	1900,00
1:00	20,94	1900,00	20,94	1900,00	20,94	1900,00	20,94	1900,00
2:00	21,03	1900,00	21,03	1900,00	21,03	1900,00	21,03	1900,00
3:00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00
4:00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00

1ⁿ2ⁿ

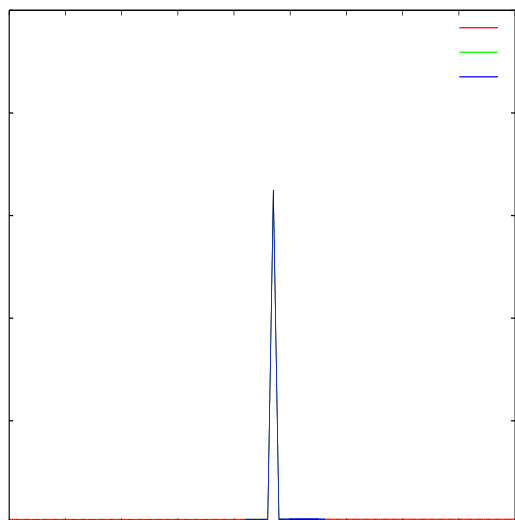
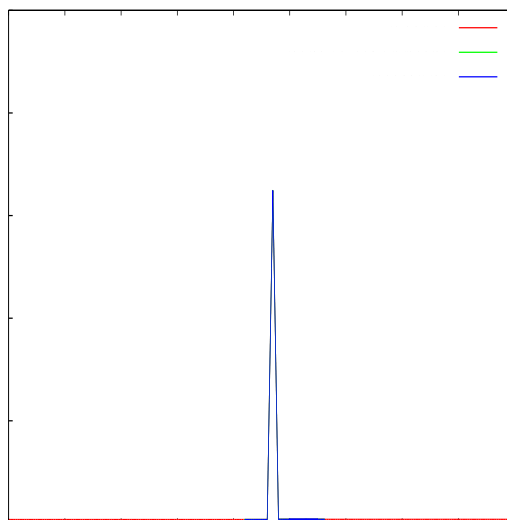
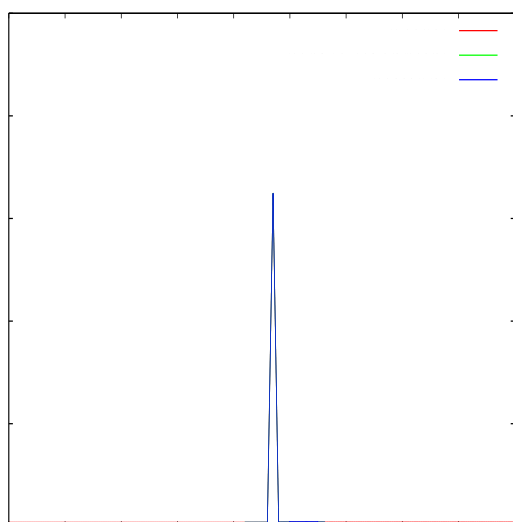
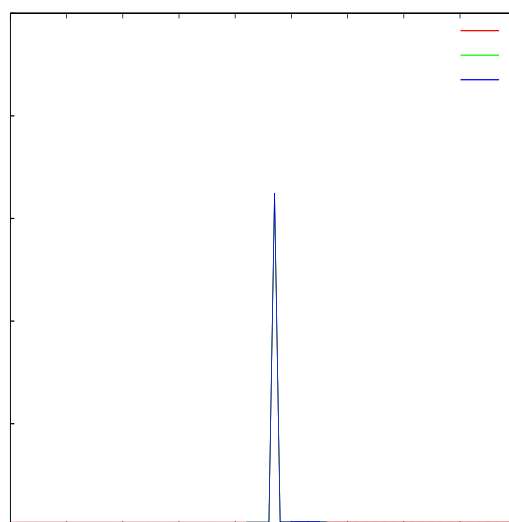
3^η4^η

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.94 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας YAΦ για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $\chi=1\text{cm}$ για το μήνα Μάιο την 1^η, 2^η, 3^η και 4^η μέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.103 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη YAΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $\chi=1\text{cm}$ το μήνα Ιούνιο.

Εξέλιξη YAΦ								
Time [hours]	1 ^η μέρα		2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα	
	$T_{\text{YA}\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{YA}\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{YA}\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{YA}\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]
5:00	21,01	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
6:00	20,99	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
7:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
8:00	25,38	2000,00	25,38	2000,00	25,38	2000,00	25,38	2000,00
9:00	25,49	2000,00	25,49	2000,00	25,49	2000,00	25,49	2000,00
10:00	27,43	2000,00	27,43	2000,00	27,43	2000,00	27,43	2000,00
11:00	27,88	2000,00	27,88	2000,00	27,88	2000,00	27,88	2000,00
12:00	28,12	2000,00	28,12	2000,00	28,12	2000,00	28,12	2000,00
13:00	27,51	2000,00	27,51	2000,00	27,51	2000,00	27,51	2000,00
14:00	26,49	2000,00	26,49	2000,00	26,49	2000,00	26,49	2000,00
15:00	24,94	2000,00	24,94	2000,00	24,94	2000,00	24,94	2000,00
16:00	23,09	31591,82	23,09	31592,53	23,09	31592,53	23,09	31592,53
17:00	22,90	1900,00	22,90	1900,00	22,90	1900,00	22,90	1900,00
18:00	20,01	1900,00	20,01	1900,00	20,01	1900,00	20,01	1900,00
19:00	21,52	1900,00	21,52	1900,00	21,52	1900,00	21,52	1900,00
20:00	20,73	1900,00	20,73	1900,00	20,73	1900,00	20,73	1900,00
21:00	21,14	1900,00	21,14	1900,00	21,14	1900,00	21,14	1900,00
22:00	20,93	1900,00	20,93	1900,00	20,93	1900,00	20,93	1900,00
23:00	21,04	1900,00	21,04	1900,00	21,04	1900,00	21,04	1900,00
0:00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00
1:00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00
2:00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00
3:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00

4:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
------	-------	---------	-------	---------	-------	---------	-------	---------

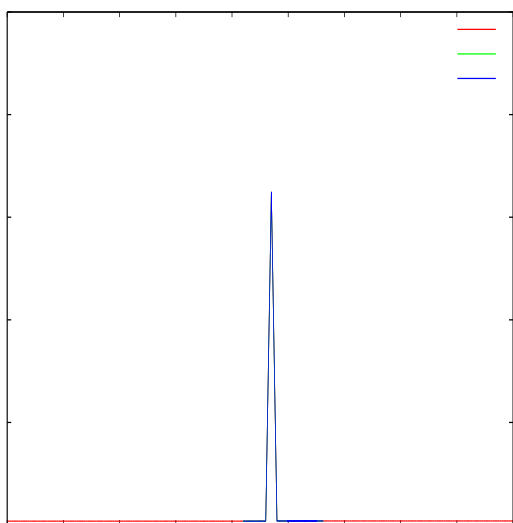
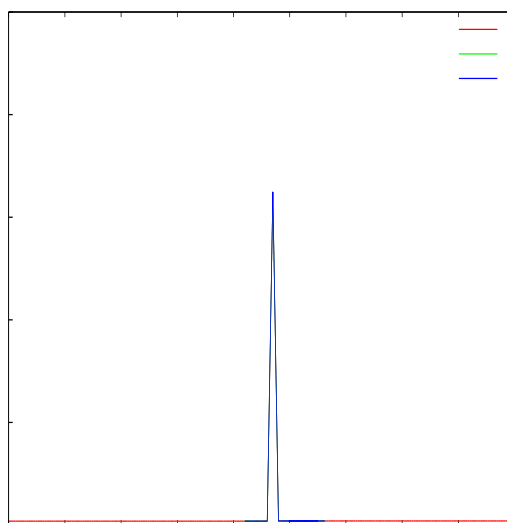
1^η2^η3^η4^η

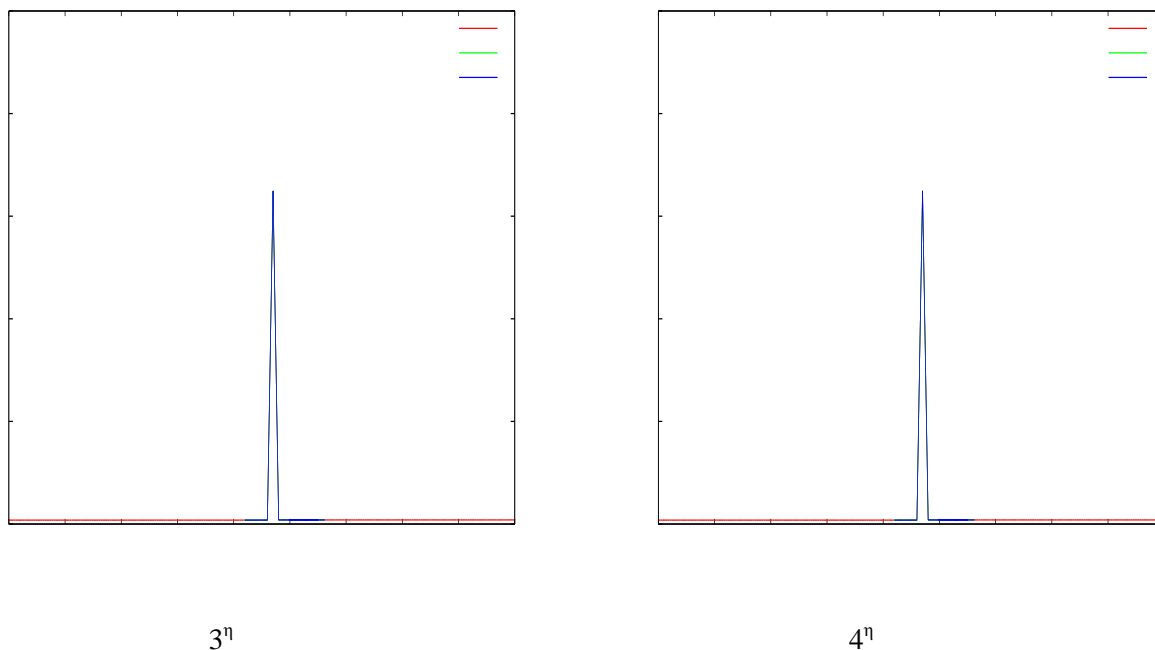
12

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.95 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ για το μήνα Ιούνιο την 1^η, 2^η, 3^η και 4^η μέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.104 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $\kappa=1\text{cm}$ το μήνα Ιούλιο.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	1 ^η μέρα		2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	21,00	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00
6:00	21,00	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00
7:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
8:00	25,40	2000,00	25,39	2000,00	25,39	2000,00	25,39	2000,00
9:00	25,63	2000,00	25,63	2000,00	25,63	2000,00	25,63	2000,00
10:00	27,65	2000,00	27,65	2000,00	27,65	2000,00	27,65	2000,00
11:00	28,18	2000,00	28,18	2000,00	28,18	2000,00	28,18	2000,00
12:00	28,49	2000,00	28,49	2000,00	28,49	2000,00	28,49	2000,00
13:00	27,95	2000,00	27,95	2000,00	27,95	2000,00	27,95	2000,00
14:00	26,90	2000,00	26,90	2000,00	26,90	2000,00	26,90	2000,00
15:00	25,35	2000,00	25,35	2000,00	25,35	2000,00	25,35	2000,00
16:00	23,45	147332,46	23,45	147331,75	23,45	147331,75	23,45	147331,75
17:00	23,41	131886,06	23,41	131885,28	23,41	131885,28	23,41	131885,28
18:00	23,35	114969,24	23,35	114968,39	23,35	114968,39	23,35	114968,39
19:00	23,29	95988,72	23,29	95987,74	23,29	95987,74	23,29	95987,74
20:00	23,22	73826,81	23,22	73825,65	23,22	73825,65	23,22	73825,65
21:00	23,14	45880,19	23,14	45878,63	23,14	45878,63	23,14	45878,63
22:00	23,00	2671,99	23,00	2669,05	23,00	2669,05	23,00	2669,05
23:00	20,84	1900,00	20,83	1900,00	20,83	1900,00	20,83	1900,00
0:00	21,09	1900,00	21,09	1900,00	21,09	1900,00	21,09	1900,00
1:00	20,96	1900,00	20,95	1900,00	20,95	1900,00	20,95	1900,00
2:00	21,02	1900,00	21,02	1900,00	21,02	1900,00	21,02	1900,00
3:00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00
4:00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00

1^η2^η



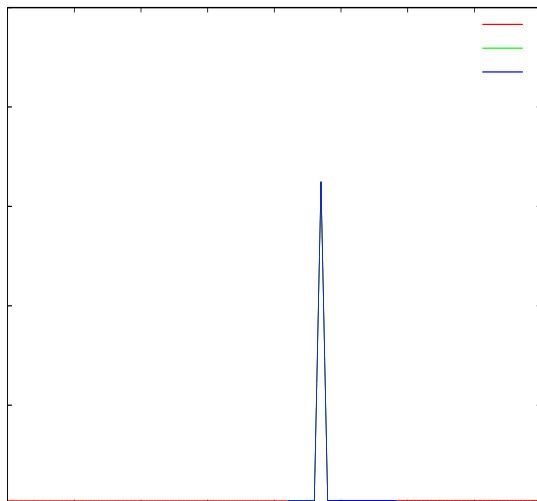
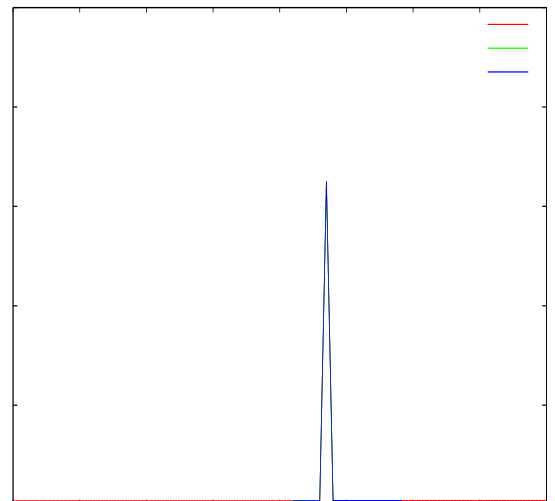
12

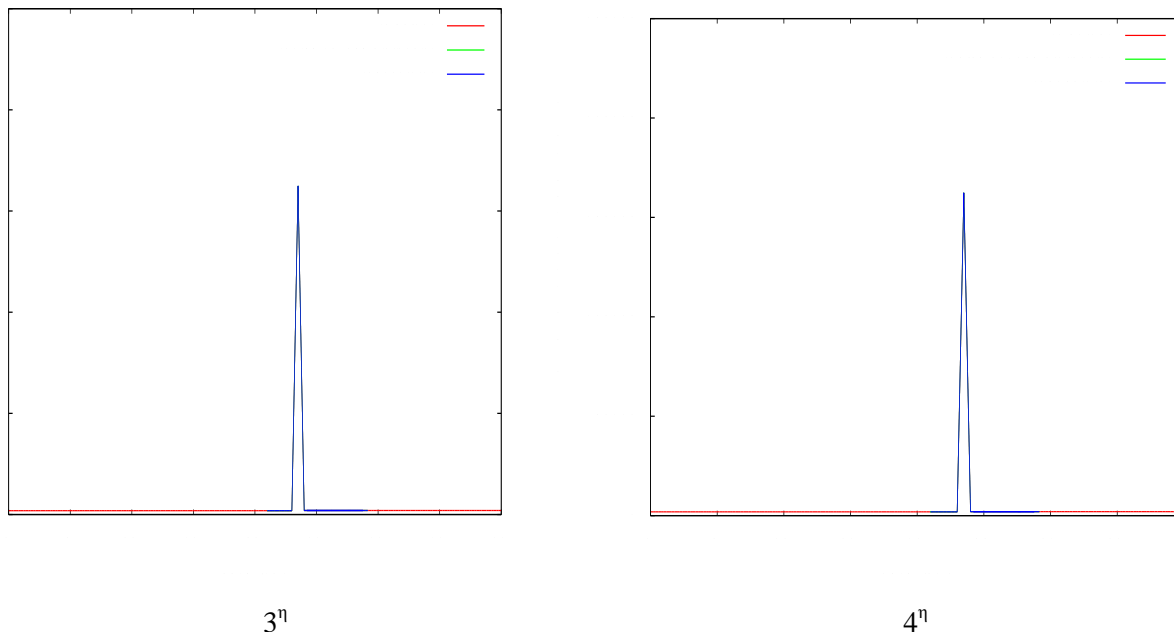
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.96 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας YAΦ για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ για το μήνα Ιούλιο την 1^η, 2^η, 3^η και 4^η μέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.105 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη YAΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ το μήνα Αύγουστο.

Εξέλιξη YAΦ								
Time [hours]	1 ^η μέρα		2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα	
	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]
5:00	21,01	1900	21	1900,00	21	1900,00	21	1900,00
6:00	20,99	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
7:00	22,79	1900,00	22,79	1900,00	22,79	1900,00	22,79	1900,00
8:00	24,33	2000,00	24,33	2000,00	24,33	2000,00	24,33	2000,00
9:00	26,18	2000,00	26,18	2000,00	26,18	2000,00	26,18	2000,00
10:00	27,71	2000,00	27,71	2000,00	27,71	2000,00	27,71	2000,00
11:00	28,73	2000,00	28,73	2000,00	28,73	2000,00	28,73	2000,00
12:00	29,16	2000,00	29,16	2000,00	29,16	2000,00	29,16	2000,00
13:00	28,77	2000,00	28,77	2000,00	28,77	2000,00	28,77	2000,00
14:00	27,73	2000,00	27,73	2000,00	27,73	2000,00	27,73	2000,00
15:00	26,22	2000,00	26,22	2000,00	26,22	2000,00	26,22	2000,00
16:00	24,22	2000,00	24,22	2000,00	24,22	2000,00	24,22	2000,00
17:00	22,27	1900,00	22,27	1900,00	22,27	1900,00	22,27	1900,00
18:00	21,16	1900,00	21,16	1900,00	21,16	1900,00	21,16	1900,00
19:00	20,92	1900,00	20,92	1900,00	20,92	1900,00	20,92	1900,00
20:00	21,04	1900,00	21,04	1900,00	21,04	1900,00	21,04	1900,00
21:00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00
22:00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00
23:00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00
0:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
1:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
2:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
3:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
4:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00

9:00	25,90	2000,00	25,90	2000,00	25,90	2000,00	25,90	2000,00
10:00	27,75	2000,00	27,75	2000,00	27,75	2000,00	27,75	2000,00
11:00	28,91	2000,00	28,91	2000,00	28,91	2000,00	28,91	2000,00
12:00	29,70	2000,00	29,70	2000,00	29,70	2000,00	29,70	2000,00
13:00	29,45	2000,00	29,45	2000,00	29,45	2000,00	29,45	2000,00
14:00	28,49	2000,00	28,49	2000,00	28,49	2000,00	28,49	2000,00
15:00	27,08	2000,00	27,08	2000,00	27,08	2000,00	27,08	2000,00
16:00	24,99	2000,00	24,99	2000,00	24,99	2000,00	24,99	2000,00
17:00	22,82	1900,00	22,82	1900,00	22,82	1900,00	22,82	1900,00
18:00	20,05	1900,00	20,05	1900,00	20,05	1900,00	20,05	1900,00
19:00	21,49	1900,00	21,49	1900,00	21,49	1900,00	21,49	1900,00
20:00	20,74	1900,00	20,74	1900,00	20,74	1900,00	20,74	1900,00
21:00	21,13	1900,00	21,13	1900,00	21,13	1900,00	21,13	1900,00
22:00	20,93	1900,00	20,93	1900,00	20,93	1900,00	20,93	1900,00
23:00	21,04	1900,00	21,04	1900,00	21,04	1900,00	21,04	1900,00
0:00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00	20,98	1900,00
1:00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00
2:00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00
3:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
4:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00

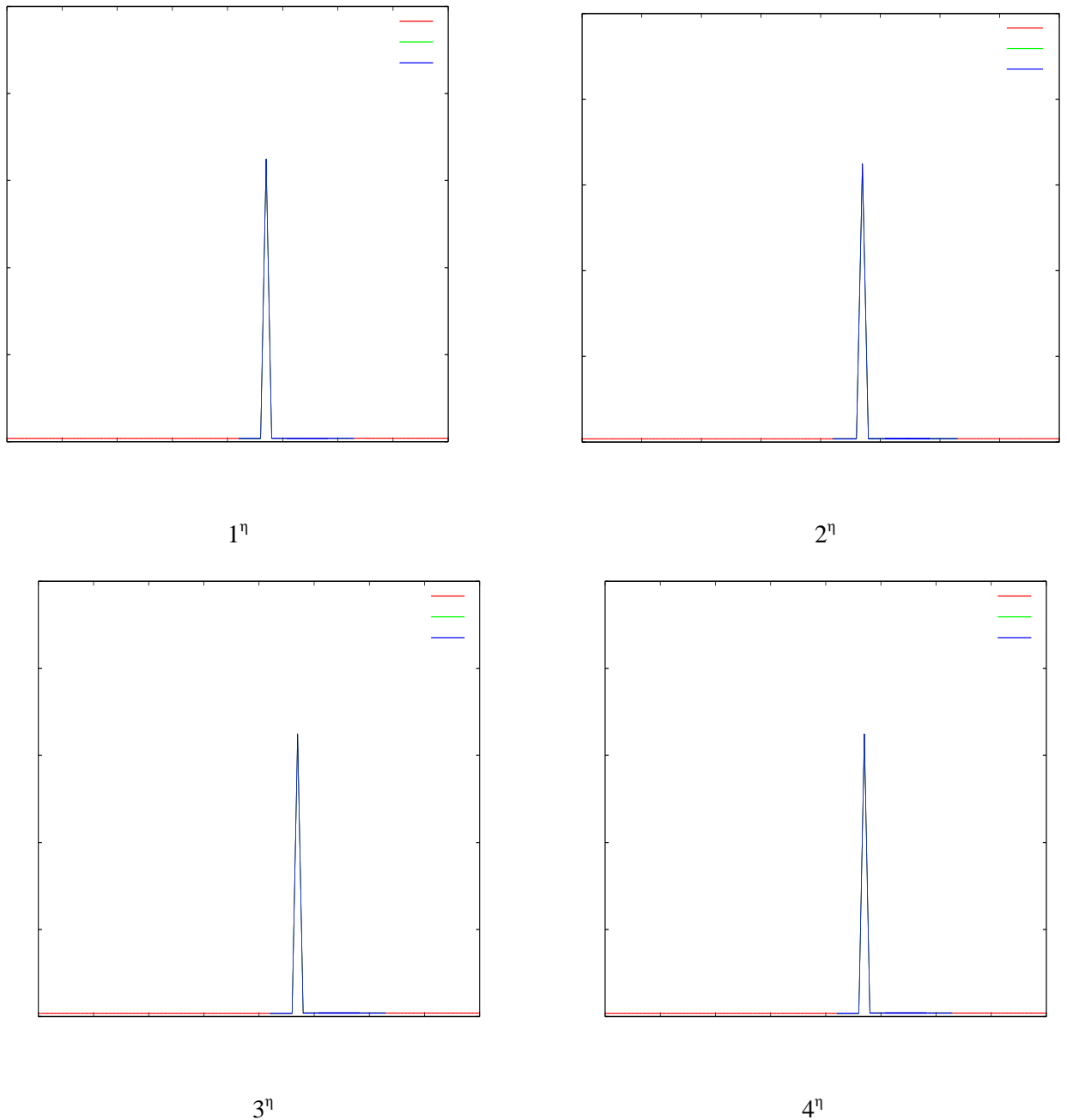
1^η2^η



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.98 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $\chi=1\text{cm}$ για το μήνα Σεπτέμβριο την 1^η, 2^η, 3^η και 4^η μέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.108 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $\chi=1\text{cm}$ το μήνα Οκτώβριο.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	1 ^η μέρα		2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
6:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
7:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
8:00	23,77	75116,01	23,77	75116,01	23,77	75116,01	23,77	75116,01
9:00	23,81	63576,37	23,81	63576,37	23,81	63576,37	23,81	63576,37
10:00	23,94	22143,23	23,94	22143,23	23,94	22143,23	23,94	22143,23
11:00	24,49	2000,00	24,49	2000,00	24,49	2000,00	24,49	2000,00
12:00	31,48	2000,00	31,48	2000,00	31,48	2000,00	31,48	2000,00
13:00	28,72	2000,00	28,72	2000,00	28,72	2000,00	28,72	2000,00
14:00	29,12	2000,00	29,12	2000,00	29,12	2000,00	29,12	2000,00
15:00	27,36	2000,00	27,36	2000,00	27,36	2000,00	27,36	2000,00
16:00	25,40	2000,00	25,40	2000,00	25,40	2000,00	25,40	2000,00
17:00	19,04	1900,00	19,04	1900,00	19,04	1900,00	19,04	1900,00
18:00	22,02	1900,00	22,02	1900,00	22,02	1900,00	22,02	1900,00
19:00	20,47	1900,00	20,47	1900,00	20,47	1900,00	20,47	1900,00
20:00	21,28	1900,00	21,28	1900,00	21,28	1900,00	21,28	1900,00
21:00	20,85	1900,00	20,85	1900,00	20,85	1900,00	20,85	1900,00
22:00	21,08	1900,00	21,08	1900,00	21,08	1900,00	21,08	1900,00
23:00	20,96	1900,00	20,96	1900,00	20,96	1900,00	20,96	1900,00
0:00	21,02	1900,00	21,02	1900,00	21,02	1900,00	21,02	1900,00
1:00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00
2:00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00
3:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
4:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00

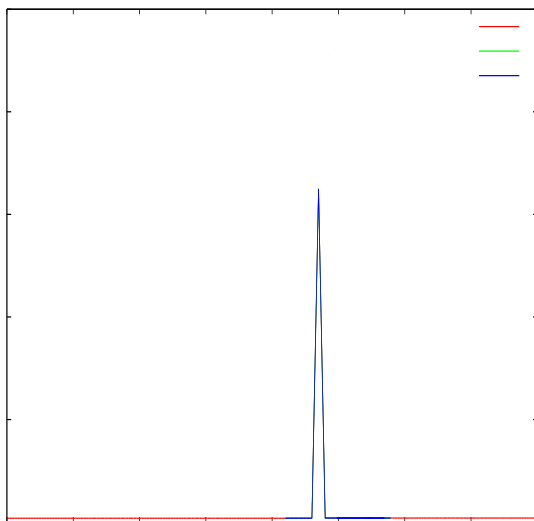
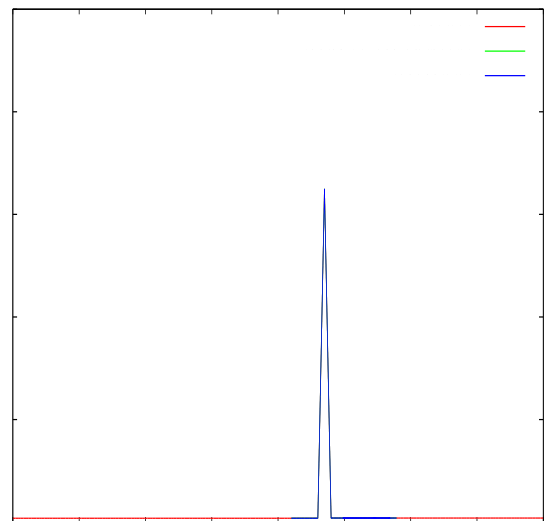


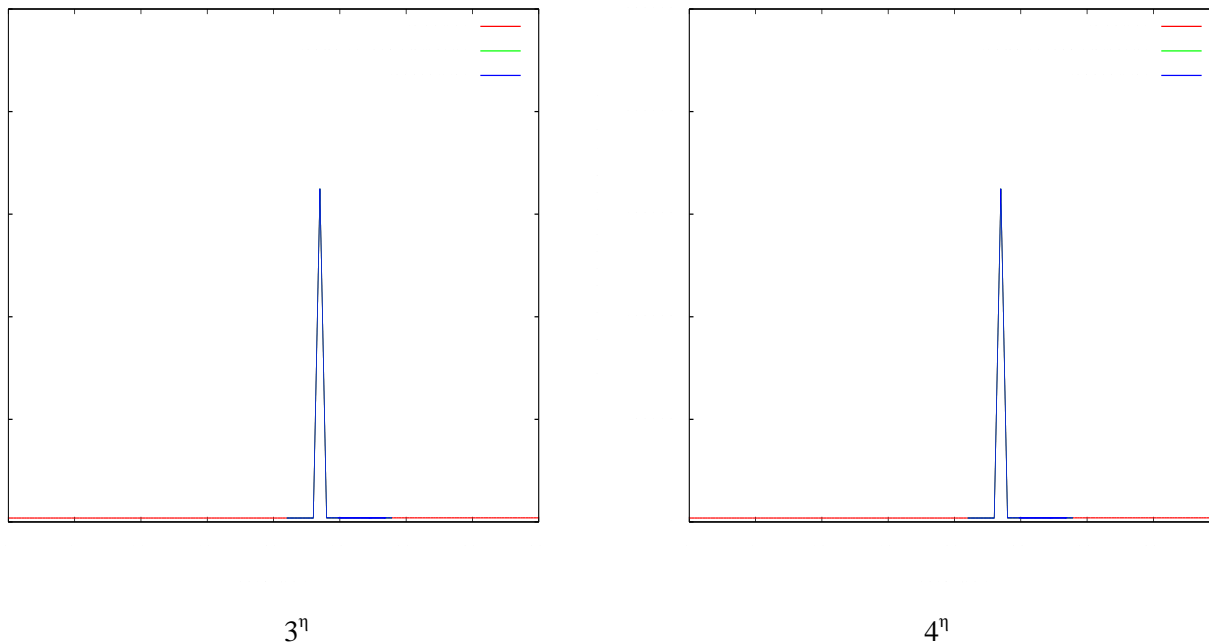
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.99 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ για το μήνα Οκτώβριο την 1^η, 2^η, 3^η και 4^η μέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.109 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ το μήνα Νοέμβριο.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	1 ^η μέρα		2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	C_{peff} [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	C_{peff} [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	C_{peff} [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	C_{peff} [J/kg $^{\circ}\text{C}$]
5:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
6:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
7:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00

8:00	21,68	1900,00	21,68	1900,00	21,68	1900,00	21,68	1900,00
9:00	24,49	2000,00	24,49	2000,00	24,49	2000,00	24,49	2000,00
10:00	26,21	2000,00	26,21	2000,00	26,21	2000,00	26,21	2000,00
11:00	27,84	2000,00	27,84	2000,00	27,84	2000,00	27,84	2000,00
12:00	28,90	2000,00	28,90	2000,00	28,90	2000,00	28,90	2000,00
13:00	28,93	2000,00	28,93	2000,00	28,93	2000,00	28,93	2000,00
14:00	28,44	2000,00	28,44	2000,00	28,44	2000,00	28,44	2000,00
15:00	27,32	2000,00	27,32	2000,00	27,32	2000,00	27,32	2000,00
16:00	24,91	2000,00	24,91	2000,00	24,91	2000,00	24,91	2000,00
17:00	19,26	1900,00	19,26	1900,00	19,26	1900,00	19,26	1900,00
18:00	21,91	1900,00	21,91	1900,00	21,91	1900,00	21,91	1900,00
19:00	20,53	1900,00	20,53	1900,00	20,53	1900,00	20,53	1900,00
20:00	21,25	1900,00	21,25	1900,00	21,25	1900,00	21,25	1900,00
21:00	20,87	1900,00	20,87	1900,00	20,87	1900,00	20,87	1900,00
22:00	21,07	1900,00	21,07	1900,00	21,07	1900,00	21,07	1900,00
23:00	20,96	1900,00	20,96	1900,00	20,96	1900,00	20,96	1900,00
0:00	21,02	1900,00	21,02	1900,00	21,02	1900,00	21,02	1900,00
1:00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00	20,99	1900,00
2:00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00	21,01	1900,00
3:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00
4:00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00	21,00	1900,00

1^η2^η



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.100 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας YAΦ για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ για το μήνα Νοέμβριο την 1^η, 2^η, 3^η και 4^η μέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.110 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη YAΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ το μήνα Δεκέμβριο.

Εξέλιξη YAΦ								
Time [hours]	1 ^η μέρα		2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα	
	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]	$T_{YA\Phi}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Cpeff [J/kg $^{\circ}\text{C}$]
5:00	21,00	1900,00	20,73	1900,00	21,53	1900,00	21,00	1900,00
6:00	21,00	1900,00	21,14	1900,00	20,72	1900,00	21,00	1900,00
7:00	21,00	1900,00	20,93	1900,00	21,14	1900,00	21,00	1900,00
8:00	21,00	1900,00	21,04	1900,00	20,92	1900,00	21,00	1900,00
9:00	23,41	133729,07	23,39	127304,10	23,45	146341,03	23,41	133729,07
10:00	23,44	143913,61	23,42	138148,59	23,48	155398,65	23,44	143913,61
11:00	23,51	160587,39	23,49	159104,92	23,54	150806,48	23,51	160587,39
12:00	23,58	136300,35	23,57	140790,45	23,62	125131,79	23,58	136300,35
13:00	23,68	105830,88	23,66	111200,50	23,72	92200,86	23,68	105830,88
14:00	23,79	68399,71	23,77	75437,17	23,85	49663,72	23,79	68399,71
15:00	23,93	24093,37	23,90	34994,38	24,04	2000,00	23,93	24093,37
16:00	23,58	136800,26	23,66	111691,50	19,65	1900,00	23,58	136800,26
17:00	23,52	154267,99	23,59	133736,09	21,71	1900,00	23,52	154267,99
18:00	23,48	155060,53	23,53	151670,29	20,63	1900,00	23,48	155060,53
19:00	23,43	140239,85	23,48	157351,88	21,19	1900,00	23,43	140239,85
20:00	23,38	124158,49	23,44	142704,91	20,90	1900,00	23,38	124158,49
21:00	23,33	106368,75	23,39	126851,38	21,05	1900,00	23,33	106368,75
22:00	23,26	86087,35	23,34	109377,91	20,97	1900,00	23,26	86087,35
23:00	23,19	61709,06	23,27	89574,93	21,01	1900,00	23,19	61709,06
0:00	23,08	28842,40	23,20	66033,22	20,99	1900,00	23,08	28842,40
1:00	22,88	1900,00	23,10	35129,47	21,00	1900,00	22,88	1900,00
2:00	20,02	1900,00	22,93	1900,00	21,00	1900,00	20,02	1900,00
3:00	21,51	1900,00	19,99	1900,00	21,00	1900,00	21,51	1900,00
4:00	20,73	1900,00	21,53	1900,00	21,00	1900,00	20,73	1900,00

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.111 Εμπορικά ΥΑΦ

	Ελληνική Παραφίνη	RT20	RT27	RT58	SP25A8
Προτεινόμενο από Rubitherm T_s-T_1		11-26	19-35	50-65	15-30
H [Kj/kg]	136.5	132.1	167.4	166.1	141.5
T_s-T_1	50-58	15-26	22-31	53-62	22-32
Cps, Cpl [kJ/kgK]		1.9 , 2.5	2.0 , 2.3	1.9 , 2.6	2.6 , 2.7

Από τα παραπάνω υλικά το RT20 έχουμε μελετήσει εκτενώς, ενώ η ελληνική παραφίνη και το RT58 λόγω του εύρους αλλαγής φάσης που παρουσιάζουν δε φαίνεται να χρησιμοποιούνται σε κτιριακές εφαρμογές όσον αφορά τη μόνωση τουλάχιστον. Συνεχίζοντας θα παραθέσουμε τα πραγματικά διαγράμματα και τις εξισώσεις μεταβολής της θερμοχωρητικότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας όπως αυτά υπολογίστηκαν σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο καθώς και κάποιες εφαρμογές όπως αυτές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παραμετρικής μελέτης.

Ξεκινώντας με το RT27 έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.112 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

T_s [°C]	T_1 [°C]	C_{ps} [J/kg°C]	C_{pl} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
22	31	2000	2300	167400	1019

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.113 Παράμετροι – Συνθήκες Περιβάλλοντος

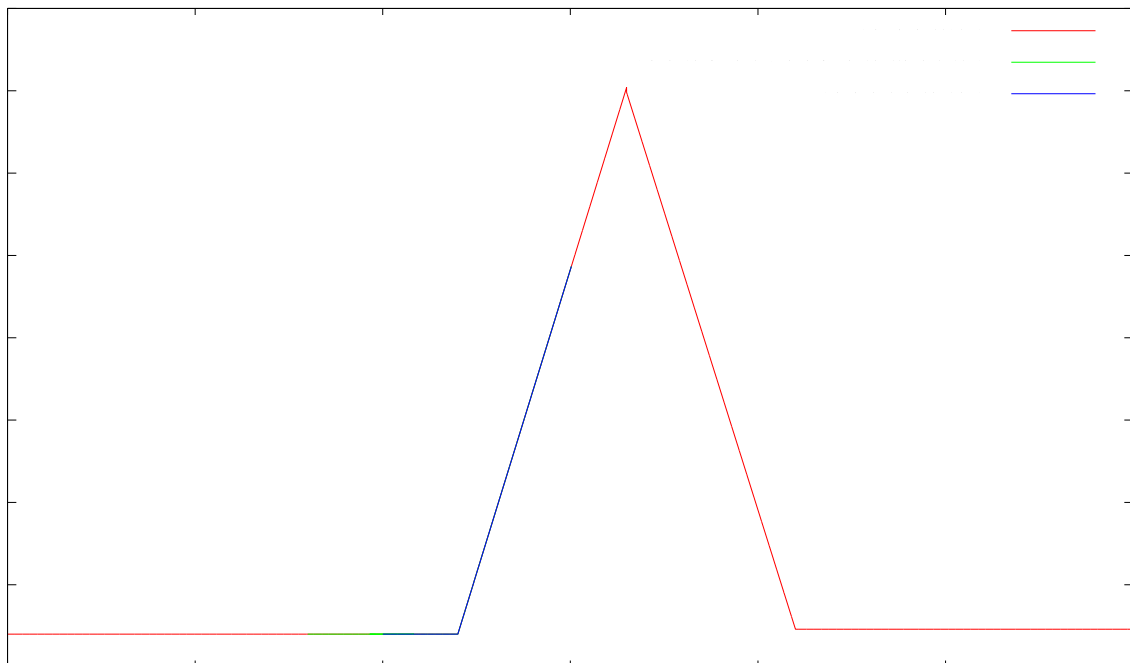
$T_{περ}$ [°C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	πάχος τοίχου/υλικού [m]
20	18	0,01

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.114 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ RT27 συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{δωμ}=20^\circ\text{C}$, $x=1\text{cm}$.

Cpeff-Trpcm								
Time [hours]	Ιανουάριος		Απρίλιος		Ιούλιος		Οκτώβριος	
	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{ΥΑΦ}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]
5:00	18,00	2000,00	18,00	2000,00	18,00	2000,00	18,00	2000,00
6:00	20,83	2000,00	20,83	2000,00	20,83	2000,00	20,83	2000,00
7:00	19,66	2000,00	19,66	2000,00	19,66	2000,00	19,66	2000,00
8:00	20,14	2000,00	23,81	15334,51	24,22	18395,60	22,71	7273,76
9:00	22,60	6438,36	23,88	15884,12	24,27	18774,06	23,10	10119,26
10:00	23,19	10783,15	24,20	18244,75	24,54	20720,18	23,81	15375,01
11:00	23,78	15159,83	24,59	21138,27	24,88	23217,98	24,43	19956,71
12:00	24,29	18863,87	24,96	23811,31	25,18	25483,35	24,98	24019,98
13:00	24,66	21608,02	25,22	25762,32	25,40	27064,25	25,41	27133,48
14:00	24,93	23584,08	25,36	26772,92	25,48	27698,31	25,68	29122,98
15:00	25,03	24334,69	25,34	26610,08	25,42	27204,93	25,79	29998,28
16:00	24,92	23558,48	25,14	25142,10	25,17	25382,44	25,72	29449,37
17:00	24,33	19201,90	24,56	20881,90	24,59	21135,83	25,17	25398,90

18:00	23,69	14498,13	23,94	16329,18	23,98	16603,85	24,60	21153,21
19:00	22,97	9185,23	23,26	11295,11	23,30	11606,30	23,98	16622,62
20:00	22,06	2434,04	22,44	5277,07	22,50	5673,84	23,30	11627,53
21:00	19,67	2000,00	21,14	2000,00	21,25	2000,00	22,50	5700,74
22:00	20,14	2000,00	19,53	2000,00	19,48	2000,00	21,26	2000,00
23:00	19,94	2000,00	20,19	2000,00	20,21	2000,00	19,48	2000,00
0:00	20,02	2000,00	19,92	2000,00	19,91	2000,00	20,22	2000,00
1:00	19,99	2000,00	20,03	2000,00	20,04	2000,00	19,91	2000,00
2:00	20,00	2000,00	19,99	2000,00	19,98	2000,00	20,04	2000,00
3:00	20,00	2000,00	20,01	2000,00	20,01	2000,00	19,98	2000,00
4:00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,01	2000,00

Παρατηρούμε γενικά ότι η μέγιστη θερμοκρασία που φτάνει το ΥΑΦ δε διαφέρει και πολύ από μήνα σε μήνα. Επιλέγω να παρουσιάσω ενδεικτικά τη μεταβολή του Ιανουαρίου:

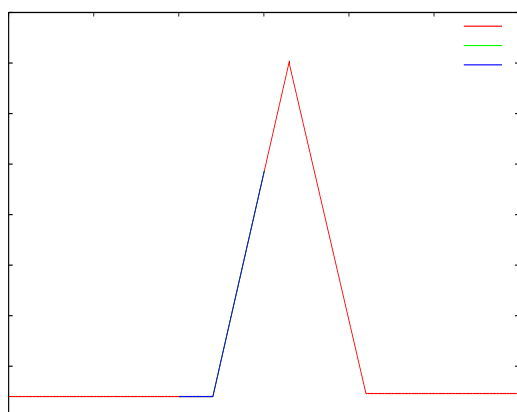
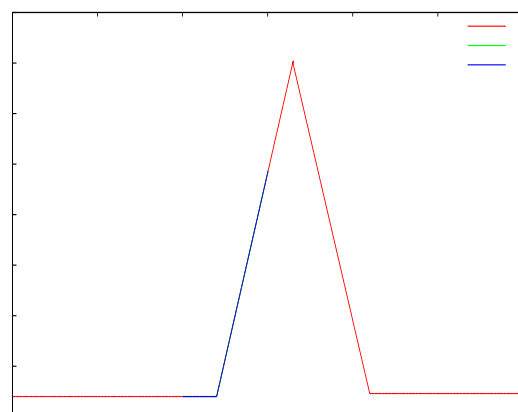
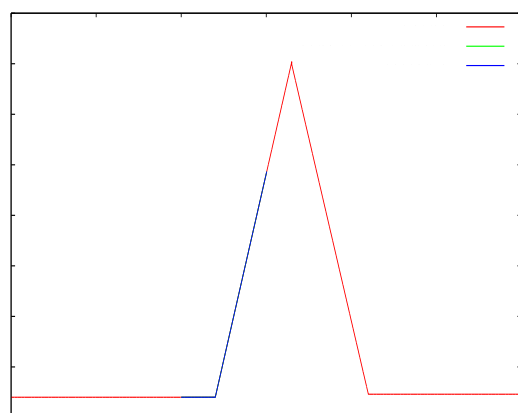
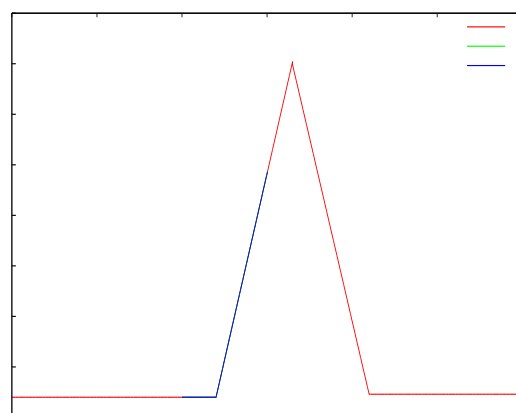


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.102 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ RT27 για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ το μήνα Ιανουάριο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.115 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ RT27 συναρτήσεως της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ το μήνα Ιανουάριο.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα		5 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00
6:00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00
7:00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00
8:00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00

9:00	22,66	6868,28	22,66	6868,28	22,66	6868,28	22,66	6868,28
10:00	23,19	10764,20	23,19	10764,20	23,19	10764,20	23,19	10764,20
11:00	23,78	15153,56	23,78	15153,56	23,78	15153,56	23,78	15153,56
12:00	24,29	18860,30	24,29	18860,30	24,29	18860,30	24,29	18860,30
13:00	24,66	21605,51	24,66	21605,51	24,66	21605,51	24,66	21605,51
14:00	24,93	23582,13	24,93	23582,13	24,93	23582,13	24,93	23582,13
15:00	25,03	24333,03	25,03	24333,03	25,03	24333,03	25,03	24333,03
16:00	24,92	23556,96	24,92	23556,96	24,92	23556,96	24,92	23556,96
17:00	24,33	19200,29	24,33	19200,29	24,33	19200,29	24,33	19200,29
18:00	23,69	14496,36	23,69	14496,36	23,69	14496,36	23,69	14496,36
19:00	22,97	9183,15	22,97	9183,15	22,97	9183,15	22,97	9183,15
20:00	22,06	2431,07	22,06	2431,07	22,06	2431,07	22,06	2431,07
21:00	19,67	2000,00	19,67	2000,00	19,67	2000,00	19,67	2000,00
22:00	20,14	2000,00	20,14	2000,00	20,14	2000,00	20,14	2000,00
23:00	19,94	2000,00	19,94	2000,00	19,94	2000,00	19,94	2000,00
0:00	20,02	2000,00	20,02	2000,00	20,02	2000,00	20,02	2000,00
1:00	19,99	2000,00	19,99	2000,00	19,99	2000,00	19,99	2000,00
2:00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00
3:00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00
4:00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00	20,00	2000,00

2^η3^η4^η5^η

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.105 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ RT27 για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ για το μήνα Ιανουάριο την 2^η, 3^η, 4^η και 5^η μέρα.

Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι το υλικό βαίνει στη μόνιμη κατάσταση από τη 2^η κιάλας μέρα και με αυτά τα δεδομένα δε δύναται να ολοκληρώσει τον κύκλο του. Παρόμοια κατάσταση αναμένεται και τους επόμενους μήνες εφόσον η ακτινοβολία σε κατακόρυφο τοίχο νότιου προσανατολισμού κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα.

Συνεχίζοντας ας δούμε υπό αυτές τις συνθήκες περιβάλλοντος τη μεταβολή του SP25A8:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.116 Χαρακτηριστικά προς μελέτη ΥΑΦ

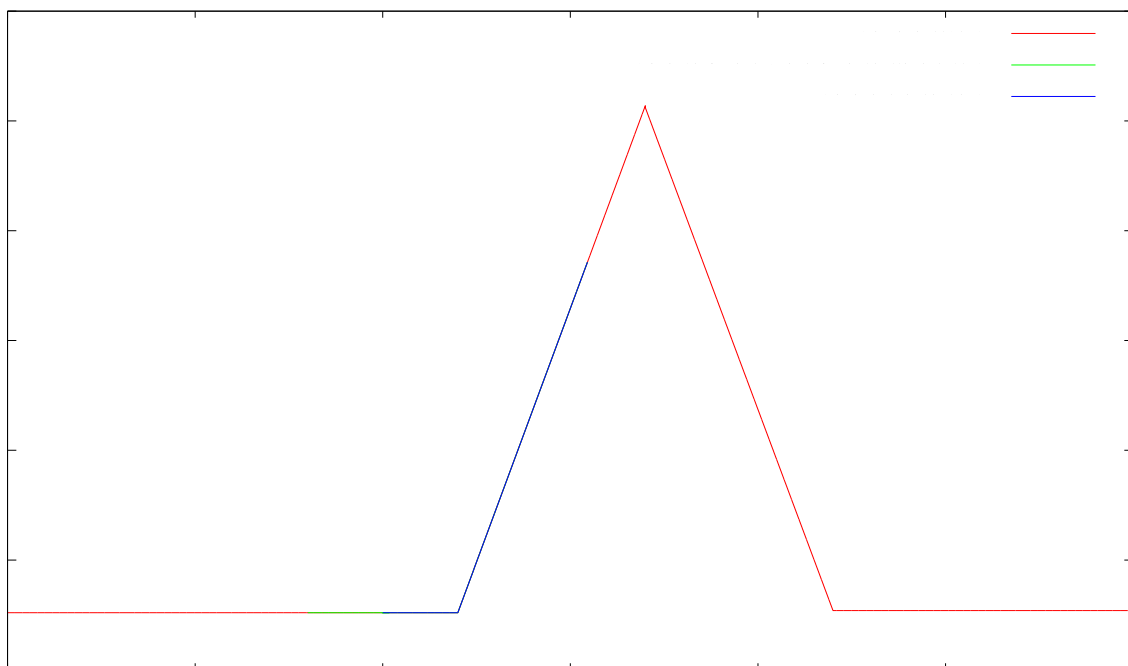
T_s [°C]	T_i [°C]	C_{p_s} [J/kg°C]	C_{p_i} [J/kg°C]	H [J/kg]	ρ [kg/m ³]
22	32	2600	2700	141500	1019

Τα χαρακτηριστικά του υλικού δεν αλλάζουν και πολύ σε σχέση με του προηγούμενου συνεπώς αναμένεται παρόμοια συμπεριφορά και εδώ. Για την ακρίβεια αυτά που επηρεάζουν περισσότερο το αποτέλεσμα είναι οι θερμοκρασίες στα όρια του εύρους αλλαγής φάσης. Οι θερμοχωρητικότητες στερεού και υγρού όσο και η ειδική θερμότητα επηρεάζουν ελάχιστα το αποτέλεσμα (αφορούν δέκατα °C). Στη συνέχεια για λόγους πληρότητας παραθέτουμε τις μεταβολές όπως αυτές προέκυψαν:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.117 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ SP25A8 συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=20^\circ\text{C}$, $x=1\text{cm}$.

Cpeff-Trpcm								
Time [hours]	Ιανουάριος		Απρίλιος		Ιούλιος		Οκτώβριος	
	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]	$T_{\text{ΥΑΦ}}$ [°C]	Cpeff [J/kg °C]
5:00	18,00	2600,00	18,00	2600,00	18,00	2600,00	18,00	2600,00
6:00	20,17	2600,00	20,17	2600,00	20,17	2600,00	20,17	2600,00
7:00	19,98	2600,00	19,98	2600,00	19,98	2600,00	19,98	2600,00
8:00	20,00	2600,00	22,82	6395,72	23,14	7870,23	21,98	2600,00
9:00	22,05	2812,19	23,44	9233,52	23,65	10218,58	23,86	11182,43
10:00	23,95	11621,15	24,12	12407,28	24,31	13255,64	24,31	13276,57
11:00	24,32	13307,88	24,72	15154,91	24,88	15928,08	24,92	16109,28
12:00	24,78	15426,18	25,20	17383,26	25,33	17988,59	25,52	18864,08
13:00	25,14	17112,38	25,52	18873,87	25,61	19283,68	25,98	20975,83
14:00	25,40	18305,95	25,66	19528,97	25,70	19696,08	26,25	22232,06
15:00	25,46	18573,40	25,59	19184,24	25,58	19117,57	26,33	22613,50
16:00	25,25	17634,16	25,28	17736,30	25,20	17385,01	26,17	21847,46
17:00	24,41	13743,64	24,44	13851,91	24,35	13479,23	25,37	18162,17
18:00	23,50	9551,86	23,53	9670,80	23,44	9260,67	24,53	14302,59
19:00	22,47	4760,85	22,50	4903,96	22,39	4407,88	23,64	10164,17
20:00	21,00	2600,00	21,06	2600,00	20,86	2600,00	22,63	5491,52
21:00	19,91	2600,00	19,91	2600,00	19,93	2600,00	21,27	2600,00
22:00	20,01	2600,00	20,01	2600,00	20,01	2600,00	19,89	2600,00
23:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,01	2600,00
0:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
1:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
2:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
3:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
4:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00

Παρατηρούμε γενικά ότι η μέγιστη θερμοκρασία που φτάνει το ΥΑΦ δε διαφέρει και πολύ από μήνα σε μήνα. Επιλέγω να παρουσιάσω ενδεικτικά τη μεταβολή του Ιανουαρίου:

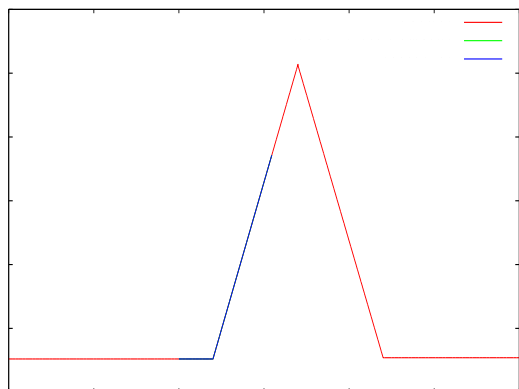
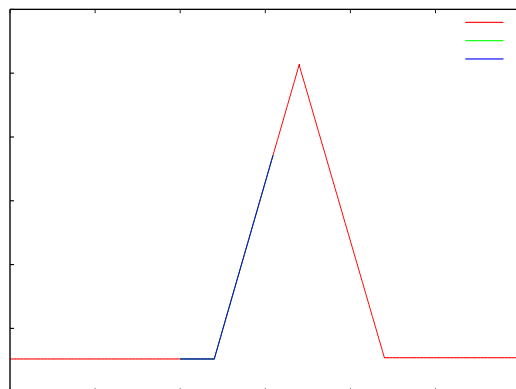
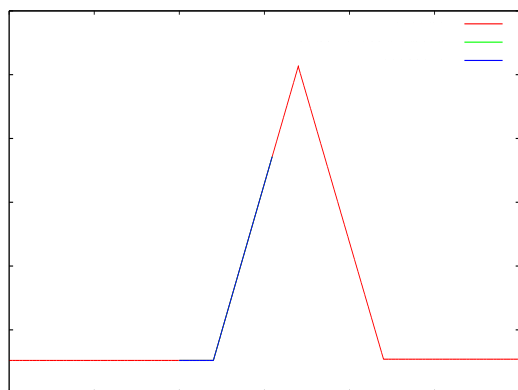
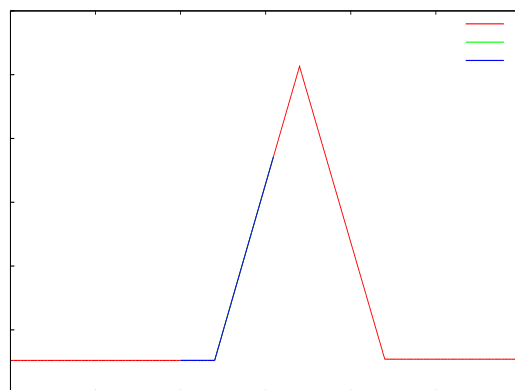


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.106 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ SP25A8 για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ το μήνα Ιανουάριο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.118 Μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του υπό μελέτη ΥΑΦ S25A8 συναρτήσει της θερμοκρασίας για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ το μήνα Ιανουάριο.

Εξέλιξη ΥΑΦ								
Time [hours]	2 ^η μέρα		3 ^η μέρα		4 ^η μέρα		5 ^η μέρα	
	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ΥΑΦ}} [^{\circ}\text{C}]$	$C_{\text{peff}} [\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}]$
5:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
6:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
7:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
8:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
9:00	22,05	2812,73	22,05	2812,73	22,05	2812,73	22,05	2812,73
10:00	23,95	11619,49	23,95	11619,49	23,95	11619,49	23,95	11619,49
11:00	24,32	13306,86	24,32	13306,86	24,32	13306,86	24,32	13306,86
12:00	24,78	15425,55	24,78	15425,55	24,78	15425,55	24,78	15425,55
13:00	25,14	17111,92	25,14	17111,92	25,14	17111,92	25,14	17111,92
14:00	25,40	18305,61	25,40	18305,61	25,40	18305,61	25,40	18305,61
15:00	25,46	18573,12	25,46	18573,12	25,46	18573,12	25,46	18573,12
16:00	25,25	17633,90	25,25	17633,90	25,25	17633,90	25,25	17633,90
17:00	24,41	13743,37	24,41	13743,37	24,41	13743,37	24,41	13743,37
18:00	23,50	9551,56	23,50	9551,56	23,50	9551,56	23,50	9551,56
19:00	22,47	4760,49	22,47	4760,49	22,47	4760,49	22,47	4760,49
20:00	21,00	2600,00	21,00	2600,00	21,00	2600,00	21,00	2600,00
21:00	19,91	2600,00	19,91	2600,00	19,91	2600,00	19,91	2600,00
22:00	20,01	2600,00	20,01	2600,00	20,01	2600,00	20,01	2600,00
23:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00

0:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
1:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
2:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
3:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00
4:00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00	20,00	2600,00

2^η3^η4^η5^η

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12.107 Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της θερμοχωρητικότητας ΥΑΦ SP25A8 για $T_{\delta\omega\mu}=20^{\circ}\text{C}$, $x=1\text{cm}$ για το μήνα Νοέμβριο την 2^η, 3^η, 4^η και 5^η μέρα.

Όπως ήταν αναμενόμενο τα συμπεράσματα είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά της προηγούμενης εφαρμογής.

Για λόγους πληρότητας και ακρίβειας της εργασίας στη συνέχεια θα παραθέσουμε σε πρώτη φάση τις σχέσεις της πειραματικής εκτίμησης της θερμοχωρητικότητας $C_{\text{reff}}(T)$ και τις αντίστοιχες αναλυτικές εκφράσεις για την ελληνική παραφίνη, το RT20, το RT27, το RT58 και το SP25A8 όπως αυτές προέκυψαν από έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

A) Για την ελληνική παραφίνη:

$$\text{Για } 50^{\circ}\text{C} \leq T \leq 54.5^{\circ}\text{C}$$

(Εξ.12.16)

$$\text{Για } 54.5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 55.1^{\circ}\text{C} \quad (12.17)$$

$$\text{Για } 55.1^{\circ}\text{C} \leq T \leq 55.7^{\circ}\text{C} \quad (12.18)$$

$$\text{Για } 55.7^{\circ}\text{C} \leq T \leq 58^{\circ}\text{C} \quad (12.19)$$

B) Για το RT20

$$\text{Για } 15^{\circ}\text{C} \leq T \leq 19.5^{\circ}\text{C} \quad (12.20)$$

$$\text{Για } 19.5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 20.5^{\circ}\text{C} \quad (12.21)$$

$$\text{Για } 20.5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 22^{\circ}\text{C} \quad (12.22)$$

$$\text{Για } 22^{\circ}\text{C} \leq T \leq 26^{\circ}\text{C} \quad (12.23)$$

C) Για το RT27

$$\text{Για } 22^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25^{\circ}\text{C} \quad (12.24)$$

$$\text{Για } 25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 26.8^{\circ}\text{C} \quad (12.25)$$

$$\text{Για } 26.8^{\circ}\text{C} \leq T \leq 27.5^{\circ}\text{C} \quad (12.26)$$

$$\text{Για } 27.5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 31^{\circ}\text{C} \quad (12.27)$$

D) Για το RT58

$$\text{Για } 53^{\circ}\text{C} \leq T \leq 56.3^{\circ}\text{C} \quad (12.28)$$

$$\text{Για } 56.3^{\circ}\text{C} \leq T \leq 57.6^{\circ}\text{C} \quad (12.29)$$

$$\text{Για } 57.6^{\circ}\text{C} \leq T \leq 58.5^{\circ}\text{C} \quad (12.30)$$

$$\text{Για } 58.5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 62^{\circ}\text{C} \quad (12.31)$$

E) Για το SP25A8

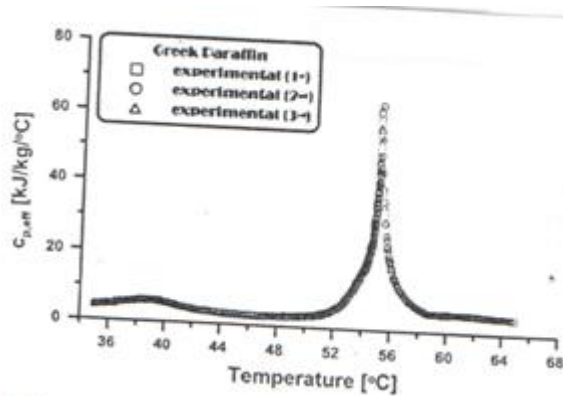
$$\text{Για } 22^{\circ}\text{C} \leq T \leq 23.8^{\circ}\text{C} \quad (12.32)$$

$$\text{Για } 23.8^{\circ}\text{C} \leq T \leq 24.5^{\circ}\text{C} \quad (12.33)$$

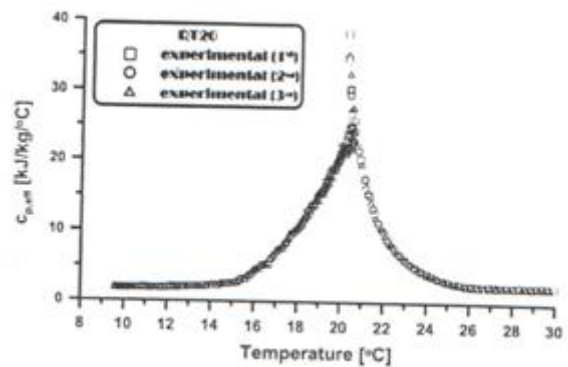
$$\text{Για } 24.5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 27.2^{\circ}\text{C} \quad (12.34)$$

$$\text{Για } 27.2^{\circ}\text{C} \leq T \leq 32^{\circ}\text{C} \quad (12.35)$$

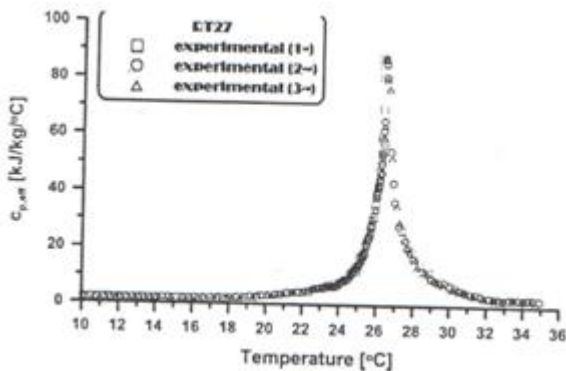
Στη συνέχεια ακολουθούν οι πειραματικές καμπύλες εκτίμησης της θερμοχωρητικότητας πάνω στις οποίες στηρίζονται οι παραπάνω σχέσεις:



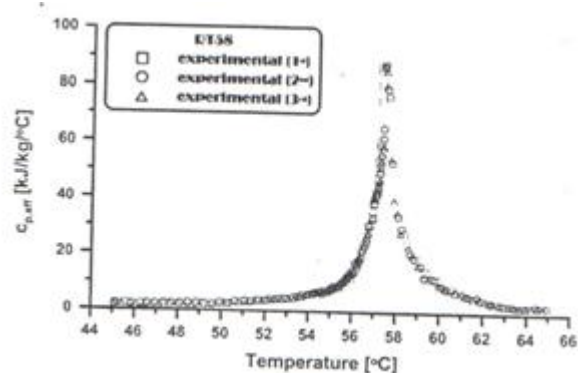
(α)



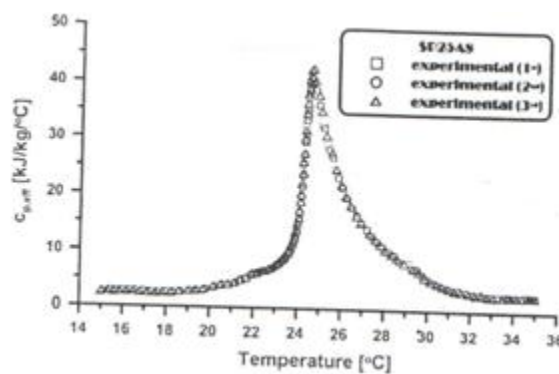
(β)



(γ)



(δ)



(ε)

ΣΧΗΜΑ 12.1 Εμπειρικά εκτιμώμενες τιμές της θερμοχωρητικότητας $C_{p,ref}$ συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα υλικά (α) Ελληνική Παραφίνη (β) RT20 (γ) RT27 (δ) RT58 (ε) SP25A8 όπως προέκυψαν χρησιμοποιώντας τρία επαναλαμβανόμενα σετ μετρήσεων [1]

Μια συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων αντίστοιχα θα είχε ως εξής. Τα υλικά αλλαγής φάσης που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις μέρες μας όπως το RT20 της Rubitherm, το RT27, το RT58, το SP25A8 και άλλα δεν κατορθώνουν να εκτελέσουν ένα περιοδικό πλήρη κύκλο αλλαγής φάσης. Αυτό έχει γίνει αντικείμενο έρευνας πολλών μελετητών αλλά δυστυχώς κανένας μέχρι τώρα δεν έχει βρει ένα συνδυασμό παραμέτρων (θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης αλλά και επικρατούσες συνθήκες στον εσωτερικό και εξωτερικό) στις οποίες αυτό να είναι εφικτό. Ο κύριος λόγος αδυναμίας οφείλεται στο μεγάλο εύρος μεταξύ των θερμοκρασιών αλλαγής φάσης

και στο γεγονός ότι η ηλιοφάνεια διαρκεί περιορισμένο αριθμό ωρών. Αυτό σημαίνει ότι δεν αρκεί για να αυξηθεί σε τέτοιο βαθμό η θερμοκρασία του εκάστοτε ΥΑΦ ώστε να φτάσει στη στέρεη κατάσταση αλλά ούτε και το αντίθετο δηλαδή να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση αποβάλλοντας όλο το ποσό θερμότητας που έχει αποθηκεύσει.

Στη μελέτη που αναπτύχθηκε παραπάνω προσπαθήσαμε να πετύχουμε περιοδική επανάληψη με ένα φανταστικό ΥΑΦ. Ο όρος «φανταστικό» έχει να κάνει με τα χαρακτηριστικά που του αποδίδαμε, όπως ήταν οι θερμοκρασίες που καθόριζαν το θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης, οι αντιστοιχες θερμοχωρητικότητες, η πυκνότητα και η ειδική θερμότητα. Υπό αυτά τα χαρακτηριστικά και με τις συνθήκες περιβάλλοντος (εσωτερικού και εξωτερικού χώρου) που επιβάλλαμε και τις οποίες κρατούσαμε σταθερές για μεγάλο χρονικό διάστημα, μελετήσαμε ένα τοίχο νότιου προσανατολισμού ο οποίος βρισκόταν σε ένα δωμάτιο στο οποίο δεν υπήρχε άλλη πηγή θερμότητας εκτός από τον ήλιο και αυτός με τη σειρά του έμπαινε από ένα άνοιγμα στον απέναντι τοίχο. Ο τοίχος που αποτελείται από ΥΑΦ (τη συμπεριφορά του οποίου μελετάμε) θεωρήσαμε ότι από την εξωτερική πλευρά του έχει μόνωση έτσι ώστε η θερμότητα που απορροφάται από το υπό μελέτη υλικό να αποδίδεται μόνο στο εσωτερικό του δωματίου και να μη διαφεύγει προς τα έξω. Οι υπόλοιποι τοίχοι του δωματίου θεωρούνται επίσης μονωμένοι. Με αυτές τις παραδοχές οι δοκιμές που έγιναν έδειξαν ότι για να έχουμε πλήρη κύκλο του ΥΑΦ έτσι ώστε να αποθηκεύει θερμότητα και να την αποδίδει εξολοκλήρου σε ένα 24ωρο συνεχώς για μεγάλο χρονικό διάστημα, θα πρέπει να έχει μικρό θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης. Για τους λόγους που προανέφερα στην προηγούμενη παράγραφο δεν ήταν δυνατό το υλικό να μεταβεί από την υγρή στη στέρεη φάση στη διάρκεια μισής μέρας περίπου (όσο διαρκεί η ηλιοφάνεια) όταν ξεκινούσε από μικρή σχετικά θερμοκρασία και έπρεπε να φτάσει μια αρκετά μεγαλύτερη αλλά ούτε και το αντίθετο, δηλαδή να αποβάλλει όλη αυτή τη θερμότητα στο υπόλοιπο της μέρας. Οι πολλές επαναλήψεις των περιπτώσεων που εξετάσαμε μας έδειξαν ότι είχαμε επιτυχή αποτελέσματα μόνο όταν είχαμε εύρος θερμοκρασίας γύρω στον 1 με 2 °C δηλαδή το υλικό μας είχε μια συμπεριφορά σχεδόν σαν ένα κοινό υλικό με σταθερό σημείο τήξης-πήξης.

Ασφαλώς λοιπόν κατανοούμε ότι ο ήλιος από μόνος του δε επαρκεί λοιπόν για τη φόρτιση αυτών των υλικών έτσι ώστε να τα εκμεταλλευόμαστε πλήρως αλλά οι μελέτες δείχνουν ότι πρόκειται για υλικά με πολλές προοπτικές στο μέλλον όσον αφορά την αποθήκευση ενέργειας και κατά συνέπεια την εξοικονόμηση της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 12^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1] Experimental determination of the effective thermal capacity function and other properties for various phase change materials using the thermal delay method – E.D. Kravaritis, K.A. Antonopoulos, C. Tzivanidis