



ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΑ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ

Εμμανουήλ Κατσιγιάννης
Χανιά, Αύγουστος 2012

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Κολοκοτσά Διονυσία

Τριμελής Επιτροπή
Κολοκοτσά Διονυσία
Μαραβελάκη Παγώνα
Ξεκουκουλωτάκης Νικόλαος



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΑ
ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ**

ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΧΑΝΙΑ, 2012

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ ΔΙΟΝΥΣΙΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗ ΠΑΓΩΝΑ
ΞΕΚΟΥΚΟΥΛΩΤΑΚΗΣ
ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ	7
1.2. ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	7
1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	8
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ	10
2.1. ΥΛΙΚΑ	10
2.1.1. ΟΡΙΣΜΟΙ	10
2.1.2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	18
2.2. ΨΥΧΡΑ ΥΛΙΚΑ	20
2.2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ	20
2.2.2. ΕΙΔΗ ΨΥΧΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	21
2.2.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΨΥΧΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	21
2.2.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΥΧΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	25
2.3. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	33
2.3.1. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	33
2.3.2. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	35
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	41
3.1. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	41
3.1.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΩΝ	41
3.1.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	42
3.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	47
3.2.1. ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	47
3.2.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	51
3.3. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	64
4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	66
4.1. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	66
4.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	69
4.3. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	72
4.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	75
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	85
5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	85

5.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	86
5.2.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ.....	87
5.2.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	91
5.2.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΣΟΥΔΑΣ ΧΑΝΙΩΝ	94
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	97
7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ	98
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100
ΒΙΒΛΙΑ - ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ.....	100
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	103

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κλείνοντας τον κύκλο της παιδαγωγικής και επιστημονικής μου εκπαίδευσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, αφού με την εργασία αυτή κλείνει και ο πρώτος κύκλος σπουδών. Σύμφωνα με τους Αρχαίους Έλληνες φιλοσόφους, μετά από τους γονείς η ευγνωμοσύνη ανήκει στους Δασκάλους. Έτσι και εγώ θέλω να εκφράσω θερμές ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην επιστημονική μου και όχι μόνο κατάρτιση, καθηγητές, βοηθούς και όσοι άλλοι με τον τρόπο τους βοήθησαν. Ιδιαίτερα δε και σύμφωνα με την επικρατούσα άποψη ότι η διπλωματική εργασία είναι ο καθρέφτης της συνολικής πορείας-κατάρτισης του κάθε σπουδαστή, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Κολοκοτσά Διονυσία, επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, για σωστή και απόλυτα αποτελεσματική καθοδήγηση όπως και την αμέριστη συμπαράσταση της. Την κυρία Μαραβελάκη και τον κύριο Ξεκουκουλωτάκη, για την πολύτιμη βοήθεια τους. Τους βοηθούς Στράτο Λιονάκη, Αναστασία Βεργανελάκη και Χρυσή Καπριδάκη που ήταν δίπλα μου σε κάθε δυσκολία μου ο καθένας με τον δικό του τρόπο. Επίσης το Σωτήρη Παπαντωνίου και τον Κώστα Γομπάκη, των οποίων η βοήθεια ήταν εξίσου σημαντική. Το συμφοιτητή και αδελφικό μου φίλο Κόλλια Χρήστο. Τέλος, αφιερώνω όλη μου την προσπάθεια σε εκείνους που με πίστεψαν και με εμπιστεύτηκαν.

«Λάμπει μέσα μου ένα φώς που εγώ αγνοώ. Ωστόσο λάμπει».

Οδυσσέας Ελύτης

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στη χρήση ψυχρών κονιαμάτων τοιχοποιίας ως μέσο για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται συγκριτική μελέτη κονιαμάτων με διαφορετικές προσμίξεις, που μπορούν να εφαρμοστούν σε τοιχοποιίες κτηρίων και να συμβάλλουν στη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, ενισχύοντας την παθητική ψύξη της κατασκευής. Τόσο τα υλικά που επιλέγεται να μελετηθούν, όσο και οι επιμέρους ουσίες που αποτελούν τις προσμίξεις αυτών, είναι προϊόντα φιλικά προς το περιβάλλον, έχουν προσιτό κόστος και μπορούν να προσφέρουν μία οικονομική, οικολογική και βιοκλιματική λειτουργία στο κτήριο, από το αρχικό κιόλας στάδιο της κατασκευής του. Μέσα από τη μελέτη διαφόρων κονιαμάτων τοιχοποιίας, διερευνάται ο συνδυασμός συμβατικών υλικών, που χρησιμοποιούνται ευρέως στις σύγχρονες κατασκευές, με υλικά που έχουν ιδιαίτερες φυσικοχημικές ιδιότητες, με σκοπό τη δημιουργία ενός κτηριακού κελύφους που να μειώνει τις ενεργειακές απαιτήσεις κατά τη λειτουργία του κτηρίου.

1.2. ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της μελέτης αυτής είναι η διερεύνηση των ιδιοτήτων που μπορεί να προσδώσουν οι διάφορες προσμίξεις στην τελική σύνθεση των κονιαμάτων τοιχοποιίας, αναφορικά με την ενεργειακή αναβάθμιση της εξωτερικής επιφάνειας του κτηρίου. Η παράθεση ποσοτικών στοιχείων για τα διάφορα δείγματα που παρασκευάζονται, αλλά και η προσομοίωσή τους σε συγκεκριμένο κτηριακό μοντέλο, αποσκοπούν στη συγκριτική μελέτη των κονιαμάτων σε διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες και στην τελική αξιολόγηση του ποσοστού επίδρασης που αυτά παρουσιάζουν στην απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου. Η χρήση συγκεκριμένων ουσιών κατά την παρασκευή των κονιαμάτων μπορεί να συμβάλλει στη μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας της επιφάνειας του κτηρίου, έτσι ώστε να μειώνονται οι ανάγκες δροσισμού στο εσωτερικό, κατά τους θερινούς μήνες.

1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην εν λόγω διπλωματική έρευνα, παρασκευάστηκαν εννέα δείγματα κονιαμάτων, από συνδυασμούς συμβατικών και λιγότερο διαδεδομένων υλικών, με σκοπό να εξεταστεί η βιοκλιματική τους λειτουργία. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει, αρχικά, τη μέτρηση και τον υπολογισμό ορισμένων τεχνικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων των δειγμάτων, που είναι ενδεικτικά της ενεργειακής τους απόδοσης. Οι ιδιότητες που μελετώνται είναι η ανακλαστικότητα (που προκύπτει από τους συντελεστές ανακλαστικότητας) και η απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας (η οποία προκύπτει από τους δείκτες εκπομπής). Εν συνεχεία, τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών, μαζί με άλλες παραμέτρους, εισάγονται σε ένα λογισμικό, το πρόγραμμα ENERGY PLUS, το οποίο, προσομοιώνοντας τις συνθήκες λειτουργίας ενός μοντέλου κτηρίου, τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του και τα μετεωρολογικά δεδομένα, υπολογίζει τις ενεργειακές απαιτήσεις του για ψύξη και θέρμανση, για χρονικό διάστημα ενός έτους. Δεδομένου ότι τα κλιματικά δεδομένα και πιο συγκεκριμένα οι συνθήκες θερμοκρασίας επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου, η διαδικασία της προσομοίωσης πραγματοποιείται σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις κλιματικών συνθηκών. Δηλαδή, για τις ίδιες λειτουργικές και κατασκευαστικές παραμέτρους, η προσομοίωση επαναλαμβάνεται για τα μετεωρολογικά δεδομένα τριών περιοχών της Ελλάδας: της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και της Σούδας Χανίων. Η διαδικασία αυτή εξυπηρετεί τη διερεύνηση, τόσο της βιοκλιματικής συμπεριφοράς των υλικών που χρησιμοποιούνται σε κάθε δείγμα, όσο και την επιρροή των κλιματικών συνθηκών σε αυτή. Με τον τρόπο αυτό, μελετάται όχι μόνο το κατά πόσο ένα υλικό ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί στην τοιχοποιία ενός κτηρίου, αλλά και η αποτελεσματικότητά του, λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματολογικές συνθήκες μιας περιοχής.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ



2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

2.1. ΥΛΙΚΑ

Βάση της ερευνητικής διαδικασίας, για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί τόσο η επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, όσο και η μελέτη των ιδιοτήτων και των τεχνικών χαρακτηριστικών τους που απαιτούνται κατά τη διαδικασία των μετρήσεων, της προσομοίωσης και των υπολογισμών. Σε γενικές γραμμές, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι το νερό, το τσιμέντο, υδραυλικές άσβεστοι, η τιτανία, η κίτρινη ώχρα και η μαρμαρόσκονη. Τα κονιάματα που παράγονται τελικά αποτελούνται από συνθέσεις των ουσιών αυτών σε διαφορετικά ποσοστά.

2.1.1. ΟΡΙΣΜΟΙ

ΚΟΝΙΑ

Οι κονίες είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως συνδετική ύλη των αδρανών υλικών. Είτε έχουν στερεά μορφή (σκόνης), είτε είναι ρευστά και όταν αναμιχθούν με ένα υγρό, που είναι συνήθως το νερό, μεταβάλλονται σε εύπλαστο πολτό. Ο πολτός αυτός αποκτά την οριστική του μορφή και την τελική αντοχή του με την πάροδο του χρόνου, αφού περάσει διαδοχικά από το στάδιο της πήξης και το στάδιο της σκλήρυνσης, όπως θα εξηγηθεί παρακάτω, στις ιδιότητες των υλικών.

ΚΟΝΙΑΜΑ

Τα κονιάματα είναι τα τελικά μίγματα που προκύπτουν από την ανάμιξη μιας ή περισσότερων κονιών με αδρανή υλικά μικρής κοκκομετρικής διαβάθμισης και με υγρό επεξεργασίας, το οποίο είναι συνήθως το νερό. Ο βασικός φορέας της αντοχής του κονιάματος είναι τα αδρανή, ενώ οι κονίες αποτελούν το συνδετικό υλικό. Τα χρησιμοποιούμενα αδρανή είναι συνήθως άμμος με μέγιστη διάμετρο κόκκου 4 mm. Η περιεκτικότητά τους σε λεπτούς κόκκους με διάμετρο $d < 0,2$ mm πρέπει να είναι 20% – 25% κατά βάρος και οι διαστάσεις του μέγιστου κόκκου πρέπει να είναι

μικρότερες από το 1/3 του πάχους του επιχρίσματος. Επειδή για την παρασκευή του κονιάματος πρέπει να χρησιμοποιείται η ελάχιστη δυνατή ποσότητα κονιάς, τα αδρανή υλικά πρέπει να έχουν τέτοια κοκκομετρική διαβάθμιση, ώστε ο όγκος των κενών, τα οποία σχηματίζονται μεταξύ των κόκκων τους, να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος.

Τα κονιάματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες και διακρίνονται (Ν. Λίτινας, 2008)

- Ανάλογα με την **χρήση** τους σε:
 - i. κονιάματα τοιχοποιίας (συγκόλλησης)
 - ii. κονιάματα επιχρισμάτων
 - iii. κονιάματα δαπέδων (πλήρωσης ή εξομάλυνσης)
 - iv. επισκευαστικά αρμοκονιάματα
 - v. στεγανωτικά κονιάματα
 - vi. θερμομονωτικά κονιάματα
 - vii. πυρίμαχα κονιάματα.
- Ανάλογα με την **σύνθεση** τους σε :
 - i. πηλοκονιάματα
 - ii. ασβεστοκονιάματα
 - iii. τσιμεντοκονιάματα
 - iv. ασβεστοτσιμεντοκονιάματα
 - v. γυψοκονιάματα
 - vi. ασβεστογυψοκονιάματα
 - vii. μαρμαροκονιάματα
 - viii. κονιάματα ρητινών.
- Ανάλογα με τον **μέγιστο κόκκο της άμμου** σε:
 - i. λεπτόκοκκα
 - ii. χονδρόκοκκα.
- Ανάλογα με την **συνεκτικότητα** και την **κατεργασία** τους σε:
 - i. μαλακά ή σφιχτά
 - ii. ρευστά
 - iii. πεταχτά
 - iv. ενέματα
- Ανάλογα με τον **τρόπο παρασκευής** τους σε:
 - i. εργοταξιακά
 - ii. εργοστασιακά (έτοιμα κονιάματα)
- Ανάλογα με την **αντοχή** τους που καθορίζεται από τον τύπο και την ποσότητα της συνδετικής κονιάς σε :
 - i. μικρής αντοχής (έως 5 MPa),
 - ii. μέσης αντοχής (από 5 έως 15 MPa)
 - iii. μεγάλης αντοχής (πάνω από 15 MPa).
- Ανάλογα με την **μορφή** και την **φάση εφαρμογής** τους, σε:
 - i. ξηρό κονίαμα, το ομοιογενές μίγμα όλων των υλικών του κονιάματος εκτός του νερού
 - ii. νωπό κονίαμα, το πλήρες αναμεμιγμένο- ξηρό κονίαμα και νερό- και έτοιμο προς χρήση κονίαμα

- iii.* σκληρυμένο κονίαμα, το κονίαμα μετά την εφαρμογή του.
- Ανάλογα με τον **τρόπο πήξης και σκλήρυνσης** που εξαρτάται από το είδος της κονιάς σε:
 - i.* υδραυλικά
 - ii.* αερικά.
- Ανάλογα με την **πυκνότητα** τους σε:
 - i.* ελαφριά (έως 1500 Kg/m³)
 - ii.* βαριά (πάνω από 1500 Kg/m³)

Οι σημαντικότερες κατηγορίες κονιαμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως είναι τα κονιάματα τοιχοποιίας, δαπέδων και επιχρισμάτων.

Κονιάματα Τοιχοποιίας ή Συγκόλλησης

Πρόκειται για το συγκολλητικό κονίαμα μεταξύ των δομικών στοιχείων στην τοιχοποιία, το οποίο πρέπει να γεμίζει τους αρμούς μεταξύ των λίθων, να δημιουργεί μια ικανή σύνδεση για αντοχές στις εξωτερικές δυνάμεις και μια στεγανότητα για την προστασία των αρμών των λίθων από καιρικές επιδράσεις. Συνήθως το πάχος των αρμών του κονιάματος είναι 1-1,5 cm.

Κονιάματα Δαπέδων

Είναι δομικά στοιχεία που τοποθετούνται πάνω σε μία δομική υπόβαση ή πάνω σε ένα διαχωριστικό ή μονωτικό στρώμα. Χρησιμοποιούνται σαν κονίαμα τελικής στρώσης (κονίαμα πλήρωσης) και ως ενδιάμεσο (κονίαμα εξομάλυνσης). Διακρίνονται ανάλογα με τη σύνθεση τους σε κονιάματα ανυδρίτη, ασφαλτικά κονιάματα, οξυχλωριούχου μαγνησίου και τσιμεντούχα, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως.

Κονιάματα Επιχρισμάτων (σοβάδες)

Τα κονιάματα επιχρίσματος είναι η στρώση (απλή ή πολλαπλή) νωπού κονιάματος ορισμένου πάχους, σε τοίχους ή ταβάνια και οροφές, που αποκτά τις χρήσιμες ιδιότητές του με τη στερεοποίηση του πάνω στο καλυπτόμενο δομικό στοιχείο. Τα χαρακτηριστικά που αποκτούν τα επιχρίσματα μόλις ολοκληρωθεί η σκλήρυνσή τους εξαρτώνται από τον τύπο της κονιάς ή των κονιών, από τις αναλογίες και από το πάχος των στρώσεων. Η διαμόρφωση των ιδιοτήτων των επιχρισμάτων επηρεάζεται κυρίως από τη φύση και τις συνθήκες του υποστρώματος, τη φύση και τα συνθήκες του περιβάλλοντος, τις απαιτήσεις της απόχρωσης, την

τελική εμφάνιση, την αντοχή, το πάχος και τον τρόπο εργασίας. Η παρουσία του επιχρίσματος σε μία επιφάνεια βοηθάει στην προστασία από την υγρασία, τη θερμότητα, τους θορύβους και τη βελτίωση της πυροπροστασίας.

Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται μόνο στα κονιάματα επιχρισμάτων τοιχοποιίας. Οι συνδυασμοί των υλικών, οι αναλογίες και οι ποσότητες τους στα δείγματα που παρασκευάστηκαν, δεν ακολουθούν μία θεωρητική έρευνα, αλλά επιλέχθηκαν με σκοπό να προσεγγίζουν στο μέγιστο βαθμό τη διαδικασία κατασκευής κονιάματος σε πραγματική κτηριακή κατασκευή, με ιδιότητες αντίστοιχες με αυτές των κονιαμάτων, που χρησιμοποιούνται στην τοιχοποιία.

ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Αδρανή υλικά καλούνται τα υλικά που αποτελούνται από λίθινους κόκκους, είτε φυσικούς οπότε ονομάζονται ‘φυσικά ή συλλεκτά’ αδρανή, είτε από κόκκους που προκύπτουν από θραύση όγκων πετρώματος ή τη θραύση φυσικών αδρανών οπότε ονομάζονται ‘θραυστά’ αδρανή. Η ονομασία ‘αδρανή’ δόθηκε στα υλικά αυτά με την έννοια ότι κατά την ανάμιξη των υλικών αυτών συγκολλητικά υλικά (κονίες), όπως τσιμέντο ασβέστης κλπ ή το νερό, τα υλικά αυτά δεν συμμετέχουν ενεργά στις διαδικασίες πήξης και σκλήρυνσης. Βέβαια αυτό δεν ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα διότι η χημική αδράνεια των υλικών αυτών εξαρτάται από την ορυκτολογική τους σύσταση και τα υλικά με τα οποία έρχονται σε επαφή. Τα αδρανή χωρίζονται ως εξής (Α. Αντωνόπουλος, 2006):

- Ανάλογα με την **προέλευσή** τους:
 - Φυσικής προέλευσης, αδρανή που προέρχονται από λατομεία με τη θραύση βράχων όπως η άμμος, ο περλίτης, το χαλίκι, η ελαφρόπετρα κλπ.
 - Τεχνητά ή Βιομηχανικά, όπως η σκωρία υψικαμίνων, το κουρασάνι, ο μπετονίτης κλπ.
 - Ανακυκλωμένα, αδρανή που προέρχονται κυρίως από κατεδαφίσεις κτηρίων.
- Ανάλογα με την **πηγή προέλευσής** τους:
 - Φυσικά ή Συλλεκτικά Αδρανή, δηλαδή αυτά που μαζεύονται από τη φύση χωρίς να χρειαστεί θραύση πετρωμάτων.

- Αδρανή Λατομείων, τα αδρανή των λατομείων προέρχονται με απόσπαση από τον κύριο όγκο του πετρώματος και υπόκεινται σε επεξεργασία.
- Ανάλογα με το **μέγεθος των κόκκων** τους:
 - Άμμος. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα αδρανή που η διάμετρος των κόκκων τους, d , ικανοποιεί τη σχέση $0 \leq d < 8 \text{ mm}$ και συμβολίζονται με (0/8).
 - Γαρμπίλι. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα αδρανή που η διάμετρος των κόκκων ικανοποιεί τη σχέση $8 \leq d < 16 \text{ mm}$ και συμβολίζονται με (8/16).
 - Σκύρα. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα αδρανή που η διάμετρος των κόκκων τους ικανοποιεί τη σχέση $16 \leq d < 64 \text{ mm}$ και συμβολίζονται με (16/64).
- Ανάλογα με το ειδικό βάρος τους:
 - Κανονικού ειδικού βάρους, με ειδικό βάρος $2-3 \text{ gr/cm}^3$
 - Ελαφροβαρή, με ειδικό βάρος $< 2 \text{ gr/cm}^3$
 - Βαρέα, με ειδικό βάρος $> 3 \text{ gr/cm}^3$

Στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία αντί για άμμο, που είναι η συνηθέστερη μορφή αδρανούς που χρησιμοποιείται, χρησιμοποιήθηκε μαρμαρόσκονη.

ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Το τσιμέντο είναι μία λεπτόκοκκη σκόνη με υδραυλικές ιδιότητες. Αποτελείται από οξείδια του ασβεστίου, πυριτίου, αργιλίου και σιδήρου που είναι ενωμένα μεταξύ τους και αποτελούν το 90% του βάρους του. Το υπόλοιπο μέρος είναι γύψος και μικρές ποσότητες αλάτων μαγνησίου, καλίου, νατρίου και άλλων στοιχείων. Όταν αναμιγνύεται με νερό έχει την ιδιότητα να πήζει και να σκληραίνει, είτε στον αέρα, είτε κάτω από το νερό.

ΑΣΒΕΣΤΗΣ

Ο όρος άσβεστος ή ασβέστης είναι ένας γενικός όρος που περιλαμβάνει όλες τις φυσικές και χημικές μορφές των διαφόρων ποιοτήτων με τις οποίες το οξείδιο ή και το υδροξείδιο του ασβεστίου και του μαγνησίου μπορούν να εμφανισθούν. Στην πειραματική διαδικασία παρασκευής των συμβατικών μιγμάτων η μορφή που χρησιμοποιήθηκε ήταν ασβεστοπολτός. Ο ασβεστοπολτός είναι σβησμένη άσβεστος

αναμεμειγμένη με νερό προς μία επιθυμητή συνεκτικότητα, που συνίσταται κυρίως από υδροξείδιο του ασβεστίου με ή χωρίς υδροξείδιο του μαγνησίου. Ο πολτός αποτελεί μείγμα κολλοειδούς και κρυσταλλικής μορφής του υδροξειδίου του ασβεστίου. Δεδομένου ότι πλαστικές ιδιότητες έχει μόνο η κολλοειδής μορφή, επιβάλλεται το σβήσιμο, δηλαδή η προσθήκη του νερού να γίνεται με συνθήκες που ευνοούν την δημιουργία της κολλοειδούς μορφής, η οποία έχει μεγάλο όγκο, μεγάλη πλαστικότητα και την ικανότητα να παραλάβει μεγάλη ποσότητα άμμου κατά την παρασκευή των ασβεστοκονιαμάτων.

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΣ

Είναι άσβεστοι που κυρίως συνίστανται από πυριτικά άλατα του ασβεστίου και του αργιλίου καθώς και υδροξείδιο του ασβεστίου. Παράγονται με όπτηση πλουσίων σε αργίλιο ασβεστόλιθων και στη συνέχεια σβήσιμο και άλεση ή με την ανάμειξη των κατάλληλων υλικών με υδροξείδιο του ασβεστίου. Έχουν την ιδιότητα να πήζουν και να σκληραίνουν όταν έρχονται σε επαφή με το νερό. Το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλει θετικά στη διαδικασία σκλήρυνσης. Διακρίνονται στις υδραυλικές και στις φυσικές άσβεστους.

Η φυσική υδραυλική άσβεστος προέρχεται από έψηση (900-1300 °C) ειδικών μαργαϊκών ασβεστόλιθων που περιέχουν 5-20% άργιλο. Η άσβεστος αυτή έχει υδραυλικές ιδιότητες που οφείλονται στις ενώσεις του ασβεστίου με το πυρίτιο το αργίλιο και τον σίδηρο που αποτελούν τους υδραυλικούς παράγοντες της κονιάς¹.

Σημαντικός δείκτης κονιαμάτων αποτελεί ο λόγος CO₂/H₂O. Πρόκειται για το χημικά δεσμευμένο νερό το οποίο υπολογίζεται από την απώλεια βάρους της περιοχής 200-600 °C στην θερμοστατική ανάλυση, ενώ το CO₂ προέρχεται από την αποσύνθεση του CaCO₃ και υπολογίζεται από την απώλεια μάζας στην περιοχή πάνω επί 600 °C στην θερμοστατική ανάλυση. Υδραυλικά χαρακτηρίζονται τα κονιάματα που έχουν λόγο CO₂/H₂O μικρότερο του 10. (P. Maravelaki et al, 2005), (P. Maravelaki et al, 2010)

¹ http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko1.htm

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΣ - CALCE ALBAZZANA

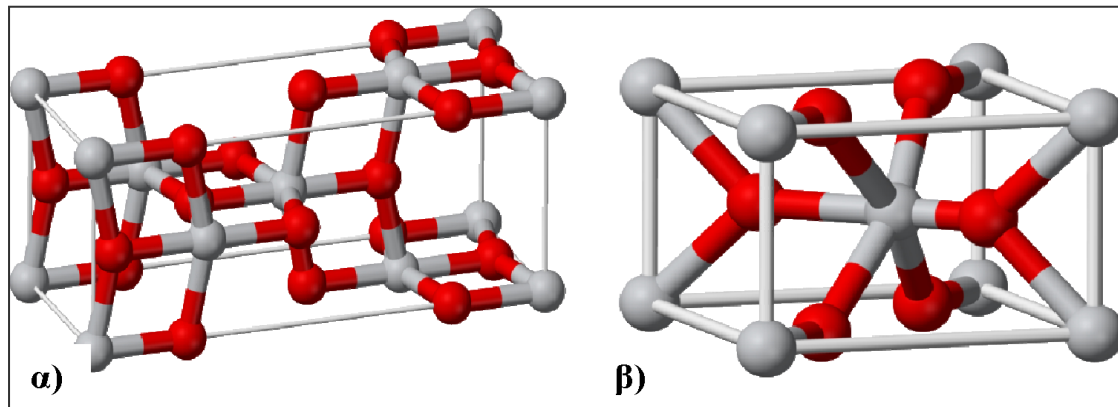
Η υδραυλική άσβεστος calce albazzana είναι μια φυσική υδραυλική άσβεστος χρώματος φουντούκι-ροζ που παρασκευάζεται από την όπτηση επιλεγμένων μαργαϊκών ασβεστόλιθων και ψήνεται σε παραδοσιακούς φούρνους σε χαμηλή θερμοκρασία (+900 °C), ακολουθώντας τις πρακτικές της ιστορικής παράδοσης. Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της, λόγω της ικανότητας διαπνοής και το ιδιαίτερα χαμηλό ποσοστό υδατοδιαλυτών αλάτων, η Albaria Calce Albazzana είναι η πιο κατάλληλη κονία για την παρασκευή κονιαμάτων (τύπου CS II κατά EN 998/1 με αντοχή σε θλίψη 1,5-5 MPa) για την αποκατάσταση ιστορικών κτιρίων.

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΣ- CHAUX BLANCHE (NHL-Z)

Η chaux Blanche NHL-Z 3.5, χρώματος λευκού , είναι μία φυσική υδραυλική άσβεστος, η οποία προέρχεται, επίσης από την όπτηση μαργαϊκών ασβεστόλιθων, αλλά το τελικό klinker εμπεριέχει ποζολανικά πρόσθετα, τα οποία ενισχύουν τις μηχανικές αντοχές των κονιαμάτων που προκύπτουν. Είναι κατάλληλη για παρασκευή κονιαμάτων, επιχρισμάτων ενεμάτων και κατασκευή ψηφιδωτών. Προσφέρει υψηλή υδρατμοδιαπερατότητα, υψηλή αντοχή στα θειικά και ισορροπία μεταξύ υδραυλικών στοιχείων και ενανθράκωσης.

ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ - TITANIA (TiO₂)

Το διοξείδιο του τιτανίου ή τιτανία είναι ένα υλικό με ένα ευρύ φάσμα κοινών εφαρμογών αλλά και εφαρμογών υψηλής τεχνολογίας. Είναι φθηνό, χημικά σταθερό, μη τοξικό και βιοσυμβατό. Το οξείδιο του τιτανίου κρυσταλλώνεται σε διάφορες μορφές: ρουτίλιο (rutile), ανατάση (anatase) και μπρουκίτη (brookite). Η πιο κοινή και πιο μελετημένη δομή είναι αυτή του ρουτιλίου καθώς είναι και η πιο σταθερή (C. Klingshirn, 2007). Σε χαμηλές θερμοκρασίες συνήθως το TiO₂ δεν κρυσταλλώνεται και υπάρχει σε άμορφη κατάσταση. Το TiO₂ μπορεί να παρασκευαστεί σε μορφή μονοκρυστάλλου, σκόνης, κεραμικού και λεπτού υμενίου (K. Mizushima et al, 1979).



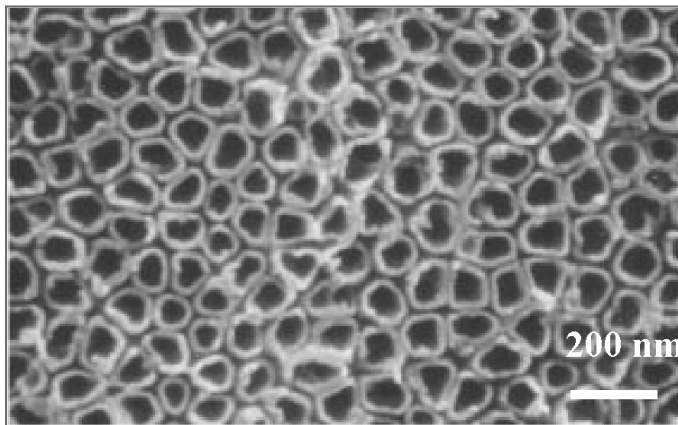
Εικόνα 1. Κρυσταλλικές δομές α) του ανατάση και β) του ρουτίλιου

Πίνακας 1. Βασικές ιδιότητες του TiO_2

Χρώμα	Λευκό
Μορφή	Κρυσταλλικό στερεό
Μοριακός Τύπος	TiO_2
Σημείο Τήξης	1800 °C
Πυκνότητα	4.23 g/cm ³

Το TiO_2 χρησιμοποιείται ευρέως στα λευκά χρώματα λόγω της λάμψης του και του υψηλού δείκτη διάθλασης (4 εκατομμύρια τόνοι καταναλώνονται ετησίως για αυτή τη χρήση). Σε μορφή λεπτού υμενίου ο δείκτης διάθλασής του και το χρώμα του το καθιστούν εξαιρετικό υλικό για οπτικές επιστρώσεις σε διηλεκτρικούς καθρέπτες και σε πολύτιμους λίθους. Το TiO_2 σε μορφή σκόνης λόγω της αδιαφάνειάς του χρησιμοποιείται σε μπογιές, πλαστικά, χαρτιά, μελάνια, τρόφιμα, καλλυντικά (π.χ. αντηλιακά), φάρμακα (χάπια και ταμπλέτες) και σε οδοντόπαστες.

Το TiO_2 , κυρίως στη δομή του ανατάση, χρησιμοποιείται ως φωτοκαταλύτης κάτω από υπεριώδες φως (I.M. Arabatzis et al, 2003). Επίσης, χρησιμοποιείται σε χημικές ηλιακές κυψελίδες (Graetzel cell), ενώ συμμετέχει σε υδρολύσεις π.χ. διάσπαση νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο. Το TiO_2 βρίσκει εφαρμογή στη βιομηχανία σε καθαρισμό τοξικών υγρών αποβλήτων. Επίσης χρησιμοποιείται ως αισθητήρας αερίων (π.χ. αισθητήρας λ για την ανίχνευση οξυγόνου) σε μορφή λεπτού υμενίου και κυρίως με δομή νανοσωλήνων (O.K. Varghese, 2003). Τέλος, καθώς είναι βιοσυμβατό υλικό, επιτρέπει την ενοποίηση μεταξύ ενός τεχνητού εμφυτεύματος και των οστών.



Εικόνα 2. Νανოსωλήνες TiO_2

2.1.2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Χαρακτηριστικές ιδιότητες μίας κονιάς, που είναι ιδιαίτερα καθοριστικές για τη συμπεριφορά μιας επιφάνειας στην οποία εναποτίθεται, είναι η πήξη και η σκλήρυνση.

Πήξη είναι το φαινόμενο που πραγματοποιείται από τη στιγμή που ο πολτός χάνει την πλαστικότητα του μέχρι τη στιγμή που αποκτά κάποια συνεκτικότητα και στερεότητα.

Σκλήρυνση είναι το φαινόμενο, το οποίο ακολουθεί την πήξη, οπότε ο πολτός μεταβάλλεται σε λίθωμα και αποκτά την τελική αντοχή του.

Όσον αφορά στις επιφάνειες στο κέλυφος ενός κτηρίου, οι βασικές ιδιότητες που καθορίζουν την ενεργειακή του συμπεριφορά είναι η ανακλαστικότητα και ο δείκτης εκπομπής που προσδιορίζει και την απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας. Το κέλυφος του κτιρίου, είναι η επιφάνεια της κατασκευής που βρίσκεται συνεχώς σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, με τους εξωγενείς παράγοντες, κλιματικούς και μη, που μπορεί να επηρεάζουν ένα κτίσμα και όπως υποδηλώνει η ονομασία του, λειτουργεί ως κέλυφος προστασίας του εσωτερικού περιβάλλοντος και πρέπει να εξασφαλίζει άνετες συνθήκες διαβίωσης με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας.

ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η ανακλαστικότητα ή άλβεδο ή λευκαύγεια (solar reflectance ή albedo, SR) αποτελεί το μέτρο της ποσότητας της ανακλώμενης ακτινοβολίας μιας επιφάνειας και εκφράζεται ως ο λόγος της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία επί της εξεταζόμενης επιφάνειας. Το εύρος των τιμών που μπορεί να λάβει η ποσότητα αυτή για μια επιφάνεια είναι από 0 έως 1 ή 0-100%. Συγκεκριμένα, όταν η ανακλαστικότητα λαμβάνει την τιμή 0 (μηδέν) απορροφάται όλη η ποσότητα της ακτινοβολίας, χωρίς καμία ανάκλαση. Αντιθέτως, όταν λαμβάνει την τιμή 1 ανακλάται όλη η ακτινοβολία, χωρίς καθόλου απορρόφηση. Είναι γνωστό ότι το ποσοστό της ανακλώμενης ακτινοβολίας μικραίνει όσο πιο σκούρα είναι μια επιφάνεια, με αποτέλεσμα η λευκαύγειά της να πλησιάζει το 0 (μηδέν).

ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

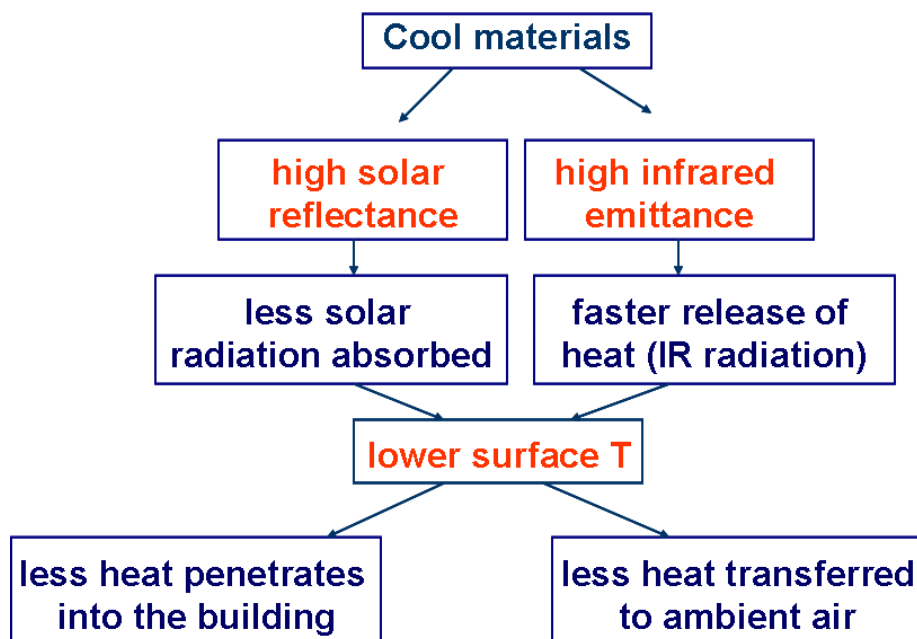
Ο δείκτης εκπομπής (emissivity, 'ε') μιας επιφάνειας είναι το μέτρο της ικανότητάς της να απελευθερώνει απορροφημένη θερμότητα και εκφράζεται ως ο λόγος της ακτινοβολίας του σώματος προς την ακτινοβολία ενός μαύρου σώματος. Μεγάλες τιμές του δείκτη εκπομπής υποδηλώνουν ταχύτερη μετάδοση θερμότητας, δηλαδή το υλικό εκλύει γρηγορότερα τη θερμότητα που απορρόφησε.

2.2. ΨΥΧΡΑ ΥΛΙΚΑ

2.2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ

Ψυχρά υλικά ονομάζονται τα λευκά ή έγχρωμα υλικά που μπορούν να εφαρμοστούν στο κέλυφος ενός κτιρίου, αλλά και σε άλλες επιφάνειες του αστικού δομημένου περιβάλλοντος (π.χ. πεζοδρόμια) μειώνοντας την αναπτυσσόμενη σε αυτά θερμοκρασία. Χαρακτηριστικό των ψυχρών υλικών είναι η υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία σε σύγκριση με συμβατικά υλικά του ίδιου χρώματος και ο υψηλός δείκτης εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η εφαρμογή τους εξασφαλίζει χαμηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία.

Τα ψυχρά υλικά, σύμφωνα με τον ορισμό που δόθηκε, χαρακτηρίζονται από υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία (albedo) και υψηλό δείκτη εκπομπής σε ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος κατά τη διάρκεια της ημέρας (emissivity) (βλ. σχήμα 1), με αποτέλεσμα να απορροφούν λιγότερη θερμότητα και να την απελευθερώνουν γρηγορότερα, μειώνοντας την επιφανειακή θερμοκρασία των υλικών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εισχωρεί λιγότερη θερμότητα στο εσωτερικό ενός κτηρίου στο οποίο εφαρμόζονται, άρα και να μεταφέρεται λιγότερη στον περιβάλλοντα χώρο (M. Santamouris et al ,2008), (ΠΕΣΕΠ, 2010).



Σχήμα 1. Βασικές αρχές των ψυχρών υλικών

2.2.2. ΕΙΔΗ ΨΥΧΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα είδη ψυχρών υλικών συνοψίζονται σε δύο κυρίως κατηγορίες:

Α. τα υλικά κατασκευής κτηρίων, τα οποία χωρίζονται σε υλικά στέγης και υλικά τοιχοποιίας, και

Β. τα υλικά πεζοδρομίου.

Στα ψυχρά υλικά κατασκευής στέγης και τοιχοποιίας περιλαμβάνονται μεμβράνες, ανακλαστικά κεραμίδια, ανακλαστικά επιχρίσματα (ελαστομερή, ακρυλικά κ.α.), στα ψυχρά υλικά τοιχοποιίας επιχρίσματα, κονίες, χρώματα κ.α. και στα ψυχρά υλικά πεζοδρομίου πλακάκια από μάρμαρο, πορώδες οδόστρωμα κ.α. (Oke T.R. et al, 1991)

2.2.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΨΥΧΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας των κατασκευών στις οποίες εφαρμόζονται τα ψυχρά υλικά τα καθιστά ιδιαίτερα σημαντικά στον τομέα της παθητικής εξοικονόμησης ενέργειας σε μια εποχή όπου οι αστικές περιοχές, βιώνουν έντονα το «φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας». Πρόκειται για το φαινόμενο της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα σε αστικές περιοχές σε αντίθεση με αυτήν της υπαίθρου. Η ένταση του φαινομένου εκτιμάται από τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κέντρου της πόλης και της ανοιχτής υπαίθρου, η οποία αρχίζει να παρατηρείται νωρίς το μεσημέρι και αποκτά τη μέγιστη τιμή της δύο ή τρεις ώρες μετά τη δύση του ήλιου, όταν τα υλικά αρχίζουν να αποβάλουν τη θερμότητα που αποθήκευσαν κατά τη διάρκεια της ημέρας (Akbari H. et al, 1992).

Το φαινόμενο της «αστικής θερμικής νησίδας» (Urban Heat Island Effect), κυρίως σε νότιες περιοχές με θερμό κλίμα έχει ως συνέπεια την αυξημένη ανάγκη για κλιματισμό και κατά συνέπεια την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση, την ανύψωση της μέγιστης ενεργειακής κατανάλωσης σε ώρες αιχμής και το κόστος της ενέργειας. Προκαλεί, ακόμα, θερμική δυσφορία σε εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους, ενώ επηρεάζει αρνητικά το αστικό περιβάλλον αυξάνοντας τις χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα, λόγω της αύξησης της θερμότητας, οι οποίες έχουν σαν συνέπεια τη δημιουργία υψηλών συγκεντρώσεων όζοντος (Akbari H. et al, 1992). Από μελέτη που έχει διεξαχθεί στο αστικό περιβάλλον της Αθήνας με κλιματικές μετρήσεις σε 30 αστικούς και επαρχιακούς σταθμούς κατά τη θερινή περίοδο του

1997, η καθημερινή ένταση του φαινομένου έφτανε περίπου τους 10 °C (Santamouris M et al, 1999)

Στην ένταση του φαινομένου μεγάλο ρόλο παίζει ο αστικός σχεδιασμός, το λεγόμενο «αστικό φαράγγι» (canyon radiative geometry), η ανθρωπογενής θερμότητα και οι φυσικές ιδιότητες των υλικών κατασκευής των δρόμων (Oke T.R. et al, 1991). Το αστικό φαράγγι ερμηνεύεται ως η συσσώρευση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τις κτηριακές επιφάνειες και τις επιφάνειες των δρόμων, η οποία προσκρούει στις επιφάνειες του περιβάλλοντα χώρου και παγιδεύεται. Έπειτα, η ηλιακή ακτινοβολία και οποιαδήποτε διαθέσιμη μορφή θερμότητας μπορεί να αυξήσει αισθητά την αποθήκευση θερμότητας σε ένα αστικό συγκρότημα κατά τη διάρκεια της ημέρας επιδεινώνει το φαινόμενο. Η αποθηκευμένη αυτή ενέργεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα της πόλης κατά τη διάρκεια της νύχτας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα (Santamouris M. et al, 1998).

Η σημασία των υλικών αντικατοπτρίζεται και από το γεγονός ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις αστικές κατασκευές καθορίζουν την παγκόσμια ανακλαστικότητα των πόλεων. Τυπικές τιμές αυτής σε ευρωπαϊκές και αμερικανικές πόλεις κυμαίνονται γύρω στο 0,15-0,30, ενώ σε πόλεις της βόρειας Αφρικής η τιμή αυτή έχει υπολογιστεί ότι είναι περίπου ίση με 0,45-0,6 (Taha H. et al, 1997). Ακόμα, σύμφωνα με έρευνες, αναφέρονται σχετικές τιμές θερμοκρασίας 38°C πάνω από γρασίδι, 61°C πάνω από άσφαλτο, 73°C πάνω από τεχνητό γκαζόν και 45°C σε λευκά πεζοδρόμια (Santamouris M. et al, 2001).

Οι ρίζες της εξέλιξης των ψυχρών υλικών ξεκινούν από μια απλή παρατήρηση. Στην επιστήμη της αρχιτεκτονικής ανέκαθεν αναγνωριζόταν ότι τα ανακλαστικά χρώματα κτηρίων προκαλούν μείωση των θερμικών τους φορτίων. Από εκεί ξεκίνησε μια σειρά μελετών για την εκτίμηση της δυνατότητας ψύξης από την εφαρμογή ανακλαστικών υλικών. Οι Givoni και Hoffman (1968) ανέφεραν ότι μη μονωμένα, μικρά κτήρια με άσπρους τοίχους στο Ισραήλ ήταν ψυχρότερα κατά περίπου 3°C το καλοκαίρι σε σύγκριση με πανομοιότυπα κτήρια που ήταν βαμμένα γκρι. Οι Taha et al. (1992) μελετώντας την επιφανειακή θερμοκρασία και την ανακλαστικότητα διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται στις επιφάνειες αστικών κατασκευών διαπίστωσαν ότι λευκά ελαστομερή επιχρίσματα με ανακλαστικότητα μεγαλύτερη του 0,72 ήταν ψυχρότερα κατά 45°C από επιχρίσματα μαύρου χρώματος με ανακλαστικότητα 0,08 (A. Synnefa et al, 2005).

Η χρήση των ψυχρών υλικών αποτελεί μια οικονομική και εύκολη εφαρμογή στην εξοικονόμηση ενέργειας με εμφανή αποτελέσματα στην καταπολέμηση του φαινομένου που περιγράφηκαν παραπάνω. Η μέχρι τώρα έρευνα πάνω στα ψυχρά υλικά έχει προσπαθήσει να εξετάσει την επίδραση των οπτικών και θερμικών ιδιοτήτων των υλικών στη θερμοκρασία του αέρα μιας αστικής περιοχής, καθώς και την δυνατή διατήρηση της ενέργειας κατά τις θερινές περιόδους (Akbari H. et al, 1992).

Οι Oke et al. (1991) εξομοιώνοντας την επίδραση των οπτικών και θερμικών ιδιοτήτων αστικών υλικών στην ένταση του φαινομένου της θερμικής νησίδας κατά τη διάρκεια της νύχτας διαπίστωσαν ότι ο δείκτης εκπομπής έχει πολύ μικρή επίδραση. Αντιθέτως, η επίδραση των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών έδωσε εμφανείς διαφορές. Συγκεκριμένα, αύξηση του δείκτη εκπομπής από 0,85 σε 1,00 έδωσε μια ελάχιστη αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ πόλης και υπαίθρου της τάξεως των 0,4 °C, ενώ για μια επίπεδη έκταση γης, αν η είσοδος θερμότητας στο περιβάλλον της πόλης ήταν 2200 J/m²/K και της υπαίθρου ήταν 800 μονάδες χαμηλότερα δημιουργούνται μια θερμική νησίδα 2°C κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ με μείωση στα 600 J/m²/K στον αστικό χώρο θα δημιουργούνταν μια ψυχρή νησίδα 4°C (Oke T.R. et al, 1991).

Οι Simpson and McPherson (1997) χρησιμοποιώντας μοντέλα κτηρίων κλίμακας 1/4 ανακάλυψαν ότι λευκές στέγες με ανακλαστικότητα 0,75 ήταν ψυχρότερα κατά 20°C από γκρι ή ασημένιες στέγες με ανακλαστικότητα 0,30 και 0,50 ,αντίστοιχα, ενώ παρουσίαζε θερμοκρασία χαμηλότερη κατά 30°C σε σχέση με 22 καφέ οροφές ανακλαστικότητας 0,1. Μετρήσεις έδειξαν επίσης ότι η μεγάλη ανακλαστικότητα ενός υλικού μπορεί να μην αποφέρει μείωση της θερμοκρασίας αν ο δείκτης εκπομπής του υλικού είναι χαμηλός. Οι Synnefa, Santamouris, Livada (2005) ερεύνησαν δεκατέσσερα είδη ανακλαστικών επιχρισμάτων, παρατηρώντας ότι ένα ψυχρό επίχρισμα μπορεί να μειώσει την επιφανειακή θερμοκρασία μιας λευκής τσιμεντένιας πλάκας, υπό υψηλές καλοκαιρινές θερμοκρασίες, κατά 4°C τη μέρα και κατά 2°C τη νύχτα. Την ημέρα μπορεί να είναι θερμότερη από τον αέρα μόνο κατά 2°C και τη νύχτα ψυχρότερη κατά 5,9°C. Διαπιστώθηκε ακόμα ότι τα ψυχρά επιχρίσματα έχουν υψηλότερες θερμικές αποδόσεις σε σύγκριση με άλλα ψυχρά υλικά, όπως το μάρμαρο και το λευκό μωσαϊκό. Σημειώνεται, παρόλα αυτά, ότι η επίδραση της διάβρωσης μπορεί να υποβαθμίσει τη θερμική απόδοση των

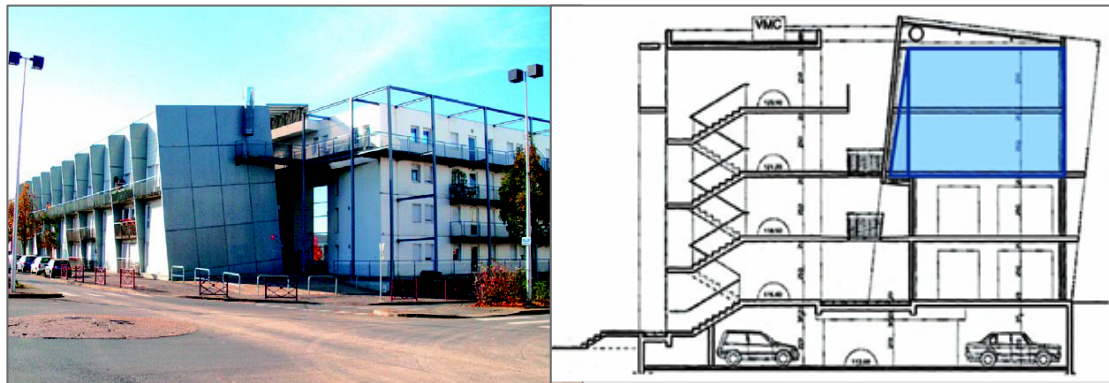
επιχρισμάτων, επομένως θα πρέπει να προτιμώνται επιχρίσματα με αντίσταση στη διάβρωση και τη σκόνη.

Οι Berg και Quinn (1978) από μελέτη σε υλικά πεζοδρομίων διαπίστωσαν ότι στα μέσα του καλοκαιριού δρόμοι βαμμένοι με λευκό χρώμα και ανακλαστικότητα 0,55 είχαν περίπου την ίδια θερμοκρασία με τον περιβάλλοντα χώρο, ενώ άβαφτοι δρόμοι με ανακλαστικότητα κοντά στο 0,15 ήταν θερμότεροι κατά περίπου 11°C σε σχέση με τον αέρα. Η συνέχεια των μελετών σε υλικά πεζοδρομίου έδειξε ότι η επιφανειακή θερμοκρασία, η αποθήκευση θερμότητας και η εκπομπή της στην ατμόσφαιρα ήταν σημαντικά υψηλότερα για την ασφαλτο από ότι για το τσιμέντο και το χρώμα. Σύμφωνα με τους L. Doulos et al. (2004), όσον αφορά υλικά πεζοδρομίου, διαπιστώνεται ότι τα φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών που επηρεάζουν την ανακλαστικότητά τους είναι το χρώμα, η υφή της επιφάνειάς τους και το υλικό κατασκευής. Η μελέτη έδειξε ότι οι τραχείς και σκουρόχρωμες επιφάνειες απορροφούν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία από λείες, επίπεδες και ανοιχτόχρωμες επιφάνειες. Οι ψυχρότερες πλάκες ήταν οι λευκού χρώματος και οι θερμότερες οι μαύρες. Ψυχρότερο υλικό κατασκευής αποδείχτηκε το μάρμαρο, το μωσαϊκό και η πέτρα, σε αντίθεση με το γρανίτη και το τσιμέντο. Ως προς την υφή, οι λείες και επίπεδες επιφάνειες ήταν ψυχρότερες σε σχέση με τις τραχείς και ανάγλυφες. Παρατηρήθηκε, ακόμα, ότι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά δεν επηρεάζουν σημαντικά τη θερμοκρασία. Αξιοσημείωτο συμπέρασμα είναι, ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας η θερμική ισορροπία των υλικών καθορίζεται από το υλικό κατασκευής, το οποίο επηρεάζει το δείκτη εκπομπής, ενώ το χρώμα της επιφάνειας καθορίζει σημαντικά τη θερμική ισορροπία μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, επηρεάζοντας την ανακλαστικότητα.

2.2.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΥΧΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

2.2.4.1. *Le Parvis, Συγκρότημα Κατοικιών, Πουατιέ, Γαλλία*

Το συγκρότημα “Le Parvis” κατασκευάστηκε το 1995, στο οικοδομικό τετράγωνο του Saint-Eloi στο Πουατιέ, και απαρτίζεται από 4 ορόφους με 87 κατοικίες. Το υπό μελέτη κτήριο (Σχήμα 1), ανήκει στην SIPEA και αποτελεί συγκρότημα κατοικιών που απευθύνεται σε ενοίκους με χαμηλά εισοδήματα. Η στέγη του έχει ελαφρά κλίση (11.8%) και αποτελείται από μεταλλικό πάνελ μονωμένο από 100mm ορυκτοβάμβακα και στεγανοποιημένο με ασφαλτικό υλικό και διπλή στρώση ελαστικής μεμβράνης.

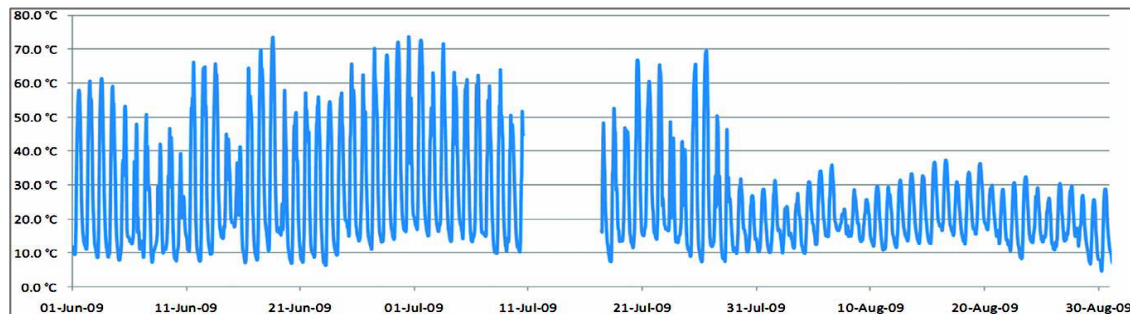


Εικόνα 3. Συγκρότημα κατοικιών στο Πουατιέ

Η στέγη είναι προσανατολισμένη προς την ανατολή και δε σκιάζεται από τα παράπλευρα κτήρια. Η μελέτη εστιάζει στα διαμερίσματα κάτω από την στέγη τα οποία είναι διώροφα με επιφάνεια 100m² περίπου το κάθε ένα (Εικόνα 3). Η στέγη επικαλύφθηκε με ψυχρή βαφή, κατασκευασμένη από την Soprema (Τύπος R' Nova). Η ανακλαστικότητα της ψυχρής βαφής στην ηλιακή ακτινοβολία είναι $SR = 0.88$ και ο συντελεστής εκπομπής στην υπέρυθη ακτινοβολία είναι $\varepsilon = 0.90$.

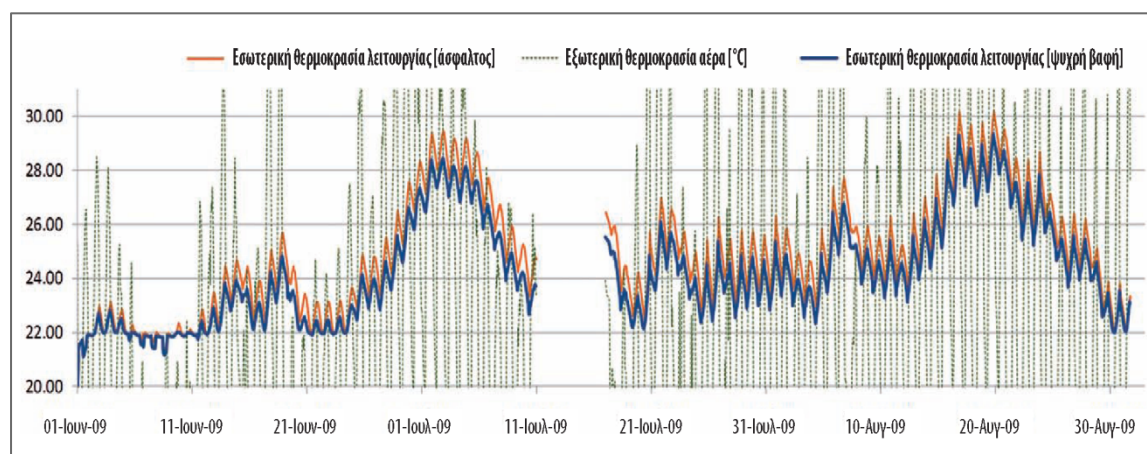
Το κτήριο δεν έχει σύστημα κλιματισμού για το καλοκαίρι, κάτι αρκετά συνηθισμένο στα κτήρια κατοικιών στην Γαλλία. Συνεπώς, η επίδραση της εφαρμογής του ψυχρού υλικού στην οροφή εξετάζεται σε σχέση με την βελτίωση της θερμικής άνεσης του υπό μελέτη διαμερίσματος, σε σύγκριση με τα γειτονικά.

Η καταγραφή της συμπεριφοράς του κτηρίου ξεκίνησε την 1η Ιουνίου και ολοκληρώθηκε την 31η Αυγούστου 2009. Η ψυχρή βαφή εφαρμόστηκε την 28η Ιουλίου. Το διάγραμμα 1 παρουσιάζει την εξέλιξη της επιφανειακής θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 1. Εξέλιξη επιφανειακής θερμοκρασίας του συγκροτήματος κατοικιών

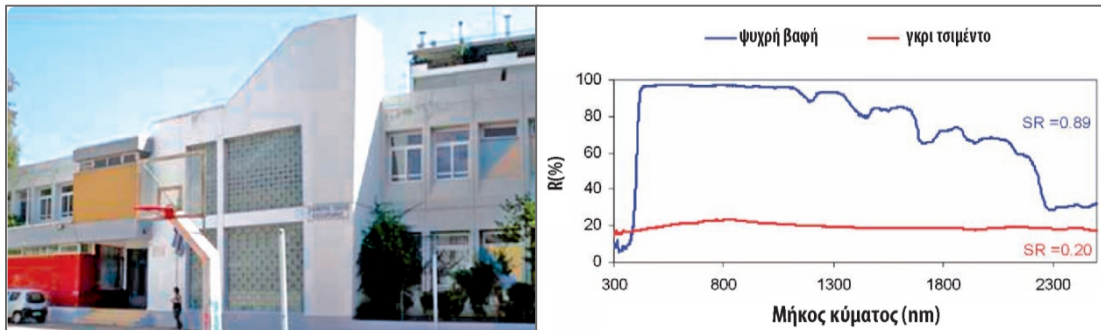
Οι θερμοκρασίες εξελίχθηκαν με την ίδια ημερήσια διακύμανση, και με υψηλές μέγιστες θερμοκρασιακές διαφορές. Κατά την διάρκεια της νύχτας, οι ελάχιστες θερμοκρασίες δεν παρουσίασαν διαφοροποίηση. Η προβλεπόμενη μέση επιφανειακή θερμοκρασία, για όλη την καλοκαιρινή περίοδο, ήταν 21.6°C μετά την εφαρμογή της ψυχρής βαφής, ενώ για την απλή στέγη ήταν 34.1°C . Η διαφορά στην εσωτερική θερμοκρασία λειτουργίας (operative temperature) είναι λιγότερο αισθητή λόγω της καλής μόνωσης στη σοφίτα - η μέση θερμοκρασία λειτουργίας στο δωμάτιο μειώθηκε από 24.9°C σε 24.2°C (Διάγραμμα 2). Στην περίπτωση αυτή (καλά μονωμένη οροφή), το προβλεπόμενο όφελος είναι περίπου 1°C κατά την μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας, από 30.2°C σε 29.3°C .



Διάγραμμα 2. Εξέλιξη θερμοκρασιών λειτουργίας πριν και μετά την εφαρμογή ψυχρής στέγης

2.2.4.2. Σχολικό Κτήριο, Καισαριανή, Αθήνα

Το υπό μελέτη κτήριο είναι ένα σχολείο 410m² στον Δήμο Καισαριανής, σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή κοντά στο κέντρο της Αθήνας. Το σχολείο, ένα παραλληλόγραμμο κτήριο 2 ορόφων με αυλείο χώρο, είναι κατασκευασμένο το 1980. Η φέρουσα κατασκευή είναι οπλισμένο σκυρόδεμα και η τοιχοποιία είναι από οπτοπλινθοδομή μη μονωμένη. Το κτήριο είναι μη κλιματιζόμενο και εξαιρίζεται φυσικά.



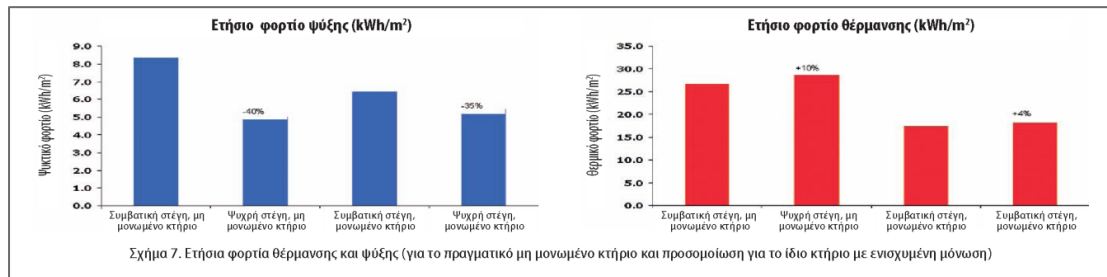
Εικόνα 4. Σχολικό κτήριο στην Καισαριανή

Διάγραμμα 3. Φασματική ανακλαστικότητα της οροφής πριν (γκρι τσιμέντο, SR=0,2) και μετά (βαφή Cool Roof barrier της ABOLIN, SR=0,89) την εφαρμογή του ψυχρού υλικού

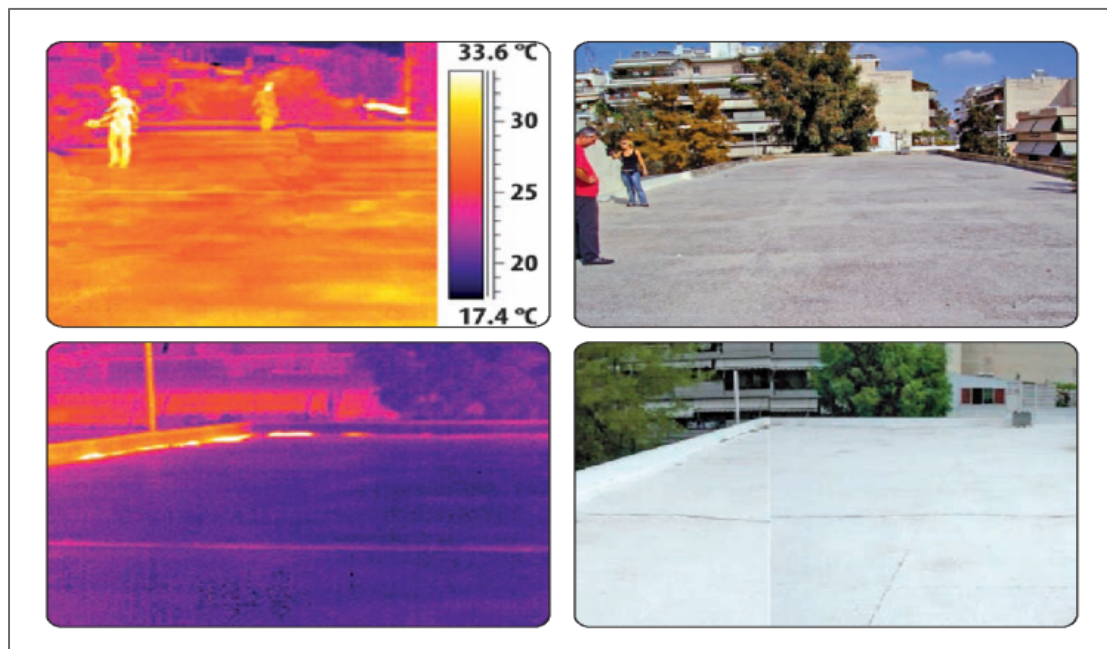
Η οροφή του κτηρίου ήταν επικαλυμμένη με τσιμέντο, με ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία ($SR = 0.2$). Η ψυχρή τεχνολογία που επιλέχθηκε είναι λευκή ελαστομετρική αδιάβροχη επικάλυψη (Cool Barrier Roof της ABOLIN) με ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία $SR = 0.89$, συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας $\varepsilon = 0.89$.

Μετά την εφαρμογή της ψυχρής στέγης, η εσωτερική θερμοκρασία μειώθηκε 1.5-2°C κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ 0.5°C κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η ετήσια μείωση στη ζήτηση ενέργειας για την ψύξη ήταν 40%, ενώ η ζήτηση για θέρμανση αυξήθηκε μόλις κατά 10%. Επιπλέον, μετά την εφαρμογή της ψυχρής στέγης, καταγράφηκε σημαντική μείωση στην επιφανειακή θερμοκρασία η οποία το καλοκαίρι φθάνει τους 25°C. Οι ημερήσιες διακυμάνσεις στην επιφανειακή θερμοκρασία μειώθηκαν δραστικά, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των

υλικών - καθώς όταν υπάρχουν μεγάλες εναλλαγές θερμοκρασίας η θερμική καταπόνηση είναι μεγαλύτερη (Διαγράμματα 4, 5 και Εικόνα 5).



Διαγράμματα 4 και 5: Ετήσια φορτία θέρμανσης και ψύξης (για το πραγματικό –μη μονωμένο– κτήριο και προσομοίωση για το ίδιο κτήριο με ενισχυμένη μόνωση)



Εικόνα 5: Υπέρυθρη και ορατή απεικόνιση οροφής, η οποία δείχνει τη διαφορά θερμοκρασίας πριν και μετά την εφαρμογή του ψυχρού υλικού

2.2.4.3. Κτήριο Εργαστηρίου, Ηράκλειο Κρήτης

Ένα βιοκλιματικό κτήριο στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, στα προάστια του Ηρακλείου, το οποίο στεγάζει γραφείο διοίκησης για ερευνητικά προγράμματα, επιλέχθηκε για την πιλοτική μελέτη στην Κρήτη (Εικόνα 6). Το κτήριο κατασκευάστηκε το 1997, σύμφωνα με βιοκλιματικό σχεδιασμό, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι ανάγκες του σε θέρμανση και ψύξη. Μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία του κτηρίου καλύπτεται από υβριδικό

ενεργειακό σύστημα, το οποίο αποτελείται από ανεμογεννήτρια 1000W και φωτοβολταϊκό σύστημα 450Wp.

Το κτήριο καταλαμβάνει συνολική επιφάνεια περίπου 50m^2 και περιλαμβάνει μικρή κουζίνα, μπάνιο και 2 ακόμη ανεξάρτητους χώρους. Οι τοίχοι και η οροφή έχουν αυξημένη μόνωση. Επιπρόσθετα, περίπου η μισή επιφάνεια της οροφής του κτηρίου (στην βόρεια πλευρά) καλύπτεται από μονόριχτη κεραμοσκεπή. Το δάπεδο αποτελείται από στρώμα 15cm από μασίφ σκυρόδεμα. Όλα τα παράθυρα και οι πόρτες είναι από αλουμίνιο με διπλούς υαλοπίνακες και φέρουν ειδική επικάλυψη ώστε να αφομοιώνουν την ηλιακή θερμότητα κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Τέλος, στη νότια πλευρά υπάρχει ειδικό σκίαστρο. Η μεγάλη τζαμαρία στην οροφή του κτηρίου είναι προσανατολισμένη στο νότο, έτσι ώστε τον χειμώνα να λειτουργεί ως μέσο αποθήκευσης θερμότητας. Παρόλο που αρχικά είχε σχεδιαστεί με αρχές παθητικού κλιματισμού, το καλοκαίρι απαιτείται πρόσθετη ψύξη λόγω των κλιματολογικών συνθηκών. Η κατανάλωση ενέργειας εκτιμάται ως 38 kWh/m^2 για ψύξη και 7 kWh/m^2 για θέρμανση, σύμφωνα με στοιχεία που συλλέχθηκαν το 2008 (D. Kolokotsa et al, 2011).



Εικόνα 6: Βιοκλιματικό κτήριο στα περίχωρα Ηρακλείου

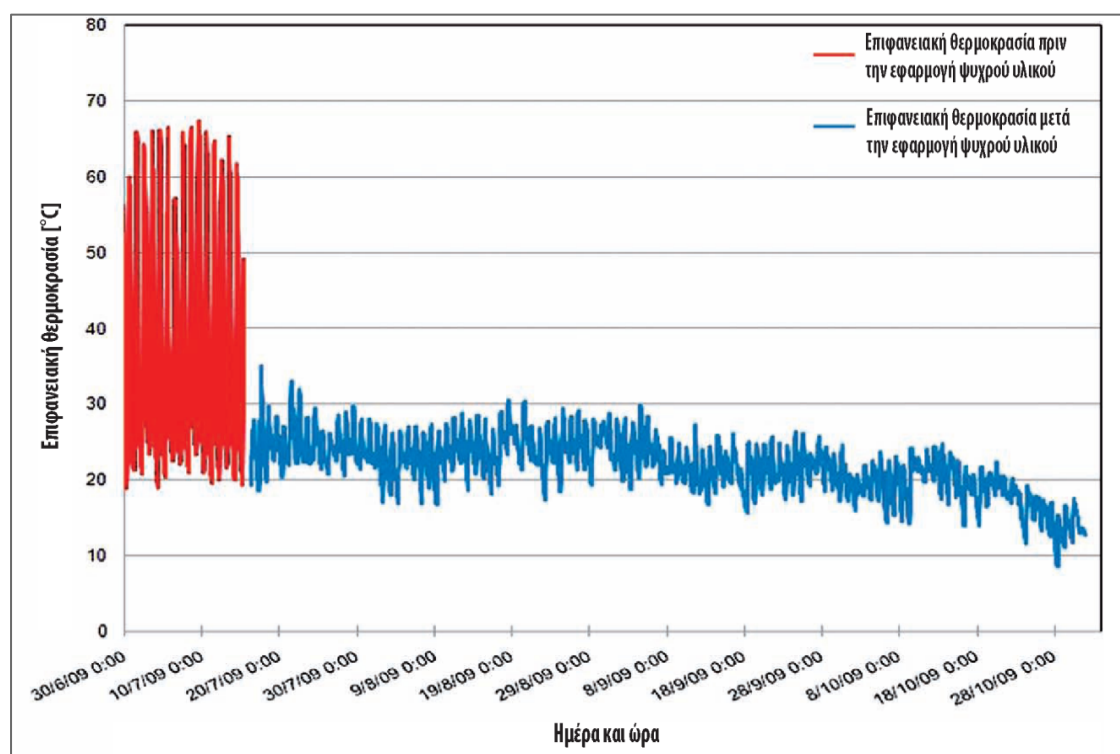


Εικόνα 7: Οροφή κτηρίου μετά την εφαρμογή της Ψυχρής Στέγης

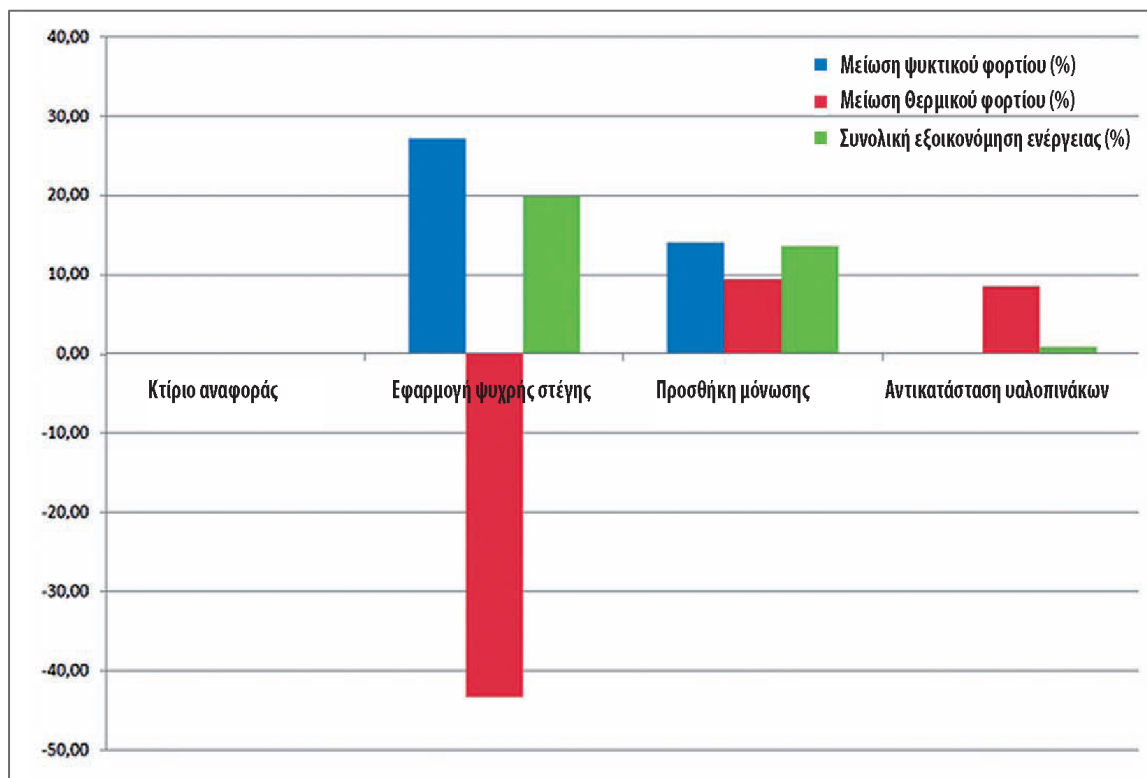
Η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε είναι ψυχρή λευκή βαφή -του κατασκευαστή ABOLIN- με ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία $SR=0.89$, συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας $\varepsilon=0.89$ και δείκτη SRI 113. Η εφαρμογή του υλικού έγινε στις 15 Ιουλίου 2009 (Εικόνα 7).

Η μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας -πριν και μετά την εφαρμογή της ψυχρής στέγης- έφτασε τους 1.5°C το καλοκαίρι και 0.5°C το χειμώνα. Η μείωση στα φορτία θέρμανσης και ψύξης - λόγω της ψυχρής στέγης- είναι περίπου 27%, ενώ παράλληλα

η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας αποτιμάται ως 19.8%, παρόλο που παρατηρήθηκε αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ως και 37%. Αυτό οφείλεται στο ότι η ενέργεια που καταναλώνεται για θέρμανση αποτελεί πολύ μικρό τμήμα της συνολικής ενέργειας που χρειάζεται το κτήριο. Η μείωση στην επιφανειακή θερμοκρασία απεικονίζεται στο Διάγραμμα 6. Η εφαρμογή της ψυχρής στέγης στο συγκεκριμένο κτήριο αποτελεί την πιο αποτελεσματική λύση σε σύγκριση με άλλες π.χ. ενίσχυση μόνωσης ή βελτίωσης παραθύρων, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 6. Επιφανειακή θερμοκρασία στέγης πριν και μετά την εφαρμογή του ψυχρού υλικού



Διάγραμμα 7. Σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας

Το εύλογο ερώτημα που προκύπτει μελετώντας όλα τα παραπάνω είναι γιατί η χρήση των ψυχρών υλικών δεν είναι τόσο διαδεδομένη όσο θα περίμενε κανείς. Τα αίτια αυτού του γεγονότος είναι τα εξής: οι κατασκευαστές και ιδιοκτήτες των κτηρίων ενδιαφέρονται για την εξασφάλιση μιας στοιχειώδους ποιότητας των υλικών του κτηρίου, θεωρώντας την εξοικονόμηση ενέργειας κάτι δευτερεύον. Σημαντικό αίτιο είναι, επίσης, αυτό που αναφέρθηκε παραπάνω: τα υλικά διαβρώνονται και μαζεύουν σκόνη και βρωμίες με την πάροδο του χρόνου χάνοντας την θερμική αποδοτικότητά τους. Το γεγονός οφείλεται επίσης σε λόγους αισθητικής, καθώς οι ιδιοκτήτες και οι αρχιτέκτονες προτιμούν να έχουν τη δυνατότητα της επιλογής του χρώματος που θα διαλέξουν για την κατασκευή τους. Η έλλειψη παροχής πληροφοριών παίζει έναν επιπλέον σημαντικό λόγο, καθώς το κοινό δεν έχει άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες όπως η ενεργειακή εξοικονόμηση και η μείωση του κόστους που μπορεί να πετύχει με τη χρήση συγκεκριμένων υλικών, καθώς επίσης και μια καθοδήγηση για την επιλογή των υλικών αυτών. Υπάρχει, ακόμα, ανησυχία για τη δημιουργία αντηλίας και οπτικής δυσκολίας σε περίπτωση υπερβολικής αύξησης της ανακλαστικότητας των επιφανειών και κατά συνέπεια για την αύξηση

των ατυχημάτων. Αυτό όμως είναι κάτι που μπορεί να τεθεί υπό έλεγχο. Τέλος, η έλλειψη κινήτρων για τους ιδιοκτήτες κτηρίων και η έλλειψη γνώσεων από τους κατασκευαστές επιβραδύνει ακόμα περισσότερο τη διάδοση της χρήσης των ψυχρών υλικών (Konopacki et al, 1998).

Είναι προφανής η ανάγκη βελτίωσης πολλών παραμέτρων για την επίτευξη της εισαγωγής των ψυχρών υλικών στην αγορά και την εξοικείωση με τη χρήση τους στις καθημερινές εφαρμογές. Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη ψυχρών υλικών στα κονιάματα τοιχοποιίας, που μπορούν να εφαρμοστούν σε βιοκλιματικές κατασκευές και παραθέτει συγκριτικά στοιχεία κονιαμάτων με διαφορετικές προσμίξεις.

2.3. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

2.3.1. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Η εισαγωγή των ψυχρών υλικών στη νομοθεσία αποτελεί, σε παγκόσμια κλίμακα, ένα ανεπτυγμένο εγχείρημα με πολλές εφαρμογές σε ενεργειακούς κώδικες. Μερικού από τους πιο γνωστούς είναι οι ASHRAE Standard 90.1 (2004), ASHRAE Standard 90.2 (2004), California's Title 24, Florida Energy Code. Η απαρχή των ενεργειακών κωδικών εντοπίζεται στην ενεργειακή κρίση του 1970 στις ΗΠΑ. Έκτοτε η θέσπιση τους για την ενεργειακή εξοικονόμηση στα κτήρια εξελίσσεται συνεχώς, περιλαμβάνοντας κανονισμούς και νόμους που προάγουν τη χρήση των ψυχρών υλικών.

Η Αμερικανική Ένωση Μηχανικών ASHRAE (American Society of Heating , Refrigerating and Air-conditioning Engineers) δημιούργησε, μετά το 1995, ενεργειακά πρότυπα, που περιέχουν ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές για μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Κάποια από τα πρότυπα αυτά είναι:

- Το ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-1999, Energy Standards for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings το οποίο, επιτρέπει μειωμένη μόνωση της οροφής, αν κατασκευαστεί ψυχρή επιστέγαση, δηλαδή επιστέγαση με ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία $SR \geq 0.70$ και συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας $\epsilon \geq 0.75$).
- Το πρότυπο ANSI/ASHRAE Standard 90.2-2001, Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings παρέχει τη δυνατότητα μειωμένης μόνωσης της οροφής εάν υπάρχει ψυχρή επιστέγαση με χαρακτηριστική ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία $SR \geq 0.65$ και δείκτη ανελαστικότητας στην ηλιακό ακτινοβολία $SRI \geq 75$. Οι τελευταίες πρέπει να είναι πιστοποιημένες από αναγνωρισμένα εργαστήρια.

Ο ASHRAE παρέχει επίσης εξελιγμένους οδηγούς ενεργειακού σχεδιασμού που αφορούν μικρά κτήρια γραφείων. Οι οδηγοί αυτού παρέχουν σχεδιαστικές λύσεις και μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν έτσι ώστε να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων.

Με χρονολογική σειρά, το 1995 η πολιτεία της Τζόρτζια έκανε για πρώτη φορά αναφορά στις ψυχρές επιστεγάσεις στον ενεργειακό της κανονισμό, επιτρέποντας την απουσία μόνωσης μόνο αν αντικατασταθεί από ψυχρή επιστέγαση. Οι ψυχρές επιστεγάσεις έπρεπε να έχουν ελάχιστη ηλιακή ανακλαστικότητα της τάξης του 0,75 και αντίστοιχη τιμή του συντελεστή εκπομπής. Ομοίως δρα και η Φλόριντα, η οποία επιτρέπει τόσο σε εμπορικά κτήρια όσο και σε κατοικίες τη χρήση ψυχρών υλικών με προδιαγραφές που ανταποκρίνονται σε ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία $SR \geq 0.65$ και συντελεστής εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας $\varepsilon \geq 0.80$. Ακολουθεί το Σικάγο το 1993 με τη θέσπιση των ενεργειακών προδιαγραφών για στέγες μικρής κλίσης, θέτοντας ως ελάχιστο όριο ανακλαστικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας το $SR \geq 0.25$, το οποίο θα πρέπει να ισχύει για τουλάχιστον τρία χρόνια. Οι μετρήσεις των ιδιοτήτων των υλικών θα πρέπει να γίνονται με βάση τα πρότυπα ASTM E 903 και E 1918. Για σκεπές που θα κατασκευαστούν έπειτα από αυτή την ημερομηνία τα προϊόντα θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές κατά ENERGY STAR. Ο ENERGY STAR είναι ένας Οργανισμός Βαθμονόμησης προϊόντων ψυχρών στεγών. Το 2001 η πολιτεία της Καλιφόρνια ανανεώνει τον κτηριακό ενεργειακό της κανονισμό Title 24, προσθέτοντας τις ψυχρές στέγες ως μέτρο ενεργειακής απόδοσης. Ως ελάχιστο όριο ανακλαστικότητας ορίζεται η τιμή $SR \geq 0.70$ και ο συντελεστής εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας $\varepsilon \geq 0.75$). Στις περιπτώσεις κεραμιδιών από άργιλο ή σκυρόδεμα και έγχρωμων ψυχρών υλικών ορίζεται ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία $SR \geq 0.40$. Ορίζεται ακόμα ότι οι ψυχρές στέγες θα πρέπει να ελέγχονται και να πιστοποιούνται από το CRRC (Cool Roof Rating Council). Το 2005 ο κανονισμός Title 24 επανεκδίδει προσθήκες, μεταβάλλοντας τις ψυχρές στέγες σε υποχρεωτική τεχνική για όλες τις καινούριες κατασκευές που δεν προορίζονται για κατοικία. Ακόμα, έγιναν υποχρεωτικές και για ανακατασκευές στεγών με έκταση μεγαλύτερη από 190 τετραγωνικά μέτρα. Σο 2006 άρχισε ήδη να σχεδιάζεται η αναβάθμιση του ενεργειακού κανονισμού της Καλιφόρνια με την προοπτικό εισαγωγής σε αυτόν ψυχρών υλικών τα οποία απευθύνονται σε στέγες με μεγαλύτερη κλίση.

Σε παγκόσμια κλίμακα τα ψυχρά υλικά φαίνεται να έχουν ενσωματωθεί στην εκάστοτε νομολογία των κρατών. Στόχος της ενσωμάτωσης αυτής είναι η προώθηση και διασφάλιση ελάχιστων ορίων θερμικής απόδοσης των υλικών, η οποία γίνεται σταδιακά λόγω του κόστους και της έλλειψης εμπειρίας πάνω στις συγκεκριμένες

τεχνικές. Οι εφαρμογές ψυχρών υλικών έγιναν πρώτα σε δημόσια κτήρια στοχεύοντας να έρθουν σε επαφή με το κοινό και να γίνει ευκολότερη η προώθησή τους και σε άλλους κατασκευαστικούς τομείς και στη συνέχεια προεκτάθηκε και στο χώρο των ιδιωτικών κατοικιών και εμπορικών κτηρίων. Η χρήση τους στα υφιστάμενα κτήρια συνίσταται ως επιπλέον μέτρο ενεργειακής εξοικονόμησης, ενώ στα καινούρια ως υποχρεωτικό (Levinson R. et al, 2002), (Akbari H. et al, 2007), (Rosenfeld A.H. et al, 1997)².

2.3.2. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Στην ελληνική νομοθεσία, την ενεργειακή εξοικονόμηση σε κτήρια με αναφορά στα ψυχρά υλικά πραγματεύεται το Άρθρο 8 της ΦΕΚ Β/1122 17/6/2008 σελ. 15117, το οποίο όμως αναφέρεται σε δημόσια κτήρια. Συγκεκριμένα το Άρθρο ονομάζεται «Πρόσθετα μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας» και αναφέρει ότι αν ο κύριος του δημόσιου κτηρίου δεν κρίνει ότι είναι απαραίτητη η χρήση συνολικών παρεμβάσεων για την εξοικονόμηση ενέργειας και αν δεν είναι άμεσης ανάγκης, απαιτείται τουλάχιστον η χρήση απλών τεχνικών για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, όπως είναι τα επιχρίσματα ταράτσας κάθε κτηρίου με ψυχρές βαφές μεγάλης ανακλαστικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία. Αναφέρει ότι σε οροφές που δε διαθέτουν επικάλυψη με ανακλαστικά υλικά είναι απαραίτητη η εφαρμογή αυτών, ώστε να επιτευχθεί ελάχιστη τιμή του δείκτη ανακλαστικότητας και του συντελεστή εκπομπής 0,7 και 0,8 αντίστοιχα, ενώ προτείνει τη χρήση λευκών χρωμάτων.

[1] Ακόμη, αναφερόμενη στα εξωτερικά κατακόρυφα τμήματα των κτηρίων δηλώνει ότι πρέπει να χρωματίζονται με ψυχρά έγχρωμα ή λευκά υλικά, όπου κρίνεται απαραίτητο. Τα έγχρωμα υλικά πρέπει να παρουσιάζουν ανακλαστικότητα χαμηλότερη ή ίση της ανακλαστικότητας του δώματος και πρέπει να φέρουν την ένδειξη «ψυχρές βαφές» και ο συντελεστής εκπομπής τους πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος ή μεγαλύτερος του 0,8 (ΦΕΚ Β/1122 17/6/2008).

Στην παραπάνω Κοινή Υπουργική Απόφαση αναγνωρίζεται για πρώτη φορά η συμβολή των ψυχρών υλικών στην εξοικονόμηση ενέργειας. Η Απόφαση αυτή αποτελεί ένα ενθαρρυντικό βήμα στην προώθηση της τεχνολογίας των ψυχρών

² <http://eetd.lbl.gov/coolroof/>, [High Albedo (Cool) Roofs, Codes and Standard Enhancement (CASE) Study, November 17 2000, Pacific Gas and Electric Company

υλικών. Δεδομένου, όμως, ότι τα κτήρια στα οποία αναφέρεται ανήκουν στον ευρύτερο δημόσιο τομέα και επομένως, αποτελούν μεγάλο τμήμα του οικιστικού όγκου της χώρας και καταναλώνουν υπέρογκα ποσά ενέργειας, θα μπορούσε να είναι δραστικότερη και δεσμευτική, ενώ τώρα έχει χαρακτήρα συστάσεως και προσθετικό.

Η νομολογία για τα ψυχρά υλικά επεκτείνεται και στον τομέα κατασκευής των δημοσίων έργων, όπου προδιαγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, όπως συμβαίνει και με τα υπόλοιπα υλικά κατασκευών.

Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές που αφορούν τις εφαρμογές ψυχρών υλικών (ΠΕΤΕΠ 03-11-20-00, Έκδοση 1.0, 2008) εκδόθηκαν στα πλαίσια του "Προγράμματος Δράσεων για τον εκσυγχρονισμό της παραγωγής των Δημοσίων Έργων" (Action Plan του ΥΠΕΧΩΔΕ). Η συγκεκριμένη ΠΕΤΕΠ αναφέρεται στις εφαρμογές ψυχρών υλικών σε θερμομονώσεις κτηριακού κελύφους, εξωτερικούς τοίχους και δώματα μικρής ή μεγάλης κλίσης, και επιστρώσεις εξωτερικών χώρων (οδών, πλατειών, πεζοδρομίων, περιβάλλοντος χώρου κτιρίων, χώρων στάθμευσης).

Οι υπάρχοντες κανόνες έχουν εφαρμογή στα κτιριακά έργα, τις επιστρώσεις επιφανειών σκυροδέματος, επιφανειών επιχρισμάτων (τοίχοι, δάπεδα) καθώς επίσης και σε πλακοστρώσεις και λιθόστρωτα οδών, πεζοδρομίων και πλατειών. Στην τεχνική περιγραφή των έργων προσδιορίζονται τα είδη των ψυχρών υλικών με κριτήρια την συμμόρφωση τους στα γενικά και ειδικά κριτήρια αποδοχής τους, τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής τους επίδοσης, την αισθητική και τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του έργου (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές, 2010).

Όπως ορίζεται, τα υλικά πρέπει να προέρχονται από κατασκευαστή με πιστοποίηση κατά Energy Star, καθώς δεν έχουν θεσπιστεί ευρωπαϊκά πρότυπα, από διεθνώς αναγνωρισμένο φορέα απονομής του συγκεκριμένου σήματος και αποδεδειγμένα θα πληρούν τις προϋποθέσεις για τον χαρακτηρισμό τους ως ψυχρά υλικά. Οι θερμικές τους επιδόσεις θα πιστοποιούνται με βάση ελέγχους, προσομοιώσεις και μετρήσεις προσαρμοσμένες στις Ελληνικές κλιματολογικές συνθήκες και δεδομένα.

Για την πιστοποίηση των υλικών ως ψυχρά απαιτείται η προσκόμιση εκθέσεων εργαστηριακών δοκιμών που αποδεικνύουν τις φωτοκαταλυτικές τους επιδόσεις, (αποδόμηση ρύπων, αντιβακτηριακή δράση) όσο και η προσκόμιση στοιχείων από τα οποία να προκύπτει ότι τα προαναφερόμενα υλικά έχουν ενσωματωθεί με επιτυχία σε

έργο σε κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές, 2010).

Επομένως, προδιαγράφονται τα απαιτούμενα τεχνικά χαρακτηριστικά των ψυχρών υλικών, αλλά και οι τρόποι εκτέλεσης, ελέγχου και παραλαβής δημοσίων έργων στα οποία εφαρμόζονται. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα ακόμη βήμα στην προώθηση της τεχνολογίας των ψυχρών υλικών και δείχνει την τάση και την προσπάθεια εισαγωγής τους στον τομέα των δημοσίων έργων.

Η χρήση τους εξαπλώνεται σε έργα ανάπλασης αστικών κοινόχρηστων χώρων (πεζοδρομήσεις, πλακοστρώσεις, αναπλάσεις πλατειών κ.α.), κάτι που δεν θα ήταν εφικτό χωρίς τις προαναφερθείσες προδιαγραφές καθώς θα ήταν αδύνατη η ένταξή των ψυχρών υλικών στην ίδια τη μελέτη του έργου.

Στον τομέα των κτηρίων ιδιωτικής χρήσης, παρόλα αυτά, η ένταξη των ψυχρών υλικών στις νομοθετικές διατάξεις απουσιάζει πλήρως. Η ενσωμάτωση της Κοινοτικής Οδηγίας 2002/91/EK η οποία αφορά την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων έγινε στην ελληνική νομοθεσία με τον Ν.3661/2008. Με τον νόμο αυτό ορίζεται κανονισμός ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, με βάση τον οποίο τα νέα και τα ανακαινιζόμενα κτήρια, θα πρέπει να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης όπως αυτές ορίζονται στον κανονισμό. Αναφέρεται επίσης το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων και εισάγεται η έννοια του ενεργειακού επιθεωρητή, ο οποίος φέρει την ευθύνη για την αποτύπωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων.

Τα ψυχρά υλικά, παρά τη συμβολή τους στην ενεργειακή εξοικονόμηση των κτηρίων δεν περιλαμβάνονται σε κανένα σημείο του νόμου 3661/2008, φέρνοντας την κατάσταση της νομοθετικής τους ένταξης στην Ελλάδα σε αντίθεση με την επικρατούσα παγκόσμια τάση όπου η χρήση ψυχρών υλικών κατοχυρώνεται νομοθετικά με υποχρεωτικό χαρακτήρα.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, γίνεται κατανοητό ότι ο νόμος 3661/2008 εισάγει την έννοια της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων και του ενεργειακού επιθεωρητή, διακρίνεται, όμως έντονα η έλλειψη συγκεκριμένων προτάσεων και μέτρων που αποσκοπούν στην κατεύθυνση αυτή. Ο νόμος δεν προάγει την ουσιαστική ένταξη των προτεινόμενων τεχνικών, ούτε παρέχει κίνητρα για την εφαρμογή τους. Διαφαίνεται, επομένως η τυπική και όχι ουσιαστική προσπάθεια ενσωμάτωσης της Ευρωπαϊκής Οδηγίας στην ελληνική νομοθεσία.

Στο ΦΕΚ Β/5333 9/4/2010 σελ.407 γίνεται άλλη μια προσέγγιση της ενσωμάτωσης των ψυχρών υλικών στις τεχνικές εφαρμογές. Στο νόμο αυτό γίνεται αναφορά στις έννοιες του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης κτηρίων, τα οποία δρομολογούν μια ελεγχόμενη αξιολόγηση της ενεργειακής κατάστασης των κτηρίων και ορίζεται η έννοια του Κτηρίου Αναφοράς, το οποίο πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές και σύμφωνα με την παραπάνω νομολογία, Άρθρο 9, «περιλαμβάνει εξωτερικές επιφάνειες με συντελεστή απορροφητικότητας ηλιακής ακτινοβολίας 0,40 για τοιχοποιίες, 0,40 για δώματα και 0,60 για επικλινείς στέγες. Αντίστοιχα, ο συντελεστής εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας για τις εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου αναφοράς είναι 0,80.», όπου γίνεται έμμεση αναφορά στη χρήση ψυχρών υλικών. Ακόμη και σε αυτόν τον νόμο, παρόλα αυτά δε γίνεται σαφή αναφορά στη χρήση συγκεκριμένα ψυχρών υλικών (ΦΕΚ Β 5333 9/4/2010).

Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα οι ιδιότητες των επιχρισμάτων και των συστατικών τους έχουν ως εξής:

Πρώτες ύλες επιχρισμάτων

Τα **ανόργανα συνδετικά υλικά** πρέπει να είναι εγκεκριμένης καταλληλότητας. Η καταλληλότητα θα προκύπτει από τα σχετικά πρότυπα EN ή ελλείψει αυτών από τα ENV ή και τις εθνικές προδιαγραφές, που ορίζουν τα αποδεκτά για κονιάματα υλικά. Τα ανόργανα συνδετικά υλικά, που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή επιχρισμάτων, είναι:

- τσιμέντο
- τσιμέντο τοιχοποιίας
- αερική άσβεστος
- μίγμα αερικής άσβεστου και τσιμέντου
- υδραυλική άσβεστος
- μίγμα υδραυλικής άσβεστου και τσιμέντου
- μίγμα αερικής άσβεστου και γύψου

Το τσιμέντο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με όλες τις άσβεστους. Η γύψος (κατά κανόνα με την ημιϋδρική μορφή της) δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την υδραυλική άσβεστο, το τσιμέντο τοιχοποιίας, ή το τσιμέντο, γιατί υπάρχει η πιθανότητα ανεπιθύμητων αντιδράσεων (διόγκωση, καταστροφή του

κονιάματος). Η γύψος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την αερική άσβεστο.

Τα **ανόργανα αδρανή υλικά** πρέπει να είναι εγκεκριμένης καταλληλότητας. Η καταλληλότητα θα προκύπτει από τα σχετικά πρότυπα EN ή ελλείψει αυτών από τα ENV ή και τις εθνικές προδιαγραφές, που ορίζουν τα αποδεκτά για κονιάματα υλικά. Τα αδρανή υλικά μπορεί να είναι ασβεστολιθικά ή πυριτικά, θραυστά ή φυσικά (ποταμού, πλυμένα άμμος θαλάσσης) και το μίγμα τους να προσεγγίζει τη σωστή κοκκομετρία.

Τα ανόργανα αδρανή μπορεί να είναι κανονικής πυκνότητας ή ελαφροβαρή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν κοκκώδη οργανικά αδρανή εγκεκριμένης καταλληλότητας.

Τα πρόσμικτα έχουν χημικές ή και φυσικές επιπτώσεις στις ιδιότητες των επιχρισμάτων και προστίθενται σε σχετικά μικρές ποσότητες. Τα πρόσμικτα πρέπει να είναι σύμφωνα με τα ΕΛΟΤ EN 480 ή εγκεκριμένης καταλληλότητας για κονιάματα. Τα πρόσμικτα κατατάσσονται σε κατηγορίες αναλόγως της ιδιότητας που προσδίδουν, πχ αερακτικά, πρόσμικτα για ελάττωση νερού, πλαστικοποιητές, υδατοαπωθητικά, βελτιωτικά πρόσφυσης, επιβραδυντές και επιταχυντές. Τα πρόσθετα για τα κονιάματα πρέπει να είναι εγκεκριμένης καταλληλότητας. Χρησιμοποιούνται γενικά σε μεγαλύτερες ποσότητες, και αν αυτά τα υλικά είναι λεπτόκοκκα, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αναλογία τους ως προς τη συνολική περιεκτικότητα των λεπτόκοκκων υλικών του μίγματος. Είδη προσθέτων κονιαμάτων είναι: ίνες, πληρωτικά πρόσθετα, φυσική ποζολάνη, χρωστικά κλπ.

Το νερό που χρησιμοποιείται θα πρέπει είτε να πληροί τις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ EN 1008, είτε να μην περιέχει επικίνδυνα συστατικά σε συγκεντρώσεις που θα έχουν επίδραση στις ιδιότητες του κονιάματος ή της τοιχοποιίας³.

Στα ελληνικά δεδομένα, επομένως, παρατηρείται μια γενική τάση αναβολής της λήψης δραστικών και προωθητικών μέτρων για την εφαρμογή της τεχνική της παθητικής εξοικονόμησης ενέργειας με ψυχρά υλικά, κωλυσιεργώντας την ουσιαστική ένταξή της στην εκπόνηση κτηριακών κατασκευών, η οποία έχει αποδειχτεί ιδιαίτερα σημαντική και μπορεί να συμβάλλει δραστικά στις εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας.

³ http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko3.1.htm

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας είναι η σύγκριση των κονιαμάτων όσον αφορά στις επιμέρους προσμίξεις τους και τις επιδράσεις που έχουν αυτές στην ενεργειακή συμπεριφορά του εξεταζόμενου κτηρίου και κυρίως στις ενεργειακές απαιτήσεις για το δροσισμό του εσωτερικού χώρου, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η διαδικασία αυτή ξεκινάει με τον προσδιορισμό της ανακλαστικότητας και του συντελεστή εκπομπής των δειγμάτων. Οι συντελεστές ανακλαστικότητας και εκπομπής είναι ενδεικτικοί για την ‘ψυχρή’ ή μη συμπεριφορά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δειγμάτων.

3.1. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

3.1.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΩΝ

Η πειραματική διαδικασία ξεκινάει με την επιλογή και την προετοιμασία των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή των δειγμάτων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.1. όλα τα δείγματα περιέχουν μαρμαρόσκονη, ασβέστη και νερό. Τα υλικά που διαφοροποιούν τα δείγματα είναι:

- το τσιμέντο, που χρησιμοποιείται ως συμβατική προσθήκη,
- υδραυλικές ασβέστοι,
- η τιτανία, που χρησιμοποιείται σε μικρές αλλά υπολογίσιμες ποσότητες αντικαθιστώντας ποσοστό της μαρμαρόσκονης και ενισχύει το λευκό χρώμα του δείγματος και
- η ώχρα, που προσδίδει μία λιγότερο λευκή απόχρωση στο τελείωμα του κονιάματος, αλλά αποτελεί μία ευρέως διαδεδομένη επιλογή στα σύγχρονα κτήρια, για αισθητικούς κυρίως λόγους.

Τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν αποτέλεσαν προσομοιώσεις των εξωτερικών τοιχωμάτων ενός κτηρίου. Επομένως, ακολουθήθηκε όσο το δυνατόν πιο πιστά η διαδικασία κατασκευής της τοιχοποιίας μιας οικοδομής. Ως βάση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε πλάκα πεζοδρομίου επιφάνειας 9x9 cm. Για την παρασκευή των κονιαμάτων χρησιμοποιήθηκαν - όπως συνηθίζεται σε σύγχρονα κτήρια - ασβέστης, αδρανή υλικά και συγκεκριμένες προσμίξεις συστατικών που βελτιώνουν είτε την αισθητική είτε την 'οικολογική συμπεριφορά' των δειγμάτων. Για παράδειγμα, σε κάποια από τα δείγματα χρησιμοποιήθηκε μικρή ποσότητα κίτρινης ώχρας για δώσει μία ελαφριά απόχρωση στο δείγμα, καθώς αποτελεί συχνό φαινόμενο στις σύγχρονες κατοικίες. Σε άλλη περίπτωση, κάποια από τα μίγματα των δειγμάτων περιείχαν τιτανία (TiO_2), και αυτό για να εξεταστεί αν τα δείγματα αυτά, παρουσίασαν ευνοϊκότερους δείκτες ανακλαστικότητας και συντελεστές εκπομπής για την ενεργειακή συμπεριφορά ενός τοιχώματος.

Πιο αναλυτικά, για την παρασκευή των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμοί των παρακάτω υλικών:

- Τσιμέντο
- Ασβέστης
- Μαρμαρόσκονη
- Τιτανία
- Υδραυλική Άσβεστος – Calce Albazzana
- Υδραυλική Άσβεστος - Chaux Blanche
- Νερό
- Κίτρινη Ωχρα

3.1.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

Για την παρασκευή των μιγμάτων γίνεται ανάμειξη της κονιάς, που αποτελεί το συνδετικό υλικό με τα αδρανή, τα οποία στη συνέχεια αναδεύονται με ασβέστη και τέλος με νερό. Στην εν λόγω περίπτωση του συμβατικού κονιάματος ως συνδετικό υλικό χρησιμοποιήθηκε το τσιμέντο και το αδρανές ήταν η μαρμαρόσκονη τα οποία στη συνέχεια αναδεύτηκαν με ασβέστη και νερό παράγοντας το μίκτο κονίαμα ή τσιμεντοασβεστοκονίαμα, το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως στις σύγχρονες οικοδομές (αντί για μαρμαρόσκονη συνηθίζεται η χρήση άμμου). Το τελικό προϊόν εφαρμόστηκε με σπάτουλα πάνω στην πλάκα πεζοδρομίου επιφάνειας 9x9 cm και

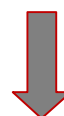
τέλος εξομαλύνθηκε η επιφάνειά της. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιγράφεται στις παρακάτω φωτογραφίες.



Φωτογραφία 1:
Τοποθέτηση των συστατικών



Φωτογραφία 2:
Ανάδευση του μίγματος



Φωτογραφία 3:
Προσθήκη της κατάλληλης ποσότητας νερού ώστε να ομογενοποιηθεί το μίγμα



Φωτογραφία 4:
Εναπόθεση του μίγματος στην πλάκα πεζοδρομίου και εξομάλυνση της επιφάνειάς του

Με την ίδια ακριβώς διαδικασία παρασκευάστηκαν όλα τα δείγματα. Τα τρία πρώτα δείγματα περιέχουν τις ίδιες ποσότητες συστατικών με τη διαφορά ότι στο 2ο δείγμα το τσιμέντο αντικαταστάθηκε από υδραυλική άσβεστο Calce Albazzana και στο 3ο δείγμα από υδραυλική άσβεστο Chaux Blanche. Το 4ο δείγμα περιέχει τα ίδια υλικά με το 1ο δηλαδή τσιμέντο, ασβέστη, μαρμαρόσκονη, νερό προσθέτοντας μικρή ποσότητα τιτανίας. Το 5ο δείγμα περιέχει υδραυλική άσβεστο Chaux Blanche, ασβέστη, μαρμαρόσκονη, τιτανία και νερό. Το 6ο, 7ο και 8ο δείγμα περιέχει τα ίδια υλικά με τα 1,2 και 3 αντίστοιχα, με τη διαφορά ότι προστέθηκε μικρή ποσότητα κίτρινης ώχρας. Τέλος, το 9ο δείγμα περιέχει υδραυλική άσβεστο Calce Albazzana ως κονία, μικρή ποσότητα τιτανίας αλλά και κίτρινη ώχρα. Αναλυτικά τα συστατικά των δειγμάτων αλλά και οι ποσότητες που χρησιμοποιήθηκαν για το καθένα περιγράφονται στους παρακάτω πίνακες.

1^ο δείγμα

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (%)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (gr)
Τσιμέντο	10.5	70
Μαρμαρόσκονη	68.3	453
Ασβέστης	21.2	140.5
Νερό	-	59.42

2^ο δείγμα

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (%)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (gr)
Υδραυλική άσβεστος 1 – calce albazzana	10.5	70
Μαρμαρόσκονη	68.3	453
Ασβέστης	21.2	140.5
Νερό	-	62.36

3^ο δείγμα

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (%)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (gr)
Υδραυλική άσβεστος 2 - chaux blanche	10.5	70
Μαρμαρόσκονη	68.3	453
Ασβέστης	21.2	140.5
Νερό	-	63.6

4^ο δείγμα

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (%)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (gr)
Τσιμέντο	10.5	70
Μαρμαρόσκονη	64.9	430.35
Τιτανία	3.4	22.65
Ασβέστης	21.2	140.5
Νερό	-	65.72

5^ο δείγμα

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (%)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (gr)
Υδραυλική Ασβεστος 2-chaux blanche	10.5	70
Μαρμαρόσκονη	64.9	430.35
Τιτανία	3.4	22.65
Ασβέστης	21.2	140.5
Νερό	-	64.66

6^ο δείγμα

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (%)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (gr)
Τσιμέντο	10.5	70
Μαρμαρόσκονη	68.3	453
Κίτρινη Ωχρα	-	0.300
Ασβέστης	21.2	140.5
Νερό	-	63.08

7^ο δείγμα

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (%)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (gr)
Υδραυλική Ασβεστος 1-calce albazzana	10.5	70
Μαρμαρόσκονη	68.3	453
Κίτρινη Ωχρα	< 0.5	0.315
Ασβέστης	21.2	140.5
Νερό	-	67.7

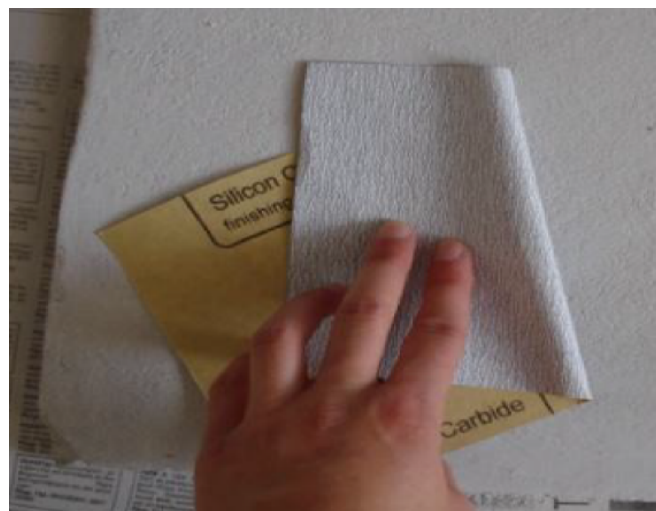
8^ο δείγμα

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (%)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (gr)
Υδραυλική Ασβεστος 2-chaux blanche	10.5	70
Μαρμαρόσκονη	68.3	453
Κίτρινη Ωχρα	< 0.5	0.29
Ασβέστης	21.2	140.5
Νερό	-	67.2

9^ο δείγμα

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (%)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (gr)
Υδραυλική Άσβεστος 1-Calce albazzana	10.5	70
Μαρμαρόσκονη	64.9	430.65
Τιτανία	3.4	22.5
Κίτρινη Ώχρα	< 0.5	0.315
Ασβέστης	21.2	140.5
Νερό	-	66.28

Αφού παρασκευάστηκαν τα μίγματα και προσαρμόστηκαν στις πλάκες πεζοδρομίου παρέμειναν για περίπου 3-4 εβδομάδες για να στεγνώσουν, αφού πρώτα είχε τοποθετηθεί στις επιφάνειές τους βρεγμένο βαμβάκι. Στη συνέχεια τα δείγματα λειάνθηκαν με γυαλόχαρτο, ώστε να έχουν ομοιόμορφη επιφάνεια.



Φωτογραφία 5:
Λείανση επιφανειών με γυαλόχαρτο

3.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

3.2.1. ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Τα δεδομένα που χρειάζονταν στην παρούσα εργασία για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων ήταν μετρήσεις ανακλαστικότητας και συντελεστή εκπομπής των δειγμάτων. Για τις μετρήσεις ανακλαστικότητας χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο Cary 5000 UV-Vis-NIR Spectrophotometer, ενώ για τις μετρήσεις συντελεστή εκπομπής το Emissometer Model AE1.

1. Cary 5000 UV-Vis-NIR Spectrophotometer



Εικόνα 8: Φασματοφωτόμετρο

Το Cary 5000 αποτελεί μία συσκευή διπλής δέσμης φασματοφωτόμετρο που καλύπτει μήκη κύματος από το υπεριώδες, το ορατό φως μέχρι και το υπέρυθρο. Μπορεί να καταγράψει δεδομένα από 185 έως 3300nm. Το λογισμικό Varian που χρησιμοποιεί για την εκτέλεση της διαδικασίας των μετρήσεων, μπορεί να εμφανίζει καταγεγραμμένα δεδομένα τόσο σε φάσμα όσο και σε σταθερά μήκη κύματος, ανάλογα με τις ανάγκες του μελετητή. Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει μετρητή στερεών αλλά και υγρών δειγμάτων, σταθεροποιητή οπτικής γωνίας (σταθερή γωνία 12.5 μοίρες ή μεταβαλλόμενη 20-70 μοίρες), καθώς και μία εσωτερική σφαίρα μέτρησης διάχυτης ανάκλασης (DRA 2500, 200-2500 nm).

Πίνακας 3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Cary 5000

Πηγές φωτός	Λαμπτήρες δευτερίου (185-350 nm) Λαμπτήρες αλογόνου (350-3300 nm)
Αισθητήρες – Ανιχνευτές	R928 PMT (185 – 800 nm) Cooled Pbs (800 – 3300 nm)
Εύρος Ζώνης Φάσματος	UV-Vis 0.01 to 5 nm NIR 0.04 to 20 nm
Βάρος	91 kg
Διαστάσεις	710x380x1020 mm
Ταχύτητα Σάρωσης	UV-Vis: 2000 nm/min , NIR: 8000nm/min

Στην φασματοσκοπία, η απορρόφηση A , ονομάζεται επίσης οπτική πυκνότητα (optical density), ορίζεται ως $A_{(\lambda)} = -\log(I_{\lambda} / I_0)$ όπου (I_{λ}) είναι η ένταση του φωτός σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος λ που έχει περάσει μέσα από ένα δείγμα (transmitted light intensity) και I_0 είναι η ένταση του φωτός πριν αυτό πέσει στην επιφάνεια του δείγματος.

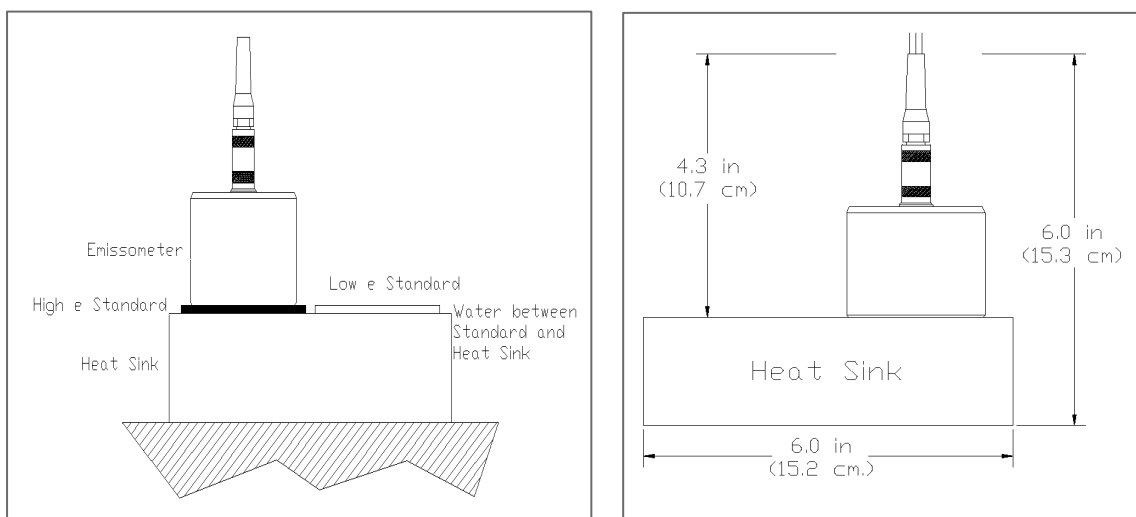
Οι μετρήσεις της απορρόφησης πραγματοποιούνται συχνά στην επιστήμη των υλικών και την αναλυτική χημεία, αφού η απορρόφηση του φωτός κάθε δείγματος είναι ανάλογη με το πάχος του δείγματος και τη συγκέντρωση των συστατικών του που απορροφούν την ακτινοβολία (<http://www.tnlab.eu/instruments/dscary5000>).

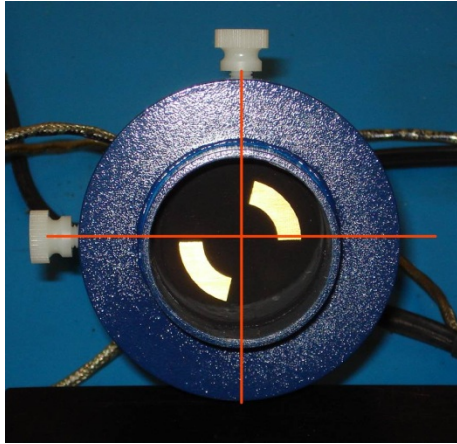
2. EMISSOMETER MODEL AE1



Εικόνα 9: Emissometer

Η συσκευή αυτή (emissometer) μετράει και υπολογίζει τον συντελεστή εκπομπής επίπεδων επιφανειών. Αποτελεί μία διάταξη συσκευών, που αποτελείται από μία θερμαινόμενη επιφάνεια (heat sink), η οποία διαιρείται σε δύο μικρές πλατφόρμες θέρμανσης (high e Standard και low e Standard), έναν αισθητήρα (Emissometer detector), ένα ψηφιακό βολτόμετρο (Scaling Digital Voltmeter Model RD1) και ένα καλώδιο ρεύματος και μεταφοράς δεδομένων (power/output cable), όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνας.





Εικόνα 10: Emissometer detector

Η πρότυπη μέθοδος μέτρησης της ακτινοβολίας με το Emissometer Model AE1 γίνεται με άμεση σύγκριση με δείγμα γνωστού συντελεστή εκπομπής. Αυτό προϋποθέτει ότι τα δύο δείγματα διατηρούνται πάνω κάτω στην ίδια θερμοκρασία. Η ακρίβεια της μέτρησης εξαρτάται πρωτίστως από τη γραμμικότητα της τάσης εξόδου με το συντελεστή εκπομπής και την ακρίβεια των πρότυπων δειγμάτων που χρησιμοποιούνται.

Πιο συγκεκριμένα ο ανιχνευτής (thermopile detector) είναι τοποθετημένος σε μία θερμαινόμενη πλατφόρμα αλουμινίου που θερμαίνεται με ηλεκτρισμό σε σταθερή θερμοκρασία 180 °F (82.2 °C). Το πρότυπο ή το δείγμα τοποθετείται στη θερμαινόμενη επιφάνεια που διατηρεί τόσο το πρότυπο όσο και το δείγμα σε θερμοκρασία κοντά σε αυτή του περιβάλλοντος χώρου. Λόγω της εισερχόμενης ακτινοβολίας στο δείγμα με μορφή θερμότητας, η θερμοκρασία στην επιφάνεια του δείγματος αυξάνεται αμέσως μόλις ο ανιχνευτής μετακινηθεί στη θέση του. Η άνοδος της θερμοκρασίας σε ολόκληρο το δείγμα εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα και το πάχος του υλικού.

3.2.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.2.2.1. Μέτρηση Ανακλαστικότητας

Η εκτίμηση του συντελεστή ανακλαστικότητας των δειγμάτων που παρασκευάστηκαν έγινε με τη βοήθεια του φασματοφωτόμετρου CARY 5000, που περιγράφηκε παραπάνω. Η διαδικασία μέτρησης επιτυγχάνεται με τα παρακάτω βήματα: Ξεκινάει με την τοποθέτηση του δείγματος στο θάλαμο δείγματος της συσκευής. Στη συνέχεια, αφού ευθυγραμμιστεί στην υποδοχή, κλείνει η πόρτα του θαλάμου για να ξεκινήσει η μέτρηση. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από το όργανο, φαίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

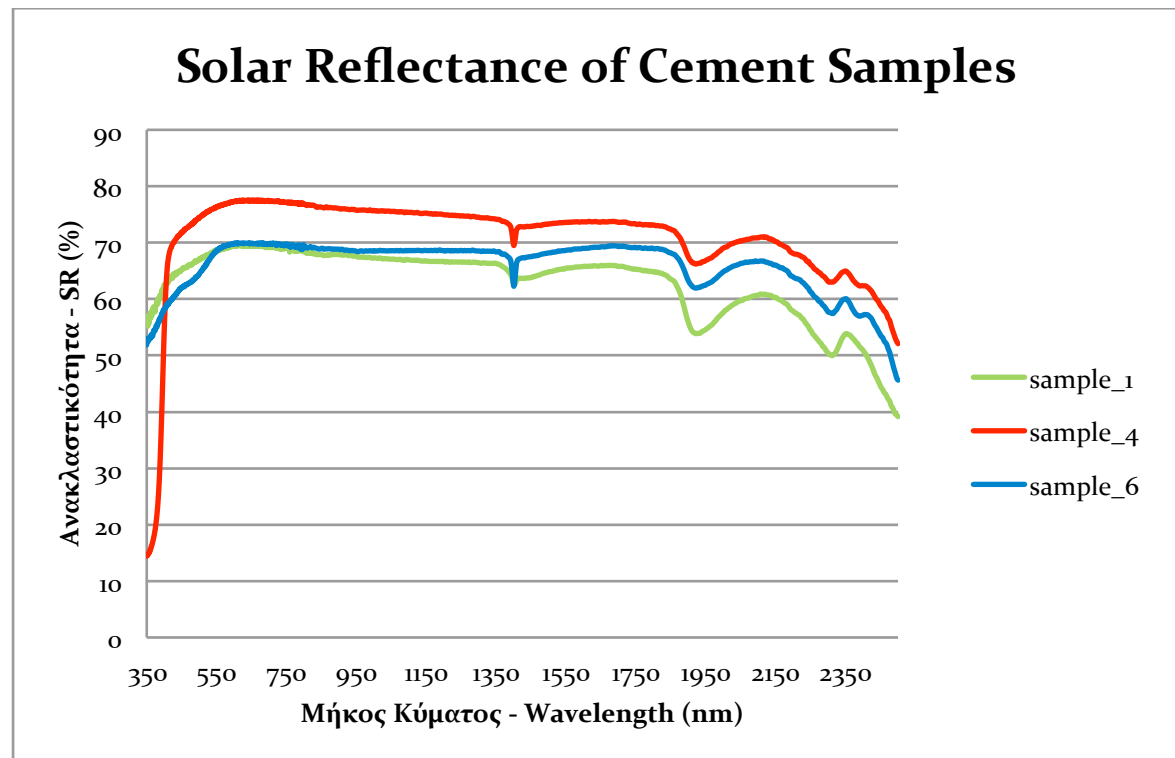
Πίνακας 4: Αποτελέσματα Μετρήσεων Ανακλαστικότητας

Δείγμα	reflectance SR	reflectance SRir	reflectance SRvis
1	0,66	0,66	0,68
2	0,73	0,76	0,7
3	0,82	0,84	0,84
4	0,73	0,74	0,75
5	0,71	0,75	0,75
6	0,67	0,68	0,67
7	0,76	0,81	0,75
8	0,71	0,75	0,65
9	0,75	0,79	0,71

Οι μετρήσεις που ελήφθησαν έδειξαν διαφορετικές τιμές ανακλαστικότητας για τα δοκίμια που μελετώνται, ανάλογα με το συνδυασμό των υλικών, από τα οποία έχουν παρασκευαστεί. Οι διαφορές αυτές, φαίνονται χαρακτηριστικά στα παρακάτω διαγράμματα της ανακλαστικότητας συναρτήσεως του μήκους κύματος. Στα διαγράμματα αυτά, το μήκος κύματος (wavelength) αναφέρεται στο μήκος κύματος της ακτινοβολίας που δέχονται τα υπό μέτρηση δοκίμια, για τον προσδιορισμό της ανακλαστικότητας τους. Το μήκος κύματος μέχρι 400 nm αντιστοιχεί σε (UV) υπεριώδη ακτινοβολία, από 400 έως 800 nm σε (VIS) ορατή ακτινοβολία, ενώ μεγαλύτερο από 800 nm σε υπέρυθρη (NIR).

Για την αποτελεσματικότητα των συγκρίσεων, τα δείγματα έχουν ομαδοποιηθεί ανάλογα με τα συστατικά τους. Στο διάγραμμα 8, απεικονίζονται οι μετρήσεις ανακλαστικότητας των τριών δειγμάτων που περιέχουν τσιμέντο. Το δείγμα 1

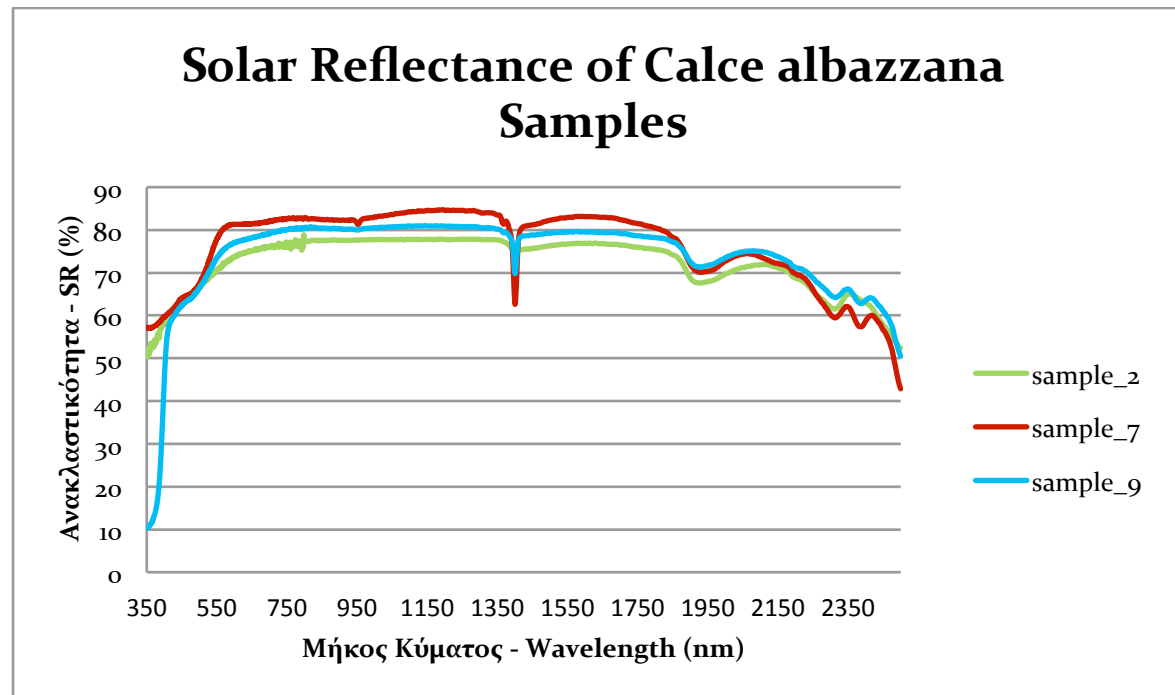
αποτελεί συνδυασμό τσιμέντου, μαρμαρόσκονης, νερού και ασβέστη, το δείγμα 4 παρασκευάστηκε από τσιμέντο, μαρμαρόσκονη, ασβέστη, νερό και τιτανία, ενώ το δείγμα 6 αποτελείται από τσιμέντο, μαρμαρόσκονη, ασβέστη, νερό και κίτρινη ώχρα. Παρατηρούμε ότι το 4^ο δοκίμιο, το οποίο χαρακτηρίζεται από την προσθήκη τιτανίας, εμφανίζει τη μεγαλύτερη ανακλαστικότητα σε όλα τα είδη ακτινοβολίας με μήκος κύματος από 400 nm και πάνω.



Διάγραμμα 8. Ανακλαστικότητα των δειγμάτων με τσιμέντο

Στο διάγραμμα 9, παρουσιάζονται οι τιμές ανακλαστικότητας για τα δείγματα που περιέχουν υδραυλική άσβεστο calce albazzana. Η καμπύλη του δείγματος 2 αναφέρεται στο δοκίμιο που παρασκευάστηκε από υδραυλική άσβεστο calce albazzana, μαρμαρόσκονη, ασβέστη και νερό. Το δείγμα 7, του οποίου η ανακλαστικότητα απεικονίζεται με την κόκκινη καμπύλη, παρασκευάστηκε από υδραυλική άσβεστο calce albazzana, μαρμαρόσκονη, ασβέστη, νερό και κίτρινη ώχρα, ενώ η γαλάζια καμπύλη αντιστοιχεί στο δείγμα 9, το οποίο περιέχει υδραυλική άσβεστο calce albazzana, μαρμαρόσκονη το 5% της οποίας αντικαταστάθηκε από τιτανία, ασβέστη, νερό και κίτρινη ώχρα. Στο διάγραμμα αυτό (9), αποτυπώνεται ότι στα μετρούμενα μήκη κύματος έως 1800nm, το 7^ο δοκίμιο, που χαρακτηρίζεται από

την προσθήκη κίτρινης ώχρας, παρουσιάζει μεγαλύτερη ανακλαστικότητα. Ενώ στις ακτινοβολίες με μήκος κύματος μεγαλύτερο από 1800nm, η προσθήκη τιτανίας αυξάνει το ποσοστό ανακλαστικότητας.

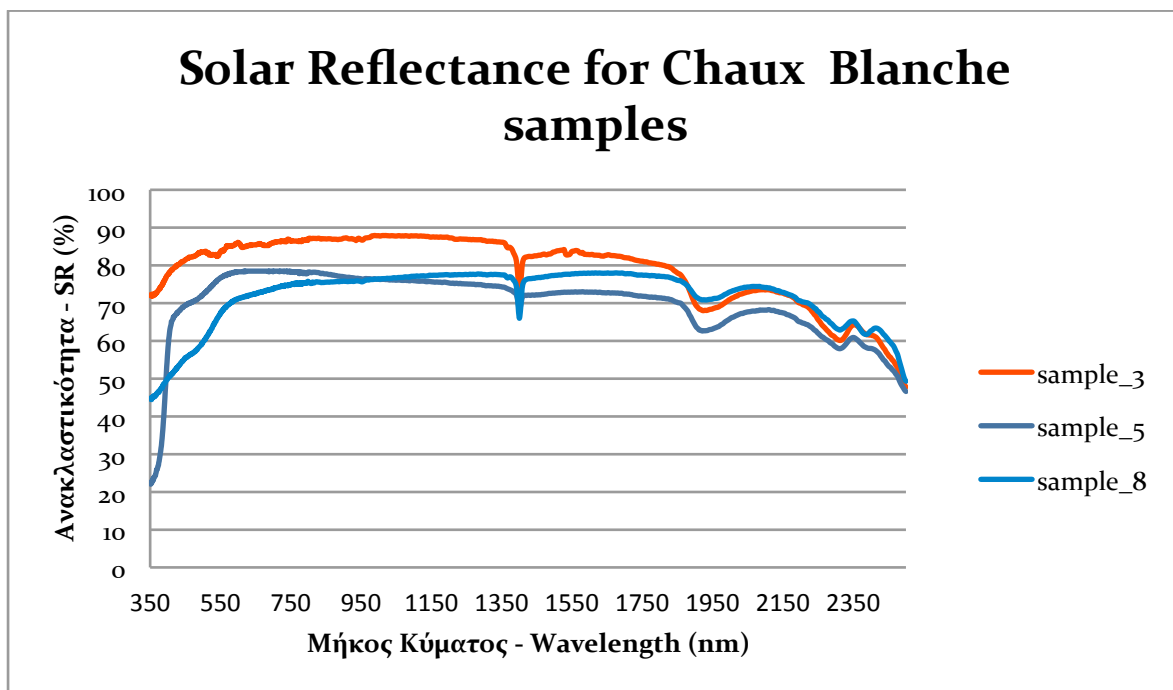


Διάγραμμα 9. Ανακλαστικότητα των δειγμάτων με υδραυλική άσβεστο Calce Albazzana

Στο παρακάτω διάγραμμα 10, περιγράφονται με καμπύλες οι τιμές της ανακλαστικότητας των δειγμάτων που περιέχουν υδραυλική άσβεστο *chaux blanche*. Στο δείγμα 3 (κόκκινη καμπύλη) η υδραυλική άσβεστος *chaux blanche* συνδυάστηκε με μαρμαρόσκονη, ασβέστη, και νερό. Το δείγμα 5 (πράσινη καμπύλη) παρασκευάστηκε από υδραυλική άσβεστο *chaux blanche*, μαρμαρόσκονη, ασβέστη, νερό και τιτανία, ενώ το δείγμα 8 περιέχει υδραυλική άσβεστο *chaux blanche*, μαρμαρόσκονη, ασβέστη, νερό και κίτρινη ώχρα. Η αποτύπωση των μετρήσεων δείχνει ότι σε ακτινοβολίες με μήκος κύματος έως 1900nm, η προσθήκη τιτανίας ή κίτρινης ώχρας μειώνει την ανακλαστικότητα του επιχρίσματος. Από τα 1900nm και πάνω, η τιτανία βελτιώνει σε μικρό ποσοστό την ανακλαστικότητα του κονιάματος.

Στο σύνολο των δοκιμών, η πρώτη ομάδα δειγμάτων, αυτά δηλαδή που περιέχουν τσιμέντο, εμφανίζουν τα μικρότερα ποσοστά ανακλαστικότητας. Αντίθετα, το μεγαλύτερο ποσοστό κατέχει το 3^ο δοκίμιο με την υδραυλική άσβεστο *chaux blanche*,

χωρίς την προσθήκη τιτανίας ή ώχρας. Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη διαδικασία των μετρήσεων, τόσο της ανακλαστικότητας όσο και του δείκτη εκομπής, αναλύονται παρακάτω στο κεφάλαιο 5.



Διάγραμμα 10. Ανακλαστικότητα των δειγμάτων με υδραυλική άσβεστο Chaux Blanche

3.2.2.2. Υπολογισμός Δείκτη Εκπομπής

Η εκτίμηση του συντελεστή εκπομπής έγινε με τη γνωστή (ενδεδειγμένη) μέθοδο slide method. Πιο αναλυτικά, η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει δύο παραλλαγές της ίδιας διαδικασίας, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το σφάλμα σε κάθε επιμέρους μέτρηση. Αρχικά, λοιπόν, γίνεται η εγκατάσταση της συσκευής και η σύνδεσή της με τα περιφερειακά όργανα. Εν συνεχεία, γίνεται βαθμονόμηση της συσκευής με τη βοήθεια του βολτόμετρου, με το οποίο είναι συνδεδεμένο. Αφού μεσολαβήσει ένα χρονικό διάστημα 10 λεπτών πριν ξεκινήσουν οι μετρήσεις, έτσι ώστε ο αισθητήρας να εναρμονιστεί με τις συνθήκες θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου ξεκινάει η διαδικασία μέτρησης. Ξεκινώντας τη διαδικασία προσδιορισμού του συντελεστή εκπομπής για κάθε δείγμα, ο αισθητήρας (emissivity detector) εναποτίθεται πάνω στην επιφάνεια του δείγματος και καταγράφονται 6 μετρήσεις κάθε 20 δευτερόλεπτα για κάθε δείγμα. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία για όλα τα δείγματα, προστίθεται χαρτοταινία στην επιφάνεια κάθε δείγματος επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία με τις ίδιες συνθήκες χρόνου και θερμοκρασίας. Έτσι, προκύπτουν 12 μετρήσεις για κάθε δείγμα, 6 τιμές για τη διαδικασία χωρίς χαρτοταινία και 6 με χαρτοταινία. Οι τιμές που ελήφθησαν από το βολτόμετρο για κάθε δείγμα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

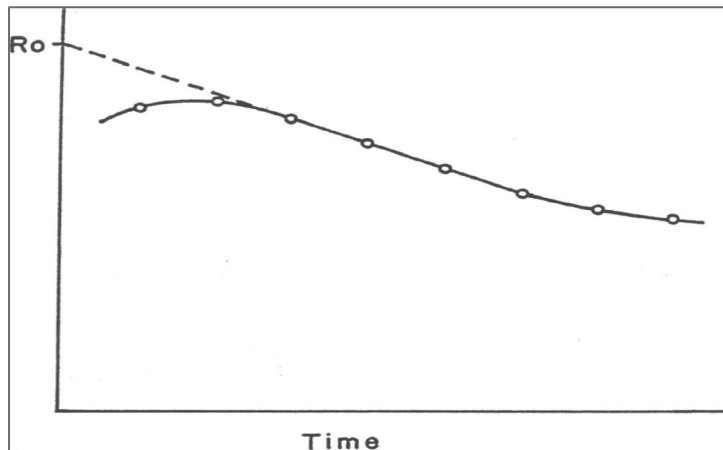
Χρόνος (sec)	Δείγμα 1	Δείγμα 2	Δείγμα 3	Δείγμα 4	Δείγμα 5	Δείγμα 6	Δείγμα 7	Δείγμα 8	Δείγμα 9
0	0,83	0,85	0,82	0,77	0,8	0,79	0,76	0,74	0,77
20	0,86	0,89	0,83	0,85	0,88	0,86	0,78	0,84	0,83
40	0,86	0,87	0,84	0,88	0,87	0,85	0,78	0,84	0,82
60	0,84	0,86	0,81	0,85	0,85	0,82	0,78	0,83	0,8
80	0,82	0,85	0,85	0,82	0,81	0,81	0,78	0,8	0,78
100	0,81	0,85	0,76	0,86	0,8	0,82	0,77	0,79	0,66

Πίνακας 5: Slide method (μετρήσεις με χαρτοταινία)

Χρόνος (sec)	Δείγμα 1	Δείγμα 2	Δείγμα 3	Δείγμα 4	Δείγμα 5	Δείγμα 6	Δείγμα 7	Δείγμα 8	Δείγμα 9
0	0,83	0,79	0,79	0,79	0,84	0,82	0,85	0,84	0,75
20	0,91	0,82	0,85	0,83	0,86	0,87	0,87	0,85	0,92
40	0,85	0,81	0,86	0,86	0,83	0,86	0,83	0,83	0,84
60	0,84	0,8	0,85	0,85	0,83	0,83	0,8	0,85	0,82
80	0,85	0,74	0,84	0,88	0,83	0,83	0,82	0,84	0,79
100	0,83	0,78	0,82	0,85	0,85	0,82	0,83	0,84	0,86

Πίνακας 6: Slide method (μετρήσεις χωρίς χαρτοταινία)

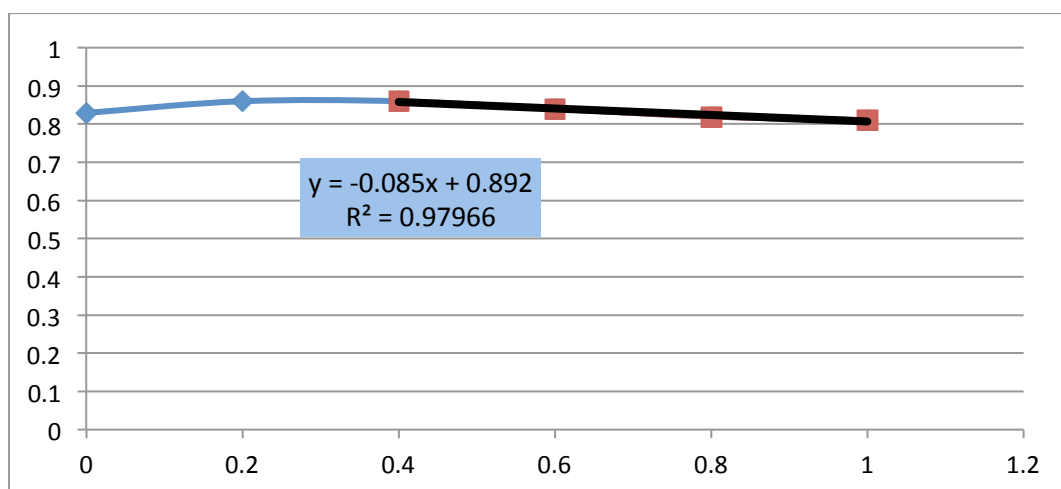
Από τις 6 μετρήσεις που λαμβάνονται για κάθε δείγμα με την ίδια διαδικασία, η βέλτιστη τιμή προκύπτει από μία επεξεργασία των 6 αυτών τιμών. Οι τιμές αυτές απεικονίζονται ποιοτικά συναρτήσει του χρόνου σε γραφική παράσταση όπως φαίνεται παρακάτω:



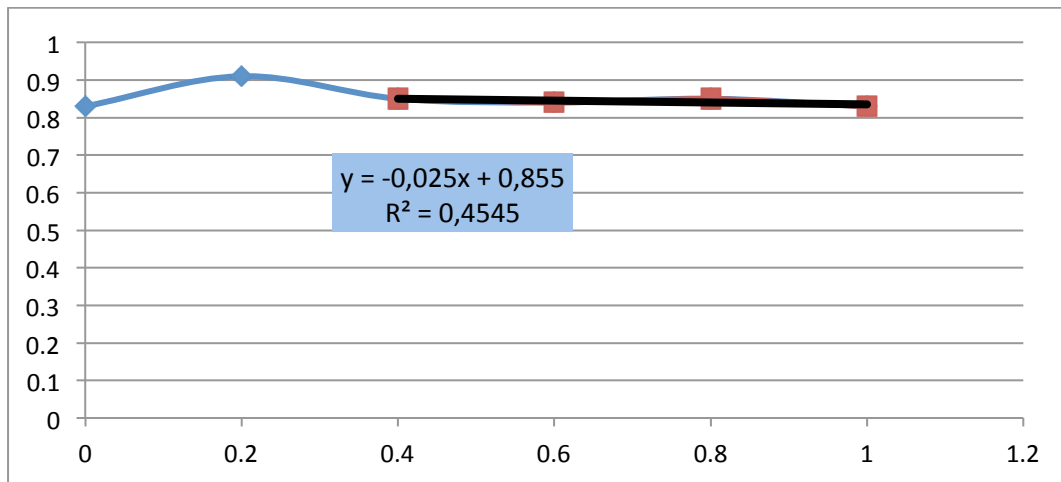
όπου R_o η τιμή της μέτρησης

Η βέλτιστη τιμή από τις 6 που λαμβάνονται για κάθε δείγμα και είδος μέτρησης υπολογίζεται από το συντελεστή β , αν θεωρήσουμε ότι η εξίσωση της διακεκομμένης ευθείας είναι της μορφής $y = ax + \beta$. Όπως φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα οι τιμές σχηματίζουν ένα καμπυλόγραμμο ευθύγραμμο τμήμα. Η ζητούμενη ευθεία είναι η βέλτιστη ευθεία των σημείων, όταν η καμπύλη καταλήγει σε ευθεία γραμμή. Για παράδειγμα, το πρώτο δείγμα:

Δείγμα 1



Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του πρώτου δείγματος με χαρτοταινία (slide method).



Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του πρώτου δείγματος χωρίς χαρτοταινία

Για τον υπολογισμό του συντελεστή εκπομπής για κάθε δείγμα χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$\varepsilon = \frac{R_{0 \text{ unknown}}}{R_{0 \text{ Standard}}} \times \varepsilon_{\text{standard}}$$

όπου:

ε ο συντελεστής εκπομπής του δείγματος

$R_{0 \text{ unknown}}$ η μέτρηση του δείγματος χωρίς χαρτοταινία

$R_{0 \text{ standard}}$ η μέτρηση του δείγματος με χαρτοταινία

και $\varepsilon_{\text{standard}}$ ο γνωστός (πρότυπος) συντελεστής εκπομπής.

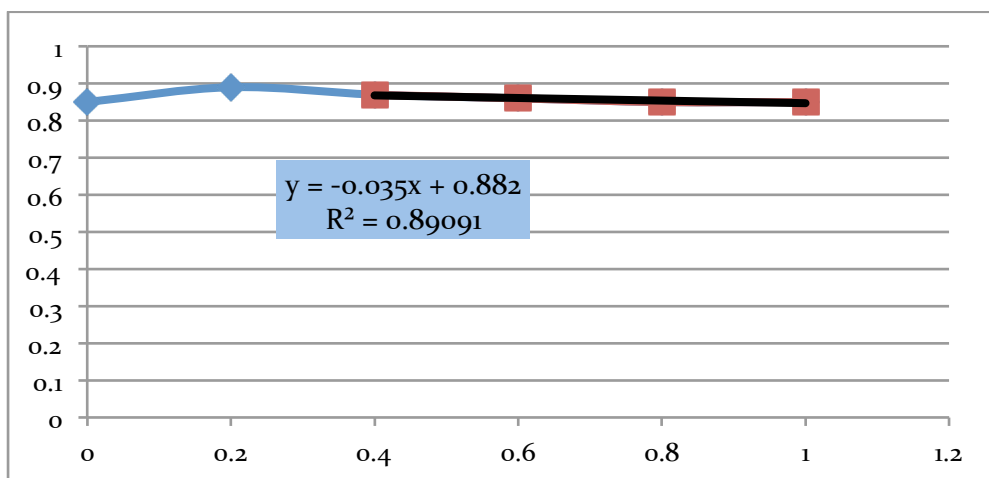
Έτσι για το πρώτο δείγμα προκύπτει: $\varepsilon = \frac{R_{0 \text{ unknown}}}{R_{0 \text{ Standard}}} \times \varepsilon_{\text{standard}}$

όπου $\varepsilon_{\text{standard}} = 0,79$, $R_{0 \text{ unknown}} = 0,855$ και $R_{0 \text{ standard}} = 0,892$.

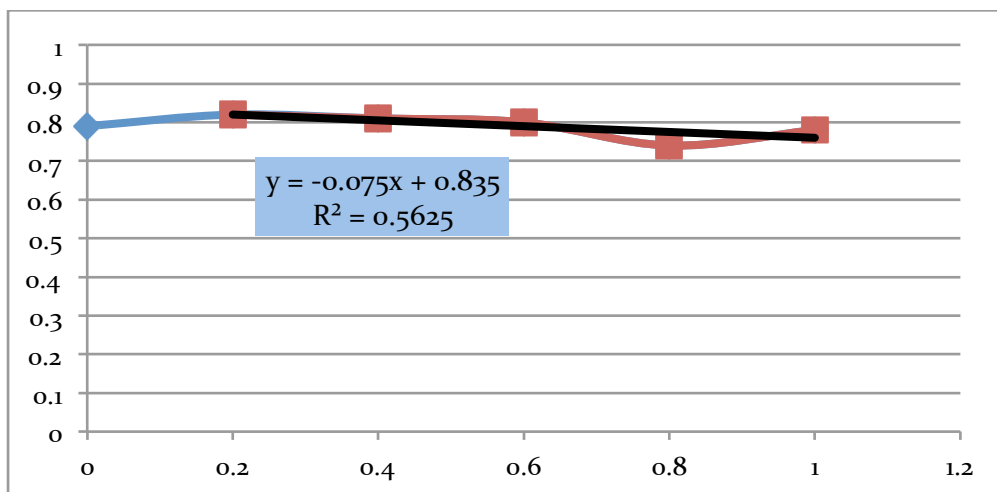
Επομένως, για το συντελεστή εκπομπής του πρώτου δείγματος ισχύει:

$$\varepsilon = \frac{0,855}{0,892} \times 0,79 \rightarrow \varepsilon_1 = 0,757$$

Δείγμα 2

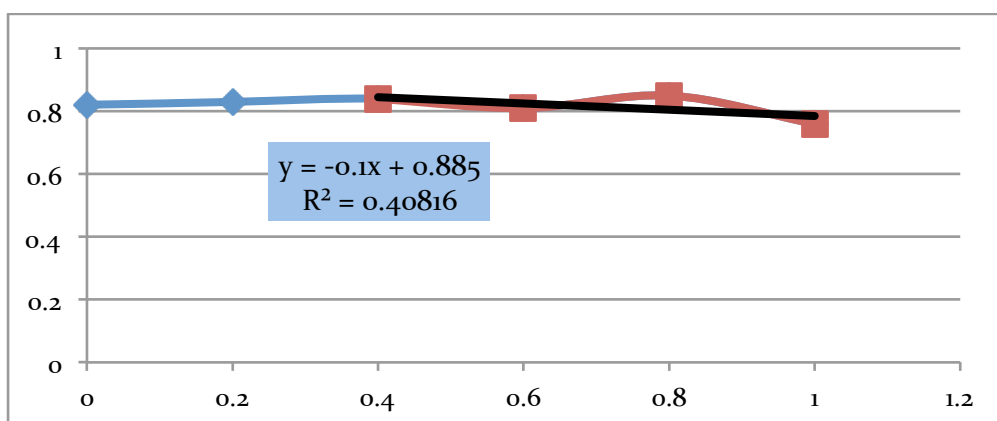


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δεύτερου δείγματος με χαρτοταινία

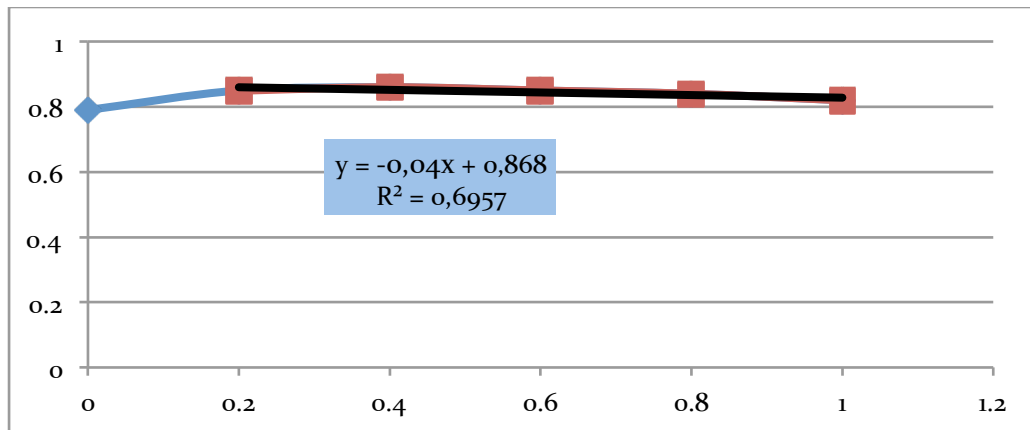


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δεύτερου δείγματος χωρίς χαρτοταινία

Δείγμα 3

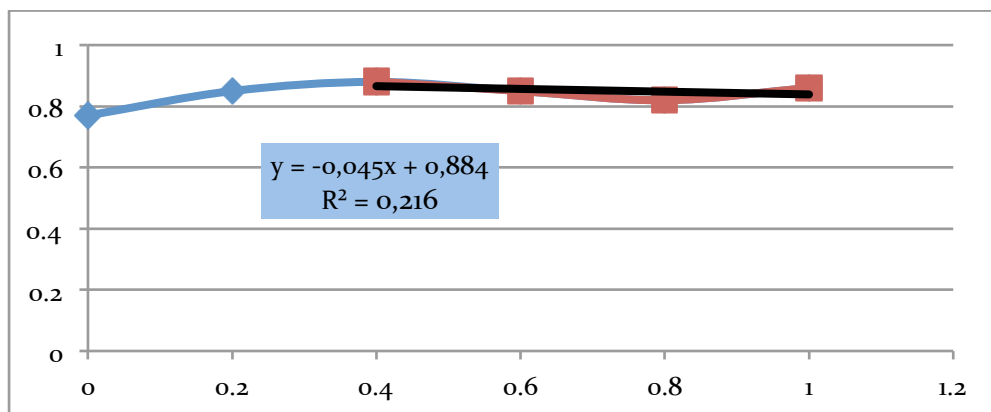


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 3 με χαρτοταινία

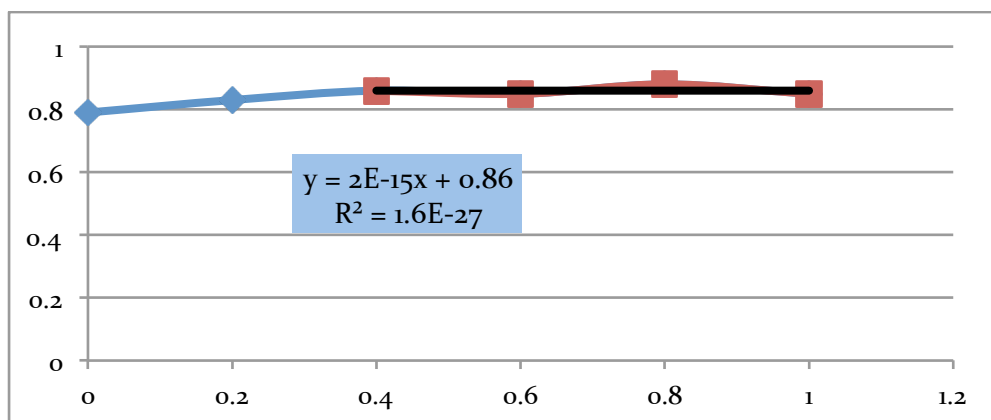


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 3 χωρίς χαρτοταινία

Δείγμα 4

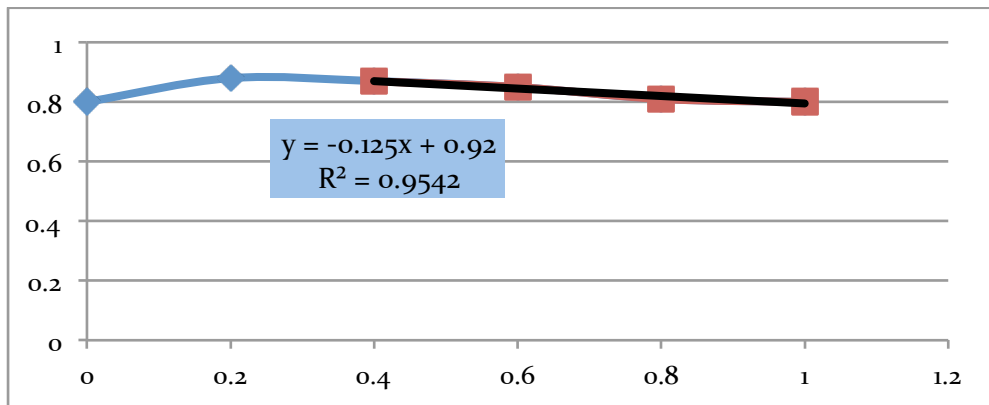


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 4 με χαρτοταινία

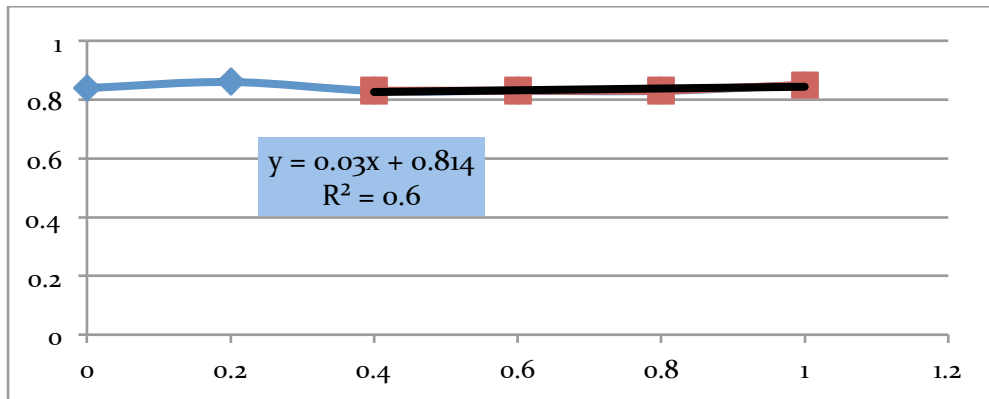


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 4 χωρίς χαρτοταινία

Δείγμα 5

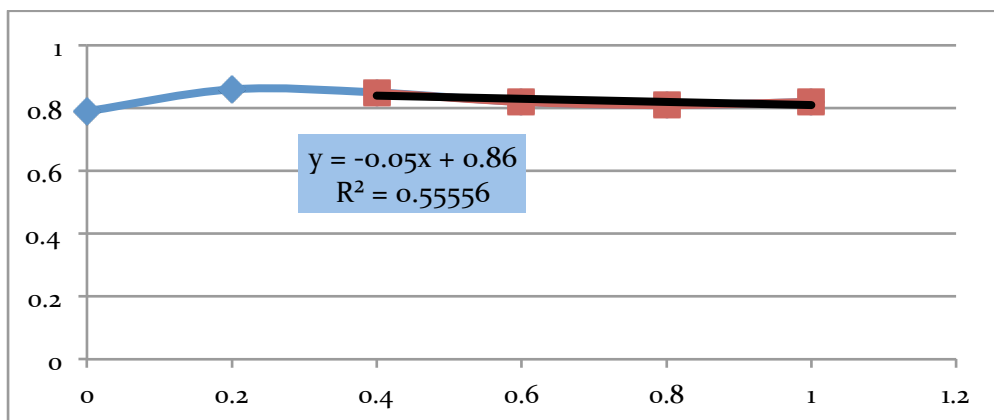


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 5 με χαρτοταινία

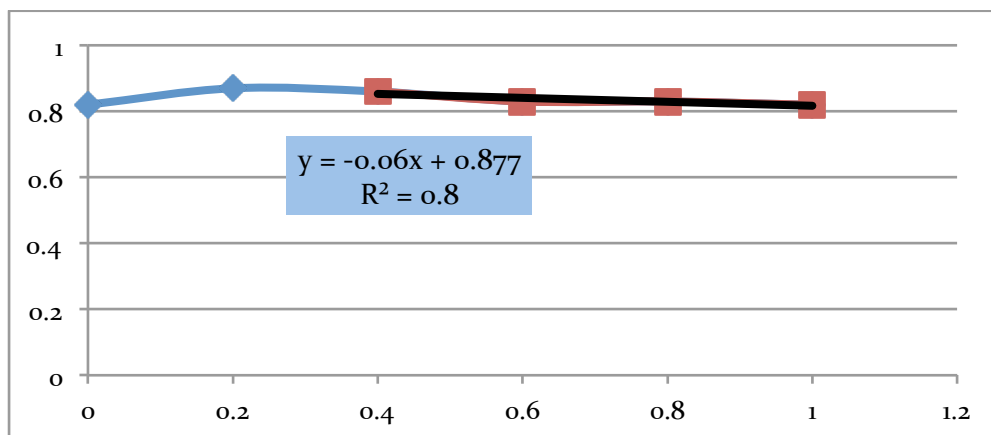


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 5 χωρίς χαρτοταινία

Δείγμα 6

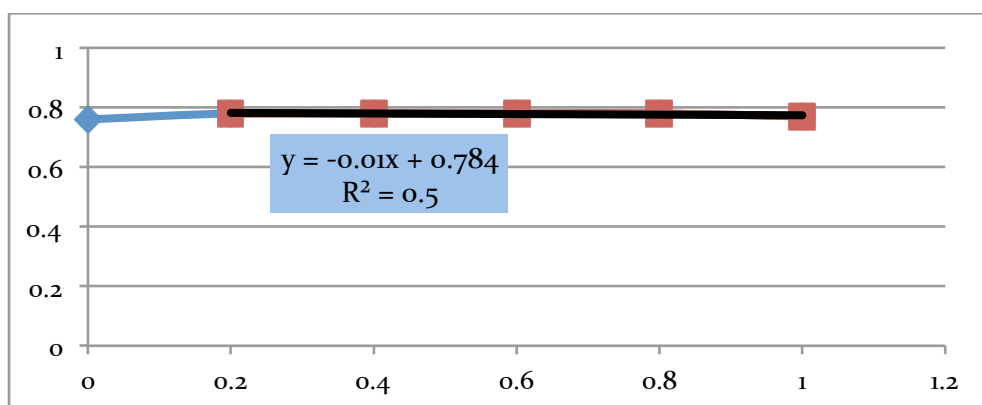


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 6 με χαρτοταινία

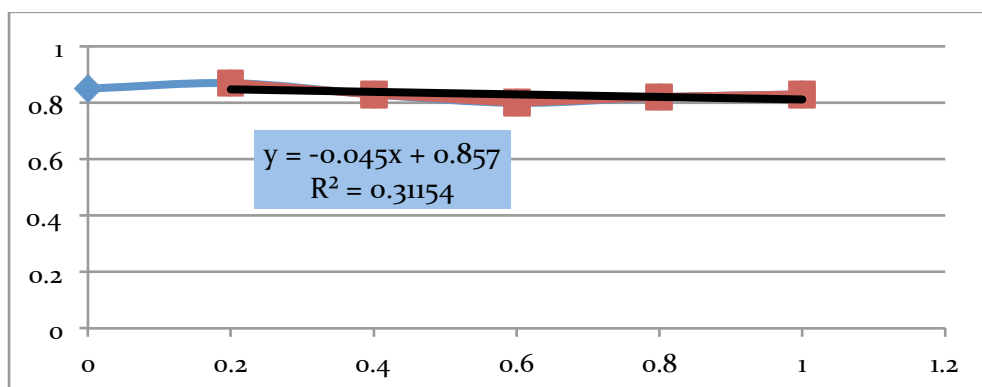


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 6 χωρίς χαρτοταινία

Δείγμα 7

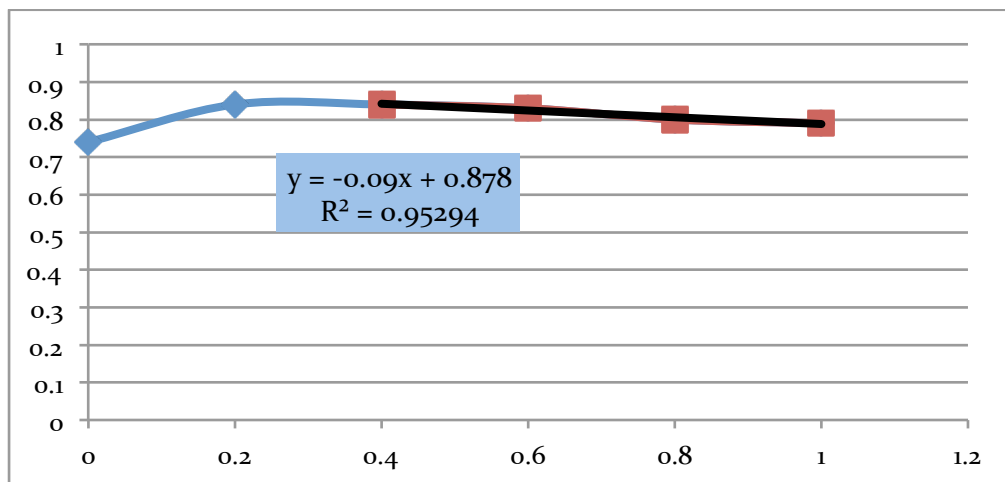


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 7 με χαρτοταινία

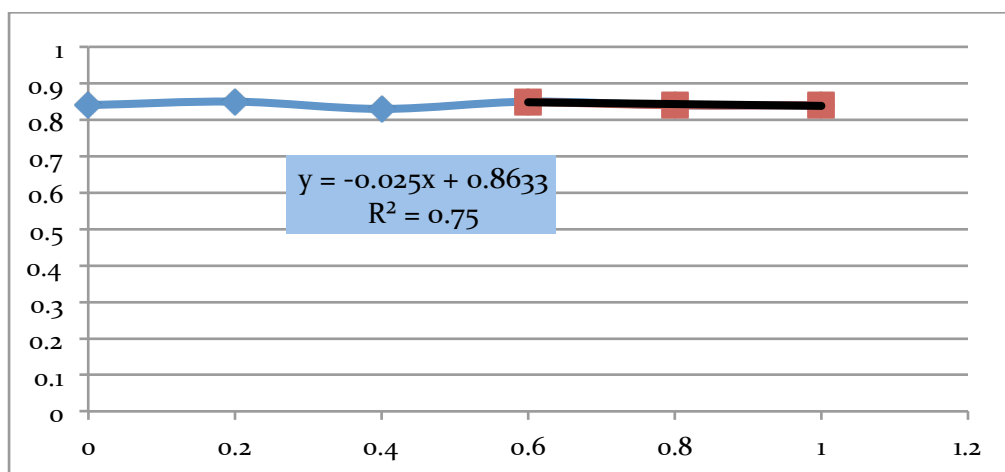


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 7 χωρίς χαρτοταινία

Δείγμα 8

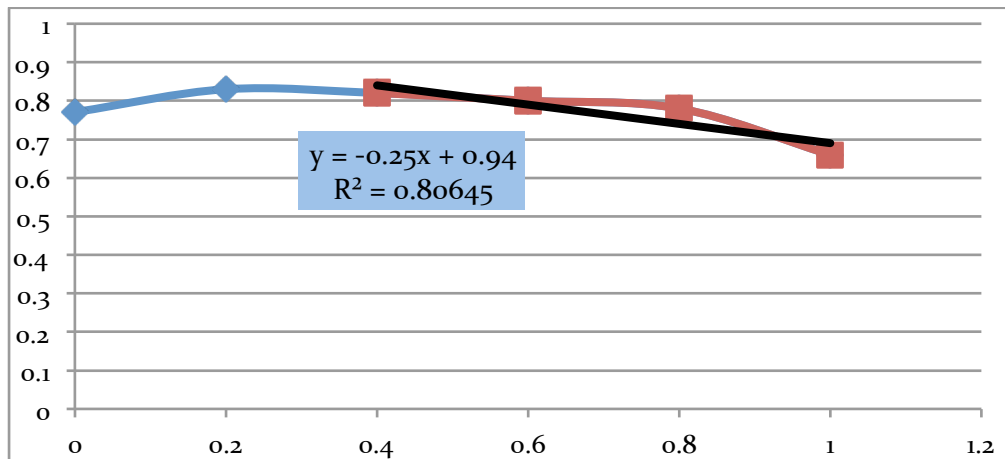


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 8 με χαρτοταινία

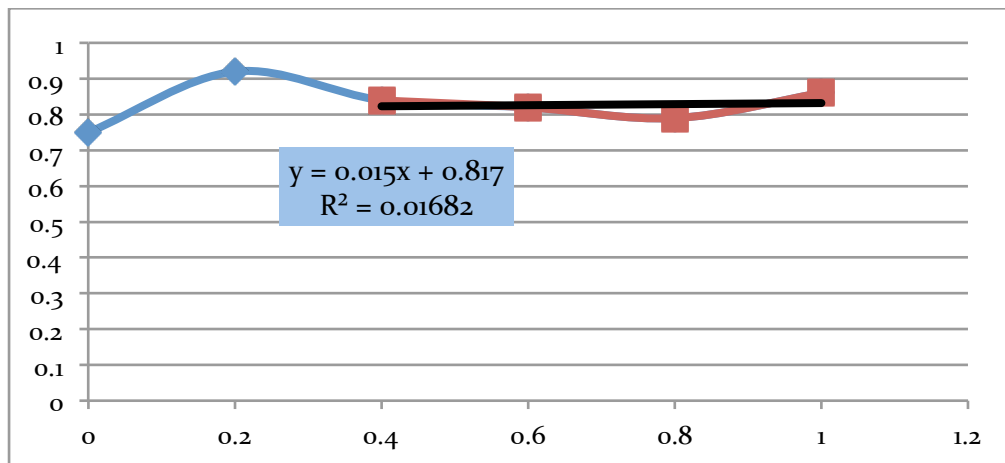


Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 8 χωρίς χαρτοταινία

Δείγμα 9



Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 9 με χαρτοταινία



Οι τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του δείγματος 9 χωρίς χαρτοταινία

Ομοίως υπολογίζονται και οι συντελεστές εκπομπής όλων των δειγμάτων οι τιμές των οποίων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7. Συντελεστές εκπομπής δειγμάτων

Δείγμα	R ₀ με χαρτοταινία	R ₀ χωρίς χαρτοταινία	Emissivity (ε)
1	0,892	0,855	0,757
2	0,882	0,835	0,748
3	0,885	0,868	0,774
4	0,884	0,86	0,768
5	0,92	0,82	0,704
6	0,86	0,865	0,794
7	0,784	0,857	0,863
8	0,878	0,853	0,767
9	0,94	0,82	0,689

3.3. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Κατά τη πειραματική διαδικασία παρατηρήθηκαν ορισμένες αστοχίες, κυρίως κατά το στάδιο της παρασκευής των δειγμάτων. Οι αστοχίες αυτές ήταν μικρού μεγέθους και δεν επηρέασαν τα τελικά αποτελέσματα. Ωστόσο, τα σφάλματα που πραγματοποιήθηκαν παρατίθενται σε αυτό το κεφάλαιο και είναι τα εξής:

- I. Οι αναλογίες στα συστατικά των δειγμάτων παρουσιάζουν κάποιες διαφοροποιήσεις, όσον αφορά την ποσότητα του ασβέστη, λόγω της ρευστότητάς του και της υψηλής περιεκτικότητάς του σε νερό.
- II. Κατά τη διαδικασία της λείανσης των δειγμάτων, λόγω της σκληρότητας της επιφάνειας, το πάχος της επίστρωσης κάποιων δειγμάτων κονιάματος παρεκκλίνει 1- 2 χιλιοστά από το αρχικά απαιτούμενο πάχος του 1,5 εκατοστού.
- III. Στα διαγράμματα των μετρήσεων της εκτίμησης του συντελεστή εκπομπής των δειγμάτων, παρατηρούνται κάποιες μικρές διαφορές στις καμπύλες, οι οποίες προκύπτουν από δυσλειτουργίες κατά την διαδικασία των μετρήσεων (slide method). Παραδείγματος χάριν, η διαφορά θερμοκρασίας της συσκευής με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου φαινόμενο επηρεάζει την ακρίβεια του οργάνου. Ακόμα, μικρές ασυνέχειες στην επιφάνεια κάποιων δειγμάτων εμποδίζουν την προσκόλληση του αισθητήρα με την επιφάνεια αυτή.

4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ



4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν, χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα προσομοίωσης ENERGY PLUS μαζί με άλλα δεδομένα που αφορούν τόσο το υπό μελέτη κτήριο όσο και την περιοχή στην οποία αυτό τοποθετείται κάθε φορά, για να υπολογιστούν οι ενεργειακές του απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση.

4.1. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Το Energy Plus είναι ένα πρόγραμμα που προσομοιώνει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας ενός κτηρίου, αλλά και τις επιμέρους απαιτήσεις σε ψυκτικά ή θερμικά φορτία. Πολλοί μηχανικοί, αρχιτέκτονες και ερευνητές το χρησιμοποιούν για να μοντελοποιήσουν τη χρήση ενέργειας στα κτήρια. Η μοντελοποίηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτηρίου βελτιστοποιεί το σχεδιασμό του και κατά συνέπεια, συμβάλλει στον προγραμματισμό εξοικονόμησης ενέργειας κατά τη διάρκεια ζωής και λειτουργίας του. Η προσομοίωση που πραγματοποιείται στα πλαίσια αυτά συμπεριλαμβάνει ποικίλες παραμέτρους, που επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτηρίου. Οι κλιματολογικές συνθήκες, η τοποθεσία του κτηρίου, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή, οι ώρες λειτουργίας του κτηρίου, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών, οι συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου αποτελούν ορισμένες από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που εισάγονται για τους υπολογισμούς και επηρεάζουν σημαντικά τη ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου.

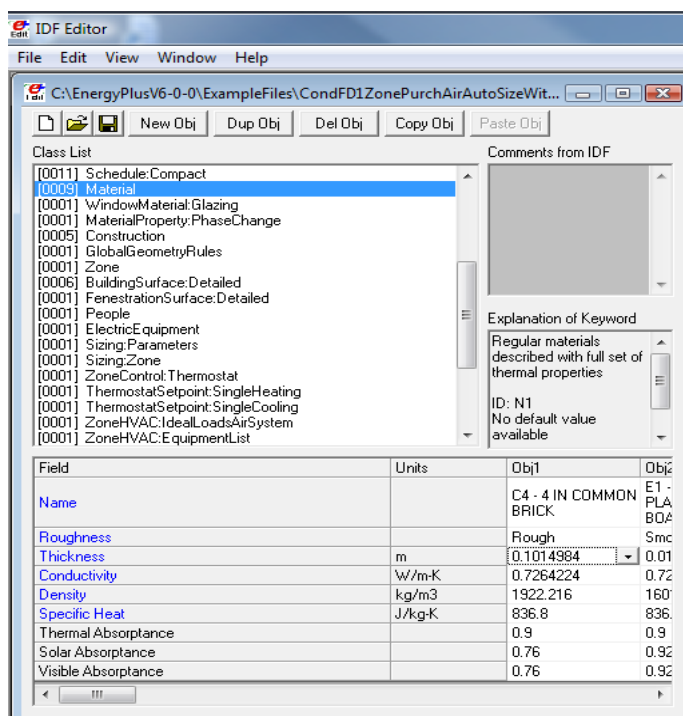
Πιο αναλυτικά, τα χαρακτηριστικά του Energy Plus για διάφορες καταστάσεις προσομοίωσης είναι:

> Η ολοκληρωμένη προσομοίωση. Δηλαδή τα τρία κύρια μέρη της προσομοίωσης, το κτίριο, το σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού και οι μηχανολογικές του εγκαταστάσεις, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους αποδίδοντας έτσι ένα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα. Η προσομοίωση μπορεί να επαναληφθεί, εάν κριθεί απαραίτητο, από το πρόγραμμα.

- > Τα αρχεία κλιματολογικών, εισαγωγής και εξαγωγής δεδομένων, τα οποία περιέχουν περιβαλλοντικούς παράγοντες σε ωριαία και μικρότερης διάρκειας χρονική κλίμακα.
- > Ο υπολογισμός των θερμικών φορτίων από ακτινοβολία ή και μεταφορά θερμότητας, που επικρατούν στις διάφορες θερμικές ζώνες του κτιρίου μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου, χρησιμοποιώντας μια τεχνική επίλυσης βασισμένη στην θερμική ισορροπία.
- > Οι συναρτήσεις θερμικής αγωγιμότητας για τον υπολογισμό αυτής στα διάφορα μέρη του κτιρίου (δηλαδή σε τοίχους, τζάμια, ορόφους, πατώματα κ.α.).
- > Το μοντέλο διάδοσης θερμότητας μέσω εδάφους, βασισμένο σε απλές αναλυτικές τεχνικές και τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους.
- > Το συνδυασμένο μοντέλο διάδοσης θερμότητας και μάζας για τον υπολογισμό της απορρόφησης-αποβολής υγρασίας από κάθε στρώμα επιφάνειας του κτιρίου, μέσω των συναρτήσεων θερμικής αγωγιμότητας ή του μοντέλου EMPD (Effective Moisture Penetration Depth Model). Το μοντέλο EMPD αποτελεί μία συσσωρευμένη προσέγγιση (lumped approach) για την προσομοίωση της απορρόφησης-αποβολής υγρασίας από κάθε επιφάνεια σώματος (έπιπλα, τοιχοποιίες κ.λπ.). Το μοντέλο αυτό υποθέτει ότι κάθε σώμα περιβάλλεται από ένα λεπτό στρώμα, το οποίο αντιπροσωπεύει τη συνολική υγρασία που περιέχει το σώμα, συμπεριφέρεται δυναμικά και ανταλλάσσει υγρασία με τον αέρα.
- > Μοντέλα θερμικής άνεσης βασισμένα στη θερμοκρασία, την υγρασία, την ανθρώπινη δραστηριότητα μέσα στο κτίριο κ.λπ.
- > Το μοντέλο ανισοτροπικής εκπομπής για τον υπολογισμό της διάχυσης της ηλιακής ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στις επιφάνειες του κτιρίου.
- > Οι υπολογισμοί που αφορούν τα ανοίγματα που υπάρχουν στις επιφάνειες του κτιρίου (όπως παράθυρα και φεγγίτες), για το μέγεθος, τον τύπο υαλοπίνακα που αυτές διαθέτουν και για τυχόν επιφάνειες σκίασης (είτε τεχνητές, είτε φυσικές) με τις οποίες τα ανοίγματα συνοδεύονται.
- > Οι έλεγχοι του ηλεκτρικού φωτισμού στο κτίριο, βασισμένοι στον υπολογισμό της ημερήσιας ηλιακής φωτεινότητας και τους παράγοντες που την επηρεάζουν (π.χ. καιρικές συνθήκες, σκιάσεις από γειτονικά κτίρια, γωνία ύψους του ήλιου κ.λπ.). Επίσης, το πως επιδρά η μείωση του ηλεκτρικού φωτισμού στα ψυκτικά και θερμικά φορτία του κτιρίου.

- > Ο σχηματισμός διάταξης των συστημάτων θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού (συμβατικά και ακτινωτά), τα οποία δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να μοντελοποίηση τυπικές διατάξεις τέτοιων συστημάτων ή να μοντελοποιήσει ελαφρώς διαφορετικές διατάξεις χωρίς να χρειαστεί να ανασυνθέτει τον κώδικα του προγράμματος.
- > Οι υπολογισμοί που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση οι οποίοι προβλέπουν τις εκπομπές αέριων ρύπων (δηλαδή CO_K, SO_x, NO_x, HC_s, σωματιδιακής ύλης κ.λπ.) λόγω της μετατροπής της ενέργειας από μία μορφή σε μία άλλη για να μπορέσει να καταναλωθεί από το κτίριο ή το σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που το κτίριο διαθέτει.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν παραμέτρους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία προσομοίωση. Η μοντελοποίηση του προγράμματος Energy Plus αποτελεί μία διαδικασία ροής δεδομένων, από το χρήστη – διαχειριστή της προσομοίωσης, τα οποία υφίστανται επεξεργασία, βάσει του κώδικα του προγράμματος και ακολουθώντας τα ισοζύγια ενέργειας καταλήγουν σε κάποια αποτελέσματα (βλ σχήμα 1). Τα δεδομένα της προσομοίωσης επεξεργάζονται σε μία πλατφόρμα δεδομένων του προγράμματος, το IDF Editor, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 11).



Εικόνα 11. Energy Plus Editor

Στην παρούσα διπλωματική, το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το ποσό της ενέργειας που χρειάζεται ένα μοντέλο κτήριο για να ψύχεται και να θερμαίνεται αντίστοιχα κατά τη διάρκεια ενός έτους. Λαμβάνονται υπόψη μετεωρολογικά δεδομένα για τρεις περιοχές της Ελλάδας (Αθήνα, Θεσσαλονίκη και Χανιά), όπως επίσης και στοιχεία για την τοιχοποιία και για τη σύνθεση των δοκιμίων που παρασκευάστηκαν.

4.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η απόδοση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του ENERGY PLUS γίνεται μέσω δύο σημαντικών όρων, όπως προκύπτουν από τη λειτουργία του προγράμματος, το site energy και το source energy. Το site energy, ο όρος με τον οποίον είναι εξοικειωμένοι οι περισσότεροι διαχειριστές κτηρίων, αντιστοιχεί στο ποσό της ενέργειας που καταναλώνει ένα κτήριο - στην εύρυθμη λειτουργία του - για τις ανάγκες ψύξης και θέρμανσης, και είναι αυτό που καταγράφεται στους αντίστοιχους μετρητές (η ποσότητα που αντικατοπτρίζεται στους λογαριασμούς ηλεκτρισμού).

Το source energy από την άλλη, αναφέρεται στο ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται σε μια εγκατάσταση συν την ενέργεια που απαιτείται για την εξαγωγή, τη μετατροπή και τη μετάδοση της ενέργειας αυτής στο κτήριο (M. Deru et al, 2007).

Η διαδικασία επεξεργασίας του προγράμματος ξεκινάει με την προσθήκη των τεχνικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων στον τομέα των υλικών ('materials'). Τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν: τραχύτητα, πάχος, ειδική θερμοχωρητικότητα, πυκνότητα, θερμική αγωγιμότητα και τρεις μορφές απορροφητικότητας (Thermal, Solar και Visible Absorptance), οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τις μετρήσεις ανακλαστικότητας και συντελεστή εκπομπής που αποτέλεσαν μέρος της πειραματικής διαδικασίας. Το Thermal Absorptance αναφέρεται στη θερμική απορροφητικότητα και αντιστοιχεί στο συντελεστή εκπομπής του κάθε δείγματος, ενώ το Solar Absorptance αντιστοιχεί στην τιμή $(1 - \text{ανακλαστικότητα})$. Τα χαρακτηριστικά, που δεν μετρήθηκαν στην πειραματική διαδικασία είναι σύμφωνα με τα αντίστοιχα της τεχνικής οδηγίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος στο τεύχος για τις Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών (TOTEE 20701-2/2010).

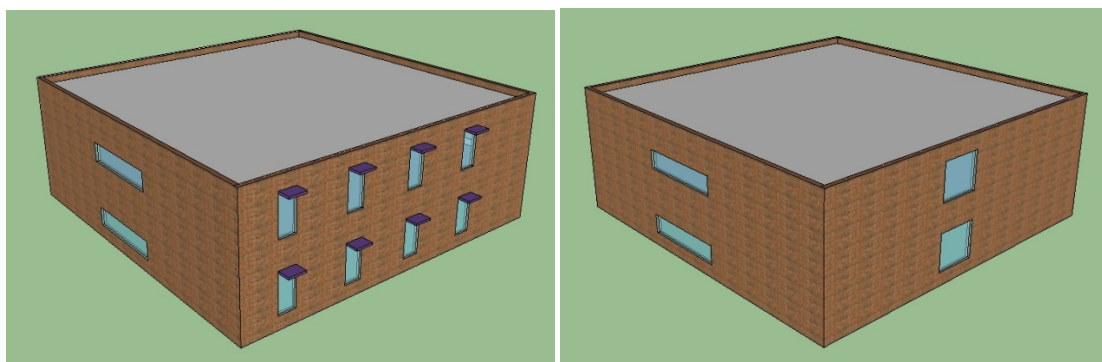
Οι απαιτούμενες παράμετροι για κάθε δείγμα φαίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 8. Απαιτούμενες παράμετροι των δειγμάτων για προσομοίωση

ΔΕΙΓΜΑ	roughness	thickness (m)	conductivity (J/kg*K)	density (kg/m3)	specific heat (W/m*K)	thermal absorptance	solar absorptance	visible absorptance
1	medium rough	0.015	0.935	1850	1050	0.757	0.34	0.34
2	medium rough	0.015	0.935	1850	1050	0.748	0.27	0.27
3	medium rough	0.015	0.935	1850	1050	0.774	0.18	0.18
4	medium rough	0.015	0.935	1850	1050	0.768	0.27	0.27
5	medium rough	0.015	0.935	1850	1050	0.704	0.29	0.29
6	medium rough	0.015	0.935	1850	1050	0.794	0.33	0.33
7	medium rough	0.015	0.935	1850	1050	0.863	0.24	0.24
8	medium rough	0.015	0.935	1850	1050	0.767	0.29	0.29
9	medium rough	0.015	0.935	1850	1050	0.689	0.25	0.25
Default*	medium rough	0.1016	0.89	1920	790	-	-	-

* Το πρωταρχικό δείγμα (default) αποτελείται από τούβλα πάχους 100 mm στην εξωτερική επιφάνεια της τοιχοποιίας, χωρίς επίστρωση κονιάματος.

Επίσης, τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων εφαρμόζονται στο κέλυφος του πρότυπου κτηρίου, πάνω στο οποίο γίνεται η προσομοίωση και πιο συγκεκριμένα στους εξωτερικούς τοίχους και στο δώμα.

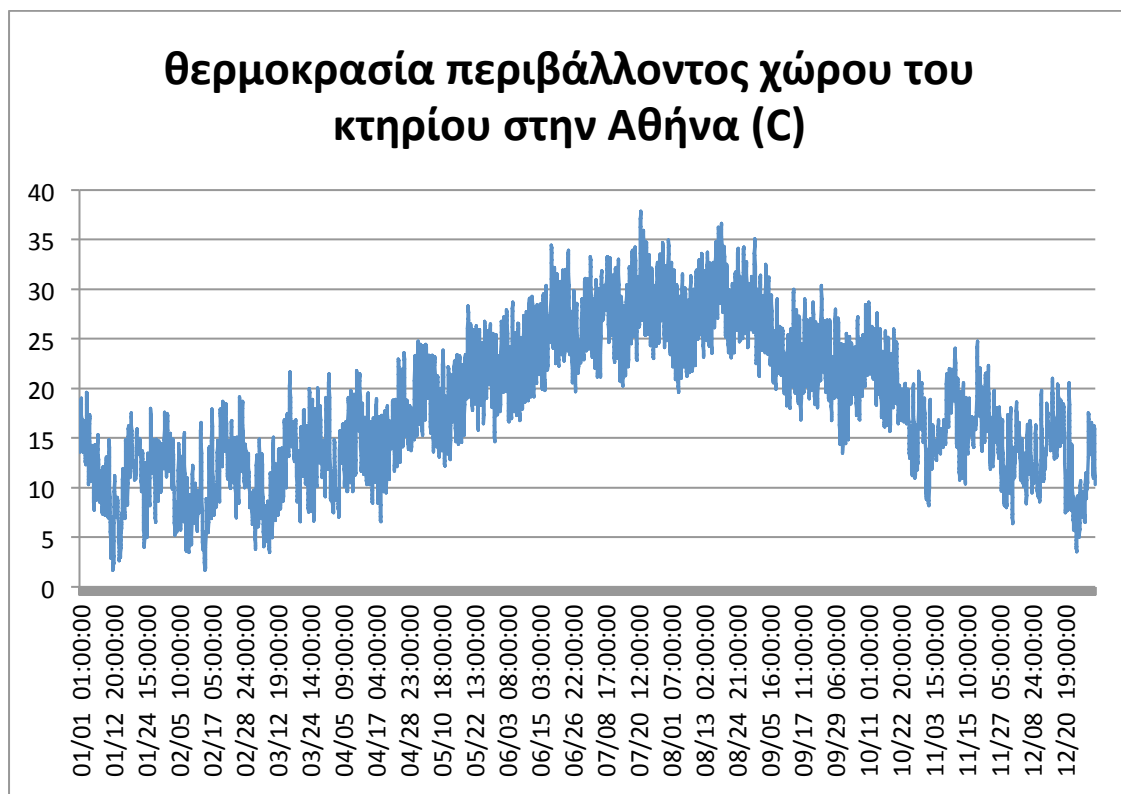


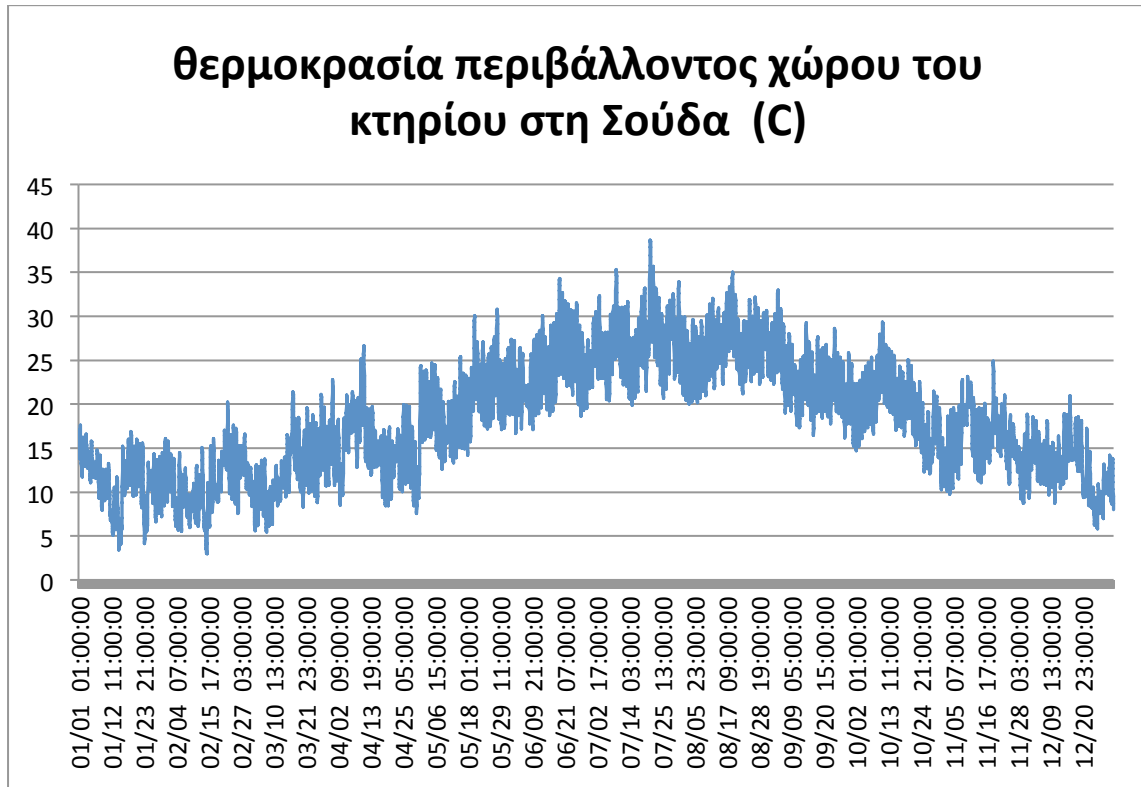
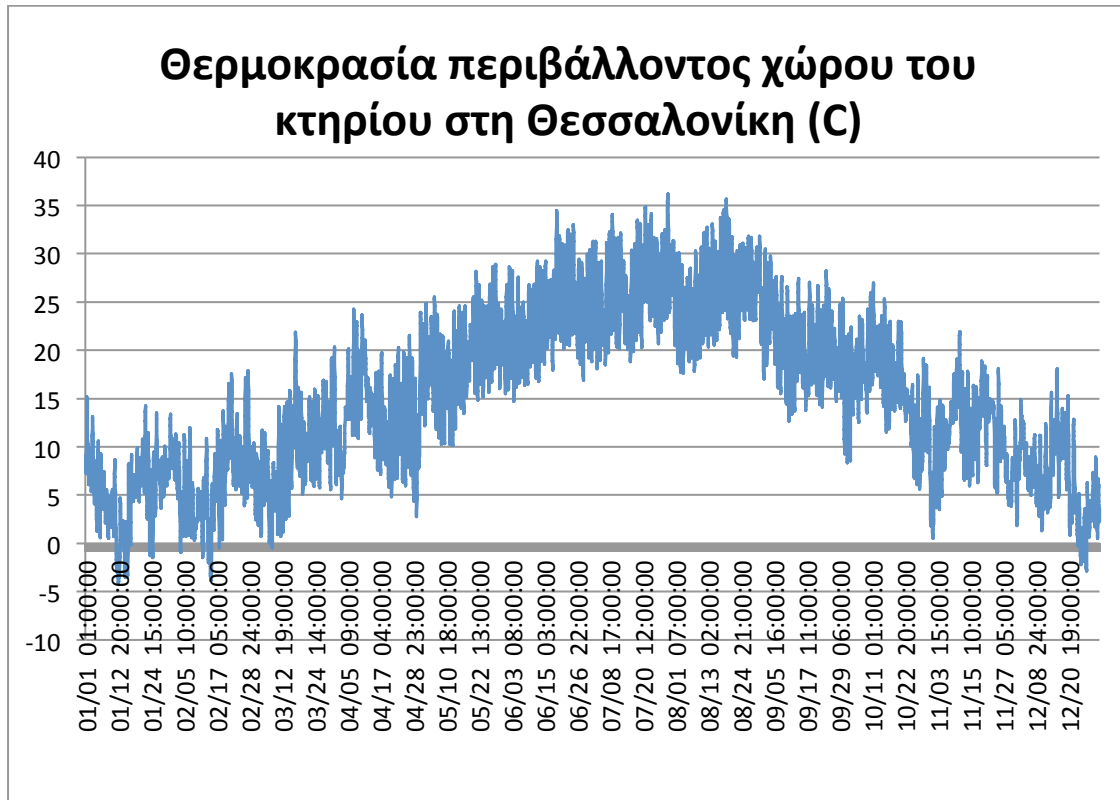
Εικόνα 5. Άποψη Πρωταρχικού Μοντέλου (Default) Κτηρίου Προσομοίωσης

Δεδομένου ότι τα δείγματα αποτελούνται από κονιάματα (υπόστρωμα) χωρίς την τελική επίστρωση (βαφή), πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη το γεγονός ότι η μελέτη επικεντρώνεται στη σύνθεση των επιχρισμάτων τοιχοποιίας και το ρόλο της στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου. Η προσθήκη κάποιου χρώματος εξωτερικά, θα επέφερε διαφοροποίηση των ποσοτικών αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, ανάλογα με τη σκουρότητα και την υφή του χρώματος.

4.3. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Εκτός από τις πρακτικές παραμέτρους ή τα χαρακτηριστικά κατασκευής του κτηρίου που λαμβάνονται υπόψη για την προσομοίωση του προγράμματος, εξίσου σημαντικά είναι και τα μετεωρολογικά δεδομένα, που επηρεάζουν σε υπολογίσιμο βαθμό τη θερμοκρασία στον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου. Για το λόγο αυτό έχουν ληφθεί υπόψη κλιματικά δεδομένα από τρεις περιοχές της Ελλάδας (Σούδα- Χανιά, Αθήνα και Θεσσαλονίκη), με σκοπό να εξεταστεί η προσομοιωμένη εφαρμογή κάθε δείγματος σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας που όμως καλύπτουν όλο το μήκος του Ελληνικού χώρου. Επίσης, οι θερμοκρασίες της Αθήνας και τις Θεσσαλονίκης αναφέρονται στα αστικά κέντρα με επιβεβαρυμμένες ατμοσφαιρικές συνθήκες λόγω του υπερβολικού νέφους και της μεγάλης πυκνότητας των κατοίκων. Αναλυτικά, οι συνθήκες θερμοκρασίας για τις τρεις περιοχές φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:

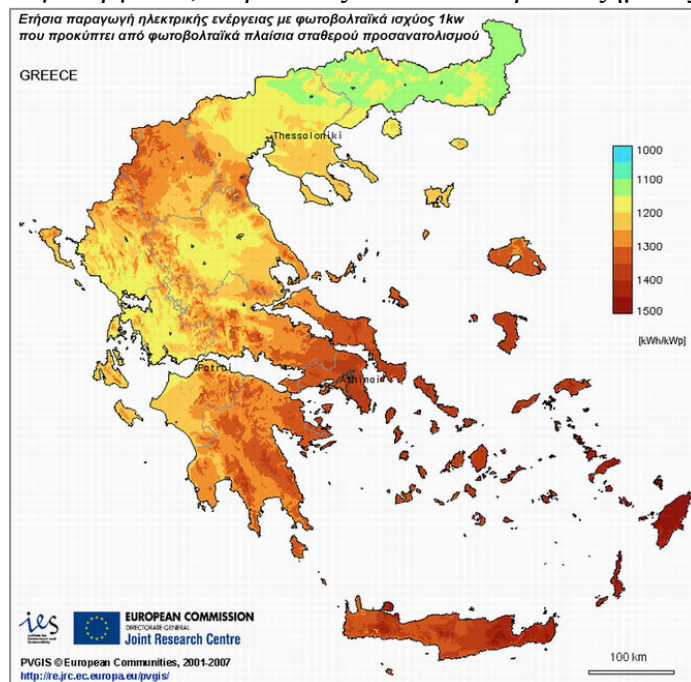




Η Αθήνα εμφανίζει τη μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, σε σχέση με τις άλλες δύο περιοχές. Επίσης, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη

μέγιστη θερμοκρασία κατά την περίοδο του καλοκαιριού και συγκριτικά με τη Θεσσαλονίκη, ο χειμώνας είναι ηπιότερος. Στη Θεσσαλονίκη, το χειμώνα το θερμόμετρο πέφτει πολλές φορές κάτω από το μηδέν και η διαφορά μεταξύ μέγιστης (36°C) και ελάχιστης (-5°C) θερμοκρασίας είναι σχετικά μεγάλη, γεγονός που χαρακτηρίζει τις μεσογειακές περιοχές. Στη Σούδα Χανίων, η διαφορά των δύο αυτών θερμοκρασιών είναι μικρότερη από αυτές των άλλων δύο περιοχές, με τη χαμηλότερη θερμοκρασία να ξεκινά από τους 6°C και τη μέγιστη να πλησιάζει τα δεδομένα της Αθήνας στους $37-38^{\circ}\text{C}$.

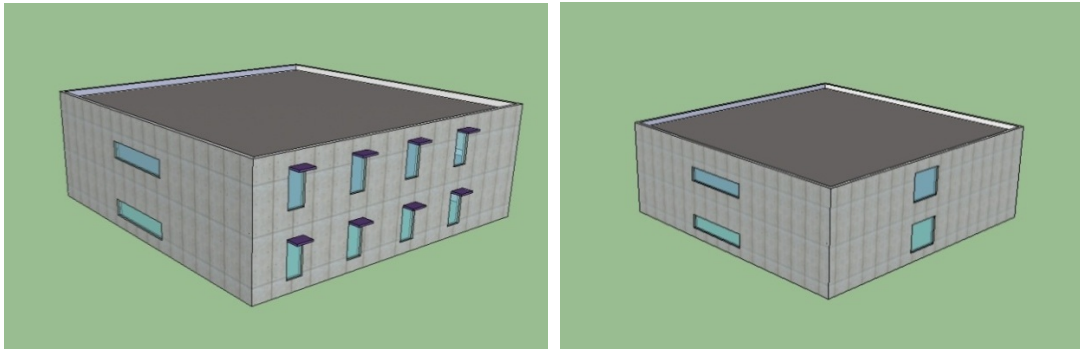
Αξίζει να σημειωθούν δύο ακόμα σημαντικά σημεία. Η Αθήνα, ως η πλέον πυκνοκατοικημένη πόλη της Ελλάδας, εμφανίζει επιβεβαρυμμένο μικροκλίμα. Τα καλοκαίρια, οι απαιτήσεις για παθητική ψύξη των κτηρίων, που είναι και μέρος του αντικειμένου μελέτης στην εν λόγω εργασία, παρουσιάζονται ιδιαίτερα αυξημένες. Τέλος, τα Χανιά, που ανήκουν στη νοτιότερη ζώνη της χώρας, δέχονται μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας απ' ότι η Αθήνα και πολύ περισσότερο η Θεσσαλονίκη. Τα υλικά που μελετώνται, πέρα από τα γενικά συμπεράσματα που θα προκύψουν, θα πρέπει να εξετάζονται μεμονωμένα για κάθε περιοχή εφαρμογής.



Χάρτης 1. Ηλιακή ακτινοβολία στον Ελλαδικό χώρο

4.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους, τόσο τις κατασκευαστικές όσο και τις μετεωρολογικές, με τη βοήθεια της προσομοίωσης του ENERGY PLUS, προέκυψαν τα αποτελέσματα για τις ενεργειακές απαιτήσεις του πρότυπου κτηρίου χρησιμοποιώντας ένα δείγμα κάθε φορά.

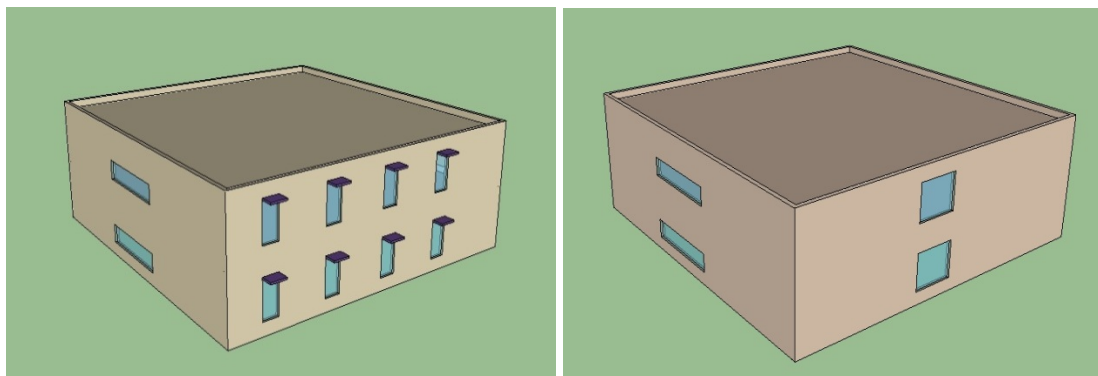


Εικόνα 6. Προσομοίωση του 1ου δείγματος στο κτήριο

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 1 ^ο δείγμα σε συνθήκες Αθήνας (kWh)	
Total Site Energy	16503,96
Total Source Energy	39110,18
District Cooling	8024,55
District Heating	8479,41

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 1 ^ο δείγμα σε συνθήκες Θεσσαλονίκης (kWh)	
Total Site Energy	23178,54
Total Source Energy	67740,75
District Cooling	6260,02
District Heating	16918,52

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 1 ^ο δείγμα σε συνθήκες Σούδας (kWh)	
Total Site Energy	14656,94
Total Source Energy	30746,69
District Cooling	8685,15
District Heating	5971,79

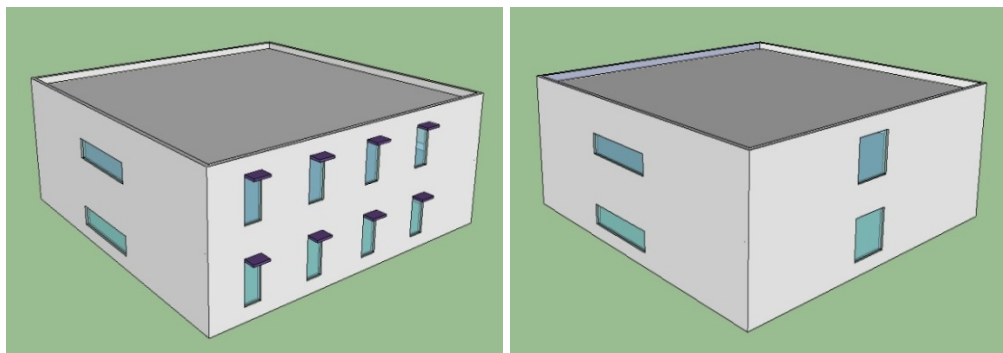


Εικόνα 7. Προσομοίωση του 2ου δείγματος στο κτήριο

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 2^ο δείγμα σε συνθήκες Αθήνας (kWh)	
Total Site Energy	15943,73
Total Source Energy	40942,29
District Cooling	6516,77
District Heating	9426,96

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 2^ο δείγμα σε συνθήκες Θεσσαλονίκης (kWh)	
Total Site Energy	22994,51
Total Source Energy	70909,20
District Cooling	4761,23
District Heating	18233,28

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 2^ο δείγμα σε συνθήκες Σούδας (kWh)	
Total Site Energy	13649,42
Total Source Energy	31943,80
District Cooling	6793,73
District Heating	6855,69

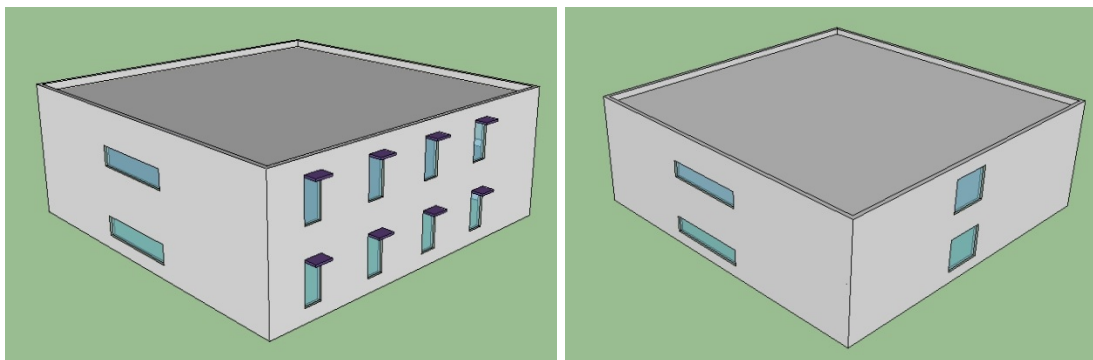


Εικόνα 8. Προσομοίωση του 3ου δείγματος στο κτήριο

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 3^ο δείγμα σε συνθήκες Αθήνας (kWh)	
Total Site Energy	15573,15
Total Source Energy	44744,83
District Cooling	4506,51
District Heating	11066,64

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 3^ο δείγμα σε συνθήκες Θεσσαλονίκης (kWh)	
Total Site Energy	23270,27
Total Source Energy	76995,96
District Cooling	2771,00
District Heating	20499,27

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 3^ο δείγμα σε συνθήκες Σούδας (kWh)	
Total Site Energy	12708,34
Total Source Energy	35103,48
District Cooling	4228,85
District Heating	8479,49

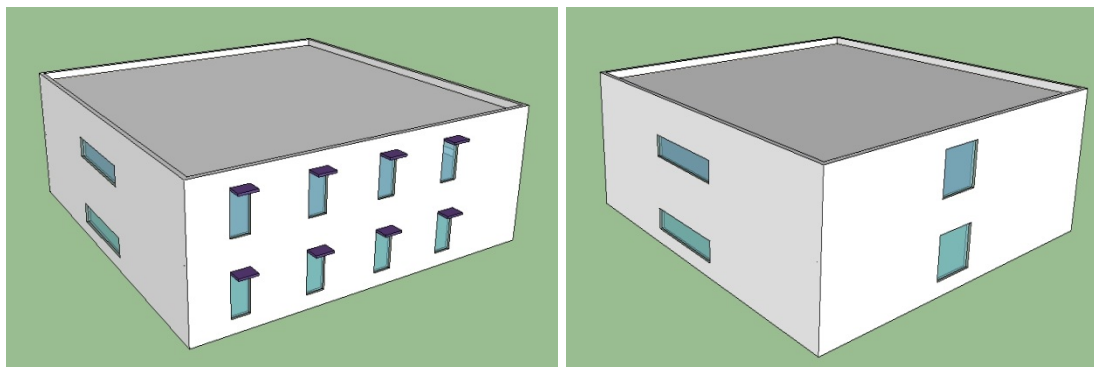


Εικόνα 9. Προσομοίωση 4ου δείγματος στο κτήριο

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 4^ο δείγμα σε συνθήκες Αθήνας (kWh)	
Total Site Energy	15935,61
Total Source Energy	41285,42
District Cooling	6371,15
District Heating	9564,47

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 4^ο δείγμα σε συνθήκες Θεσσαλονίκης (kWh)	
Total Site Energy	23044,19
Total Source Energy	71452,68
District Cooling	4618,92
District Heating	18425,27

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 4^ο δείγμα σε συνθήκες Σούδας (kWh)	
Total Site Energy	13592,40
Total Source Energy	32184,18
District Cooling	6619,20
District Heating	6973,20

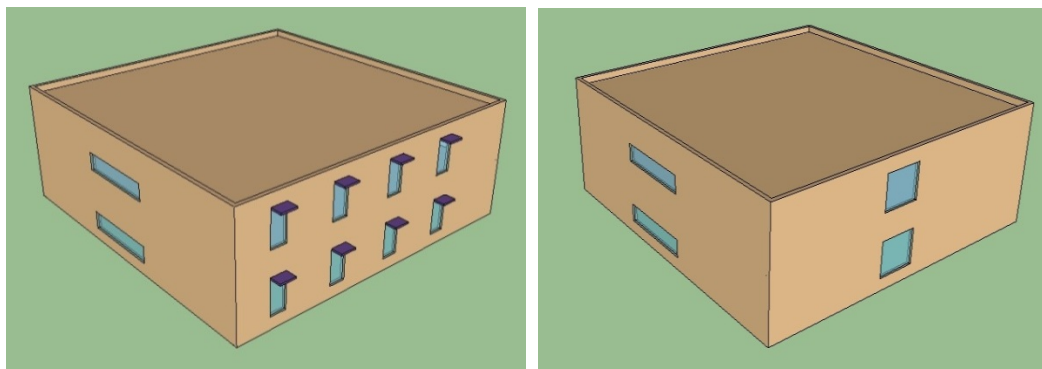


Εικόνα 10. Προσομοίωση 5ου δείγματος στο κτήριο

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 5^ο δείγμα σε συνθήκες Αθήνας (kWh)	
Total Site Energy	16135,10
Total Source Energy	39582,18
District Cooling	7318,89
District Heating	8816,00

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 5^ο δείγμα σε συνθήκες Θεσσαλονίκης (kWh)	
Total Site Energy	22931,37
Total Source Energy	68653,20
District Cooling	5554,07
District Heating	17377,29

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 5^ο δείγμα σε συνθήκες Σούδας (kWh)	
Total Site Energy	14090,97
Total Source Energy	31018,13
District Cooling	7779,46
District Heating	6311,52

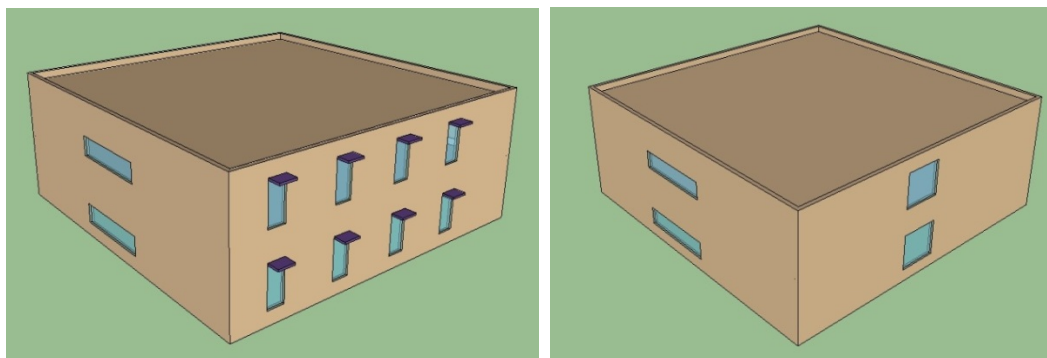


Εικόνα 11. Προσομοίωση βον δείγματος στο κτήριο

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 6^ο δείγμα σε συνθήκες Αθήνας (kWh)	
Total Site Energy	16351,36
Total Source Energy	399942,18
District Cooling	7483,68
District Heating	8867,69

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 6^ο δείγμα σε συνθήκες Θεσσαλονίκης (kWh)	
Total Site Energy	23191,47
Total Source Energy	69157,03
District Cooling	5724,55
District Heating	17466,92

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 6^ο δείγμα σε συνθήκες Σούδας (kWh)	
Total Site Energy	14334,15
Total Source Energy	31255,59
District Cooling	8030,16
District Heating	6303,99

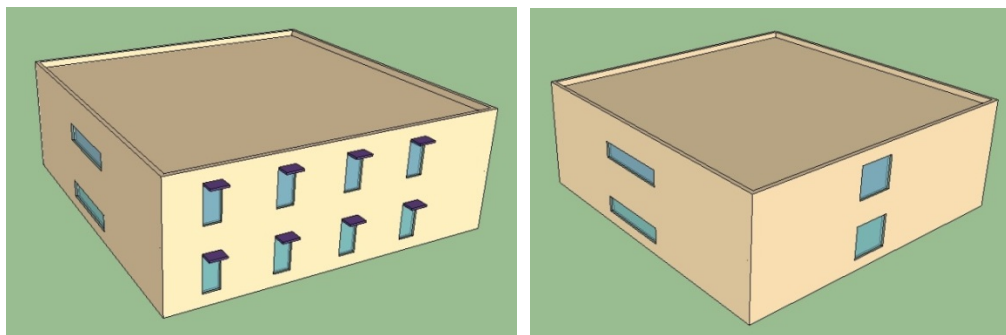


Εικόνα 12. Προσομοίωση του 7ου δείγματος στο κτήριο

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 7^ο δείγμα σε συνθήκες Αθήνας (kWh)	
Total Site Energy	15811,35
Total Source Energy	43931,65
District Cooling	5160,97
District Heating	10650,38

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 7^ο δείγμα σε συνθήκες Θεσσαλονίκης (kWh)	
Total Site Energy	23351,36
Total Source Energy	75577,42
District Cooling	3440,18
District Heating	19911,18

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 7^ο δείγμα σε συνθήκες Σούδας (kWh)	
Total Site Energy	13095,37
Total Source Energy	34127,37
District Cooling	5122,07
District Heating	7973,29

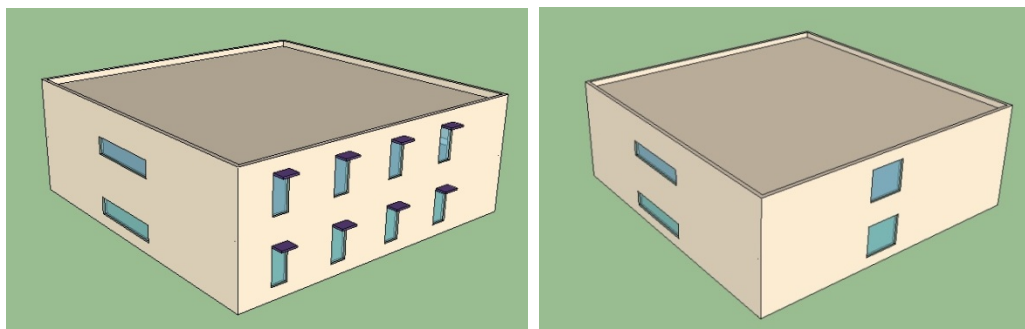


Εικόνα 13. Προσομοίωση του 8ου δείγματος στο κτήριο

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 8^ο δείγμα σε συνθήκες Αθήνας (kWh)	
Total Site Energy	16069,76
Total Source Energy	40640,96
District Cooling	6812,63
District Heating	9257,13

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 8^ο δείγμα σε συνθήκες Θεσσαλονίκης (kWh)	
Total Site Energy	23059,36
Total Source Energy	70383,90
District Cooling	5058,22
District Heating	18001,14

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 8^ο δείγμα σε συνθήκες Σούδας (kWh)	
Total Site Energy	13858,88
Total Source Energy	31721,45
District Cooling	7176,59
District Heating	6682,30



Εικόνα 14. Προσομοίωση 9ου δείγματος στο κτήριο

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 9^ο δείγμα σε συνθήκες Αθήνας (kWh)	
Total Site Energy	15835,87
Total Source Energy	40555,61
District Cooling	6515,58
District Heating	9320,30

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 9^ο δείγμα σε συνθήκες Θεσσαλονίκης (kWh)	
Total Site Energy	22827,66
Total Source Energy	70334,25
District Cooling	4750,31
District Heating	18077,35

Ενεργειακές Απαιτήσεις στο 9^ο δείγμα σε συνθήκες Σούδας (kWh)	
Total Site Energy	13557,82
Total Source Energy	31695,85
District Cooling	6761,27
District Heating	6796,55

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Όλα τα δείγματα περιέχουν συστατικά όπως ο ασβέστης, η μαρμαρόσκονη (ως αδρανές υλικό) και το νερό. Οι διαφορές στα αποτελέσματα των μετρήσεων των δειγμάτων πηγάζουν από το συνδυασμό των υπολοίπων συστατικών, αλλά και των αναλογιών που χρησιμοποιούνται σε κάθε δείγμα.

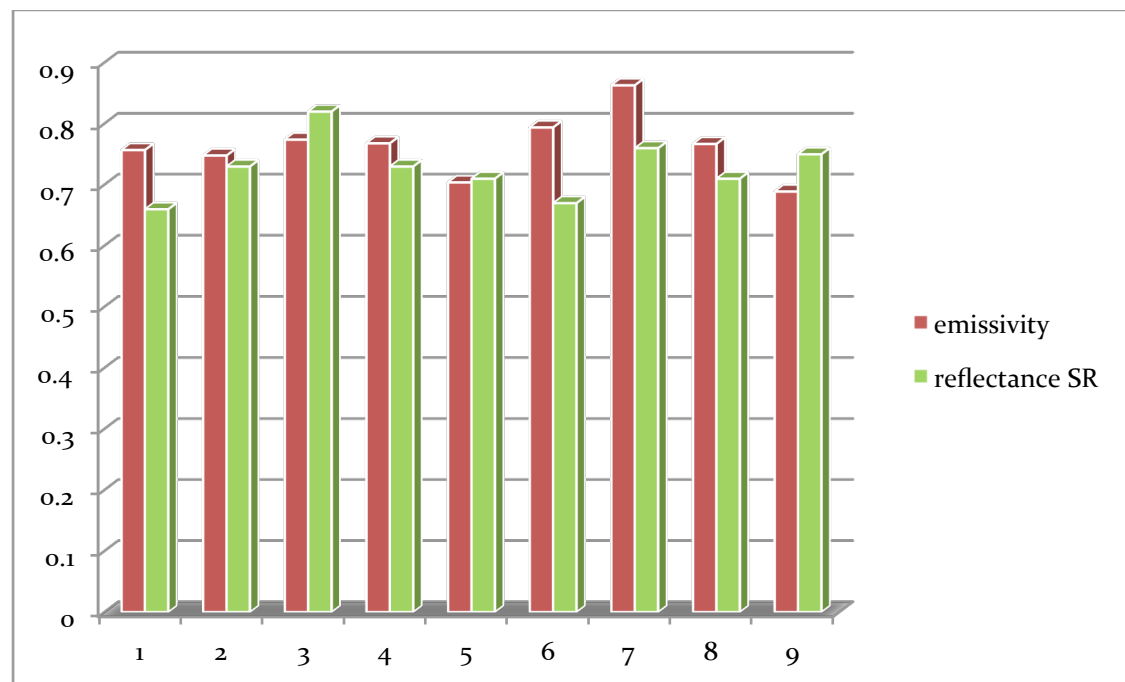
Ξεκινώντας από το **δείκτη εκπομπής** (emissivity), που περιγράφεται με τις κόκκινες μπάρες στο παρακάτω διάγραμμα 4, παρατηρούμε ότι τον υψηλότερο δείκτη (0,86) παρουσιάζει το 7^ο δείγμα, δηλαδή αυτό που περιέχει υδραυλική άσβεστο calce albazzana και μικρές ποσότητες κίτρινης ώχρας. Δεύτερο κατά σειρά μεγαλύτερο δείκτη εκπομπής (0,79) παρουσιάζει το 6^ο δείγμα το οποίο περιέχει και αυτό κίτρινη ώχρα αλλά και τσιμέντο αντί της υδραυλικής ασβέστου. Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι η υδραυλική άσβεστο calce albazzana εμποδίζει την απορρόφηση ακτινοβολίας του επιχρίσματος και την απελευθερώνει γρηγορότερα, με αποτέλεσμα να εισχωρεί λιγότερη θερμότητα στο εσωτερικό του κτηρίου.

Τις μικρότερες τιμές συντελεστή εκπομπής έχουν το 9^ο και το 5^ο δείγμα με πρόσμιξη τιτανίας. Το 9^ο περιέχει, επίσης, κίτρινη ώχρα και υδραυλική άσβεστο calce albazzana, ενώ στο 5^ο δείγμα η τιτανία συνδυάζεται με υδραυλική άσβεστο chaux blanche. Τα δείγματα, λοιπόν, που έχουν λιγότερο ανοιχτόχρωμο τελείωμα, όπως αυτά που περιέχουν ώχρα ή τσιμέντο ή συνδυασμό και των δύο, παρουσιάζουν υψηλότερο δείκτη εκπομπής από αυτά που περιέχουν ποσότητα τιτανίας ή υδραυλική άσβεστο chaux blanche (ανοιχτόχρωμα). Συνεπώς, η τιτανία, ως πρόσμιξη κατά τη σύνθεση κάποιου επιχρίσματος τοιχοποιίας, δε συμμετέχει στη μείωση της ακτινοβολίας που απορροφάται, εξετάζοντας μεμονωμένα το δείκτη εκπομπής του υλικού.

Εξετάζοντας την **ανακλαστικότητα** των δοκιμίων που περιγράφεται με τις πράσινες μπάρες (reflectance SR), τον υψηλότερο δείκτη παρουσιάζει το 3^ο δείγμα το οποίο περιέχει υδραυλική άσβεστο chaux blanche. Αντίθετα, οι μικρότερες τιμές ανήκουν σε δύο δείγματα που περιέχουν τσιμέντο. Το 1^ο δείγμα περιέχει μόνο τσιμέντο, από τα υλικά που επηρεάζουν τις ιδιότητες των δειγμάτων, και το 6^ο

τσιμέντο και κίτρινη ώχρα. Λαμβάνοντας το 1^ο δείγμα ως συμβατικό, αφού αποτελείται από τσιμέντο, μαρμαρόσκονη, ασβέστη και νερό, και εξαιρώντας το 6^ο δείγμα που έχει την ίδια σύσταση με το 1^ο συν κίτρινη ώχρα, παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές των υπολοίπων δειγμάτων είναι σημαντικά μεγαλύτερες (με διαφορά 0.04 έως 0,11). Συνεπώς, η υδραυλική ασβέστος chaux blanche εμφανίζεται να βελτιώνει σημαντικά την ανακλαστικότητα ενός επιχρίσματος.

Διάγραμμα 4 Παράθεση αποτελεσμάτων δείκτη εκπομπής και ανακλαστικότητας



5.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Από τη διαδικασία προσομοίωσης με τη βοήθεια του προγράμματος ENERGY PLUS, λαμβάνουμε πληροφορίες για την ετήσια κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου, όταν εφαρμοστούν τα επιχρίσματα τοιχοποιίας που μελετώνται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται τρεις φορές για κάθε δείγμα, για την περίπτωση της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και της Σούδας Χανίων. Το γεγονός αυτό συμβάλει σε μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα αποτελεσμάτων, αφού τα δοκίμια εξετάζονται σε περιοχές με διαφορετικά κλιματολογικά δεδομένα, γι' αυτό και τα συμπεράσματα αναλύονται ξεχωριστά για κάθε περίπτωση.

Τα δεδομένα που εισάγονται για τη διαδικασία της προσομοίωσης δεν αφορούν μόνο τα εννιά δείγματα που κατασκευάστηκαν, αλλά και ένα ακόμα πρότυπο δείγμα που προϋπήρχε στο πρόγραμμα, πριν ξεκινήσει η επεξεργασία των παραμέτρων. Στην προσομοίωση του πρότυπου αυτού δείγματος, η εξωτερική επιφάνεια της τοιχοποιίας αποτελείται από τούβλο πάχους 100 mm. Στις υπόλοιπες προσομοιώσεις, λαμβάνονται υπόψη κανονικά τα χαρακτηριστικά του κάθε δείγματος κάθε φορά, τόσο στο εξωτερικό της τοιχοποιίας όσο και στο δώμα.

Η πιο χαρακτηριστική ένδειξη για τις ενεργειακές απαιτήσεις πρότυπου κτηρίου είναι ο δείκτης Total Site Energy. Ο δείκτης εκφράζει το σύνολο της ενέργειας σε kWh που καταναλώνεται για τις ανάγκες ψύξης και θέρμανσης του κτηρίου σε διάρκεια λειτουργίας ενός έτους. Εξετάζονται, επίσης, οι επιμέρους ενεργειακές καταναλώσεις για ψύξη και θέρμανση για το κάθε δείγμα ξεχωριστά, στις τρεις διαφορετικές κλιματικές περιοχές.

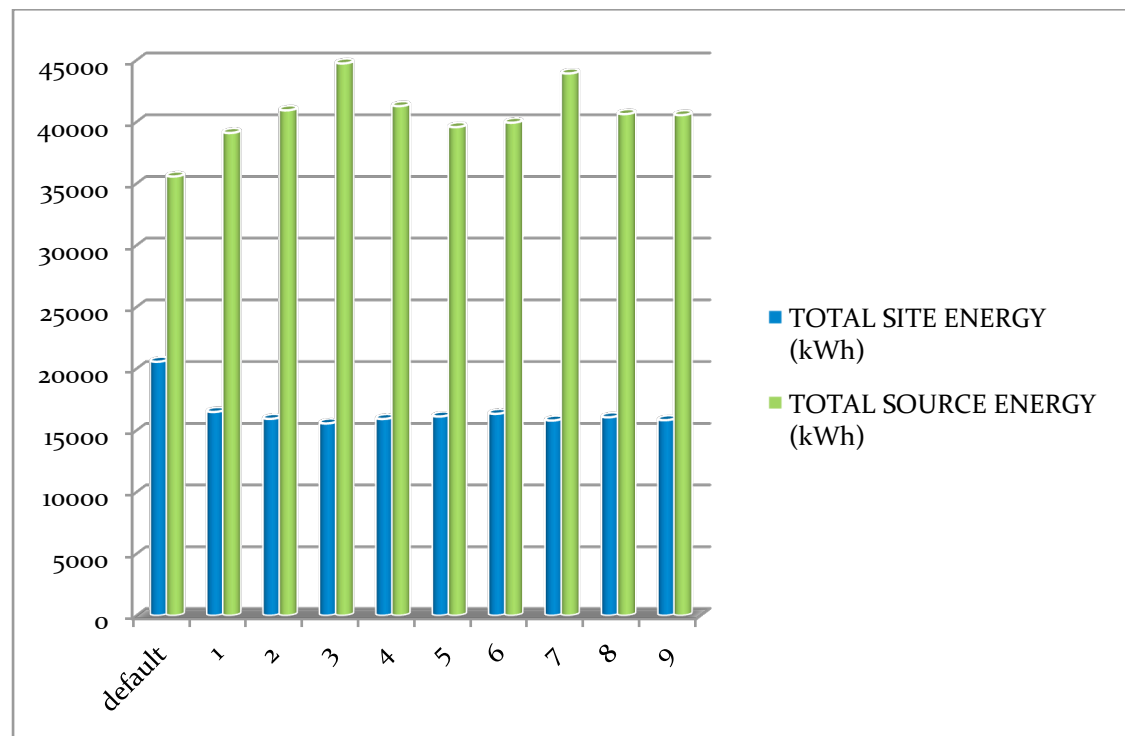
5.2.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε, η Αθήνα εμφανίζει την υψηλότερη συγκριτικά μέση ετήσια θερμοκρασία σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο περιοχές. Στο παρακάτω διάγραμμα 5, η ετήσια ενέργεια κατανάλωσης για ανάγκες θέρμανσης και ψύξης εμφανίζεται σημαντικά μεγαλύτερη (20574.68 kWh), όπως ήταν αναμενόμενο, στο πρωταρχικό μοντέλο κτηρίου (default), το οποίο δεν έχει επίχρισμα στην εξωτερική του επιφάνεια. Στις υπόλοιπες προσομοιώσεις, που αφορούν τα υπό μελέτη δοκίμια, ξεχωρίζουν αισθητά οι μέγιστες τιμές του 1^{ου} και του 6^{ου} δείγματος (16503.96 kWh και 16351.36 kWh αντίστοιχα). Ενδεικτική είναι η παρουσία του τσιμέντου και στα δύο αυτά δείγματα, εκ των οποίων το δεύτερο περιέχει και κίτρινη ώχρα. Επίσης, τα δείγματα που περιέχουν υδραυλική άσβεστο calce albazzana (2^ο, 7^ο και 9^ο) δείχνουν μία παρόμοιου μεγέθους τιμή κατανάλωσης ενέργειας (15943.73 kWh, 15811.35 kWh και 15835.87 kWh αντίστοιχα) παρά το γεγονός ότι το 7^ο δείγμα περιέχει κίτρινη ώχρα και το 9^ο προσμίξεις ώχρας και τιτανίας.

Διαφορετική συμπεριφορά προσδίδει στα δείγματα η υδραυλική άσβεστος chaux blanche, καθώς το 3^ο δείγμα που δεν περιέχει κάποια πρόσμιξη με άλλα συστατικά αποτελεί το 'ιδανικότερο' επίχρισμα με την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης και ψύξης από όλα τα εξεταζόμενα δείγματα (15573.15 kWh). Στα

δοκίμια, όμως, στα οποία η υδραυλική ασβέστος *chaux blanche* συνδυάζεται με άλλα υλικά -στο 5^ο που συνδυάζεται με τιτανία και στο 8^ο που προστίθεται κίτρινη όχρα-, η ενεργειακή τους συμπεριφορά δεν είναι το ίδιο ικανοποιητική (16135.10 kWh στο 5^ο δείγμα και 16069.76 kWh στο 8^ο).

Διάγραμμα 5. Ολικές Ποσότητες Απαιτούμενης Ενέργειας για ψύξη και θέρμανση (περιοχή της Αθήνας)



Στο παρακάτω διάγραμμα 6, παρουσιάζεται η αντιστοιχία των τιμών του Total Site Energy με αυτές του District Cooling για κάθε δείγμα. Φαίνεται ότι τα δοκίμια που παρουσιάζουν χαμηλές ενεργειακές καταναλώσεις, διακρίνονται από επίσης χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη. Πιο συγκεκριμένα, τα δείγματα 3 και 7 παρουσιάζουν τις μικρότερες ανάγκες για ψύξη (4506.51 kWh και 5160.97 kWh αντίστοιχα). Η παρουσία της υδραυλικής ασβέστου *chaux blanche* στο 3^ο δείγμα αλλά και ο συνδυασμός της υδραυλικής ασβέστου *calce albazzana* με κίτρινη όχρα είναι τα πιο αποτελεσματικά συστατικά επιχρίσματος για την παθητική ψύξη του κτηρίου, όπως συμπεραίνεται από τις προσομοιώσεις και κατά συνέπεια, έχουν ως αποτέλεσμα τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας. Αντίθετα, η παρουσία του τσιμέντου στα εξωτερικά κονιάματα, είτε μόνο του, όπως φαίνεται στο 1^ο δείγμα (8024.55 kWh), είτε με προσμίξεις άλλων υλικών, όπως φαίνεται στο 6^ο δείγμα που συνυπάρχει με όχρα (7483.68 kWh), συντελεί στην αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου. Αξίζει να αναφερθεί, ότι με την προσομοίωση του 3^{ου} δείγματος, το κτήριο

απαιτεί σχεδόν τη μισή ενέργεια ψύξης (4506.51 kWh) συγκριτικά με το 1^ο δείγμα που αποτελείται από το ‘συμβατικό’ τσιμέντο και απαιτεί 8024.55 kWh για τον ίδιο σκοπό.

Η εφαρμογή των επιχρισμάτων που περιέχουν τιτανία, δηλαδή του 4^{ου}, του 5^{ου} και του 9^{ου} δείγματος, εξασφαλίζει στο κτήριο χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης. Η προσθήκη τιτανίας σε κονιάματα που περιέχουν τσιμέντο, το οποίο όπως προαναφέρθηκε είναι υλικό με χαμηλή ανακλαστικότητα, φαίνεται να λειτουργεί αποτελεσματικά, αφού κατά την προσομοίωση του αντίστοιχου δοκιμίου 4 η ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου εμφανίζεται σημαντικά μειωμένη, συγκριτικά με το 1^ο ή το 6^ο δείγμα που δεν περιέχει τιτανία. . Πιο συγκεκριμένα, η παρουσία του TiO₂, σε αυτή τη συγκριτική μελέτη σημαίνει εξοικονόμηση ενέργειας στο κτήριο ίση με 1653,40 kWh. Εξίσου αποτελεσματική είναι η παρουσία της τιτανίας, όπως παρατηρείται συγκρίνοντας το 6^ο με το 9^ο δείγμα.

Ο συνδυασμός του τσιμέντου με κίτρινη όχρα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, συμβάλει στην αυξημένη κατανάλωση ενέργειας ψύξης του κτηρίου των 7483.68 kWh, ενώ η αντικατάσταση του 5% της ποσότητας της μαρμαρόσκονης από τιτανία, μειώνει την κατανάλωση αυτή στις 6515.58 kWh (διαφορά ίση με 968,10 kWh). Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα συγκριτικά στοιχεία, η παρουσία της τιτανίας προσδίδει σημαντική βελτίωση στα κονιάματα, όσον αφορά τη βιοκλιματική τους συμπεριφορά. Ωστόσο, η συνύπαρξη τιτανίας και υδραυλικής ασβέστου chaux blanche στο ίδιο δείγμα, συγκρίνοντας το 3^ο με το 5^ο δοκίμιο, δεν παρατηρείται το ίδιο αποτελεσματική, όπως στις περιπτώσεις που προαναφέρθηκαν.

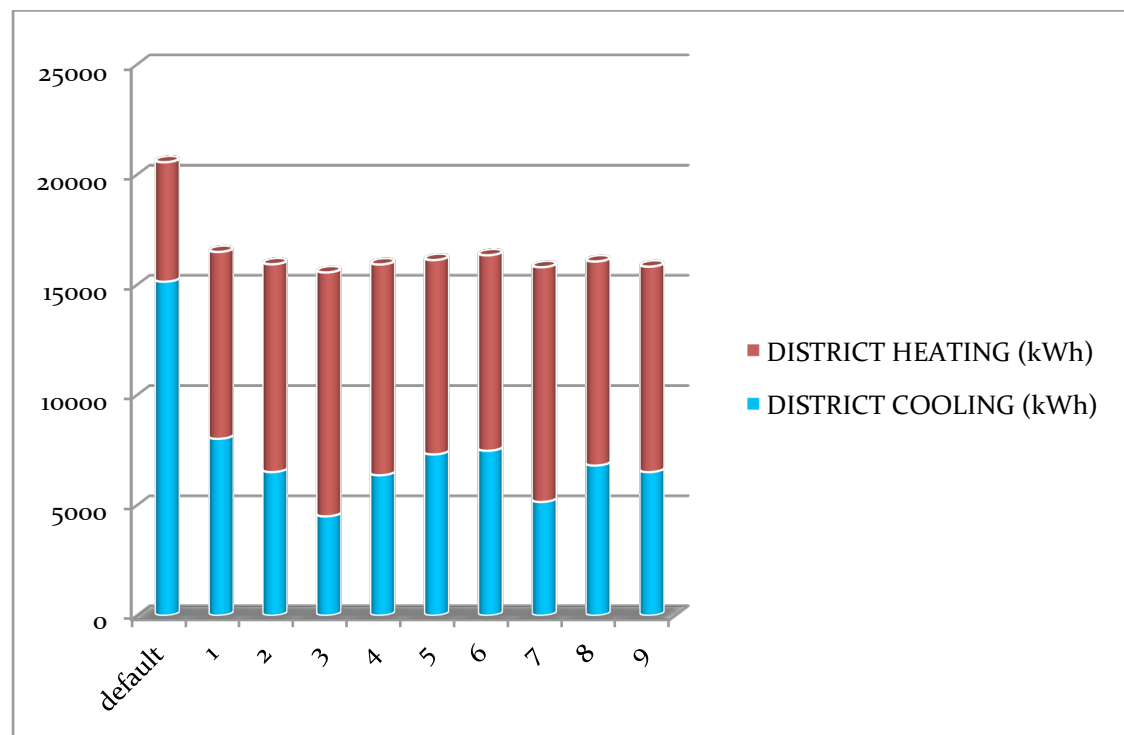
Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η συμπεριφορά του πρωταρχικού μοντέλου κτηρίου (default), το οποίο, χωρίς την παρουσία επιχρίσματος στην εξωτερική επιφάνεια των τούβλων της τοιχοποιίας, δείχνει πλήρως εκτεθειμένο στις εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας, παρουσιάζοντας πολύ μεγάλα ποσά ενεργειακής κατανάλωσης της τάξης των 15000 kWh (πιο συγκεκριμένα 15153.93 kWh).

Η ενεργειακή κατανάλωση για τη θέρμανση του πρωταρχικού μοντέλου, όπως παρατηρείται στο ίδιο διάγραμμα, είναι αντιστρόφως ανάλογη της ενέργειας που απαιτείται για ψύξη. Αυτό είναι αναμενόμενο και λογικό, διότι στις περιπτώσεις που το κτήριο εμφανίζει μεγάλες απαιτήσεις θέρμανσης, οι απαιτήσεις δροσισμού θα είναι συγκριτικά μικρότερες και αντίστροφα. Συνεπώς, η βιοκλιματική συμπεριφορά

των επιχρισμάτων που μελετώνται μπορεί να αξιολογηθεί, απομονώνοντας τη λειτουργία της παθητικής ψύξης του κτηρίου.

Η μεγάλη ανακλαστικότητα της εξωτερικής επιφάνειας και η μειωμένη απορρόφηση της θερμικής ακτινοβολίας, που αποτελούν κριτήρια μελέτης της εν λόγω εργασίας, είναι επιθυμητές ιδιότητες των επιχρισμάτων μόνο στην περίπτωση που επιδιώκεται μειωμένη είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο. Σε αντίθετη περίπτωση, όπως συμβαίνει κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, η βιοκλιματική λειτουργία του κτηρίου απαιτεί τεχνικές παθητικής θέρμανσης με αύξηση της εισερχόμενης ακτινοβολίας και αποθήκευση αυτής στον εσωτερικό χώρο.

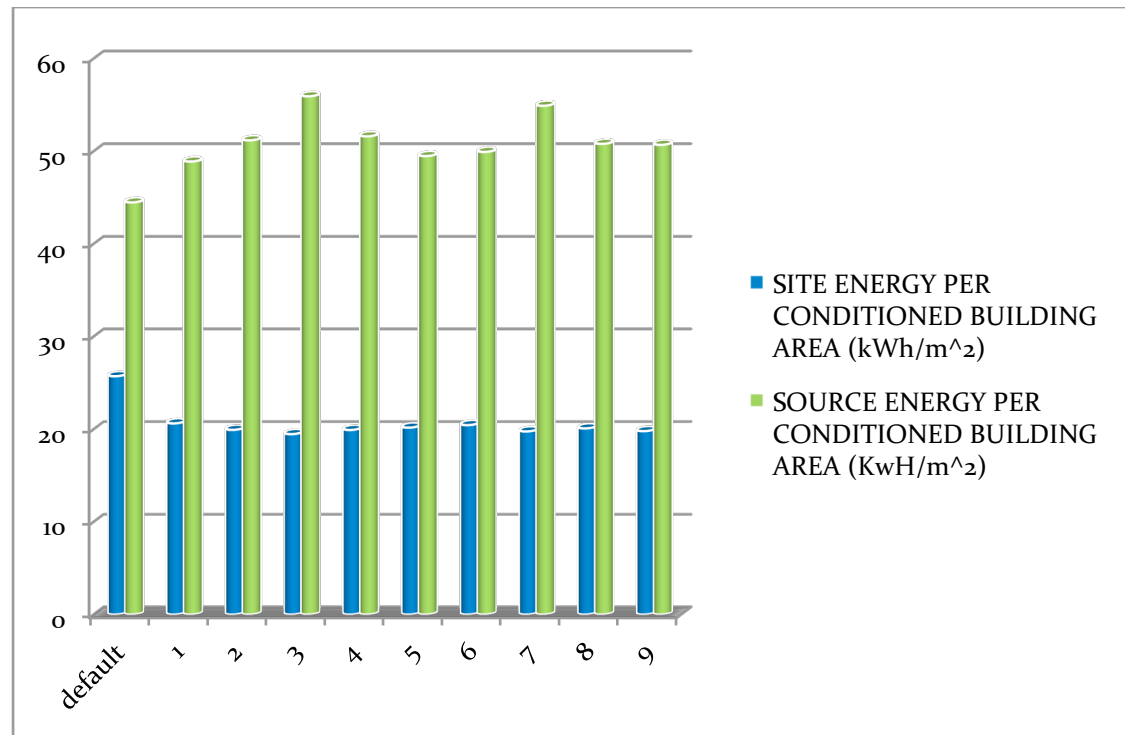
Διάγραμμα 6. Ενεργειακή Κατανάλωση για Ψύξη (District Cooling) και Θέρμανση (District Heating) για την περιοχή της Αθήνας



Η κατανάλωση ενέργειας στην οποία αναφερθήκαμε παραπάνω, αφορά στις ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση στο σύνολο της εσωτερικής επιφάνειας του δομημένου χώρου του κτηρίου μελέτης, η οποία είναι 800 τετραγωνικά μέτρα. Στον παρακάτω διάγραμμα 7, εμφανίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της ενεργειακής κατανάλωσης, για τμήμα του εσωτερικού χώρου του κτηρίου, έκτασης ενός τετραγωνικού μέτρου. Το ποσό, δηλαδή, της ενέργειας σε

kWh που χρειάζεται ένα τετραγωνικό μέτρο στο εσωτερικό του κτηρίου για να ψυχθεί ή να θερμανθεί.

Διάγραμμα 7. Ενεργειακή κατανάλωση ανά κλιματιζόμενη περιοχή (περιοχή Αθήνας)



5.2.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

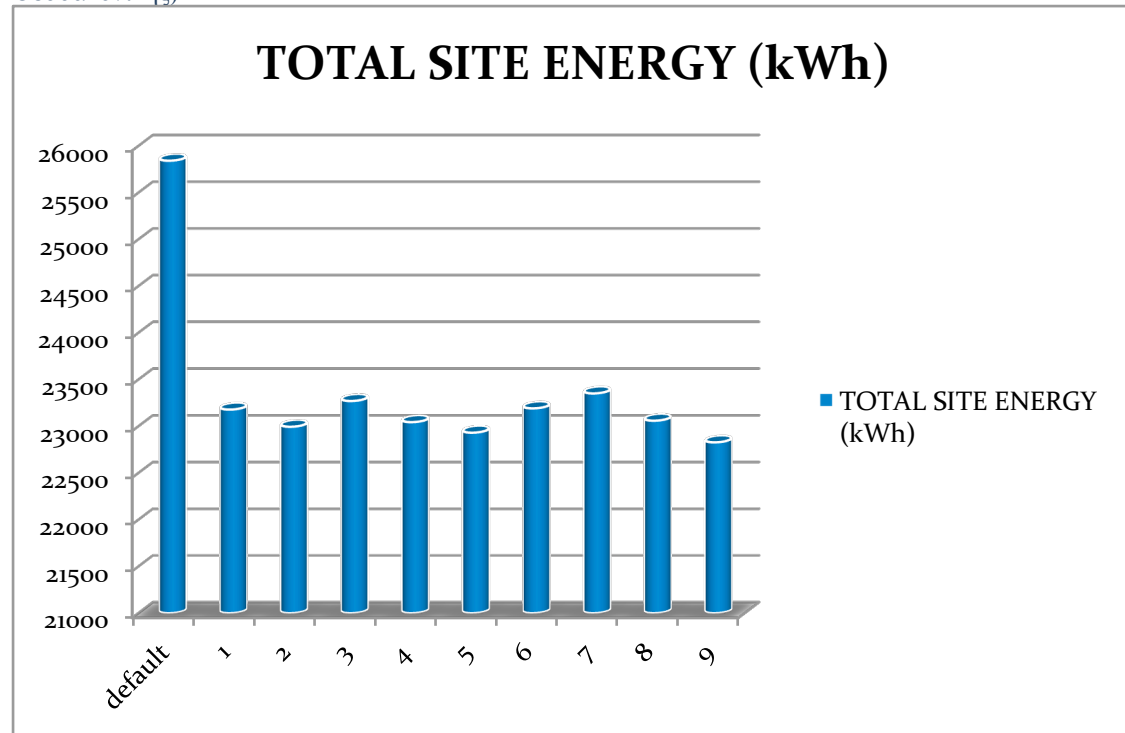
Όπως είναι γνωστό, η περιοχή της Θεσσαλονίκης διακρίνεται από ψυχρότερο κλίμα και κατά συνέπεια από χαμηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του έτους, συγκριτικά με τις άλλες δύο περιοχές που εξετάζονται (Αθήνα και Σούδα). Αυτό αποτυπώνεται στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, αρχικά, από τον δείκτη Total Site Energy όλων των δειγμάτων, συμπεριλαμβανομένου και του πρωταρχικού μοντέλου κτηρίου. Στο διάγραμμα 8, διαπιστώνεται ότι η κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου (θέρμανσης και ψύξης), όπως προκύπτει από την προσομοίωση εφαρμογής του συνόλου των δοκιμών είναι σημαντικά μεγαλύτερη στην περιοχή της Θεσσαλονίκης συγκριτικά με την αντίστοιχη στην Αθήνα και στη Σούδα Χανίων. Συγκεκριμένα, οι απαιτήσεις ενέργειας για ψύξη και θέρμανση του πρωταρχικού

μοντέλου (default) στο κτήριο προσομοίωσης για την περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι της τάξης των 25841,59 kWh , ενώ η αντίστοιχη τιμή στην Αθήνα είναι 20574,68 kWh και στη Σούδα 20722,04 kWh.

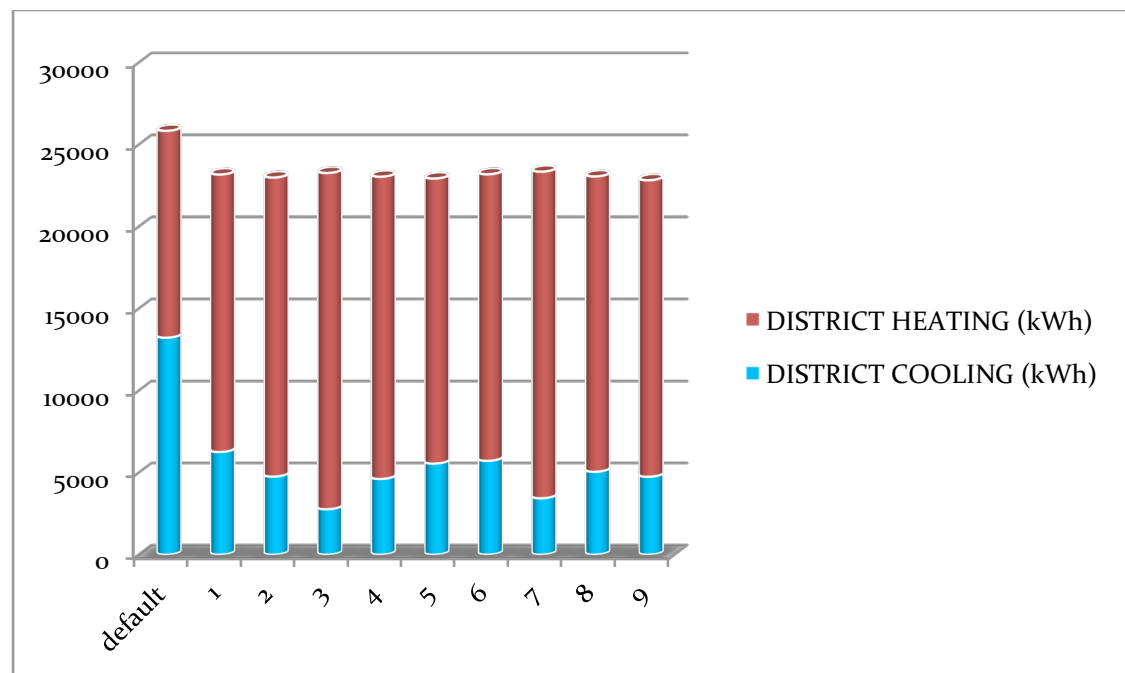
Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, λοιπόν, το μικρότερο ποσό της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας ετησίως παρουσιάζεται στο κτήριο εφαρμόζοντας το 9^ο δείγμα στο επίχρισμα της εξωτερικής του τοιχοποιίας (22827,66 kWh). Το δείγμα αυτό, περιέχει υδραυλική άσβεστο calce albazzana με προσμίξεις κίτρινης ώχρας και τιτανίας. Στο σημείο αυτό, σημειώνεται ότι το 9^ο δοκίμιο εμφανίζεται να προσδίδει αποδοτικότερα βιοκλιματικά χαρακτηριστικά στο κτήριο, απ' ό,τι τα υπόλοιπα δείγματα, εξετάζοντας όμως το σύνολο των ενεργειακών φορτίων θέρμανσης και ψύξης ετησίως και συγκεκριμένα, για την περιοχή της Θεσσαλονίκης ή για κάποια περιοχή με παρόμοιες κλιματολογικές συνθήκες. Επικεντρώνοντας τη μελέτη μεμονωμένα στις ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης ή ψύξης τα δεδομένα αλλάζουν.

Τις δύο μεγαλύτερες τιμές στη συνολική κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου (Total Site Energy) παρουσιάζουν οι εφαρμογές των δειγμάτων 3 και 7 στο κέλυφός του. Το 3^ο δείγμα περιέχει υδραυλική άσβεστο chaux blanche, ενώ το 7^ο υδραυλική άσβεστο calce albazzana σε συνδυασμό με κίτρινη ώχρα. Όπως αναλύθηκε παραπάνω, στη διαδικασία προσομοίωσης της Αθήνας, τα δύο αυτά δείγματα αντιστοιχούν στις μικρότερες απαιτήσεις ενέργειας του κτηρίου. Μπορούμε να συμπεράνουμε, λοιπόν, ότι τα εν λόγω επιχρίσματα (το 3^ο και το 7^ο) εμφανίζουν μεγάλα ποσοστά ανακλαστικότητας και μικρή απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία, επίσης, εκπέμπεται ταχύτερα στο εξωτερικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα να ενισχύεται η παθητική ψύξη της κατασκευής. Δεδομένου ότι η λειτουργία αυτή λαμβάνει χώρα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες και εμφανίζονται υψηλές ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης, τα δείγματα αυτά δε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι δρουν βιοκλιματικά. Η άποψη αυτή αποτυπώνεται στο διάγραμμα 9, στο οποίο, τα δύο αυτά δείγματα αντιστοιχούν στις μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και ταυτόχρονα στις μεγαλύτερες καταναλώσεις ενέργειας για θέρμανση του κτηρίου, το Total Site Energy, όμως συγκριτικά με τα δεδομένα της Αθήνας είναι σημαντικά μεγαλύτερο.

Διάγραμμα 8. Ολικές Ποσότητες Απαιτούμενης Ενέργειας για ψύξη και θέρμανση (περιοχή της Θεσσαλονίκης)



Διάγραμμα 9. Ενεργειακή Κατανάλωση για Ψύξη (District Cooling) και Θέρμανση (District Heating) για την περιοχή της Θεσσαλονίκης



5.2.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΣΟΥΔΑΣ ΧΑΝΙΩΝ

Η περιοχή των Χανίων, σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα της Σούδας, χαρακτηρίζεται από μικρή διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του έτους, συγκριτικά με τις άλλες δύο περιοχές που εξετάζονται στη μελέτη. Ωστόσο, η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα κτήριο της περιοχής αυτής είναι μεγαλύτερη από ότι στις άλλες δύο. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων γενικότερα, παρατηρώντας τα δύο διαγράμματα που ακολουθούν, μοιάζουν χαρακτηριστικά με αυτά της Αθήνας και λιγότερο με αυτά της Θεσσαλονίκης. Οι δείκτες του Total Site Energy παρουσιάζονται χαμηλότεροι για όλα τα εξεταζόμενα δείγματα στη Σούδα, τόσο από τα αντίστοιχα στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης όσο και από αυτά της Αθήνας. Το πρωταρχικό μοντέλο κτηρίου (default) παρουσιάζει και σε αυτή την περιοχή, τη μεγαλύτερη ολική ποσότητα απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη και θέρμανση, όπως άλλωστε αναμενόταν.

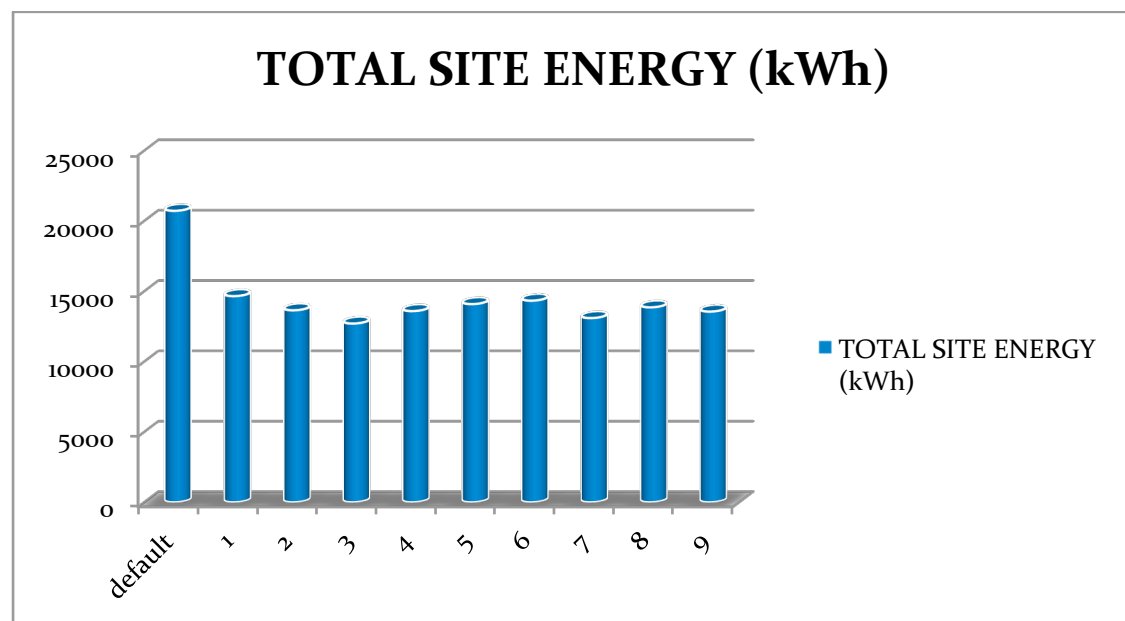
Όπως ακριβώς στην περίπτωση της Αθήνας, οι προσομοιώσεις του 3^{ου} (υδραυλική άσβεστος chaux blanche) και του 7^{ου} δείγματος (υδραυλική άσβεστος calce albazzana με κίτρινη όχρα), παρατηρώντας το διάγραμμα 10, προσδίδουν στο κτήριο τις μικρότερες συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις (12708.34 kWh και 13095.37 kWh αντίστοιχα). Το επιχρίσματα που περιέχουν τσιμέντο (δοκίμια 1 και 6), αντιστοιχούν στις υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις (14656.94 kWh και 14334.15 kWh αντίστοιχα), εκτός από το 4^ο δείγμα που η εφαρμογή του τσιμέντου με την πρόσμιξη της τιτανίας στο κονίαμα, μειώνει την ολική ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται για τις ανάγκες ψύξης και θέρμανσης του κτηρίου.

Όσον αφορά τις επιμέρους απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση, όπως περιγράφεται στο διάγραμμα 11, τα δείγματα που συμβάλλουν περισσότερο στην παθητική ψύξη του κτηριακού μοντέλου, ταυτίζονται με αυτά που παρουσιάζουν τη μικρότερη τιμή Total Site Energy (βλ. διάγραμμα 10). Η εφαρμογή των δοκιμίων 3 και 7 στα επιχρίσματα τοιχοποιίας του μελετώμενου κτηρίου, συμβάλλει στην κατανάλωση 4228.85 kWh και 5122.07 kWh αντίστοιχα για τις ανάγκες ψύξης του κτηρίου.

Τα δείγματα που περιέχουν προσμίξεις τιτανίας με τσιμέντο στο 4^ο και ώχρα στο 9^ο, αποδεικνύουν τη βελτιωτική δράση του TiO₂ στα κονιάματα επιχρίσματος, καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη του κτηρίου περιορίζονται στις 6619.2 kWh και 6761.27 kWh αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στα εξεταζόμενα δείγματα για την περιοχή της Σούδας παρουσιάζουν επίσης πολλές ομοιότητες με αυτά της Αθήνας. Ωστόσο, οι ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου για θέρμανση είναι μειωμένες στην εν λόγω περίπτωση.

Διάγραμμα 10. Ολικές Ποσότητες Απαιτούμενης Ενέργειας για ψύξη και θέρμανση (περιοχή της Σούδας Χανίων)



Διάγραμμα 11. Ενεργειακή Κατανάλωση για Ψύξη (District Cooling) και Θέρμανση (District Heating) για την περιοχή της Σούδας Χανίων



Αντιμετωπίζοντας ένα κτήριο ως ένα σύνθετο σύστημα δομικών στοιχείων, τα ψυχρά υλικά δεν πρέπει απαραίτητα να εφαρμόζονται σε όλες τις επιφάνειες. Θα πρέπει να λειτουργούν συμπληρωματικά με άλλα κατασκευαστικά ή περιβαλλοντικά στοιχεία, ώστε να επιτυγχάνεται βιοκλιματική λειτουργία του κτηρίου. Παραδείγματος χάρη, η εφαρμογή ψυχρών υλικών σε επιχρίσματα τοιχοποιίας σε ένα τοίχο με βόρειο προσανατολισμό, δεν έχει την ίδια απόδοση με την εφαρμογή τους σε ένα νότιο τοίχο, ο οποίος δέχεται άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης, ένας νότιος τοίχος με μεγάλο ποσοστό ανοιγμάτων, παρά την εφαρμογή ψυχρών υλικών στο επίχρισμα της εξωτερικής του επιφάνειας, ο τοίχος δεν μπορεί να συμμετέχει σημαντικά στην παθητική ψύξη του κτηρίου.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετώντας τα αποτελέσματα της διαδικασίας μετρήσεων αλλά και αυτά τις προσομοίωσης, προκύπτουν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα:

- ✓ Τα αποτελέσματα των μετρήσεων τις ανακλαστικότητας μοιάζουν χαρακτηριστικά με αυτά της προσομοίωσης, αλλά όχι τόσο με αυτά του δείκτη εκπομπής. Επομένως, η ανακλαστικότητα, ως ιδιότητα των επιχρισμάτων εξωτερικής τοιχοποιίας, αποδεικνύεται πιο σημαντική για την παθητική ψύξη ενός κτηρίου.
- ✓ Επίσης, η χρήση ενός υλικού με υψηλό δείκτη ανακλαστικότητας και εκπομπής, δεν συμβάλλει απαραίτητα στην εξοικονόμηση ενέργειας. Όπως παρατηρήθηκε και στη συγκριτική μελέτη, τα χαρακτηριστικά αυτά ευνοούν περιπτώσεις κτηρίων που βρίσκονται σε περιοχές με σχετικά μεγάλη μέση θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στην περιοχή της Θεσσαλονίκης διαφέρουν από τα αντίστοιχα της Αθήνας και των Χανίων. Επομένως, ένας διαχειριστής κτηρίου μπορεί να επιλέξει ένα ψυχρό υλικό, με δείκτες ανακλαστικότητας και εκπομπής τέτοιους, ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του κτηρίου για ψύξη και θέρμανση λαμβάνοντας υπόψη και τις κλιματολογικές συνθήκες.
- ✓ Υλικά όπως οι υδραυλικές άσβεστοι Calce Albazzana και Chaux Blanche μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή συμπεριφορά των επιχρισμάτων στα οποία εφαρμόζονται.
- ✓ Η τιτανία δείχνει να συμβάλλει στην παθητική ψύξη στις προσμίξεις της με τσιμέντο, ωστόσο ο συνδυασμός της με άλλες κονίες (Calce Albazzana και Chaux Blanche) δεν αποδείχτηκε εξίσου αποτελεσματικός.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη διερεύνηση της σύστασης διαφόρων επιχρισμάτων εξωτερικής τοιχοποιίας κτηρίων και τις ιδιότητες που μπορεί να προσδώσουν οι διάφορες προσμίξεις στην τελική σύνθεση αυτών, ώστε να βελτιώσουν την παθητική ψύξη και συνεπώς τη βιοκλιματική συμπεριφορά του κτηρίου, κατά τους θερινούς μήνες λειτουργίας του. Παρά το μεγάλο αριθμό πιθανών συνθέσεων υλικών για την παρασκευή ενός κτηριακού επιχρίσματος, οι πιθανοί συνδυασμοί θα πρέπει να ομαδοποιούνται και να μελετούνται τμηματικά κάθε φορά, ώστε η πραγματοποιούμενη έρευνα να είναι στοχευμένη και αποτελεσματική.

Στην εν λόγω έρευνα, τα υλικά που μελετήθηκαν ήταν κυρίως το τσιμέντο, η μαρμαρόσκονη, ο ασβέστης, η τιτανία, η κίτρινη ώχρα και οι υδραυλικές άσβεστοι *chaux blanche* και *calce albazzana*. Μία πιθανή συνέχεια της διερεύνησης, θα μπορούσε να εμφανίζει διαφορετικά υλικά, διαφορετικές συνθέσεις και ποσοστά αυτών στην τελική παρασκευή κονιάματος εξωτερικής τοιχοποιίας και συγκεκριμένα θα μπορούσαν να δοκιμαστούν διαφορετικά είδη υδραυλικής ασβέστου. Θα μπορούσε, επίσης, να μελετηθεί ο οικολογικός χαρακτήρας των υλικών σύνθεσης αλλά και του συνολικού επιχρίσματος, μελετώντας τον κύκλο ζωής των υλικών αλλά και το κατά πόσο τα κονιάματα είναι φιλικά προς τον άνθρωπο και εξασφαλίζουν υγιείς συνθήκες διαβίωσης στο εσωτερικό του κτηρίου όπου εφαρμόζονται. Επίσης, εξίσου ενδιαφέρουσα θα ήταν η μελέτη της φθοράς των κονιαμάτων εξωτερικής τοιχοποιίας σε βάθος χρόνου, τόσο από την ηλιακή ακτινοβολία και τις κλιματολογικές συνθήκες, όσο και από την ατμοσφαιρική ρύπανση σε περίπτωση που το κτήριο βρίσκεται σε αστικό κέντρο ή βιομηχανική περιοχή.

Σημειώνεται ακόμα ότι η παρούσα εργασία μελέτησε μόνο τα κονιάματα της εξωτερικής τοιχοποιίας ενός κτηρίου χωρίς την τελική επίστρωση κάποιας βαφής. Θα ήταν, λοιπόν, σημαντική η αποτύπωση της ανακλαστικότητας και του δείκτη εκπομπής των υπό μελέτη επιχρισμάτων, με την προσθήκη κάποιου τελειώματος ή χρωματικών επιστρώσεων που συνηθίζεται να επιλέγονται για αισθητικούς λόγους στις σύγχρονες οικοδομές.

Τέλος, τόσο οι μετρήσεις όσο και η διαδικασία της προσομοίωσης θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν για τη μελέτη υπάρχοντος κτηρίου, ξεπερνώντας τις πεπερασμένες ιδιότητες ενός θεωρητικού μοντέλου. Στο στάδιο αυτό η μελέτη θα είχε τη δυνατότητα να επεκταθεί, λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία όπως οι κλιματολογικές συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής, το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του κτηρίου, το ανθρώπινο δυναμικό, οι πραγματικές απαιτήσεις ενεργειακής κατανάλωσης και όλα τα επιμέρους δομικά ή συνθετικά στοιχεία του κτηριακού όγκου που μπορεί να επιφέρουν ενεργειακά κέρδη ή απώλειες κατά τη διάρκεια του έτους. Έτσι, η συμβολή των υπό μελέτη κονιαμάτων στην παθητική ψύξη του εσωτερικού χώρου, θα μπορούσε να μεταφραστεί ακόμα και σε οικονομικό ετήσιο κέρδος για το συγκεκριμένο οίκημα. Ας μην ξεχνάμε ότι τα ποσοτικά σε συνδυασμό με τα ποιοτικά δεδομένα στοχευμένης έρευνας μπορεί να κεντρίσουν το ενδιαφέρον όχι μόνο στο χώρο παραγωγής και πώλησης οικοδομικών προϊόντων, αλλά και του κάθε ιδιώτη μεμονωμένα, μέσα στα πλαίσια σωστής και τεκμηριωμένης πληροφόρησης.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ - ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

- Ν.Λίτινας, 2008. *Κονιάματα*, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου.
- Α. Αντωνόπουλος, 2011. *Αδρανή υλικά*, Δ.Ε., Τμ. Πολιτικών Μηχανικών, εκδόσεις Ε.Μ.Π..
- Γ.Κορωναίος, Ι.Παυλάκος, 2006. *Τεχνικά Υλικά*, Τόμος Ι, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.,
- P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Bakolas, I.Karatasios, V.Kilikoglou, 2005. *Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete*, Cement and Concrete Research: 1577-1586.
- P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Galanos, N.Kallithrakas-Kontos, 2010. *Physico-chemical characterization of mortars as a tool in studying specific hydraulic components: application to the study of ancient Naxos aqueduct*, Materials Science & Processing: 335-348.
- Dionysia Kolokotsa, Christina Diakaki, Sotiris Papantoniou, Andreas Vlissidis, September 2011. *Numerical and experimental analysis of cool roofs application on a laboratory building in Iraklion, Crete, Greece*. Energy and Buildings.
- D. Kolokotsa, P. Maravelaki-Kalaitzaki, S. Papantoniou, E. Vangeloglou, M. Saliaric, T. Karlessi, M. Santamouris, May 2012. *Development and analysis of mineral based coatings for buildings and urban structures*. Solar Energy 86(5) : 1648-1659.
- Oke T.R., Johnson G.T., Steyn D.G., Watson I.D., 1991. *Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night-Part2: Diagnosis and causation*. Boun dary Layer Meteorol.56 : 339-358.
- Akbari H, Davis S., Dorsano S., Huang L., Winert S., 1992. *Cooling Our Communities. A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington .

- Santamouris M., Mihalakakou G., Papanikolaou N., Assimakopoulos, D.N., 1999. *A neural network approach for modeling the heat island phenomenon in urban areas during the summer period*. Geophysics Research Letters 26(3): 337-340.
- I.M. Arabatzis, T. Stergiopoulos, M.C. Bernard, D. Labou, S.G Neophytides, P. Falaras, 2003. *Silver-modified titanium dioxide thin films for efficient photodegradation of methyl orange*. Applied Catalysis B: Environmental 42: 187.
- M. Santamouris, K. Pavlou, A. Synnefa, K. Niachou, and D. Kolokotsa, 2007. *Recent Progress on Passive Cooling Techniques. Advanced Technological Developments to Improve Survivability levels in Low - Income Households*, Energy and Buildings 39: 859–866.
- M. Santamouris, A. Synnefa, D. Kolokotsa, V. Dimitriou, K. Apostolakis, 2008. *Passive cooling of the built environment – use of innovative reflective materials to fight heat island and decrease cooling needs*. International journal of Low-Carbon Technologies 3(2): 71-82.
- C. Klingshirn, 2007. *Chemical Physics and Psysical Chemistry* 8. pp 782.
- K. Mizushima, M. Tanaka, A. Asai, S.. Ilda. and J.B. Goodenough, 1979. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 40: 1129.
- O.K. Varghese, D. Gong, M. Paulose, K.G ong, E.C. Dickey, G.A. Grimes, 2003. *Advanced Materials* 15: 624.
- Oke T.R., Johnson G.T., Steyn D.G., Watson I.D., 1991. *Simulation of surface urban heat islands under ‘ideal’ conditions at night-Part2: Diagnosis and causation*. Boundary Layer Meteorol.56: 339-358.
- Santamouris M., Papanikolaou N., Georgakis C., 1998. *Study on the ambient and surface environment in Omonoia Square, Athens, Greece. Internal Report, 100 Group Building Environment Studies, Physics Department, Univeristy of Athens, Athens, Greece*.
- Taha H.,1997. *Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat*. Energy Build. 25: 99-103.

- Santamouris M., Papanikolaou N., Livada I., Koronakis I., Georgakis C., Argiriou A., Assimakopoulos D.N., 2001. *On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings*. Energy and Buildings 70: 201-216.
- A. Synnefa, M. Santamouris, I. Livada, 2005. *A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment*. Solar Energy 80: 968-981.
- Akbari H, Davis S., Dorsano S., Huang L., Winert S., 1992. *Cooling Our Communities. A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington.
- Oke T.R., Johnson G.T., Steyn D.G., Watson I.D., 1991. *Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night-Part2: Diagnosis and causation*. Boundary Layer Meteorol.56: 339-358.
- Simpson J.R., McPherson E.G., 1997. *The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona*. Energy and Buildings 25: 127-37.
- Berg R., Quinn W., 1978. *Use of light coloured surface to reduce seasonal thaw penetration beneath embankments on permafrost*. In: Proceedings of the Second International Symposium on Cold Regions Engineering. University of Alaska: 86-99.
- Asaeda T., Ca V.T., Wake A., 1996. *Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere*. Atmospheric Environment 30(3): 413-427.
- L. Doulos, M. Santamouris, I. Livada, 2004. *Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials*. Solar Energy 77: 231-249.
- Konopacki, Gartland, H. Akbari, Rainer L., 1998. *Demonstration of Energy Savings of Cool Roofs*, LBNL-40673. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA.
- Levinson R., Akbari H., Konopacki S., Bretz S., December 2002. *Inclusion of Cool Roofs in Nonresidential Title 24 Prescriptive Requirements*, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA .

- Akbari H., Levinson R., 2007. *Evolution of cool Roof Standards in the United States.*, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley , CA.
- Rosenfeld A.H., Akbari Hashem, Romm J.J., Pomerantz, 1997. *Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction.* Energy and Buildings 28: 51- 62.
- M. Deru and P. Torcellini, June 2007. *Source Energy and Emission Factors for Energy Use in Buildings*, National Renewable Energy Laboratory.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- ΦΕΚ Β/1122 17/6/2008 σελ 15117, σελ 15119.
- ΠΕΤΕΠ 03-11-20-00 Οκτώβριος 2008. *Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές*, Έκδοση 1.0.
- ΠΕΤΕΠ 03-11-20-00, 2010. *Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές*, Έκδοση 3.0.
- ΦΕΚ Β 5333 9/4/2010 σελ. 407.
- ΠΕΣΕΠ 03-11-20-00, 20 , 2010. *Εφαρμογές Ψυχρών Υλικών (cool materials)*, Έκδοση 3.0.
- http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko3.1.html
- http://www.tnlab.eu/instruments/dscary_5000
- ENERGY STAR Performance Ratings – Methodology for incorporating Source Energy Use*, December 2007.
[<https://www.efis.psc.mo.gov/mpsc/commoncomponents/viewdocument.asp?Do>
- ENERGY STAR Performance Ratings – Methodology for incorporating Source Energy Use*, December 2007.
[<https://www.efis.psc.mo.gov/mpsc/commoncomponents/viewdocument.asp?Do>
[cId=935570918](https://www.efis.psc.mo.gov/mpsc/commoncomponents/viewdocument.asp?Do)]

[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko1.html].

High Albedo, Cool Roofs, Codes and Standard Enhancement (CASE) Study, Pacific Gas and Electric Company, November 2000. [<http://eetd.lbl.gov/coolroof>]