



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

Διπλωματική Εργασία

Ενεργειακή προσομοίωση πρότυπης κατοικίας με εισαγωγή νέων τεχνολογιών κελύφους



Βαμβακούσης Γεώργιος

Ρίζος Περικλής

Επιβλέπων: Πανάρας Γεώργιος

Περίληψη

Στην σημερινή εποχή, όπου καλούνται να λυθούν σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα, επιβάλλεται η εύρεση ‘έξυπνων’ μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας. Μεγάλο μέρος της ενέργειας δαπανάται από τις κατοικίες, λόγω ‘κακού’ κτιριακού κελύφους το οποίο συμβάλλει στη μη αποδοτική διαχείριση ενέργειας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα εξεταστούν έξυπνες τεχνολογικές λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας, εστιάζοντας στο κτιριακό κέλυφος θεωρητικής κατοικίας η οποία βρίσκεται στην περιοχή της Αθήνας. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνηθεί ποιες τεχνολογικές λύσεις συνεισφέρουν στην μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας.

Η προσομοίωση έγινε με το λογισμικό Energy plus, και εξετάστηκε η ενεργειακή συμπεριφορά των ακόλουθων τεχνολογιών:

- Υλικά αλλαγής φάσης
- Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες
- Πράσινη στέγη
- Ανακλαστικά χρώματα

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από την εισαγωγή, όπου παρουσιάζεται ο ορισμός του ‘έξυπνου’ σπιτιού, μία σύντομη ιστορική αναδρομή της εξέλιξης του, και η σημερινή νομοθεσία, εκθέτοντας, παράλληλα, παραδείγματα ‘έξυπνων’ σπιτιών. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών προς διερεύνηση. Περιγράφεται η μέθοδος και το λογισμικό προσομοίωσης, δίνοντας έμφαση στις ιδιαιτερότητες που σχετίζονται με την προσομοίωση των εν λόγω τεχνολογιών. Κατηγοριοποιούνται οι περιπτώσεις, η αποτελεσματικότητα των οποίων θα εξεταστεί σε σχέση με το κτίριο αναφοράς, το οποίο και περιγράφεται. Αναλύεται η διαδικασία προσομοίωσης και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής. Η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα της διερεύνησης.

Abstract

Nowadays, where significant environmental problems need to be solved, we are responsible to find 'smart' energy-saving methods. Much of the energy is spent on residential uses because of 'poor' building shell that contributes to inefficient energy management.

In this diploma thesis, smart energy-saving solutions will be examined, focusing on the building shell of a theoretical residence located in the area of Athens. The aim of this diploma thesis is to investigate which technology solutions contribute to maximum energy savings.

Simulation was performed with Energy Plus software; the technologies investigated refer to:

- Phase change materials
- Thermochromic glazing
- Green roof
- Reflective colors

This diploma thesis consists of the introduction, where the ‘Smart Building’ concept, the historical background and the current situation is outlined and today's legislation is highlighted. While examples of 'smart homes' are presented. Then, the characteristics of the above technologies are analyzed. The method and the simulation software are described, putting emphasis on particularities related to the simulation of the specific technologies. The discussed cases are categorized, while the reference building is described. Simulation procedure is analyzed, and the results are presented, along with the conclusions of the analysis.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Πανάρα, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, για την πολύτιμη συμβολή του στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας αντίστοιχα, για την υποστήριξη την οποία μας παρείχαν καθόλη την διάρκεια του κύκλου σπουδών μας.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	2
Abstract	3
Ευχαριστίες	4
Πίνακας Περιεχομένων	5
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	8
1.1: Έννοια-Ορισμός	8
1.2: Ιστορική Αναδρομή	10
1.3: Παραδείγματα έξυπνων σπιτιών	13
1.4: Νομοθεσία	21
1.5: Σημερινή κατάσταση: Ποιες χώρες υποστηρίζουν και είναι έτοιμες για τη υποδοχή των έξυπνων κατοικιών.....	25
Κεφάλαιο 2: Παρουσίαση Τεχνολογιών	29
2.1 Κατηγοριοποίηση μεθόδων	29
2.2: Ανακλαστικές μπογιές.....	31
2.2.1: Έννοια-Λειτουργία – Χαρακτηριστικά.....	31
2.2.2: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	35
2.2.3: Επιλογή υλικού και γιατί.....	37
2.3: Υλικά Αλλαγής Φάσης	40
2.3.1: Έννοια – Λειτουργία- Χαρακτηριστικά.....	40
2.3.2: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα- Επιλογή υλικού και γιατί.....	49
2.4: Πράσινες Στέγες	56
2.4.1: Έννοια-Λειτουργία.....	56
2.4.2: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	61
2.4.3. Επιλογή τύπου υλικών για την πράσινη στέγη	65
2.5: Έξυπνα παράθυρα.....	69
2.5.1: Έννοια-Λειτουργία.....	69
2.5.1.1: Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα	69
2.5.1.2: Θερμοχρωμικά παράθυρα	71
2.5.2: Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα και αιτιολόγηση επιλογής τύπου παραθύρου	73
2.5.2.1 Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα	73

2.5.2.2: Θερμοχρωμικά Παράθυρα.....	75
-------------------------------------	----

Κεφάλαιο 3: Διαδικασία προσομοίωσης 77

3.1: Δημιουργία του κτιριακού κελύφους	77
3.1.1: Τι είναι το πρόγραμμα Revit	77
3.1.2: Βήματα κατασκευής της κατοικίας στο Revit 2018	78
3.2: Ενεργειακή προσομοίωση του έξυπνου ενεργειακού κελύφους.....	85
3.2.1: Τι είναι το πρόγραμμα EnergyPlus.....	85
3.2.2: Διαδικασία προσομοίωσης του έξυπνου κτιριακού κελύφους μέσω του λογισμικού EnergyPlus	86
3.2.3: Διαδικασία προσομοίωσης των ΥΑΦ μέσω του λογισμικού EnergyPlus.....	97
3.2.4: Διαδικασία προσομοίωσης της πράσινης στέγης μέσω του λογισμικού EnergyPlus	99
3.2.3: Διαδικασία προσομοίωσης των θερμοχρωμικών υαλοπινάκων μέσω του λογισμικού EnergyPlus	106
3.2.4: Διαδικασία προσομοίωσης των ανακλαστικών χρωμάτων μέσω του λογισμικού EnergyPlus	108

Κεφάλαιο 4^ο: Αποτελέσματα προσομοιώσεων 110

4.1: Ενεργειακά δεδομένα του κτιριακού κελύφους.....	110
4.2: Αποτελέσματα προσομοίωσης του συμβατικού κτιριακού κελύφους	111
4.3: Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνου’ κτιριακού κελύφους με ενσωματωμένα ΥΑΦ εσωτερικά.....	113
4.4: Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνου’ κτιριακού κελύφους με ενσωματωμένα ΥΑΦ εξωτερικά	116
4.5: Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνης’ κατοικίας με θερμοχρωμικά παράθυρα..	119
4.6:Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνης’ κατοικίας με ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας και θερμοχρωμικά παράθυρα	122
4.7:Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνης’ κατοικίας με ΥΑΦ εξωτερικά της τοιχοποιίας και θερμοχρωμικά παράθυρα	125
4.8: Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνης’ κατοικίας με πράσινη στέγη	128
4.9: Σύνοψη συνολικών ετήσιων φορτίων για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν	132
4.10: Αποτελέσματα προσομοίωσης κατοικίας βαμμένης με ανακλαστικές χρωστικές ουσίες.	134

Κεφάλαιο 5^ο: Συμπεράσματα 140

Κεφάλαιο 6^ο: Βιβλιογραφία 142

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Ο τρόπος ζωής στις ανεπτυγμένες κοινωνίες καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από διάφορα τεχνολογικά επιτεύγματα τα οποία παρέχουν λύσεις και απλοποιούν τα προβλήματα που αντιμετωπίζει το άτομο στην καθημερινή του ζωή. Το εύρος από τα δυνητικά οφέλη τους είναι τεράστιο και κυμαίνεται από το ατομικό/κοινωνικό μέχρι το οικονομικό/περιβαλλοντικό επίπεδο.

Η ολοένα και αυξανόμενη εισαγωγή καινοτόμων και πρωτοποριακών τεχνολογιών στις κτιριακές μονάδες, έχει ως συνέπεια την αναβάθμιση των χαρακτηριστικών τους σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές και την μετατροπή τους σε αυτό που κοινώς αποκαλείται 'έξυπνο σπίτι'.

Ο ορισμός της συγκεκριμένης έννοιας, η ιστορική της εξέλιξη, ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα και διάφορα άλλα συσχετιζόμενα στοιχεία πρόκειται να περιγραφούν παρακάτω.

1.1: Έννοια-Ορισμός

Τι ακριβώς όμως σημαίνει η φράση 'έξυπνο σπίτι'; Προφανώς η σχεδίαση και η αναμενόμενη απόδοση των κτιριακών κελυφών βελτιώθηκε σταδιακά κατά τη διάρκεια της ιστορίας [1]. Έναν αιώνα πριν, τα πανεπιστήμια, τα γραφεία, τα σχολεία αν κατασκευάζονταν από πέτρες και τούβλα και εξοπλίζονταν με τα απολύτως απαραίτητα όπως καύσιμες ύλες, νερό και πιθανόν μερικά ηλεκτρικά συστήματα θα κατατάσσονταν ως έξυπνα για την εποχή τους.

Όσον αφορά το σήμερα, ο όρος 'έξυπνο' είναι σχετικός με τη χρήση μοντέρνας τεχνολογίας, την ικανοποίηση των επαγγελματικών προσδοκιών και την βελτίωση της προσωπικής εμπειρίας του ιδιοκτήτη, εντός του διαχειριζόμενου του χώρου. Η διαφορά σε σχέση με έναν αιώνα πριν, έγκειται στο γεγονός πως οι σημερινές προσδοκίες μας είναι αρκετά μεγαλύτερες. Για παράδειγμα, κατά τη σχεδίαση μιας κατοικίας αναμένεται οι ενεργειακές τις ανάγκες να μην υπερβαίνουν ένα συγκεκριμένο όριο. Παρομοίως, οι ιδιοκτήτες ή οι εργαζόμενοι του συγκεκριμένου χώρου, περιμένουν από αυτόν να ανταποκρίνεται σε ορισμένα επίπεδα άνεσης και ικανοποίησης αναγκών που έχουν [2].

Με την πάροδο των χρόνων, καθώς συνεχίστηκαν να αναπτύσσονται περισσότερες και πιο εξελιγμένες τεχνολογίες οι προσδοκίες των κατόχων των ενεργειακών κελυφών αυξήθηκαν αναλόγως. Μία χαρακτηριστική περίπτωση ήταν η εισαγωγή συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Τα συστήματα αυτά μειώνουν τα φορτία θέρμανσης, ψύξης, αερισμού, ηλεκτρισμού κτλ. που καταναλώνονται, παρέχοντας συγχρόνως στον ιδιοκτήτη τους καλύτερα επίπεδα άνεσης [3].

Ωστόσο, η ξεχωριστή αυτή κατηγορία κατοικιών δεν καλύπτει εντελώς την έννοια του έξυπνου κτιρίου.

Στην σημερινή εποχή, ως έξυπνο κτίριο θεωρείται εκείνο που είναι ικανό να προσαρμόζεται στα προβλήματα που πρόκειται να αντιμετωπίσει ή ακόμη δύναται να είναι σε θέση να προβεί στις απαραίτητες ενέργειες που θα επιφέρουν την λύση στα προκύπτοντα ζητήματα προτού αυτά συμβούν. Παράλληλα με τα παραπάνω μπορεί να αυξήσει το επίπεδο άνεσης κατά το διάστημα παραμονής των ατόμων σε αυτό.

Στο άμεσο μέλλον η ερευνητική κοινότητα ευελπιστεί ένα πραγματικά έξυπνο κτίριο να είναι σε θέση να μπορεί να κάνει τα ακόλουθα:

- Να προσαρμόζεται στις εναλλαγές των καιρικών συνθηκών κατά τη διάρκεια του χρόνου ή ακόμη και της ημέρας, όπως και στις διάφορες αυξομειώσεις του αριθμού των χρηστών που μπορούν να προκύψουν.
- Να είναι σε θέση να εντοπίσει τυχόν αστοχίες του εξοπλισμού του και να συλλέγει πληροφορίες γιατί το τμήμα αυτό του κτιρίου, δεν λειτουργεί στα προβλεπόμενα επίπεδα.
- Να έχουν χρησιμοποιηθεί εξελιγμένα υλικά στην κατασκευή του ή το κτίσιμο του να έχει βασιστεί πάνω σε πρωτότυπα αρχιτεκτονικά σχέδια, τα οποία θα έχουν ως συνέπεια ανώτερα ενεργειακά, οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα.
- Να είναι σε θέση να ελέγχει όλες τις λειτουργίες που συντελούνται στο χώρο του μέσα από αυτοματοποιημένα συστήματα, παρέχοντας αυξημένη ενεργειακή απόδοση και άνεση στον ιδιοκτήτη του [4].

Παρόλα αυτά, είναι ιδιαίτερα σπάνιο σήμερα, ένα κτίριο να είναι σε θέση να ανταποκριθεί συγχρόνως σε όλες τις προαναφερθέντες απαιτήσεις. Προς το παρόν, η πλειοψηφία των έξυπνων κτιρίων περιορίζεται σε ορισμένες από τις λειτουργίες που αναφέρθηκαν.

1.2: Ιστορική Αναδρομή

Η ιστορία των έξυπνων κτιρίων ξεκινάει κυρίως στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, με την δημιουργία κατοικιών που ξεχώριζαν από τις αντίστοιχες σύγχρονές τους όντας εξοπλισμένες με παροχές όπως ύδρευση, θέρμανση, ηλεκτρισμό, ή πιθανόν και με διάφορες ηλεκτρικές συσκευές, οι οποίες βέβαια θεωρούνται δεδομένες την σημερινή εποχή.

Σε προγενέστερα χρόνια, οι περιπτώσεις κτιρίων που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν εν δυνάμει έξυπνα είναι ελάχιστες και αφορούν κυρίως τον τρόπο και τα υλικά όπου χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή τους. Υπάρχουν δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις και οι οποίες αφορούν κατοικίες που κατασκευάστηκαν στις βόρειες περιοχές του πλανήτη, όπου η ανάγκη για επιβίωση στις ακραίες κλιματικές συνθήκες που αντιμετώπιζαν οι άνθρωποι σε αυτά τα εδάφη, τους οδήγησε σε πρωτότυπες και επαναστατικές λύσεις προκειμένου να επιβιώσουν.

Το igloo αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα (Εικόνα 1). Το γεγονός που κάνει το συγκεκριμένο είδος κατοικιών ξεχωριστό είναι το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένες. Τα igloo αποτελούνται από μεγάλα κομμάτια συμπιεσμένου χιονιού τα οποία τοποθετούνται περιμετρικά γύρω από μία τρύπα η οποία σκάβεται περαιτέρω μετά την τοποθέτησή τους.

Το συμπιεσμένο χιόνι παρουσιάζει αρκετά καλές θερμομονωτικές ιδιότητες, ειδικά αν συγκριθεί με τα υλικά που τότε χρησιμοποιούνταν για το χτίσιμο των σπιτιών. Αναλυτικότερα, πέρα από το γεγονός πως το χιόνι είναι ένα από τα πιο ελαφριά και εύκολα υλικά οικοδόμησης, παρουσιάζει και πάρα πολλούς θύλακες αέρος. Ο στατικός αέρας που περιέχεται στον πάγο παρουσιάζει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, μετατρέποντας το χιόνι για το συγκεκριμένο τοπίο, όσο παράδοξο και αν φαίνεται, σε ιδανικό οικοδομικό υλικό.



Εικόνα 1: Απεικόνιση μιας παραδοσιακής κατοικίας igloo

Επιπλέον, το εσωτερικό του igloo δεν είναι επίπεδο αλλά κλιμακωτό. Στο υψηλότερο επίπεδο βρίσκεται ο χώρος στον οποίο κοιμούνται οι ιδιοκτήτες του, σκοπεύοντας να εκμεταλλευτούν στο έπακρο την θερμότητα η οποία συσσωρεύεται στα ανώτερα στρώματα. Στο μεσαίο επίπεδο βρίσκεται ο χώρος καύσης (όπου μία τρύπα στην κορυφή του igloo επιτρέπει την διαφυγή του καπνού), ενώ το τελευταίο επίπεδο που συγκεντρώνει και τα χαμηλότερα ποσά θερμότητας, χρησιμοποιείται για την έξοδο από την κατοικία.

Ο έξυπνος σχεδιασμός του, που λαμβάνει υπόψη του τις αρχές μετάδοσης θερμότητας και τα ανώτερα μονωτικά χαρακτηριστικά των υλικών κατασκευής του, τα οποία είναι και συγχρόνως και περιβαλλοντικά ‘φιλικά’ κάνουν αυτόν τον ειδικό τύπου κτιρίου μοναδικό στα ιστορικά χρονικά [5].

Μία άλλη περίπτωση είναι οι στέγες ‘χλοοτάπητα’ (Εικόνα 2) που χρησιμοποιούνταν αιώνες τόσο στις σκανδιναβικές χώρες, όσο και από τους ιθαγενείς ινδιάνους της Αμερικής.

Οι συγκεκριμένες στέγες θεωρούνται ο πρόδρομος των σημερινών πράσινων στεγών. Με οικονομία που παρουσίαζε ελλείψεις σε πολλά βασικά είδη, οι άνθρωποι των βόρειων περιοχών αναγκάστηκαν να αυτοσχεδιάσουν προκειμένου να επιβιώσουν. Οι στέγες ‘χλοοτάπητα’ αποτελούνταν από ένα στρώμα λάσπης που τοποθετούνταν πάνω από την ξύλινη στέγη. Συνήθως η βλάστηση που αφήνονταν να αναπτυχθεί αποτελούνταν από θάμνους και βρύα.

Με αυτόν τον τρόπο κατάφερναν να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά της στέγης εύκολα και φθηνά. Πέρα από τα υψηλότερα επίπεδα δροσιάς που προσφέρουν οι πράσινες στέγες τους καλοκαιρινούς μήνες, έχει αποδειχθεί πως το χιόνι που συσσωρεύεται πάνω τους κατά τους χειμερινούς μήνες επιδρά και αυτό ως μονωτικό υλικό [6,7].



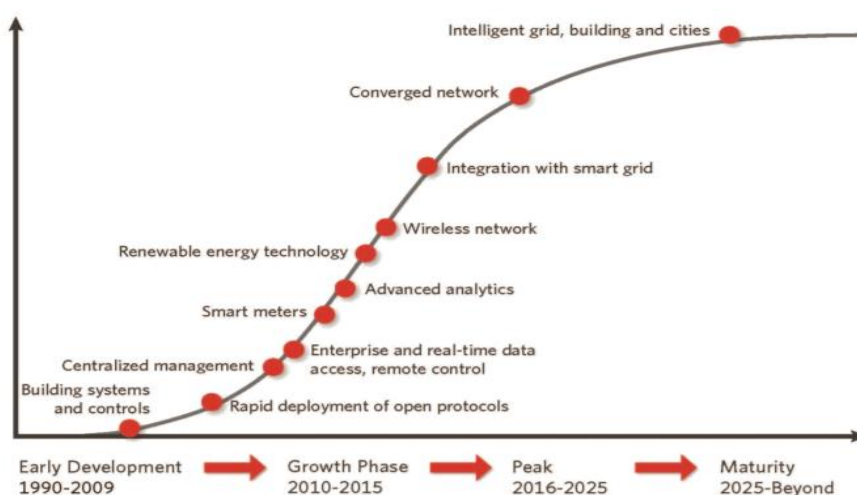
Εικόνα 2: Χαρακτηριστική περίπτωση στέγης τύπου ‘χλοοτάπητα’ τον 19^ο αιώνα στο Τρόντχαϊμ της Νορβηγίας

Στη συνέχεια, όσον αφορά το κομμάτι των αυτοματισμών και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τα σημερινά έξυπνα σπίτια, αυτό έγινε κατά κύριο λόγο δυνατό μόλις τον 21^ο αιώνα χάρη στην ραγδαία πρόοδο της τεχνολογίας.

Επιπλέον, η έρευνα για την ενσωμάτωση των διάφορων συστημάτων αυτόματου ελέγχου στα κτιριακά κελύφη ξεκίνησε κατά κύριο λόγο στα τέλη του 20^{ου} αιώνα, ενώ οι πρώτες πειραματικές δοκιμές έγιναν δυνατές στις αρχές της 3^{ης} χιλιετίας με την τεράστια ώθηση που έδωσε η μαζική χρήση του ίντερνετ.

Η γρήγορη ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας συνέπεσε και με την είσοδο των συσκευών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αγορά όπως των φωτοβολταϊκών, των ηλιακών συλλεκτών, των αντλιών θερμότητας κτλ. κάνοντας δυνατή την κατασκευή πραγματικά έξυπνων σπιτιών.

Το διάγραμμα 1 που παρατίθεται παρακάτω, αποδεικνύει το πόσο μεγάλη πρόοδος συντελέστηκε τα τελευταία χρόνια.



Διάγραμμα 1: Απεικόνιση των προτάσεων για έξυπνες κατοικίες που διατίθεται εμπορικά. Παρατηρείται ο μικρός κύκλος ζωής των έξυπνων κτιρίων αλλά και οι τεράστιες δυνατότητες εξέλιξής τους

Βέβαια η αξιοποίηση πηγών όπως ο ήλιος, ο αέρας ή το νερό έχει τις πηγές της σε πολύ παλαιούς χρόνους, σημειώνοντας πως από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα υπάρχει πληθώρα παραδειγμάτων, από τις ευφυείς αρχιτεκτονικές κατασκευές των αρχαίων Ελλήνων, που είχαν σχεδιαστεί έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται όσο το δυνατόν καλύτερα το ηλιακό φως, μέχρι τα διάφορα είδη ανεμόμυλων και νερόμυλων.

Ωστόσο, στην σύγχρονη εποχή οι καινούργιες τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν είναι δυνατό να εκμεταλλευτούν πολύ μεγαλύτερα ποσά ενέργειας και μάλιστα μπορούν να διατεθούν σε μαζική κλίμακα.

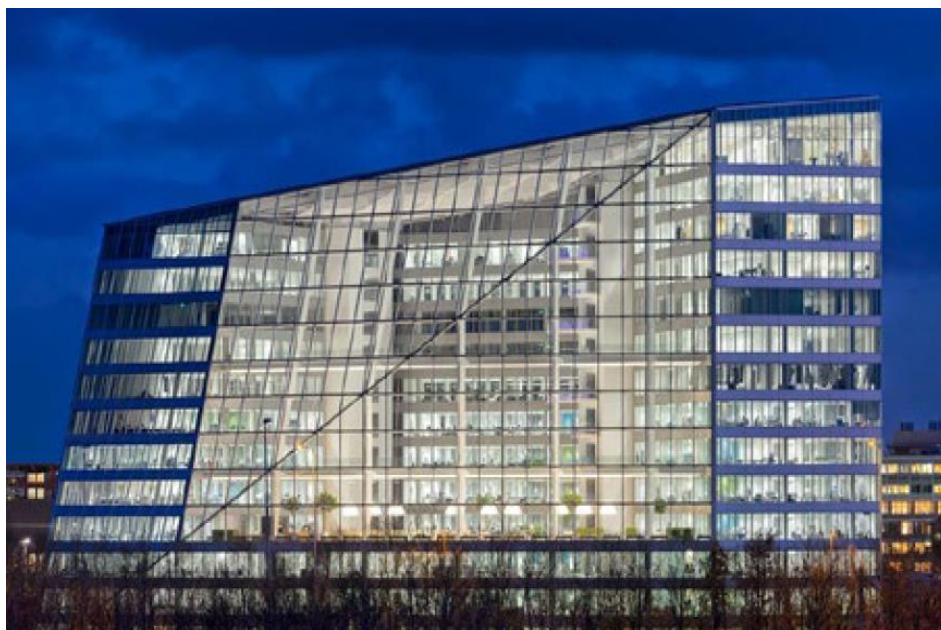
1.3: Παραδείγματα έξυπνων σπιτιών

Στην σημερινή εποχή υπάρχουν πάρα πολλά παραδείγματα σπιτιών που εμφανίζουν όλα ή ορισμένα από τα χαρακτηριστικά που συναντώνται σε έξυπνα κτίρια. Η ύπαρξη αρκετών καινοτόμων τεχνολογιών έχει καταστήσει δυνατή την δημιουργία πολλών διαφορετικών ειδών ‘έξυπνων’ σπιτιών.

Παρακάτω θα γίνει μία προσπάθεια να αναφερθούν τα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα.

➤ Έξυπνα κτίρια υπηρεσιών

Το έξυπνο κτίριο ‘Edge’ στο Άμστερνταμ (Εικόνα 3) είναι ένα από τα καλύτερα παραδείγματα έξυπνου κτιρίου που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες στην Ευρώπη. Το παρόν κτίριο παρουσιάζει 70% λιγότερη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος σε σχέση με τους συμβατικούς ανταγωνιστές του. Η στέγη και νότια ταπετσαρία ενσωματώνουν την μεγαλύτερη σειρά φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σχέση με οποιοδήποτε κτίριο υπηρεσιών στην Ευρώπη. Ένα υδροφόρου ορίζοντα θερμικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας παρέχει όλη την ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση και ψύξη. Επί προσθέτως, μία αντλία θερμότητας συνδέεται στο συγκεκριμένο σύστημα αυξάνοντας σημαντικά την αποδοτικότητά του. Το κτίριο συνδέεται με τους χρήστες του μέσω μιας εφαρμογής smartphone, η οποία τους κατευθύνει στις διαθέσιμες θέσεις παρκινγκ και γραφείου, προσαρμόζει τις συνθήκες του εργασιακού περιβάλλοντος, όπως τη θερμοκρασία και την φωτεινότητα οπουδήποτε πηγαίνει ο χρήστης. Η έξυπνη σχεδίαση, η μειωμένη κατανάλωση και τα υψηλά επίπεδα συνδεσιμότητας που παρουσιάζει κάνουν το συγκεκριμένο έξυπνο κτίριο ένα από τα καλύτερα στον κόσμο [8].



Εικόνα 3: Το κτίριο ‘Edge’ στο Άμστερνταμ

➤ Κατοικίες με δυνατότητα αποθήκευσης φορτίων

Μία ντουζίνα κατοικιών στην γειτονιά Oud-Heverlee του Βελγίου είναι εξοπλισμένες με μία σειρά τεχνολογιών ώστε να είναι ικανές να μετατρέπουν το μέγιστο δυνατό φορτίο. Αποτελούν ένα μείγμα από παλιά και καινούργια σπίτια με ικανότητες παραγωγής φωτοβολταϊκής ενέργειας και ηλιακής θερμικής ενέργειας, ενώ είναι συγχρόνως εξοπλισμένες και με αντλίες θερμότητας. Μερικά από τα σπίτια είναι εφοδιασμένα με δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας (Εικόνα 4), μπαταρίες και άλλες παρόμοιες συσκευές. Όλες οι κατοικίες παρακολουθούνται από εξελιγμένα μόνιτορ, αισθητήρες και συστήματα αυτόματου ελέγχου, από ένα κεντρικό εγκέφαλο. Ο στόχος είναι όλες οι συγκεκριμένες κατοικίες να λειτουργούν όσο το δυνατόν περισσότερο ή (στο ιδανικό σενάριο) και εντελώς ανεξάρτητα από το κεντρικό σύστημα παροχής ενέργειας της περιοχής, έχοντας την ικανότητα να παράγουν μόνες τους την ενέργεια που χρειάζονται μέσω των ανανεώσιμων πηγών. Η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας θα επιτρέπει στο σύστημα αυτόματου ελέγχου να καθοδηγεί τα φορτία προς τις απαιτούμενες χρήσεις, στο χρόνο ζήτησης τους [9].



Εικόνα 4: Σύστημα ενεργειακά καινοτόμων τεχνολογιών στο Βέλγιο: Δεξαμενή εποχιακής αποθήκευσης, τροφοδοτούμενη από θερμικό ηλιακό συλλέκτη

- Κτίρια με δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης από τρίτους πλεοναζόντων ποσών ενέργειας

Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι χρήση της περιττής ηλεκτρικής ενέργειας των κατοικιών μέσω μπαταριών ή ανάλογων συσκευών αποθήκευσης για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η πόλη του Άμστερνταμ αποτελεί μία αντιπροσωπευτική περίπτωση έχοντας τα ηνία στον τομέα της προώθησης των ηλεκτρικών οχημάτων (Εικόνα 5). Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε συνδυασμό με την ολοένα και μεγαλύτερη πολιτική αποφασιστικότητα για την προώθηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, κάνει αυτή τη πρόταση ιδιαίτερα ελκυστική. Αναμένεται να υπάρξει περαιτέρω μείωση των ρύπων καθώς θα μεγιστοποιηθεί η φόρτιση των οχημάτων από καθαρές πηγές ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα ο αυξημένος διαθέσιμος αριθμός συσκευών φόρτισης που θα παρέχεται στα αυτοκίνητα θα εξαλείψει ένα από τα σπουδαιότερα μειονεκτήματα που αντιμετωπίζουν αυτήν τη στιγμή. Η συνεχής αύξηση της ζήτησης είναι αποφασιστικής σημασίας για την επιτυχία αυτής της πρότασης [10].



Εικόνα 5 : Ηλεκτρικό όχημα στο Άμστερνταμ

Συνεχίζοντας, η τηλεθέρμανση αποτελεί και εκείνη ένα χαρακτηριστικό που αντιπροσωπεύει ένα έξυπνο κτίριο. Η περιοχή της Κοζάνης αποτελεί ένα καλό παράδειγμα όπου η πλεονάζουσα θερμότητα από τα εργοστάσια της ΔΕΗ χρησιμοποιείται για την θέρμανση των γειτονικών κατοικιών.

Στις χώρες τις Βόρειας Ευρώπης ωστόσο, έχει γίνει μία προσπάθεια να προχωρήσει αυτή η ιδέα ένα βήμα παραπέρα, επιχειρώντας να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε ποσό πλεονάζουσας θερμότητας δύναται να προκύψει από οποιαδήποτε πηγή. Η κατηγορία είναι τεράστια, καθώς σε αυτή μπορούν να συμπεριληφθούν ποσά θερμότητας που προέρχονται από διάφορες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας, όπως τα ηλιακά πάνελ, μέχρι και τα φορτία θερμότητας που προκύπτουν από συστήματα ψύξης, κέντρα δεδομένων κτλ. Η Δανία είναι πρωτοπόρος στον συγκεκριμένο τομέα.

Μία χαρακτηριστική περίπτωση που αξίζει να αναφερθεί, είναι η θέρμανση κατοικιών από τα σουπερμάρκετ μέσω τηλεθέρμανσης. Περίπου 20 σουπερμάρκετ στη Δανία αποστέλλουν την πλεονάζουσα θερμότητά τους, που προκύπτει από τα συστήματα ψύξης που απαιτούνται για τη διατήρηση των προϊόντων τους, σε συστήματα τηλεθέρμανσης, τα οποία με τη σειρά τους παρέχουν θέρμανση σε ιδιωτικές κατοικίες. Κάθε ένα από τα συγκεκριμένα σουπερμάρκετ μπορεί να εξοικονομήσει απώλειες μεγαλύτερες από 25.000 ευρώ ετησίως σε καύσιμο, να μειώσει κατά 34% τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που απαιτούνται για τις διάφορες λειτουργίες των κατοικιών, ενώ ταυτόχρονα είναι σε θέση να εφοδιάσει με θερμότητα μέχρι και 16 σπίτια το χρόνο [11].

➤ Κτίρια με έξυπνες προσόψεις

Μία επιπλέον κατηγορία έξυπνων κτιρίων, είναι τα κτίρια που κατασκευάζονται με έξυπνα υλικά, και συναντώνται πιο συχνά, και εκείνα όπου βασίζονται σε πρωτοποριακά αρχιτεκτονικά σχέδια και τοίχους. Τα τελευταία, προς το παρόν δεν κατασκευάζονται μαζικά και συνήθως αποτελούν στο μέρος που βρίσκονται, σημείο αναφοράς σε σχέση με τα συμβατικά κτιριακά κελύφη, καθώς ο μοναδικός, πρωτότυπος και συχνά ακριβός τρόπος κατασκευής τους δεν καθιστά εύκολη την μαζική παραγωγή τους.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα έξυπνης πρόσοψης όπου είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα είναι το χρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση πρόγραμμα κατασκευής μιας πολυλειτουργικής και αποδοτικής ενεργειακά ταπετσαρίας για την ανακαίνιση ή ανακατασκευή κτιριακών μονάδων (Εικόνα 6). Το πρόγραμμα αυτό ξεκίνησε το 2012 και ανέπτυξε μία καινοτόμο, ενεργειακά αποδοτική και πολυλειτουργική πρόσοψη, η οποία υπό προϋποθέσεις μπορεί να καταστεί ιδανική για ιδιωτικές κατοικίες. Στην συγκεκριμένη ταπετσαρία βρίσκονται ενσωματωμένα ενεργειακά αποδοτικά πάνελ, διάφοροι μετρητές και αισθητήρες, καθώς και πρωτοποριακά σύνθετα υλικά πρόσοψης τα οποία μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στην πρόσοψη του οποιοδήποτε υποψήφιου προς ανακαίνιση κτιρίου.

Το σημείο που κάνει την συγκεκριμένη πρόσοψη μοναδική είναι η ύπαρξη ενός μικροεπεξεργαστή μέσα της, ο οποίος συνδέεται με το κεντρικό σύστημα διαχείρισης ενέργειας του κτιρίου και επιτρέπει τον πλήρη έλεγχο της. Για παράδειγμα, μπορεί να καθορίσει την κλίση και κατεύθυνση των φωτοβολταϊκών σε σχέση με τη θέση του ηλίου ή και την ποσότητα νερού που απαιτείται για την ανάπτυξη των πράσινων οργανικών στοιχείων της [12].



Εικόνα 6: Έξυπνη πρόσοψη κτιρίου στην Μερίδα της Ισπανίας

➤ Κτίρια που χρησιμοποιούν έξυπνες συσκευές

Τα συγκεκριμένα κτίρια αποτελούν το συνηθέστερο τύπο κτιρίων που θεωρητικά μπορούν να χαρακτηριστούν έξυπνα. Δεν απαιτείται κανένα ιδιαίτερο κόστος για την αναβάθμισή τους, σε αντίθεση με τα προηγούμενα παραδείγματα που αναφέρθηκαν, καθώς οι προς εγκατάσταση έξυπνες συσκευές, έχουν σχετικά εύκολη δυνατότητα εγκατάστασης αλλά και μικρό χρόνο απόσβεσης. Η ενσωμάτωση τους στο κτιριακό κέλυφος δεν μετατρέπει αυτόματα το κτίριο σε πραγματικά έξυπνο όπως περιγράφηκε σε προηγούμενες ιδανικές περιπτώσεις. Παρόλα αυτά αποτελούν ένα βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση, καθώς όχι μόνο αποτελούν βασική προϋπόθεση για μελλοντική χρήση εξελιγμένων συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, αλλά και επειδή οι προαναφερθείσες εξαιρετικές περιπτώσεις είναι δύσκολο να εφαρμοστούν προς το παρόν σε ευρεία κλίμακα, γιατί πολλές από αυτές βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο.

Ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά παραδείγματα έξυπνων συσκευών είναι η χρήση έξυπνων μετρητών αντί των παραδοσιακών (Εικόνα 7). Η ιδέα αυτή έχει ήδη βρει πρόσφορο έδαφος σε αρκετές χώρες κυρίως στη βόρεια Ευρώπη με πρώτη και καλύτερη τη Σουηδία. Η Σουηδία κατάφερε να επιτύχει την πλήρη ανάπτυξη των έξυπνων μετρητών στη χώρα ήδη από το 2009. Από την 1^η Ιουλίου του 2009 η χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας στα Σουηδικά σπίτια πραγματοποιείται σε μηνιαία βάση και στηρίζεται σε δεδομένα πραγματικής κατανάλωσης, ενώ ακόμη είναι δυνατή η αμφίδρομη ‘επικοινωνία’ του ιδιοκτήτη της κατοικίας με τον αντίστοιχο μετρητή του.



Εικόνα 7: Απεικόνιση ενός έξυπνου μετρητή

Η μετακίνηση του καταναλωτή από τους συμβατικούς στους έξυπνους μετρητές του επιτρέπει να ελέγχει καλύτερα την ενεργειακή κατανάλωση της οικίας του, να εντοπίζει και να περιορίζει τις περιοχές όπου συμβαίνει ενεργειακή σπατάλη. Το τελευταίο είναι δυνατό χάρη στην δυνατότητα των έξυπνων μετρητών να παρουσιάζουν μία, μέχρι σήμερα, αναλυτική καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ συγχρόνως μπορούν να ενημερώνουν μέσω εφαρμογής κινητού τηλεφώνου τον ενδιαφερόμενο για την κατανάλωση της οικίας του σε πραγματικά δεδομένα. Σήμερα, αποτελούν μία από τις κορυφαίες προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης καθώς μέχρι το 2020 υπάρχει στόχος να προσφέρεται σε κάθε ιδιοκτησία, η δυνατότητα εγκατάστασης ενός έξυπνου μετρητή [13].

Ένα πρόσθετο παράδειγμα, που κινείται σε ανάλογο μήκος κύματος, είναι η χρήση αντλιών θερμότητας (Εικόνα 8). Οι αντλίες θερμότητας όπως και οι έξυπνοι μετρητές έχουν γνωρίσει και αυτές θετική ανταπόκριση από τους καταναλωτές, ιδιαίτερα στις χώρες της βόρειας Ευρώπης, με πιο αντιπροσωπευτικό το παράδειγμα της Φιλανδίας.

Οι αντλίες θερμότητας μετατρέπουν τη θερμότητα του αέρα, του εδάφους και του νερού σε χρήσιμη θερμότητα. Παράλληλα, είναι σε θέση να επαναχρησιμοποιήσουν την πλεονάζουσα ενέργεια που μπορεί να προκύψει από τις διάφορες βιομηχανικές διεργασίες ή ακόμη και από τον αέρα που εξάγεται από τα νοικοκυριά. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ηλεκτρική και θερμική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές οι αντλίες θερμότητας μπορούν να αποτελέσουν μία 100% λύση καθαρής ενέργειας για την θέρμανση και ψύξη των κτιριακών κελυφών. Επιπλέον, αποτελούν σημαντικό στοιχείο για την ανάπτυξη αυτόνομων έξυπνων περιοχών που επιθυμούν να λειτουργούν ανεξάρτητα από το κεντρικό σύστημα μεταφοράς ενέργειας.

Όσον αφορά το παράδειγμα της Φιλανδίας, η συγκεκριμένη χώρα οραματίζεται, με την ώθηση ανάλογων πολιτικών, μέχρι το 2020 να έχουν εγκατασταθεί περίπου ένα εκατομμύριο αντλίες θερμότητας (σε μία χώρα με πληθυσμό 5.4 εκατομμυρίων κατοίκων) οι οποίες με συνολική χωρητικότητα λίγο μεγαλύτερη από 6000MW θα είναι σε θέση να παράγουν περισσότερα από 10 TWh ανανεώσιμης ενέργειας ετησίως [14].



Εικόνα 8 : Αντλίες θερμότητας που διατίθενται για εμπορική χρήση

Επί προσθέτως, θα άξιζε να γίνει μία αναφορά στις προτάσεις που επιτρέπουν την αποθήκευση της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά και ηλιακά πάνελ αντίστοιχα.

Προς το παρόν δεν έχουν παρουσιαστεί ιδιαίτερα οικονομικά επωφελείς λύσεις παρά το γεγονός πως οι δυνατότητες αποθήκευσης ενέργειας σε οποιαδήποτε μορφή από τα κτιριακά κελύφη είναι αρκετά υψηλές. Αναπόφευκτα, η αποθήκευση ενέργειας θα παίξει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη ενός έξυπνου σπιτιού στο μέλλον, καθώς η συνεισφορά της είναι καθοριστικής σημασίας για την ανάπτυξη ενός αυτόνομου δικτύου ενέργειας.

Επί του παρόντος, η πιο σοβαρή πρόταση είναι εκείνη της σύνδεσης των φωτοβολταϊκών και των ηλιακών πάνελ με το κεντρικό δίκτυο διανομής ενέργειας έτσι ώστε να αποφεύγεται η μη αξιοποίηση της. Διάφορες πολιτικές προσπαθούν να ωθήσουν τους ιδιοκτήτες κατοικιών προς την συγκεκριμένη κατεύθυνση με πιο χαρακτηριστική την περίπτωση της Γερμανίας [15].

Καταλήγοντας θα άξιζε να σημειωθεί πως και τα κτίρια που η κατασκευή τους βασίζεται σε έξυπνα υλικά μπορούν εν δυνάμει να χαρακτηριστούν έξυπνα. Ένα μεγάλο κομμάτι αυτού του ειδικού τομέα συνεχίζει να βρίσκεται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο, παρόλα αυτά δεν θα πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός πως η παραγωγή κτιριακών κελυφών που βασίζονται σε προηγμένα υλικά μπορεί να επιφέρει εξίσου σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση με ότι συνεπακόλουθες θετικές επιπτώσεις μπορεί αυτό να έχει για το περιβάλλον και την εξοικονόμηση οικονομικών πόρων του ιδιοκτήτη.

Είναι γεγονός πως ορισμένα από τα τελευταία παραδείγματα που αναφέρθηκαν δεν είναι αρκετά εντυπωσιακά αλλά σήμερα αποτελούν την πλειοψηφία αυτών που αποκαλούνται δημόσια ‘έξυπνα σπίτια’. Πρέπει να γίνει κατανοητό πως η μαζική κατασκευή υπερεξοπλισμένων ‘έξυπνων’ σπιτιών αποτελεί σήμερα μία ουτοπία και επομένως η προώθηση της συγκεκριμένης ιδέας θα πρέπει να γίνει τμηματικά. Τα τελευταία παραδείγματα αποτελούν λοιπόν κυρίως βήματα προς την σωστή κατεύθυνση.

1.4: Νομοθεσία

Προοδευτικά νομοθετικά μέτρα που καλύπτουν διάφορους τομείς σε διάφορες χώρες έχουν ανοίξει τον δρόμο για ένα πιο έξυπνο κτίριο. Η κυριότερη για την ενεργειακή απόδοση νομοθετική πρόβλεψη, η οποία καλύπτει και τη Ελλάδα, είναι η ακόλουθη:

Οδηγία 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 25ης Οκτωβρίου 2012 , για την ενεργειακή απόδοση, την τροποποίηση των οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ.

Στα συμπεράσματα του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 4ης Φεβρουαρίου 2011 διαπιστώθηκε ότι η ΕΕ δεν είναι σε καλό δρόμο για να επιτευχθεί ο στόχος του 20% υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης έως το 2020 σε σύγκριση με τις προβλέψεις. Στο Σχέδιο Ενεργειακής Απόδοσης, η οποία εγκρίθηκε από την Επιτροπή στις 8 Μαρτίου 2011, επιβεβαιώθηκε ότι η ΕΕ όχι μόνο απέχει του στόχου, αλλά είναι σε θέση να επιτύχει μόνο το ήμισυ του στόχου του 20%.

Ως αποτέλεσμα αυτής της διαπίστωσης, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε μια νέα οδηγία για την ενεργειακή απόδοση (EED), η οποία περιλάμβανε αρκετές καινούργιες πολιτικές, προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος εξοικονόμησης 20%. Μετά από μια μακρά και αμφιλεγόμενη συζήτηση με τα κράτη μέλη, συμφωνήθηκε το κείμενο της Οδηγίας, στις 14 Ιουνίου 2012, το περιεχόμενο του οποίου εγκρίθηκε από τα κράτη μέλη στις 4 Οκτωβρίου. Η Οδηγία τέθηκε σε ισχύ στις 4 Δεκεμβρίου 2012, ωστόσο για τις απαιτήσεις της δόθηκε παράταση να εφαρμοστούν από τα κράτη μέλη έως τις 5 Ιουνίου 2014.

Οι υποχρεώσεις που επωμίστηκαν τα κράτη-μέλη καθώς και οι στόχοι που τέθηκαν με τη συγκεκριμένη οδηγία παρατίθενται παρακάτω:

- Πεδίο εφαρμογής και στόχος:

Η οδηγία καθορίζει το κοινό πλαίσιο δράσεων για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης στο πλαίσιο της Ένωσης, προκειμένου να εξασφαλιστεί η επίτευξη του στόχου 20% της Ένωσης το 2020 και η διάνοιξη του δρόμου για περαιτέρω βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση.

Η Οδηγία θεσπίζει κανόνες για την άρση των φραγμών στην αγορά ενέργειας και την αντιμετώπιση των αδυναμιών της αγοράς που παρεμποδίζουν την αποτελεσματικότητα της προσφοράς και χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και προβλέπει τη θέσπιση ενδεικτικών εθνικών στόχων ενεργειακής απόδοσης για το 2020.

- Στόχοι ενεργειακής απόδοσης:

Κάθε κράτος μέλος υποχρεούται να ορίσει ενδεικτικό εθνικό στόχο ενεργειακής απόδοσης στην πρωτογενή ή τελική εξοικονόμηση ενέργειας. Όταν ορίζεται ένας στόχος για την ενεργειακή απόδοση, τα κράτη μέλη πρέπει να εξετάσουν τους τρόπους, που θα χρησιμοποιήσουν για να επιτύξουν τη συμμόρφωση στον Κοινοτικό αυτό κανόνα. Στο περιεχόμενο αυτής της Οδηγίας περιλαμβάνονται: η προβλεπόμενη τιμή για την κατανάλωση ενέργειας της Ένωσης για το 2020, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1474 Mtoe πρωτογενούς ενέργειας και να μην είναι υψηλότερη από 1078 Mtoe τελικής ενέργειας. Επιπλέον, περιλαμβάνονται τα μέτρα, που θεσπίστηκαν για την επίτευξη των εθνικών στόχων εξοικονόμησης ενέργειας, που εγκρίθηκαν σύμφωνα με την οδηγία 2006/32 /ΕΚ και διάφορα άλλα μέτρα για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

- Σχέδια υποχρέωσης ενεργειακής απόδοσης:

Κάθε κράτος μέλος πρέπει να θεσπίσει ένα σύστημα ελέγχου της ενεργειακής απόδοσης. Το καθεστώς αυτό θα εξασφαλίζει ότι οι διανομείς ενέργειας και οι εταιρείες λιανικής πώλησης ενέργειας που λειτουργούν σε κάθε κράτος μέλος επιδιώκουν το συσσωρευτικό στόχο εξοικονόμησης ενέργειας 20% μέχρι την 31η Δεκεμβρίου 2020.

- Μέτρηση:

Τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να εξασφαλίζουν ότι στο μέτρο που είναι τεχνικά εύλογο, οικονομικά ρεαλιστικό και αναλογικό σε σχέση με τη δυνητική εξοικονόμηση ενέργειας από τους τελικούς καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, η τηλεθέρμανση και το ζεστό νερό οικιακής χρήσης να παρέχονται σε μετρητές που αντικατοπτρίζουν σωστά την πραγματική κατανάλωση ενέργειας του τελικού πελάτη και να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον πραγματικό χρόνο χρήσης.

- Ενέργεια, μετάδοση και διανομή:

Τα κράτη μέλη θα πρέπει να εξασφαλίσουν ότι οι εθνικές ρυθμιστικές αρχές ενέργειας θα λάβουν δεόντως υπ' όψιν κατά την εκτέλεση των κανονιστικών καθηκόντων τις οδηγίες 2009/72 / ΕΚ και 2009/73 / ΕΚ όσον αφορά: τις αποφάσεις τους σχετικά με τη λειτουργία της υποδομής φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας, άλλα και διάφορα μέτρα που σχετίζονται με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Τα κράτη μέλη αξιολογούν και εάν είναι αναγκαίο, λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα για την κατάργηση των κανονιστικών κανόνων, που εμποδίζουν την ενεργειακή απόδοση.

- Ανακαίνιση κτιρίων:

Τα κράτη μέλη πρόκειται να διαμορφώσουν μια μακροπρόθεσμη στρατηγική για την κινητοποίηση επενδύσεων στην ανακαίνιση οικιστικών και εμπορικών κτιρίων. Η στρατηγική αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του κόστους, τις ανακαινίσεις των κτιρίων σε σχέση με τον τύπο κτιρίου, την κλιματική ζώνη που ανήκει, και βάσει τεκμηρίωσης να επιτυγχάνεται μια εκτίμηση της αναμενόμενης εξοικονόμησης ενέργειας, που μπορεί να διασφαλιστεί.

- Υποδειγματικός ο ρόλος των κτιρίων των δημόσιων φορέων:

Κάθε κράτος μέλος εξασφαλίζει ότι από την 1η Ιανουαρίου 2014, τα δημόσια κτίρια που του ανήκουν και χρησιμοποιούνται από την κυβέρνησή του, ανακαινίζονται κάθε χρόνο για να καλύπτουν τουλάχιστον τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που έχουν τεθεί σύμφωνα με *την οδηγία 2010/31 / ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Μαΐου 2010 , για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.*

Όπως υποστηρίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση, τα κτίρια των κρατών μελών έχουν σημαντικές αναξιοποίητες δυνατότητες όσον αφορά τα ενεργειακά χαρακτηριστικά τους και η προσπάθεια για μια οικονομικά και ενεργειακά αποδοτική κατοικία "αν υλοποιηθεί, θα σημαίνει ότι το 2020 η ΕΕ θα καταναλώσει κατά 11% λιγότερη τελική ενέργεια".

Σημαντικά σημεία στόχου αυτής της Οδηγίας εκτίθενται παρακάτω. Από τις 31 Δεκεμβρίου 2020, τα νέα κτίρια στην ΕΕ θα πρέπει να καταναλώνουν «σχεδόν μηδενική ενέργεια». Οι δημόσιες αρχές θα πρέπει να δώσουν το παράδειγμα κατασκευάζοντας, αγοράζοντας ή ενοικιάζοντας ένα τέτοιο "κτίριο σχεδόν μηδενικής ενέργειας" ως τις 31 Δεκεμβρίου 2018. Ο ορισμός του κτιρίου σχεδόν μηδενικής ενέργειας συμφωνήθηκε ως: 'κτίριο με σχεδόν μηδενική ενέργεια': ένα κτίριο που έχει πολύ υψηλές ενεργειακές επιδόσεις, και καθορίζεται από τις προαναφερθείσες οδηγίες. Επιπλέον, θα πρέπει να καλυφθεί η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται, σε όσο υψηλότερο βαθμό γίνεται από την ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

Τα κράτη μέλη οφείλουν να καταρτίσουν εθνικά σχέδια για την αύξηση του αριθμού των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

Επιπλέον, τα κράτη μέλη, ακολουθώντας το κυριότερο παράδειγμα του δημόσιου τομέα, οφείλουν να αναπτύσσουν πολιτικές και να λαμβάνουν μέτρα, προκειμένου να τονωθεί η μετατροπή κτιρίων που ανακαινίζονται σε κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας και να ενημερώσουν την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σχετικά με τα εθνικά τους σχέδια.

Ανά τριετία, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θα δημοσιεύει έκθεση σχετικά με την πρόοδο των κρατών μελών όσον αφορά την αύξηση του αριθμού των κτηρίων που χαρακτηρίζονται ως ‘μηδενικής’ κατανάλωσης ενέργειας. Βάσει της έκθεσης αυτής, η Επιτροπή θα εκπονήσει σχέδιο δράσης και, εάν χρειαστεί, θα προτείνει νέα μέτρα για την αύξηση του αριθμού των κτιρίων αυτών, με σκοπό να ενθαρρύνει τις βέλτιστες πρακτικές όσον αφορά τον οικονομικά αποδοτικό μετασχηματισμό υφιστάμενων κτιρίων σε κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

Τέλος, στην οδηγία επισημαίνεται μια πιο λεπτομερής και αυστηρή διαδικασία για την έκδοση πιστοποιητικών ενεργειακών επιδόσεων από τα κράτη μέλη. Τα κράτη μέλη, βάσει αυτής, θα πρέπει να λογοδοτούν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, και σε περίπτωση που το χάσμα μεταξύ των σημερινών απαιτήσεων και των βέλτιστων δαπανών είναι μεγαλύτερο από 15% θα πρέπει να θεσπιστούν κυρώσεις για τη μη συμμόρφωση.

Καταλήγοντας, θα πρέπει να καθοριστούν οι κανόνες σχετικά με το ύψος των κυρώσεων που θα επιβάλλονται σε περίπτωση παραβίασης των εθνικών διατάξεων που θεσπίζονται βάσει της παρούσας οδηγίας. Οι προβλεπόμενες κυρώσεις θα πρέπει να είναι αποτελεσματικές, αναλογικές και αποτρεπτικές [16,17,18].

1.5: Σημερινή κατάσταση: Ποιες χώρες υποστηρίζουν και είναι έτοιμες για τη υποδοχή των έξυπνων κατοικιών

Ένας από τους ευκολότερους αλλά και αποτελεσματικότερους τρόπους που βοηθάνε στην κατανόηση για το αν μία περιοχή ακολουθεί τα σωστά βήματα έτσι ώστε να καταστεί έτοιμη στο μέλλον για κατασκευή έξυπνων κατοικιών, είναι ο λεγόμενος ‘δείκτης περιβάλλοντος έξυπνου κτιρίου’ που παρουσιάζεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$SBEI = \frac{\left[\left(\frac{BEP+FEC}{2} + CMF + IAQ \right) + \left(SM + \frac{DP+FLX}{2} + CON \right) + (DR+BES+EV) + \left(RES+PV + \frac{HP+DH}{2} \right) \right]}{12} \quad (1.1)$$

Όπου:

- SBEI: Δείκτης περιβάλλοντος έξυπνου κτιρίου
- BEP: Η απόδοση του ενεργειακού κελύφους και ισούται με:

$$BEP = \frac{U_{value}^{residential}}{\% residential} + \frac{U_{value}^{non-residential}}{\% non-residential}$$

- FEC: Η τελική ενεργειακή κατανάλωση και ισούται με:

$$FEC = \frac{Energy\ consumption^{residential}}{\% residential} + \frac{Energy\ consumption^{non-residential}}{\% non-residential}$$

- CMF: Η ικανότητα να παραμένει ο κλειστός κτιριακός χώρος θερμός ή ψυχρός ανάλογα τις απαιτήσεις της εποχής και ισούται με:

$$CMF = 1 - \frac{\% \text{ of pop incapable to keep home(warm-cool)}}{2}$$

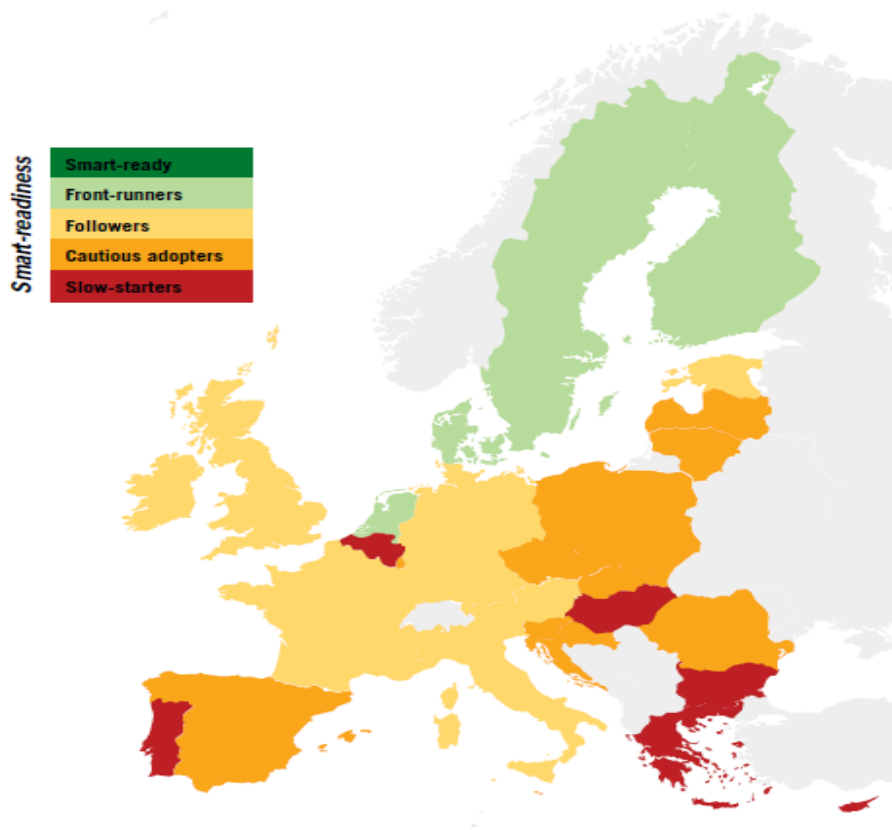
- IAQ: Υγιές περιβάλλον διαβίωσης και εργασίας και ισούται με: 1-(το ποσοστό του πληθυσμού που διαμένει σε χώρο κατοικίας στον οποίο παρατηρούνται διαρροές στην στέγη, στα παράθυρα, στο πάτωμα ή σάπια κουφώματα ή πάτωμα)
- RES: Η ενεργειακή κατανάλωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ισούται με: το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική ενεργειακή κατανάλωση.

- PV: Φωτοβολταϊκά και ισούται με:

$$PV = \frac{PV \text{ Production(TOE)}}{\text{population} * \text{energy need per capita}}$$

- HP: Αντλίες θερμότητας και ισούται με: το ποσοστό του αριθμού των αντλιών θερμότητας
- DH: Τηλεθέρμανση και ισούται με το μερίδιο της τηλεθέρμανσης στην τελική ενεργειακή κατανάλωση.
- SM: Η ενσωμάτωση έξυπνων μετρητών και ισούται με: το ποσοστό των κατοικιών στις οποίες έχει εγκατασταθεί έξυπνος μετρητής.
- DP: Δυναμική τιμολόγηση και ισούται με: το ποσοστό των οικιακών καταναλωτών στους οποίους παρέχονται ποσά ενέργειας μέσω δυναμικής τιμολόγησης, δηλαδή τιμολόγησης η οποία βασίζεται σε πραγματικά/σημερινά δεδομένα αγοράς και ανάλογα τις δυνατότητες του συγκεκριμένου καταναλωτή.
- FLX: Ευέλικτη αγορά και ισούται με: Το μερίδιο στην αγορά του μεγαλύτερου παραγωγού ενέργειας.
- CON: Συνδεσιμότητα και ισούται με: το ποσοστό των κατοικιών με σύνδεση ιντερνέτ
- DR: Ανταπόκριση ζήτησης και ισούται με: Τις εκτιμήσεις οι οποίες πραγματοποιούνται από τους οργανισμούς JRC και SEDC για την άμεση ενεργειακή ανταπόκριση της αγοράς.
- BES: Η ικανότητα ενεργειακής αποθήκευσης του κτιριακού κελύφους και ισούται με: το ποσοστό των κτιρίων με ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας.
- EV: Ηλεκτρικά οχήματα και ισούται με: Το μερίδιο που καταλαμβάνει η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύνολο της αγοράς των αυτοκινήτων.

Η Εικόνα 9 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της παραπάνω εξίσωσης για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Εικόνα 9: Ικανότητα υποδοχής έξυπνων σπιτιών από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως ακόμη και αυτή η μέθοδος που σκοπεύει να δείξει τις δυνατότητες μιας περιοχής να δεχθεί την κατασκευή έξυπνων σπιτιών παραμένει ατελής. Μελλοντικές εκδοχές του δείκτη περιβάλλοντος έξυπνου κτιρίου θα πρέπει να αρχίσουν να συμπεριλαμβάνουν επιπλέον χαρακτηριστικά που αρχίζουν να συναντώνται πλέον συχνά σε έξυπνες κατοικίες, με πιο σημαντική την περίπτωση της ενσωμάτωσης αυτόματων ή αυτοδιδασκόμενων συστημάτων ελέγχου [19].

Επομένως, η απάντηση στην ερώτηση του εάν είναι προετοιμασμένη η Ευρωπαϊκή Ένωση για την εισαγωγή των έξυπνων κτιρίων, η απάντηση είναι προς το παρόν δυστυχώς ένα ξεκάθαρο όχι. Καμία χώρα δεν είναι πλήρως έτοιμη για τα οφέλη που η έξυπνη επανάσταση κτιρίων θα επιφέρει, καθώς δεν είναι ακόμη σε θέση να καλύψουν τις προδιαγραφές που απαιτούνται.

Οι βόρειες ευρωπαϊκές χώρες που στο διάγραμμα απεικονίζονται με πράσινο χρώμα δεν αποτελούν εξαίρεση. Σίγουρα έχουν προχωρήσει αρκετά στον συγκεκριμένο τομέα, αλλά ο βαθμός ετοιμότητάς τους αφορά μόνο ένα περιορισμένο κομμάτι χαρακτηριστικών που προσδιορίζουν ένα ιδανικό έξυπνο σπίτι. Επιπλέον, το γεγονός πως ένας μεγάλος αριθμός χωρών δεν έχει πρακτικά μπει καν στην διαδικασία προετοιμασίας για την εισαγωγή των έξυπνων κατοικιών εμφανίζει τους πρωτοπόρους να βρίσκονται περισσότερο μπροστά στον συγκεκριμένο τομέα από ότι πραγματικά είναι και απαιτείται.

Παρόλα αυτά, εάν συνεχιστεί η πρόοδος με τον ίδιο ρυθμό, στο κοντινό μέλλον τα έξυπνα σπίτια θα αποτελούν αντί για μία υπόθεση, μία πραγματικότητα. Δεν θα πρέπει να ξεχνιέται πως ότι πριν μία δεκαετία ήταν μία θεωρητική πιθανότητα, είναι σήμερα τεχνολογικά δυνατό.

Κεφάλαιο 2: Παρουσίαση Τεχνολογιών

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο πρόκειται να γίνει ανάλυση των μεθόδων που επιλέχτηκαν να εφαρμοστούν στο έξυπνο σπίτι. Αρχικά θα παρουσιαστεί το είδος των τεχνολογιών με το οποίο θα ασχοληθεί η παρούσα εργασία και στη συνέχεια ορισμένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τους, όπως ο τρόπος λειτουργίας τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους κτλ.

2.1 Κατηγοριοποίηση μεθόδων

Ο πρωταρχικός ενός έξυπνου κτιρίου είναι να καταφέρει να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα ποσά ενέργειας αποδοτικότερα, να ενσωματώσει τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας, να είναι σε θέση να αποθηκεύει παραπάνω ποσά ενέργειας για μελλοντική χρήση (τα οποία δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν από το ίδιο το σπίτι) όταν οι συνθήκες το απαιτήσουν και τέλος να είναι σε θέση μέσω διαδικασίας αυτό-εκπαίδευσης, με την πάροδο του χρόνου να βελτιστοποιήσει διεργασίες όπως η θέρμανση, η ψύξη και ο κλιματισμός.

Από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες, στην Ελλάδα έχουν εφαρμοστεί εκείνες που σχετίζονται κυρίως με την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά. Δεν έχουν γίνει όμως βήματα όσον αφορά την αποθήκευση της ανανεώσιμης αυτής ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα, ενώ εξακολουθεί να υπάρχει και μία πληθώρα εναλλακτικών επιλογών (π.χ. ενέργεια από γεωθερμία) που δεν έχουν γνωρίσει παρόμοια πρόοδο.

Μία διαφορετική κατηγορία, η οποία καταλαμβάνει μεγάλο ποσοστό της έρευνας που αφορά τα έξυπνα σπίτια, είναι η ανάπτυξη συστημάτων αυτόματου ελέγχου τα οποία αναλαμβάνουν να φέρουν σε πέρας την πλειοψηφία των λειτουργιών που απαιτούνται να γίνουν σε ένα σπίτι, από εκείνη του ελέγχου του νερού, ηλεκτρισμού, θέρμανσης και ψύξης της κτιριακής μονάδας, μέχρι εκείνη της ενημέρωσης των υπαλλήλων μιας εταιρείας για τον αριθμό των ελεύθερων θέσεων που βρίσκονται στο χώρο στάθμευσης μέσω κινητού τηλεφώνου.

Τα συστήματα αυτά συχνά έχουν την ικανότητα να αυτό-διορθώνονται σε μία προσπάθεια συνεχής βελτιστοποίησης των κερδών. Αναλυτικότερα, μειώνουν τα κόστη διαχείρισης και συντήρησης καταγράφοντας και αποθηκεύοντας τα δεδομένα σε μία ειδική βάση, ανατρέχοντας σε αυτήν όποτε είναι απαραίτητο. Μπορούν για παράδειγμα, να εντοπίσουν τις μέρες στις οποίες παρατηρείται περιοδικότητα στις ανάγκες του έξυπνου σπιτιού και να προβούν στις απαραίτητες ενέργειες εκ των προτέρων, προσφέροντας ταυτόχρονα και μειωμένο κόστος και άνεση στους ιδιοκτήτες του. Επιπλέον, έχοντας μία γενική εικόνα των αναγκών της κατοικίας, μπορούν να εντοπίσουν που ακριβώς υπάρχουν οι σοβαρότερες απώλειες και να βοηθήσουν στην εύρεση πιθανών τρόπων αντιμετώπισης.

Αξίζει να σημειωθεί, πως τελικός στόχος είναι, εφόσον τα έξυπνα σπίτια γίνουν μία πραγματικότητα σε μαζική κλίμακα, η ενσωμάτωση όλων των κατοικιών σε ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου το οποίο θα ελέγχει την 'έξυπνη' περιοχή και θα φροντίζει να αξιοποιούνται τα περισσεύοντα ποσά ενέργειας (τα οποία θα προέρχονται είτε από ανανεώσιμες είτε από συμβατικές μορφές ενέργειας) και στη συνέχεια θα βελτιστοποιείται η χρήση τους.

Η τελευταία σημαντική κατηγορία έρευνας που αφορά τα έξυπνα σπίτια και είναι εκείνη με την οποία θα ασχοληθεί η παρούσα εργασία, αφορά τη χρήση νέων υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μιας κατοικίας. Τα καινούργια αυτά υλικά ενσωματώνουν πρωτοποριακές τεχνολογίες που τους επιτρέπουν να αναπτύξουν ανώτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με αντίστοιχα συμβατικά.

Συγκεκριμένες τεχνολογίες της παρούσας κατηγορίας μπορούν να εφαρμοστούν χωρίς μεγάλη δυσκολία είτε σε υπάρχοντα, είτε σε υπό κατασκευή σπίτια σε όλη την Ελλάδα. Σε αντίθεση με τις προσπάθειες που γίνονται για την σχεδίαση καινοτόμων και περισσότερο ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων, τα συγκεκριμένα υλικά δεν αποτελούν κάτι το ιδιαίτερα επαναστατικό, αλλά σκοπεύουν να αντικαταστήσουν τα διάφορα συμβατικά εξαρτήματα του κτιριακού κελύφους με νέα, που παρουσιάζουν καλύτερες ιδιότητες. Τα οφέλη που προκύπτουν ωστόσο είναι εξίσου σημαντικά τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο, χωρίς συχνά να απαιτείται να πραγματοποιηθούν αλλαγές στη δομή του κτιριακού κελύφους.

Εναλλακτικές τεχνολογίες που συσχετίζονται με τα εξαρτήματα που συνθέτουν ένα κτίριο, όπως τα τζάμια, τα χρώματα βαφής, τα υλικά μονώσεως, οι στέγες, ο τρόπος λειτουργίας τους, αλλά και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, πρόκειται να αναλυθούν στο παρόν κεφάλαιο.

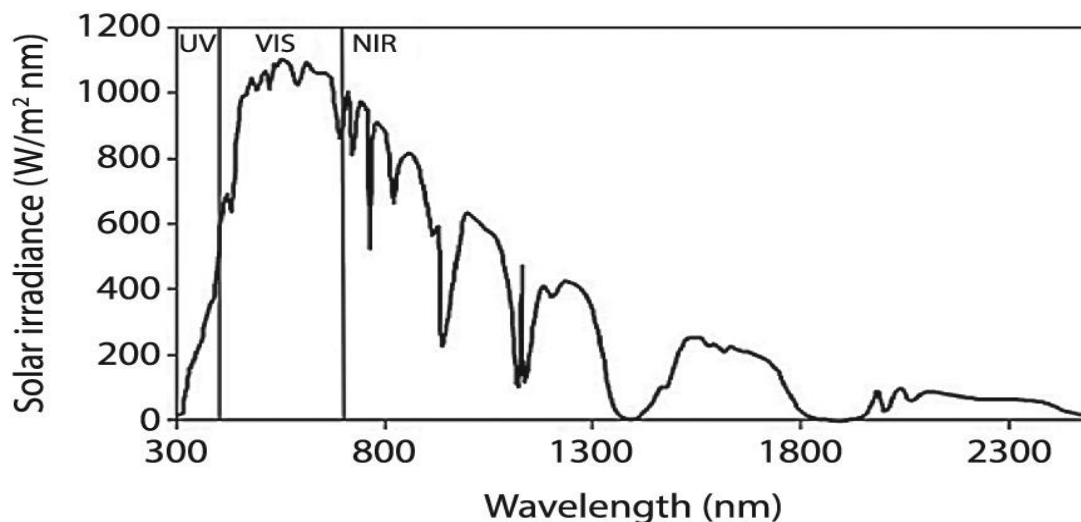
2.2: Ανακλαστικές μπογιές

Τα κτίρια που βρίσκονται στις θερμές περιοχές του πλανήτη χρειάζεται να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των κατοίκων τους. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος, που χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα στα συστήματα κλιματισμού τα οποία βοηθάνε στη διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου στα επιθυμητά επίπεδα, με τις ανάλογες επιπτώσεις βέβαια που επιφέρει η ενέργεια που καταναλώνουν, τόσο στο οικονομικό όσο και στο περιβαλλοντικό κομμάτι. Τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της ανεξέλεγκτης αστικής εξάπλωσης και των κλιματικών αλλαγών το φαινόμενο έχει γίνει ακόμη εντονότερο. Αρκετές μελέτες που διεξήχθησαν τα προηγούμενα χρόνια έχουν επισημάνει την επίδραση του φαινομένου της αστικής θερμότητας στην ενέργεια, στο περιβάλλον και στην ποιότητα ζωής [20-25]. Για να αποφευχθεί η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στρώματα χρώματος, τα λεγόμενα έξυπνα ή δροσερά χρώματα, τα οποία έχουν σχεδιαστεί με ειδικές χρωστικές ουσίες οι οποίες αντανακλούν την ακτινοβολία στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα.

2.2.1: Έννοια-Λειτουργία – Χαρακτηριστικά

Η ηλιακή ενέργεια ανέκαθεν έπαιζε σημαντικό ρόλο στην οικονομική ανάπτυξη σε όλο τον κόσμο. Το μήκος κύματος του φωτός που φθάνει στην επιφάνεια της γης συμβατικά κυμαίνεται από 300 έως 2500nm. Το ανθρώπινο μάτι είναι ευαίσθητο μόνο σε ένα μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι χρωστικές ουσίες είναι χρωστικές ενώσεις που δίνουν χρώμα στα διάφορα αντικείμενα καθώς απορροφούν, ανάλογα το χρώμα τους, επιλεκτικά το ορατό φως στην ορατή περιοχή και αντανακλούν το υπόλοιπο. Ωστόσο οι χρωστικές ουσίες αλληλεπιδρούν και με άλλα μήκη κύματος του φωτός στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα [26-29].

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2 συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας και του μήκους κύματος, χωρίζεται σε τρεις περιοχές:



Διάγραμμα 2: Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας

- **Την περιοχή υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) (295-400nm):** Η συγκεκριμένη περιοχή ξεκινάει στα 295nm. Σε αυτό το σημείο πραγματοποιείται η ατμοσφαιρική 'διακοπή'. Το φως τότε είναι γεμάτο ενέργεια και είναι ικανό να καταστρέψει αρκετούς από τους δεσμούς που συγκρατούν τα πολυμερή, ενώ είναι υπεύθυνο και για τα γνωστά εγκαύματα. Η υπεριώδης ακτινοβολία κατέχει περίπου το 5% της συνολικής ηλιακής ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης. Επί προσθέτως, είναι υπαίτια και για την φθορά των συνδετικών στοιχείων των χρωστικών ενώσεων, καθώς τα επίπεδα της ηλιακής ενέργειας σε τούτη την περιοχή είναι πολύ υψηλά.
- **Την περιοχή ορατής ακτινοβολίας (VIS) (400-700nm):** Περίπου το 50% της ηλιακής ενέργειας υπάρχει στην συγκεκριμένη περιοχή. Εδώ τα χρώματα απορροφούν επιλεκτικά το ορατό φως και αντανακλούν το υπόλοιπο. Παραδείγματος χάριν, εάν ένα στρώμα χρώματος αντανακλά ολόκληρο το ορατό φάσμα μήκους κύματος τότε το συγκεκριμένο χρώμα θα είναι το λευκό. Αντίθετα, αν κάποιες περιοχές του φωτός απορροφώνται και άλλες αντανακλώνται τότε θα υπάρχει μία έγχρωμη χρωστική ουσία, όπως το μπλε το οποίο απορροφά όλα τα μήκη κύματος εκτός από το μπλε στην ορατή περιοχή. Τέλος το μαύρο χρώμα φαίνεται μαύρο επειδή απορροφά τα πάντα στην ορατή περιοχή. Εν κατακλείδι, η ορατή περιοχή ακτινοβολίας αποτελείται από μήκη κύματος τα οποία μας δίνουν την αντίληψη του χρώματος.
- **Την περιοχή της (κοντινής) υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIR) (700-2500nm):** Το 45% της συνολικής ηλιακής ενέργειας βρίσκεται στην συγκεκριμένη μη ορατή περιοχή. Η ζέστη είναι μία άμεση συνέπεια ενός συμβάν υπέρυθρης ακτινοβολίας σε ένα αντικείμενο και οφείλεται κυρίως στα μήκη κύματος που κυμαίνονται από 700 έως 1100nm. Τα μήκη κύματος στην συγκεκριμένη περιοχή ακτινοβολίας κατά την απορρόφηση τους κυρίως ευθύνονται για την θέρμανση της επιφάνειας που βρίσκεται εκτεθειμένη στο ηλιακό φως [30].

Όπως γίνεται κατανοητό από το διάγραμμα, τα συμβατικά χρώματα αντανακλούν το ηλιακό φως προς τον ουρανό κυρίως στην ορατή περιοχή. Το συγκεκριμένο κενό έρχονται να καλύψουν οι έξυπνες χρωστικές ουσίες οι οποίες χάρη στα εξελιγμένα

συστατικά τους έχουν ανώτερες ανακλαστικές ικανότητες από της συμβατικές: Απορροφούν επιλεκτικά το φως στην ορατή περιοχή όπως και τα συμβατικά χρώματα αποκτώντας το χρώμα που αντιλαμβάνονται τα μάτια μας, αλλά η περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι εκείνη που διαπρέπουν αντανakλώντας ιδιαίτερα μεγαλύτερα ποσοστά φωτός [34].

Το ποσό της ηλιακής αντανάκλασης μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση (2.1):

$$SR = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} \frac{\rho(\lambda) \cdot I(\lambda)}{I_{\text{tot}}} d\lambda \quad (2.1)$$

Όπου:

- $\rho(\lambda)$ είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος της φασματικής αντανάκλασης σε μήκος κύματος λ από τα 300 έως τα 2500nm.
- $I(\lambda)$ η φασματική ημισφαιρική ηλιακή ακτινοβολία.
- I_{tot} η ολοκλήρωση του $I(\lambda)$ σε ολόκληρο το μήκος κύματος.

Η διαφορά των αποτελεσμάτων στην συγκεκριμένη σχέση ανάμεσα στα συμβατικά και δροσερά χρώματα, προκύπτει επειδή τα τελευταία για μήκη κύματος από 700 έως 2500nm αντανakλούν αισθητά υψηλότερες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας [37].

Τα προαναφερθείσα ανακλαστικά χρώματα υπέρυθρης ακτινοβολίας αποτελούνται από πολύπλοκες ανόργανες χρωστικές ουσίες. Μία ανακλαστική χρωστική ουσία υπέρυθρης ακτινοβολίας μπορεί να έχει οποιαδήποτε χρώμα. Η διαδικασία που ακολουθείται κατά την δημιουργία τους είναι η εξής: Οι ειδικές αυτές ουσίες συντίθενται υποβάλλοντας μίγματα υδροξειδίων, νιτρικών, οξικών ή ακόμα και οξειδίων σε ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες σε μία διαδικασία που αποκαλείται διαπύρωση. Τα μεταλλικά οξείδια ή τα άλατα αναμιγνύονται μαζί και θερμαίνονται γενικά σε θερμοκρασίες γύρω ή και παραπάνω από τους 1000 °C. Μετά την θερμοκρασία διαπύρωσης τα στερεά αρχίζουν να γίνονται αντιδραστικά. Τα μεταλλικά ιόντα και τα ιόντα οξυγόνου στα στερεά επαναδιευθετούνται και γίνονται καινούργιες, περισσότερο σταθερές, κρυσταλλικές κατασκευές, όπως το ρουτίλιο [30].

Με βάση τις ιδιότητες τους, ο πρωταρχικός στόχος των έξυπνων μπογιών είναι να συγκρατούν τις επιφάνειες των αντικείμενων πιο δροσερές σε σχέση με εκείνες που χρησιμοποιούν συμβατικά χρώματα. Συνήθως η αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας επιτυγχάνεται με τη χρήση λευκού χρώματος του οποίου οι ιδιότητες έχουν ευεργετική επίδραση στα κτίρια που βρίσκονται σε θερμά κλίματα, ωστόσο η μαζική χρήση λευκού χρώματος στις κατοικίες των μεγαλουπόλεων, δεν είναι ιδιαίτερα αποδεκτή για λόγους αισθητικής. Οι κλασσικές έγχρωμες μπογιές που περιέχουν διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2) μπορούν να αποκτήσουν ανακλαστικές ιδιότητες ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας όπως και οι λευκές με μεγάλο βαθμό επιτυχίας [31].

Το διοξείδιο του τιτανίου είναι η πιο αγαπημένη χρωστική ουσία για την σύνθεση των υπέρυθρης ακτινοβολίας ανακλαστικών χρωμάτων. Είναι ένα συστατικό που βελτιώνει την ποιότητα τους εξασφαλίζοντας υψηλή κάλυψη από τον ήλιο, ανθεκτικότητα, φωτεινότητα και αδιαφάνεια [32]. Παρά το γεγονός πως γίνονται

συνεχή εργαστηριακά πειράματα για την εύρεση ενός καλύτερου συστατικού που να ευνοεί ακόμη περισσότερο τις ανακλαστικές μογιές το TiO_2 συνεχίζει να είναι από τα πλέον κορυφαία.

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα της χρωστικής ουσίας που αντανακλάει την υπέρυθη ακτινοβολία. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς θα αναφερθούν παρακάτω:

- **Επιλογή χρωστικής ουσίας:** Ουσίες με υψηλή ανακλαστικότητα στην περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι οι μόνες κατάλληλες για τα συγκεκριμένα έξυπνα χρώματα.
- **Διασπορά:** Οι χρωστικές ουσίες πρέπει να είναι συμβατές με όλα τα διαλυτά συστήματα που έχουν βάση το νερό, όπως τα πολυμερή, τα ακρυλικά και τα φθοροπολυμερή συστήματα. Για μέγιστη διασπορά και βέλτιστες ιδιότητες, οι χρωστικές ουσίες πρέπει να διασκορπίζονται σε ένα μικρό μύλο ώστε να αποκτήσουν την απαραίτητη λεπτότητα κατά την άλεση. Κατά την άλεση τα σωματίδια δεν επιτρέπεται να βρίσκονται υψηλότερα από το έδαφος καθώς πρόσθετη άλεση θα σπάσει τα σωματίδια, επηρεάζοντας το χρώμα και την ανακλαστικότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας της χρωστικής ουσίας.
- **Αναμιγμένες χρωστικές ουσίες:** Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν συνθέτεται ένα χρώμα το οποίο αποτελείται από περισσότερες από μία χρωστικές ουσίες. Ένας συνδυασμός δύο ανακλαστικών χρωστικών ουσιών υπέρυθρης ακτινοβολίας, είναι ικανός να αυξήσει την συγκεκριμένη ιδιότητα ακόμη περισσότερο. Υπάρχει όμως ο κίνδυνος οι διαφορετικές χρωστικές ουσίες να απορροφηθούν σε ξεχωριστές περιοχές και η ανακλαστικότητα του συνδυασμένου χρώματος να είναι μικρότερη. Σε μία τέτοια περίπτωση, η απορρόφηση υπερισχύει της σκέδασης. Επομένως χρειάζεται προσοχή στην επιλογή των χρωστικών ουσιών που θα δημιουργήσουν το συνδυασμένο χρώμα.
- **Αδιαφάνεια :** Οι συγκεκριμένες χρωστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν υψηλή ορατή αδιαφάνεια, ώστε να εκπέμπουν την υπέρυθη ακτινοβολία. Λεπτές μεμβράνες είναι πιθανό να μην αντανακλούν όλη την ποσότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας και να επιτρέπουν να περάσει στο υπόστρωμα. Οι συγκεκριμένες χρωστικές ουσίες θα έχουν οπτική αδιαφάνεια αλλά δεν θα είναι εντελώς αδιαφανείς στο υπέρυθρο φως. Οπότε είναι πιθανό να απαιτηθεί αύξηση του πάχους της χρωστικής ουσίας. Τέλος, εκτός από το πάχος της μεμβράνης η συγκέντρωση της χρωστικής ουσίας παίζει αποφασιστικό ρόλο στο βαθμό της αδιαφάνειας της ανακλαστικής χρωστικής ουσίας υπέρυθρης ακτινοβολίας.
- **Μόλυνση:** Μόλυνση είναι δυνατόν να υπάρξει όταν 2 ανακλαστικές χρωστικές ουσίες που απορροφούνται σε ξεχωριστές περιοχές αναμιγνύονται μαζί. Σε περίπτωση που οι συγκεκριμένες ουσίες στοχεύουν στην αντανάκλαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας η κατάσταση δυσχεραίνεται ακόμη περισσότερο. Τέτοιου είδους μολύνσεις επιδεινώνουν σοβαρά την συνολική ηλιακή αντανάκλαση του τελικού χρώματος.

- Μέγεθος σωματιδίου: Το μέγεθος των σωματιδίων της χρωστικής ουσίας είναι μία ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Για να μεγιστοποιηθεί η ανακλαστικότητα το μέγεθος του σωματιδίου πρέπει να είναι λίγο περισσότερο από το μισό μήκους κύματος του φωτός που πρόκειται να ανακλαστεί. Παραδείγματος χάριν, σε περίπτωση που επιθυμείται να αντανακλάται το κόκκινο υπέρυθρο φως του οποίου το μήκος κύματος κυμαίνεται από 700 έως 1100 nm, τότε το μήκος των σωματιδίων θα πρέπει είναι από 0,35 έως 0,55 microns. Υπερβολική άλεση και διασπορά πρόκειται να επιφέρει μη παραγωγικά αποτελέσματα.

2.2.2: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Οι ανακλαστικές μπογιές έχουν πολυάριθμα πλεονεκτήματα τα οποία εκτείνονται πέρα από τα προφανή, όπως το οικονομικό κέρδος. Ειδικότερα :

- Έχουν μεγαλύτερο κύκλο ζωής, καθώς η υποβάθμιση των πολυμερών γίνεται με μεγαλύτερη καθυστέρηση, σε σχέση με τις συμβατικές μπογιές, ενώ οι χαμηλότερες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται δημιουργούν και μικρότερη θερμική επέκταση.
- Αισθητικά ευχάριστα χρώματα. Έχεις την δυνατότητα να επιλέξεις το χρώμα που επιθυμείς χωρίς να ανησυχείς ιδιαίτερα για τις ενεργειακές απώλειες το καλοκαίρι.
- Μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και μικρότερη θερμική υποβάθμιση.
- Μικρότερη θερμότητα διαχέεται μέσα στο κτίριο με ότι αυτό συνεπάγεται για την ευφορία των κατοίκων του.
- Μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις για κλιματισμό.
- Μείωση του φαινομένου της αστικής θερμότητας στις κατοικίες, τόσο από το γεγονός πως το μεγαλύτερο ποσοστό της θερμότητας επιστρέφεται στον ουρανό, όσο και από την λιγότερη χρήση των κλιματιστικών.
- Οι ανακλαστικές ιδιότητες είναι ομοιογενείς. Το προφίλ ανακλαστικότητας των χρωμάτων δεν επηρεάζεται από την κατεύθυνση στην οποία εφαρμόζεται το χρώμα.
- Πιο δροσερά στο άγγιγμα. Το συγκεκριμένο έχει πολλαπλά οφέλη καθώς τα δροσερά χρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν παντού από πλακάκια μέχρι τα πεζοδρόμια των μεγαλουπόλεων. Οι αρχές λειτουργίας τους παραμένουν σταθερές [38].

Σε περίπτωση που δροσερά χρώματα χρησιμοποιηθούν για την στέγαση του σπιτιού προκύπτουν και μερικά πρόσθετα οφέλη:

- Οι ενεργειακές απαιτήσεις μειώνονται όσο πιο κοντά το κτίριο βρίσκεται στον ισημερινό.

- Τα συνεργεία εγκατάστασης μπορούν να εργαστούν περισσότερο κατά της διάρκεια της ημέρας προτού η στέγη προλάβει να υπερθερμανθεί.
- Πολύ υψηλή αντοχή. Υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις χρωμάτων που φθάνουν μέχρι και τα 25 χρόνια προτού παρατηρηθεί μείωση στην απόδοσή τους [26].

Παρόλα αυτά, η αξιοποίηση των «δροσερών» χρωμάτων συνδέεται και με συγκεκριμένους περιορισμούς, που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό της χρήσης τους :

- Το υψηλότερο κόστος των ανακλαστικών χρωμάτων σε σχέση με τα κλασσικά, κυρίως εξαιτίας της πιο ακριβής διαδικασίας παραγωγής τους. Βέβαια η υψηλή αντοχή τους και τα ενεργειακά κέρδη που προσφέρουν έρχονται να αντισταθμίσουν το συγκεκριμένο πρόβλημα. Ειδικά σε περίπτωση που η βαφή του κτιρίου είναι υποχρεωτική, η επιλογή των δροσερών χρωμάτων είναι ακόμη ευκολότερη.
- Είναι κατάλληλα για χρήση μόνο για περιοχές που αντιμετωπίζουν σοβαρό πρόβλημα ψύξης τους θερινούς μήνες. Πρέπει να γίνει κατανοητό, πως ενώ το καλοκαίρι η υψηλή ανακλαστικότητα είναι επιθυμητή, τον χειμώνα πρόκειται να υπάρξουν ορισμένες θερμικές απώλειες. Ευτυχώς τα ποσά που χάνονται είναι πολύ μικρά, σε σύγκριση με εκείνα που κερδίζονται το καλοκαίρι, αλλά αυτό καθορίζεται κυρίως από τη δριμύτητα του χειμώνα και του βαθμού μόνωσης που έχει το κτήριο

Διάφορες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί επιβεβαιώνουν το παρόν πρόβλημα [33,36]. Σε περιοχές όπου τα καλοκαίρια και οι χειμώνες ήταν ήπιοι δεν υπήρξαν εντέλει ενεργειακές απώλειες, όμως τα κέρδη δεν ήταν, τουλάχιστον τόσο ώστε να αιτιολογούν την χρήση των δροσερών χρωμάτων. Ακόμη χειρότερα ήταν τα πράγματα σε οικήματα των βόρειων περιοχών της Ευρώπης, όπου αντί για κέρδη, υπήρξαν απώλειες οι οποίες διογκώνονταν με τη δριμύτητα του χειμώνα. Αντίθετα θετικό πρόσημο υπήρξε σε νότιες μεσογειακές περιοχές.

Η περίπτωση της Αθήνας είναι ιδανική για την συγκεκριμένη τεχνολογία, καθώς η τοποθεσία της είναι από τις πιο νότιες στην Ευρώπη, ενώ η υψηλή αστικοποίησή της δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο την υπάρχουσα ανάγκη για ψύξη το καλοκαίρι.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί πως η μόνωση του κτιρίου παίζει ακόμη μεγαλύτερο ρόλο στη διαμόρφωση των κερδών. Κατοικίες χωρίς μόνωση είναι δυνατόν να συμπεριφερθούν ενεργειακά καλύτερα σε σχέση με αντίστοιχες μονωμένες κατοικίες που είναι βαμμένες με ανακλαστικές μπογιές, ακόμη και αν βρίσκονται σε νότιες περιοχές. Με δεδομένο ότι η κατάλληλη μόνωση των κτιρίων είναι υποχρεωτική από την ευρωπαϊκή νομοθεσία, ο συγκεκριμένος κίνδυνος είναι σχεδόν μηδαμινός.

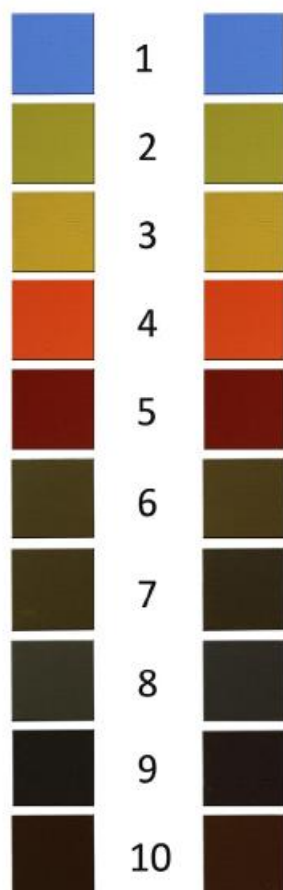
Καταλήγοντας, θα επισημανθεί ένα ακόμη στοιχείο που κάνει τις συγκεκριμένες έξυπνες μπογιές απαραίτητες σε χώρες όπως η Ελλάδα. Το στοιχείο αυτό είναι η

ύπαρξη εκατοντάδων ιδιωτικών εξοχικών αλλά και ξενοδοχειακών μονάδων ή καταλυμάτων, τα οποία λειτουργούν σε κύρια βάση τους καλοκαιρινούς μήνες, εξαλείφοντας συνεπώς την ανεπιθύμητη επίδραση πιθανών ενεργειακών απώλειών κατά τη χειμερινή περίοδο.

2.2.3: Επιλογή υλικού και γιατί

Η επιλογή του χρώματος της κατοικίας βασίζεται στην κρίση του κατασκευαστή, ο οποίος λαμβάνοντας υπόψη την τοποθεσία, την νομοθεσία της περιοχής και το κλίμα όπου κατασκευάζεται το κτίριο ή και τις επιθυμίες του μέλλοντος ιδιοκτήτη, κάνει την πρέπουσα επιλογή.

Σε περίπτωση όπου επιλεγούν ‘δροσερές’ μπογιές για την βαφή του κτιρίου η διαφορά στο χρώμα τους σε σχέση με τις συμβατικές είναι πρακτικά αμελητέα. Στην εικόνα 10 που εμφανίζεται από κάτω γίνεται μία χρωματική σύγκριση διαφόρων βαφών[33].

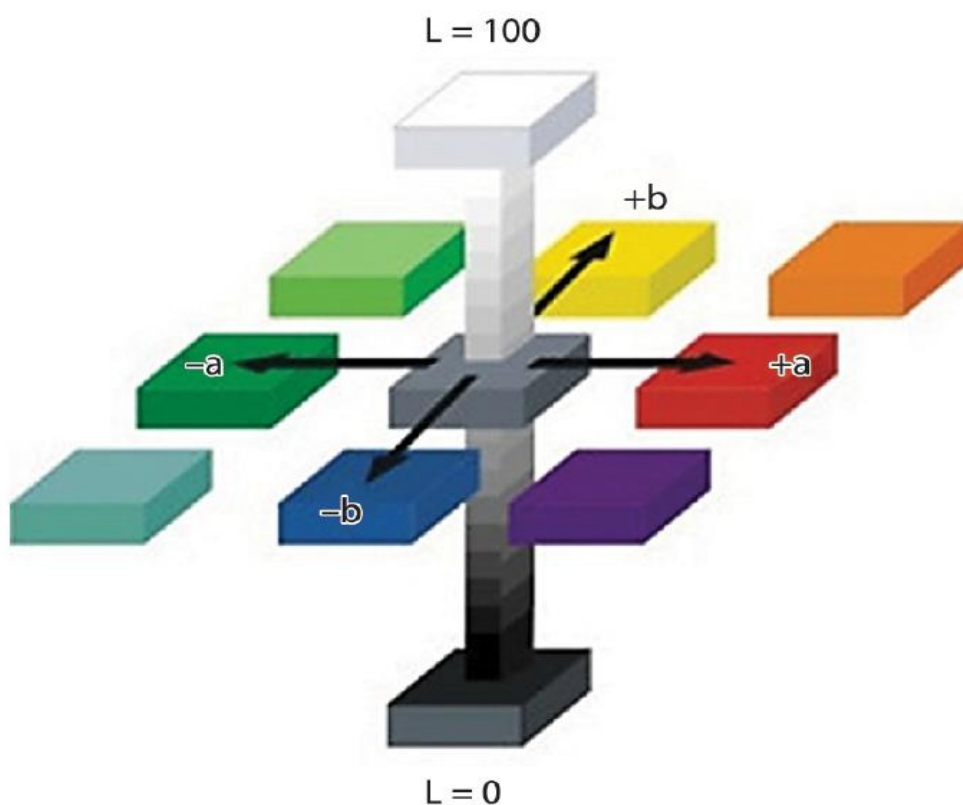


Εικόνα 10: Δείγματα συμβατικών και δροσερών βαφών

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των έξυπνων βαφών είναι το γεγονός πως ενώ έχουν την ικανότητα να ανακλούν μεγαλύτερες ποσότητες ακτινοβολίας, το χρώμα τους

παραμένει σταθερό. Η διαφορά χρώματος υπολογίζεται με βάση το CIE, το οποίο είναι ο ρυθμιστικός φορέας, υπεύθυνος για τις διεθνείς προτάσεις που αφορούν τη φωτομετρία και την χρωματομετρία. Με βάση το συγκεκριμένο σύστημα οι μεταβλητές που μετριοούνται είναι οι L^* , a^* και b^* και αποκαλούνται CIELAB.

Κάθε χρώμα αντιπροσωπεύεται από συντεταγμένες σε ένα τρισδιάστατο σύστημα το οποίο παράγει μία σειρά τριών αριθμών (Εικόνα 11).



Εικόνα 11: Σύστημα χρώματος CIE, L^* , a^* , b^*

Ο κάθετος άξονας L^* αντιπροσωπεύει τις διαφορές ανάμεσα στο φως ($L^*=100$) και το σκοτάδι ($L^*=0$). Ο άξονας a^* εκθέτει την διαφορά ανάμεσα στο κόκκινο ($+a^*$) και το πράσινο ($-a^*$). Ομοίως ο άξονας b^* παρουσιάζει την διαφορά μεταξύ του κίτρινου ($+b^*$) και του μπλε ($-b^*$).

Η συνολική διαφορά χρώματος (ΔE^*) ανάμεσα στα δείγματα των συμβατικών και των δροσερών χρωμάτων στο διάστημα του CIELAB υπολογίζεται ως η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των τοποθεσιών των χρωμάτων στον τρισδιάστατο χώρο τους ο οποίο καθορίζεται από τις μεταβλητές L^* , a^* και b^* . Οπότε ο μαθηματικός τύπος θα είναι :

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.2)$$

Η ελάχιστη διαφορά χρώματος που το ανθρώπινο μάτι μπορεί να εντοπίσει είναι $\Delta E=1$. Συνήθως κατά την παραγωγή των έξυπνων βαφών το όριο της αποδεκτής διαφοράς χρώματος ορίζεται περίπου στο $\Delta E=3$ [35,39].

Στην περίπτωση που αποφασιστεί να γίνει χρήση των έξυπνων βαφών καλό θα ήταν να τονιστούν και μερικές διαφορές που παρουσιάζουν τα έξυπνα χρώματα μεταξύ τους :

Οι δροσερές λευκές μογιές επιτυγχάνουν πάρα πολύ υψηλά επίπεδα συνολικής ηλιακής ανακλαστικότητας, δηλαδή το ποσοστό της ακτινοβολίας που αντικατροπτίζεται κατά μέσο όρο στην υπεριώδη, ορατή και υπέρυθη περιοχή.

Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται γύρω στο 90%. Ωστόσο τα κέρδη τους δεν είναι ιδιαίτερα υψηλά, καθώς και τα συμβατικά λευκά χρώματα παρουσιάζουν συνολική ηλιακή ανακλαστικότητα γύρω στο 80-85%. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες να αναπτυχθούν λευκά δροσερά χρώματα τα οποία βασίζονται σε υδροδιαλυτές ακρυλικές ουσίες. Εντούτοις, τα δροσερά λευκά χρώματα που βασίζονται σε TiO_2 όπως για παράδειγμα διοξείδιο του τιτανίου σε σκόνη ρουτιλίου, όπου η συνολική του ηλιακή ανακλαστικότητα είναι της τάξης του 91%, παρουσιάζουν ελαφρώς ανώτερες ιδιότητες, επιβεβαιώνοντας το γεγονός πως το TiO_2 είναι το πιο αρμόζον συστατικό που πρέπει να χρησιμοποιείται στη σύνθεση των έξυπνων χρωμάτων [31].

Ανακλαστικές ιδιότητες υπέρυθρης ακτινοβολίας μπορούν να έχουν ακόμη και χρώματα όπως το μαύρο και το γκριζο. Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί αποδεικνύουν πως τα συγκεκριμένα δροσερά χρώματα έχουν 30-35% υψηλότερη ανακλαστικότητα σε σχέση με τις συμβατικές μαύρες και γκριζες μογιές. Το αρνητικό της υπόθεσης είναι πως για τα σκουρόχρωμα ανακλαστικά χρώματα απαιτούνται αρκετά υψηλές ποσότητες χρωστικών ουσιών ώστε να έχουν εξωτερική εμφάνιση παρόμοια με τα κλασσικά ανεβάζοντας το κόστος τους [35].

Δεν συμβαίνει το ίδιο όμως και με τα δροσερά ανοιχτόχρωμα χρώματα όπως παραδείγματος χάριν το κίτρινο. Τα συγκεκριμένα έξυπνα χρώματα παρουσιάζουν και εκείνα σημαντικά ανώτερες ιδιότητες σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά αλλά με μικρότερο κόστος κατασκευής. Επί προσθέτως, η διαφορά στην ανακλαστικότητα που παρουσιάζει, για παράδειγμα δροσερό κίτρινο σε σχέση με το κλασσικό είναι υψηλότερη από εκείνη του δροσερού-συμβατικού λευκού με αποτέλεσμα να υπάρχει και μεγαλύτερο κέρδος απόσβεσης.

Ένα τελευταίο θετικό γεγονός που ευνοεί τις έξυπνες μογιές είναι, ειδικά στις μεγαλουπόλεις για λόγους αισθητικής και ψυχολογίας να μην βάζονται όλα τα κτίρια με το ακριβώς ίδιο χρώμα, όπως για παράδειγμα το άσπρο. Γι' αυτό το λόγο, για μεγαλουπόλεις οι οποίες αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα ψύξης το καλοκαίρι, προτιμάται γενικά η βαφή των κτιρίων με ανοιχτόχρωμα χρώματα, γεγονός που ευνοεί σημαντικά την ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

2.3: Υλικά Αλλαγής Φάσης

Τα τελευταία χρόνια, η συνεχής αύξηση της ενεργειακής ζήτησης και της περιβαλλοντικής ρύπανσης που εκείνη συνεπάγεται, έχουν στρέψει το επιστημονικό ενδιαφέρον προς την ανάπτυξη διαφόρων τεχνολογιών εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρόλα αυτά, έξυπνες τεχνολογίες που επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη αποθήκευση και διατήρηση της ενέργειας μπορούν να είναι εξίσου επιτυχημένες. Μία από τις πιο υποσχόμενες μεθόδους είναι η χρήση υλικών αλλαγής φάσης (ΥΑΦ ή PCM) ως μόνωση σε ιδιωτικά ή δημόσια κτίρια. Τα ΥΑΦ χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε μία πληθώρα θερμών και ψυχρών εφαρμογών, όπως για παράδειγμα οι φορητοί καταψύκτες. Η ικανότητα των συγκεκριμένων υλικών να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν την θερμότητα σε ένα συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος βοηθάει στην σταθεροποίηση του εσωτερικού κλίματος του κελύφους και τα καθιστά μία πιθανή λύση για την μείωση της ενέργειας που καταναλώνουν οι κατοικίες [40,41].

2.3.1: Έννοια – Λειτουργία- Χαρακτηριστικά

Για να γίνει περισσότερο κατανοητή η ικανότητα των ΥΑΦ να ελέγχουν την θερμοκρασία σε συγκεκριμένα επίπεδα θα αναφερθούν δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις, των σπηλιών και των σκηνών. Οι σκηνές έχουν ιδιαίτερα χαμηλή ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας και μία εκτεθειμένη στον καλοκαιρινό ήλιο σκηνή πρόκειται να αναπτύξει πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Στην περίπτωση της σπηλιάς συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο. Η υψηλή δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας των βράχων που την περιβάλλουν δεν επιτρέπουν μεγάλες θερμοκρασιακές αυξομειώσεις στο εσωτερικό της. Τα κτίρια έρχονται να συμπληρώσουν το κενό που υπάρχει ανάμεσα στις σπηλιές και τις σκηνές και καθώς η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας που έχουν δεν είναι ακόμη η ιδανική, είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση διαφόρων μονωτικών υλικών [42].

Τα ΥΑΦ ως μονωτικά υλικά έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύσουν και αυτά ένα πεπερασμένο ποσό της αισθητής θερμότητας, αλλά την μεγάλη διαφορά κάνει η ιδιότητα που έχουν να αποθηκεύουν την θερμότητα σε λανθάνουσα μορφή. Αναλυτικότερα:

- Η αισθητή θερμότητα αποθηκεύεται κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του στερεού ή του υγρού υλικού. Η ποσότητα της θερμότητας που γίνεται να αποθηκευτεί εξαρτάται από την ειδική θερμοχωρητικότητα του και την αλλαγή της θερμοκρασίας και περιγράφεται παρακάτω:

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} mC_p dT \quad (2.3)$$

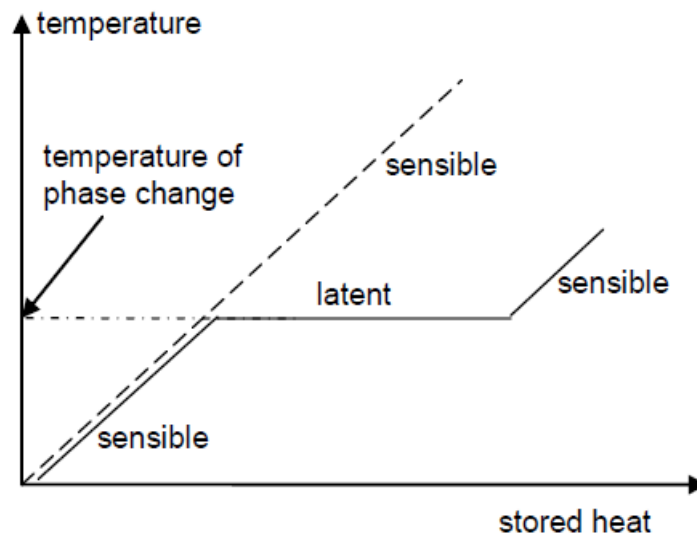
Όπου: T_i είναι η αρχική και T_f η τελική θερμοκρασία.

- Η αποθήκευση της λανθάνουσας θερμότητας βασίζεται στην θερμική απορρόφηση ή έκλυση όταν το υλικό αλλαγής φάσης μετασχηματίζεται από στερεό σε υγρό ή από υγρό σε στερεό αντίστοιχα. Η χωρητικότητα αποθήκευσης ενός συστήματος μόνωσης που λειτουργεί με ΥΑΦ περιγράφεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$Q = \int_{T_i}^{T_m} mC_p dT + ma_m \Delta h_m + \int_{T_m}^{T_f} mC_p dT \quad (2.4)$$

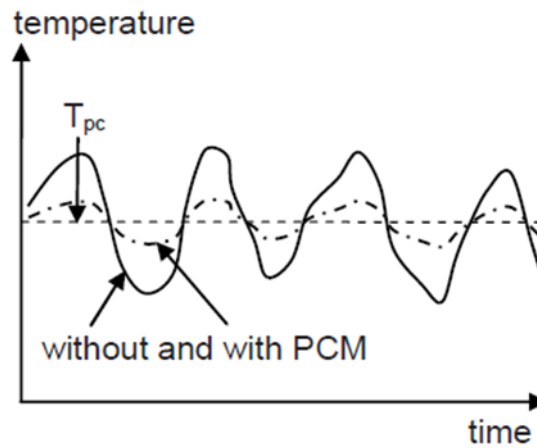
Όπου: T_m είναι η θερμοκρασία αλλαγής φάσης (όπου πραγματοποιείται η τήξη του υλικού), a_m το κλάσμα τήξης και Δh_m η θερμότητα σύντηξης ανά μονάδα μάζας [43].

Στο διάγραμμα 3 που παρατίθεται παρακάτω δίνεται μία καλή ιδέα του ποσού θερμικού ποσού που κερδίζεται χάρη στην άδηλη (για τον άνθρωπο) λανθάνουσα θερμότητα που καταναλώνεται όταν συμβαίνει η αλλαγή φάσης [42].



Διάγραμμα 3: Θερμική αποθήκευση της λανθάνουσας θερμότητας στην περίπτωση της αλλαγής φάσης.

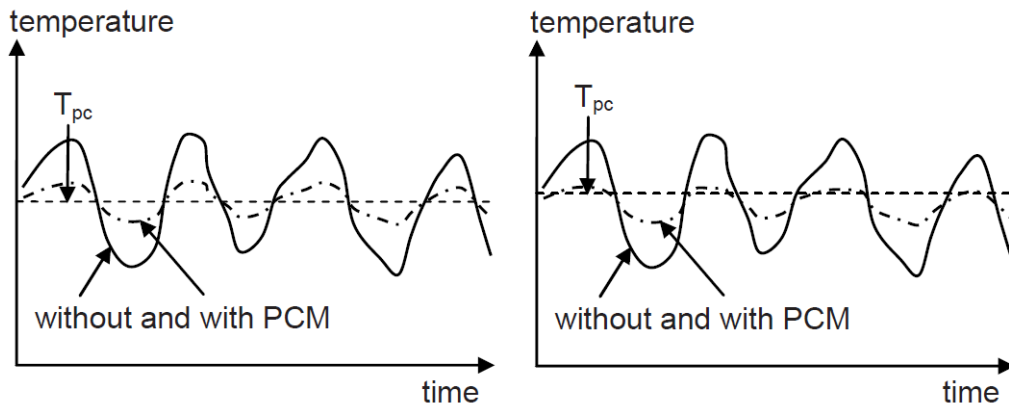
Ας σημειωθεί, πως όταν συμβαίνει η αντίστροφη διαδικασία και το κτιριακό κέλυφος ψύχεται, το ΥΑΦ στερεοποιείται και απελευθερώνει την θερμότητα που είχε αποθηκευμένη ενώ βρισκόταν στην υγρή κατάσταση, κρατώντας σταθερή την θερμοκρασία του χώρου γύρω από το βαθμό που συμβαίνει η αλλαγή φάσης. Με αυτό τον τρόπο, τα ΥΑΦ είναι κατάλληλα και τους καλοκαιρινούς αλλά και τους χειμερινούς μήνες (Διάγραμμα 4, όπου T_{op} ορίζεται η θερμοκρασία αλλαγής φάσης) [42].



Διάγραμμα 4: Θερμοκρασιακές διακυμάνσεις με και χωρίς χρήση ΥΑΦ

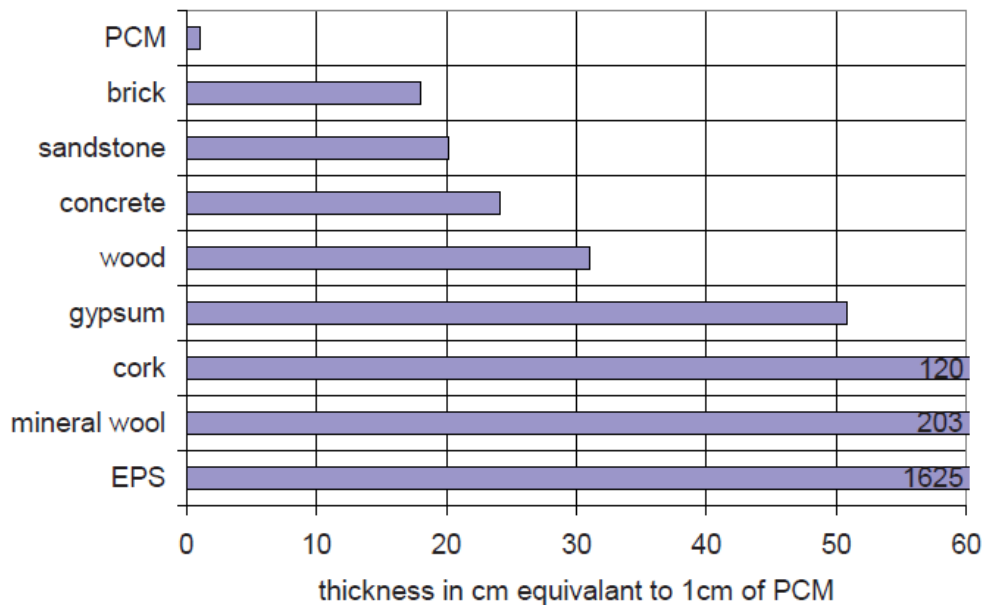
Η συγκεκριμένη ιδιότητα των ΥΑΦ τα καθιστά ιδιαίτερα αποτελεσματικά μονωτικά υλικά σε επίπεδο 24ωρης λειτουργίας. Ειδικότερα, την ημέρα με την άνοδο της θερμοκρασίας η λανθάνουσα θερμότητα αποθηκεύεται εντός τους και κατά την διάρκεια της νύχτας, όπου οι θερμοκρασίες παίρνουν χαμηλότερες τιμές απελευθερώνεται.

Εφόσον στην περίπτωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας θα γίνει αναφορά για κατοικίες, το εύρος αλλαγής φάσης είναι περιορισμένο καθώς οι ιδανικές θερμοκρασίες δωματίου κυμαίνονται από τους 22 έως τους 26 °C. Η ρύθμιση αλλαγής φάσης θα συμβαίνει ανάμεσα στους 20 με 28 °C και κυρίως εξαρτάται από τις κλιματικές απαιτήσεις της κάθε περιοχής. Στα ψυχρότερα κλίματα οι θερμοκρασίες αλλαγής φάσης ρυθμίζονται σε χαμηλότερους βαθμούς. Το αντίθετο συμβαίνει σε περίπτωση θερμού κλίματος. Η πρωταρχική αιτία είναι πως τα ΥΑΦ εκτός από την πολύ καλή ικανότητα ρύθμισης των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων που έχουν, επειδή επιβραδύνουν την άνοδο ή την πτώση της θερμοκρασίας πέρα από το σημείο αλλαγής φάσης, είναι ικανά να περιορίσουν της ακραίες κλιματικές θερμοκρασίες τις οποίες υφίσταται μία κατοικία. Το γεγονός αυτό φαίνεται πιο ξεκάθαρα στο διάγραμμα 5.



Διάγραμμα 5: Αριστερά: ΥΑΦ με μία μέση θερμοκρασία τήξης. Επιτυγχάνει βελτίωση στις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Δεξιά: ΥΑΦ με υψηλότερο σημείο τήξης. Αποτρέπει την ανάπτυξη υψηλών ακραίων θερμοκρασιών.

Ένα ακόμη στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός κτιρίου που θα χρησιμοποιεί ΥΑΦ είναι πως το πάχος του τοίχου θα πρέπει να επανακαθοριστεί. Η αιτία είναι πως τα ΥΑΦ ως συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας έχουν υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης σε μικρά θερμοκρασιακά διαστήματα και κατά συνέπεια ιδιαίτερα υψηλή μονωτική ικανότητα, όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6. Θα πρέπει λοιπόν το πάχος του τοίχου να είναι τέτοιο, έτσι ώστε να μην υπάρχει περιττή μόνωση και το ΥΑΦ να λειτουργεί στο 100% των δυνατοτήτων του.



Διάγραμμα 6: Απαραίτητο πάχος στρώματος διαφορετικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κτιρίων, ώστε να αποθηκεύουν τη θερμότητα που αποθηκεύει 1 cm ΥΑΦ. Τα μονωτικά υλικά βρίσκονται εκτός κλίμακας

Για μεγαλύτερη ακρίβεια, ο παρακάτω τύπος μας δίνει απάντηση στο ερώτημα του πόση ποσότητα ΥΑΦ πρέπει να χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να παρθεί το βέλτιστο οικονομικό αποτέλεσμα:

Η θερμότητα που ρέει σε μία περιοχή τοίχου εμβαδού A και οδηγεί στο λιώσιμο του ΥΑΦ πάχους s είναι:

$$Q = A \cdot a \cdot \Delta T \cdot t = A \cdot \Delta_{pc} \cdot h \cdot s \quad (2.5)$$

Όπου $\Delta_{pc}h$ είναι η ενθαλπία τήξης, ένα χαρακτηριστικό το οποίο είναι γνωστό για κάθε εμπορικά διαθέσιμο υλικό αλλαγής φάσης, ενώ a είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του τοίχου. Τελικά προκύπτει:

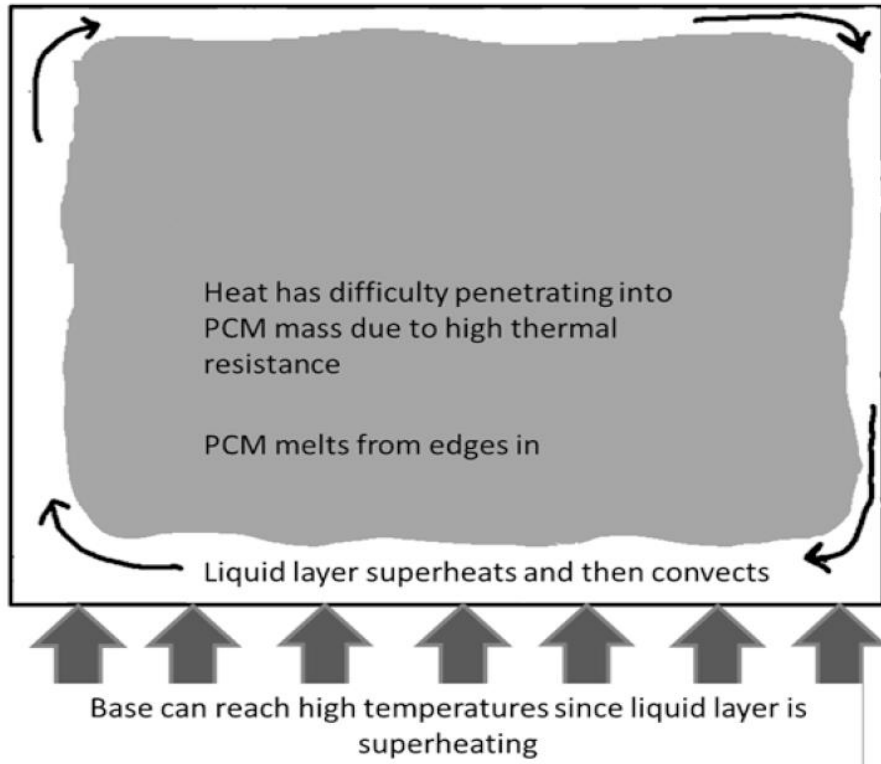
$$s/t = a \cdot \Delta T / \Delta_{pc} h \quad (2.6)$$

Το αποτέλεσμα δίνεται ανά ώρα. Αυτό σημαίνει πως εάν προκύψει υπόθεση έστω 1,8mm/hour, τότε με βάση τις συνθήκες που ορίστηκαν περίπου 1,8mm υλικού πρέπει να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση της δοσμένης θερμότητας ανά ώρα, δηλαδή 18mm υλικού για ένα ημερήσιο κύκλο 10 ωρών [42].

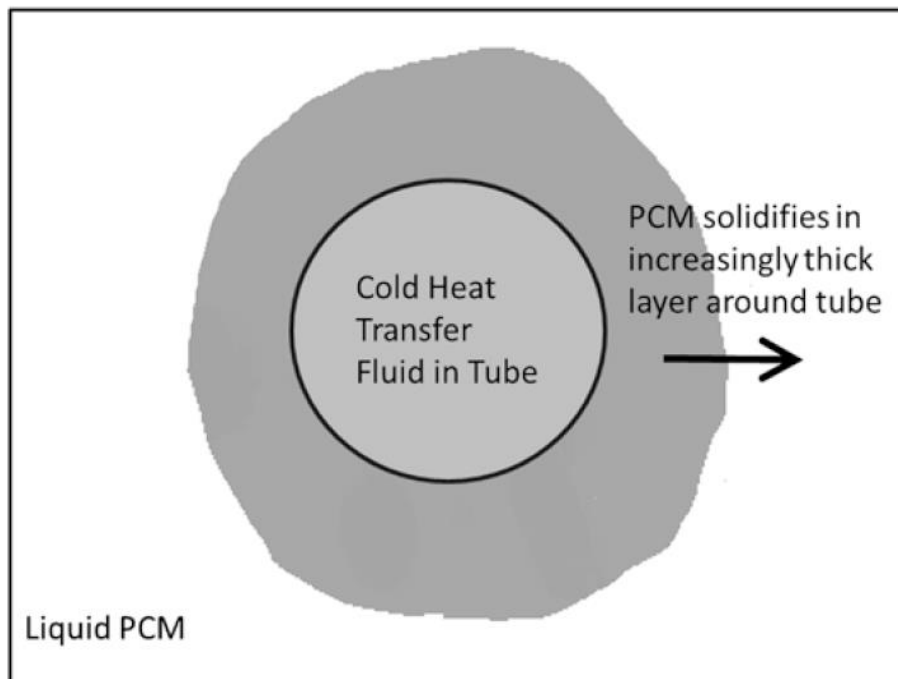
Είναι λοιπόν σαφές πως τα ΥΑΦ είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε κτιριακά κελύφη τα οποία είναι χτισμένα με λεπτού πάχους κατασκευαστικά υλικά, καθώς προσφέρουν μεγαλύτερο κέρδος απόσβεσης [42].

Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που είναι αρκετά σημαντικό όσον αφορά την λειτουργία των ΥΑΦ είναι η θερμική αγωγιμότητά τους. Είναι ευρέως αποδεκτό πως το μείζον πρόβλημα όσον αφορά ΥΑΦ, είναι πως παρά την υψηλή αποθηκευτική ικανότητα τους, σε περίπτωση που η θερμική τους αγωγιμότητα είναι χαμηλή, η απόδοση του συστήματος μειώνεται αισθητά. Διευκρινιστικά, αν η θερμότητα δεν μπορεί να διαπεράσει με ευκολία το στερεό υλικό ώστε να το μετατρέψει σε υγρό, τότε δημιουργείται μία εξωτερική υγρή υπερθερμασμένη επιφάνεια, ενώ το εσωτερικό του υλικού παραμένει στερεό και τα ΥΑΦ χάνουν την πιο σημαντική τους ιδιότητα. Το ακριβώς αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση ψύξης (εικόνες 12,13).

Το πρόβλημα εμφανίζεται κυρίως στα οργανικά ΥΑΦ, τα οποία ωστόσο είναι τα πλέον δημοφιλή σε ερευνητικό επίπεδο αυτήν την στιγμή εξαιτίας των προτερημάτων τους σε σύγκριση με τις υπάρχουσες εναλλακτικές (περισσότερα θα αναλυθούν στο κεφάλαιο πλεονεκτημάτων/μειονεκτημάτων και αλλαγής υλικού). Γι' αυτό τον λόγο, η πλειοψηφία της εργαστηριακής έρευνας όσον αφορά τα ΥΑΦ εστιάζεται σε αυτόν τον τομέα [44].



Εικόνα 12 : Επίδραση της θερμότητας σε ένα ΥΑΦ με περιορισμένη θερμική αγωγιμότητα

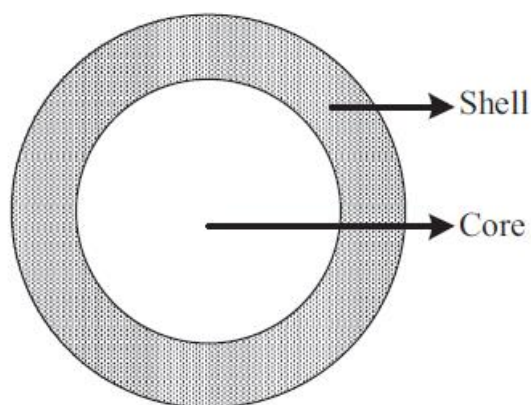


Εικόνα 13 : Στερεοποίηση ενός ΥΑΦ περιορισμένης θερμικής αγωγιμότητας μέσω ενός αυξανόμενου πάχους στερεού στρώματος

Η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αντιμετώπισης του συγκεκριμένου προβλήματος των ΥΑΦ είναι η ενθυλάκωσή/ενσωμάτωσή τους σε ένα ειδικό υλικό φορέα, ο οποίος βελτιώνει την θερμική αγωγιμότητά τους και αποτρέπει ενδεχόμενες αλληλεπιδράσεις και διαρροές με τον περιβάλλοντα χώρο τους κατά τη διάρκεια της τήξης τους [45].

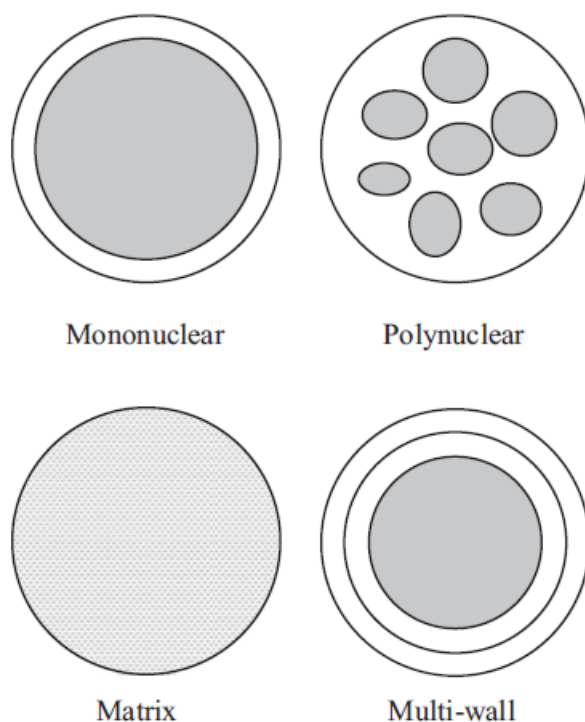
Υπάρχουν δύο είδη ενθυλάκωσης των ΥΑΦ:

- Η μακροενθυλάκωση, της οποίας οι τυπικές διαστάσεις κυμαίνονται σε ένα εύρος αρκετών εκατοστών, και η οποία προσφέρει ένα φθινό τρόπο να εισάγονται μεγάλες ποσότητες ΥΑΦ. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι σακούλες, οι οποίες μπορούν να γεμίσουν με ένα οποιουδήποτε είδους ΥΑΦ. Το αρνητικό ωστόσο είναι πως το σύστημα μπορεί να μην είναι σχεδιασμένο ώστε να καταφέρει να συγκρατήσει την μακροενθυλάκωση.
- Μικροενθυλάκωση είναι η διαδικασία κατά την οποία επενδύονται μεμονωμένα σωματίδια ή σταγονίδια σε μία συνεχόμενη μεμβράνη ώστε να παραχθούν κάψουλες μεγέθους μερικών μικρομέτρων ή χιλιοστών, γνωστές και ως μικροκάψουλες (Εικόνα 14). Δεν παρουσιάζει τα μειονεκτήματα της μακροενθυλάκωσης, και είναι η πιο συνήθης μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των ΥΑΦ, ιδιαίτερα για την παραφίνη, που θεωρείται το πιο κατάλληλο υλικό την συγκεκριμένη χρονική στιγμή για μόνωση κατοικιών, όπως θα δειχθεί στο παρακάτω κεφάλαιο [42,45].



Εικόνα 14 : Παρουσίαση Μικροκάψουλας. ΥΑΦ ως πυρήνας και ένα πολυμερές ή ανόργανο κέλυφος ως αντικείμενο συγκράτησης του ΥΑΦ. Οι μικροκάψουλες μπορούν να έχουν κανονικό (όπως απεικονίζεται στην εικόνα) ή ακανόνιστο σχήμα [46].

ΥΑΦ των οποίων το σημείο τήξης κυμαίνεται από -10 έως 80°C είναι δυνατόν να μικροενθυλακωθούν. Η τεχνική μικροενθυλάκωσης βασίζεται στις φυσικές και χημικές ιδιότητες των υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν (Εικόνα 15).



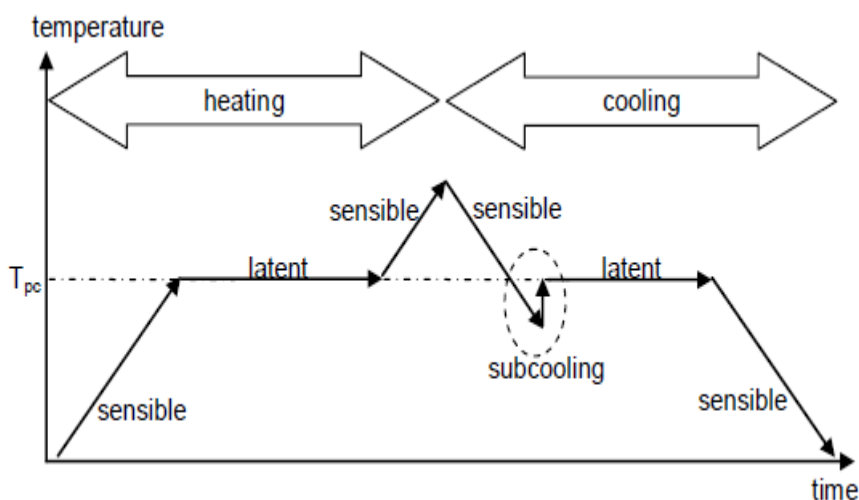
Εικόνα 15 : Μορφολογία μικροκάψουλων. Η μορφή τους βασίζεται κυρίως στο υλικό του πυρήνα και στην διαδικασία εναπόθεσης του κελύφους.

Υπάρχουν δεκάδες μέθοδοι μικροενθυλάκωσης και ακόμη και τώρα γίνεται συνεχής έρευνα για την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων. Οι πιο σημαντικές κατηγορίες είναι οι φυσικές, οι φυσικές-χημικές και οι χημικές μέθοδοι. Πρακτικά, μετά το πέρας των συγκεκριμένων διεργασιών, το ΥΑΦ βγαίνει ως ένα καινούργιο σύνθετο υλικό αποθήκευσης θερμότητας. Η επιλογή των προαναφερθέντων μεθόδων καθορίζεται από τις προδιαγραφές που επιθυμείται να έχουν οι μικροκάψουλες: Το απαιτούμενο μέγεθος σωματιδίων, τα υλικά του πυρήνα και του κελύφους, το πάχος του κελύφους της μικροκάψουλας, οι μηχανικές ιδιότητες της κάψουλας κτλ. Κατά συνέπεια η διαδικασία πρέπει να είναι εξειδικευμένη ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις του χρήστη [45].

Πρόσφατα έγιναν και ορισμένες επιτυχημένες προσπάθειες νανοενθυλάκωσης ΥΑΦ σε νανοκάψουλες, των οποίων τα μικρότερα σωματίδια βοηθούν στην σταθεροποίηση και μακροχρόνια αντοχή του συστήματος[47]. Ως εκ τούτου, η περαιτέρω ανάπτυξή τους φαίνεται αναπόφευκτη. Προς το παρόν, η μικροενθυλάκωση της παραφίνης σε γυψοσανίδες, γύψο ή σε τσιμέντο είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως εμπορικά [42].

Μία τελευταία αρνητική ιδιότητα που παρουσιάζουν τα ΥΑΦ είναι το φαινόμενο της απόψυξης. Απόψυξη συμβαίνει όταν η πρακτική θερμοκρασία πήξης του υγρού ΥΑΦ είναι αρκετά χαμηλότερη από την θεωρητική και θα πρέπει να κατέβει αρκετά χαμηλότερα έτσι ώστε εκείνο να αρχίσει να στερεοποιείται και να

απελευθερώσει την θερμότητα. Σε περίπτωση που δεν καταφέρει να πιάσει την συγκεκριμένη θερμοκρασία, το ΥΑΦ δεν θα στερεοποιηθεί και θα αποθηκεύσει μόνο αισθητή θερμότητα. Το διάγραμμα 7 δίνει μία καλή απεικόνιση του προβλήματος.

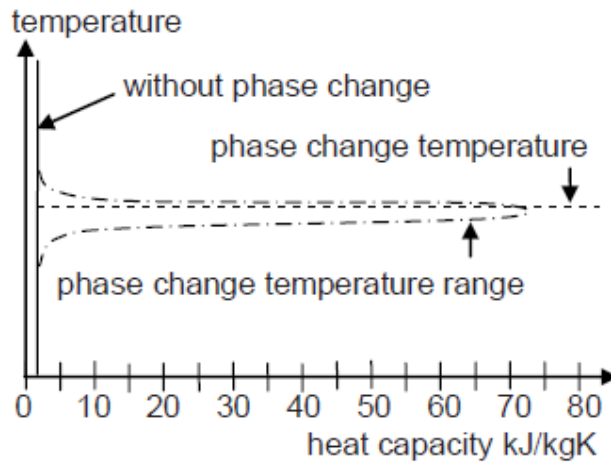


Διάγραμμα 7: Σχηματική αναπαράσταση της θέρμανσης και της ψύξης ενός ΥΑΦ με απόψυξη.

Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο σε υλικά όπως το νερό, το οποίο παρά το γεγονός πως η θερμοκρασία πήξης του είναι στους 0 °C, για να στερεοποιηθεί εντελώς το θερμομότρο θα πρέπει να πέσει αρκετά κάτω από το μηδέν. Αν δεν είναι και εντελώς καθαρό, μικρές ποσότητες του μπορούν να ψυχθούν ακόμη και κάτω από τους -15 °C [42].

Εντούτοις η κατάσταση είναι περισσότερο ρόδινη όσον αφορά τα οργανικά ΥΑΦ, όπως η παραφίνη που εμφανίζει ελάχιστη ή και καθόλου απόψυξη.

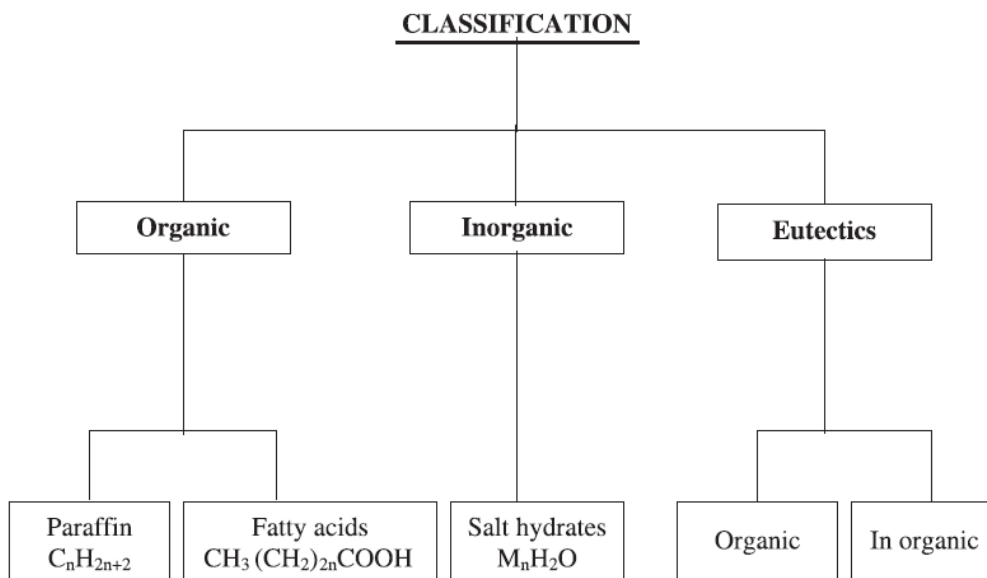
Ένα παρόμοιο πρόβλημα είναι δυνατόν να παρουσιαστεί και κατά την διαδικασία τήξης του ΥΑΦ. Για να γίνει κατανοητή η ποσοτική επίδραση του ΥΑΦ στο κτιριακό κέλυφος, πρέπει να ληφθεί υπόψη πως στις πραγματικές εφαρμογές τα ΥΑΦ δεν έχουν μία ‘κοφτερή’ και άμεση αλλαγή φάσης όταν ξεπερνιέται η θερμοκρασία τήξης τους. Αντίθετα, παρατηρείται πως η τήξη τους αρχίζει σε ένα θερμοκρασιακό εύρος, τουλάχιστον 1 με 2 K, το οποίο εξαρτάται από τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις του δωματίου. Σε κάθε περίπτωση, το πρόβλημα γίνεται ολοένα και πιο αμελητέο με την αύξηση της θερμοχωρητικότητας, όπως παρατηρείται στο παρακάτω διάγραμμα 8:



Διάγραμμα 8: Σχετικές θερμοχωρητικότητες υλικών, χωρίς αλλαγή φάσης, με αλλαγή φάσης και το θερμοκρασιακό εύρος στην οποία μπορεί να συμβεί [42]

2.3.2: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα- Επιλογή υλικού και γιατί

Προτού αποφασιστεί, πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο υλικό είναι απαραίτητο να παρουσιαστεί το εύρος των επιλογών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των κατοικιών (Εικόνα 16) μαζί με τα θετικά και τα αρνητικά τους [48].



Εικόνα 16: Κατηγοριοποίηση των ΥΑΦ που χρησιμοποιούνται στην αρχιτεκτονική κτιρίων

Ένα ιδανικό ΥΑΦ το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για εμπορικές κατοικίες θεωρητικά θα πρέπει να έχει τις εξής ιδιότητες:

- Θερμοδυναμικές ιδιότητες:
 - Θερμοκρασία τήξης στο επιθυμητό εύρος θερμοκρασιών.
 - Υψηλή λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης ανά μονάδα όγκου.
 - Υψηλή ειδική θερμότητα, υψηλή πυκνότητα και υψηλή θερμική αγωγιμότητα.
 - Μικρές αυξομειώσεις του όγκου κατά την διάρκεια της αλλαγής φάσης και μικρή πίεση ατμού στις θερμοκρασίες λειτουργίας ώστε να περιοριστεί η μετάδοση του προβλήματος.
 - Ομοιογενή τήξη, δηλαδή η αλλαγή φάσης να μην συμβαίνει ανισομερώς σε όλο το εύρος του ΥΑΦ.
- Κινητικές ιδιότητες:
 - Υψηλό ρυθμό πυρήνωσης για να αποφευχθεί η υπερβολική απόψυξη κατά τον μετασχηματισμό της υγρής φάσης.
 - Υψηλό ρυθμό κρυσταλλικής ανάπτυξης που συνεπάγεται και υψηλή θερμότητα ανάκτησης ώστε το ΥΑΦ να συμφωνεί και με τις θερμικές απαιτήσεις του σπιτιού.
- Χημικές ιδιότητες:
 - Χημική σταθερότητα.
 - Ολοκληρωμένο κύκλο τήξης-πήξης και το αντίστροφο.
 - Να μην υπάρχει υποβάθμιση της ποιότητας του υλικού μετά από ένα σημαντικό αριθμό κύκλων αλλαγής φάσης.
 - Να μην προκαλεί διάβρωση, να είναι μη τοξικό, να μην έχει εύφλεκτες ή εκρηκτικές ιδιότητες.
- Οικονομικές ιδιότητες:
 - Να είναι χαμηλού κόστους.
 - Να είναι εύκολα διαθέσιμο, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλες κλίμακες.

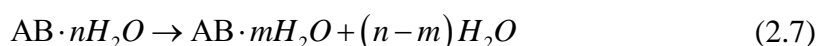
Προφανώς ακόμη δεν έχει ανακαλυφθεί το ΥΑΦ με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά αλλιώς θα υπήρχε ήδη στην παραγωγή. Επειδή τα υλικά που παρουσιάστηκαν στην εικόνα 5 (τα οποία επιλέχθηκαν από ένα τεράστιο εύρος διαθέσιμων υλικών) παρουσιάζουν συγκεκριμένα μειονεκτήματα, ένα μέρος της έρευνας διατίθεται και για την εύρεση του υλικού φορέα (χαρακτηριστικό παράδειγμα η περίπτωση της ενθυλάκωσης) ο οποίος είναι ικανός να βελτιώσει τις υπάρχουσες ιδιότητες και να εξαλείψει τις αρνητικές.

Όταν πρωτοξεκίνησε η έρευνα για την ανάπτυξη των ΥΑΦ στις κτιριακές εφαρμογές, οι επιστήμονες είχαν αρχικά στραφεί προς τα ανόργανα υλικά και ειδικότερα στα υδατούχα άλατα (M_nH_2O). Τα υδατούχα άλατα αποτελούν την πιο σημαντική ομάδα ΥΑΦ. Με ιδιαίτερα υψηλή θερμότητα σύντηξης και συνεπώς υψηλά ποσά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας ανά μονάδα όγκου, είναι ικανά να συγκρατήσουν πολύ μεγάλα ποσά θερμότητας σηματοδοτώντας μία σημαντική αναβάθμιση στον τομέα της μόνωσης. Επιπλέον, η καλή θερμική αγωγιμότητα που

παρουσιάζουν εγγυάται την λειτουργία τους σχεδόν στο πλήρες εύρος των δυνατοτήτων τους, μετατρέποντας τα σε ιδανικά μονωτικά υλικά. Θα πρέπει να σημειωθεί πως η παραγωγή και χρήση τους είναι αρκετά φθηνή, ενώ η εύκολη διαθεσιμότητά τους καθιστά δυνατή την παραγωγή τους σε μεγάλη κλίμακα [49].

Η λειτουργία τους είναι η ακόλουθη:

Τα υδατούχα άλατα μπορούν να θεωρηθούν ως κράματα ανόργανων αλάτων και νερού που σχηματίζουν ένα τυπικό κρυσταλλικό στερεό φόρμουλας $AB \cdot nH_2O$. Η στερεοποίηση ή η υγροποίηση των υδατούχων αλάτων είναι στην πραγματικότητα μία αφυδάτωση της ενυδάτωσης του άλατος, παρόλο που θερμοδυναμικά η διαδικασία μοιάζει με τήξη ή πήξη. Τα υδατούχα άλατα συνήθως λιώνουν, είτε σε ένα υδατούχο άλας με λιγότερα mole νερού όπως περιγράφεται στην αντίδραση:



Είτε στην άνυδρο μορφή τους:



Στο σημείο τήξης οι υδατούχοι κρύσταλλοι σπάζουν σε άνυδρο αλάτι και νερό ή σε ένα κατώτερο υδατούχο άλας και νερό.

Στο σημείο αυτό, ωστόσο, ξεκινάνε τα προβλήματα. Ένα αρνητικό στοιχείο που παρουσιάζουν τα περισσότερα υδατούχα άλατα είναι η ακατάλληλη τήξη τους. Με λίγα λόγια όταν λιώνει ένα υδατούχο άλας το κρυσταλλικό νερό που απελευθερώνεται δεν είναι αρκετό ώστε να καταφέρει να διαλύσει όλη την υπάρχουσα στερεή φάση. Εξαιτίας της υψηλότερης πυκνότητας το στερεό υδατούχο άλας (ή το άνυδρο άλας) κατακάθεται στον πυθμένα του κελύφους. Η απόρριψη του ουσιαστικά, έχει ως αποτέλεσμα την μη αξιοποίηση της υψηλής του θερμικής αγωγιμότητας, εξαλείφοντας ένα από τα σημαντικά στοιχεία που τα κάνουν να υπερέχουν έναντι των οργανικών ΥΑΦ [49,50].

Εντούτοις η μείωση της θερμικής αγωγιμότητας δεν είναι και η μοναδική συνέπεια του λανθασμένου τρόπου τήξεώς τους. Η εναπόθεση του στερεού άλατος πυθμένα του κελύφους το καθιστά μη διαθέσιμο κατά την αντίστροφη διαδικασία της στερεοποίησης. Το γεγονός σηματοδοτεί έναν μη αναστρέψιμο κύκλο τήξης-πήξης και η ποιότητα του υδατούχου άλας συνεχίζει να υποβαθμίζεται σε κάθε κύκλο που πραγματοποιείται.

Η γρήγορη φθορά των συγκεκριμένων υλικών είναι ένα από τα πλέον αρνητικά χαρακτηριστικά τους.

Ένα επιπλέον πρόβλημα που εμφανίζουν, είναι οι φτωχές ιδιότητες πυρήνωσης που παρουσιάζουν ιδιαίτερα στην θερμοκρασία σύντηξης, κάτι το οποίο συνεπάγεται υψηλή απόψυξη του υγρού προτού ξεκινήσει η διαδικασία της κρυσταλλοποίησης. Οι αρνητικές επιπτώσεις της απόψυξης έχουν ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο[49,50].

Η διαφορά στον όγκο που παρουσιάζουν ανάμεσα στην υγρή ή την αέρια φάση τα υδατούχα άλατα είναι ένα ακόμη μειονέκτημα που πρέπει να λυθεί εφόσον στοχεύεται η χρήση τους σε κτιριακές μονάδες. Επί προσθέτως, δεν θα πρέπει να αγνοηθεί και η όποια διαβρωτική ικανότητα και αστάθεια που εμφανίζουν, με ότι πρόσθετα κόστη αυτό συνεπάγεται.

Οι προαναφερθείσες αρνητικές ιδιότητες είναι δυνατόν να μετριαστούν με τη χρήση διάφορων μεθόδων. Η συγκεκριμένη περιοχή αποτελεί αντικείμενο συνεχούς έρευνας, για αυτό και εδώ θα αναφερθούν απλώς οι πιο αποτελεσματικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ευρέως αυτήν την χρονική στιγμή.

Όσον αφορά το θέμα της ακατάλληλης τήξης αυτό μπορεί να περιοριστεί:

- Με μηχανική ανάδευση [50]
- Με ενθυλάκωση σε κατάλληλο υλικό φορέα [51]
- Με πρόσθεση παχυντικών μέσων τα οποία αποτρέπουν την καταβύθιση των στερεών αλάτων κρατώντας τα αιωρούμενα [52].
- Με χρήση περίσσιας νερού ώστε οι τιγμένοι κρύσταλλοι να μας δίνουν υπερκορεσμένο μίγμα [53].
- Με τροποποίηση της χημικής σύνθεσης του συστήματος και κάνοντας την ακατάλληλη τήξη, κατάλληλη [54,55].

Όσον αφορά το σοβαρό πρόβλημα της απόψυξης που παρουσιάζεται στα υδατούχα άλατα, συνίσταται η χρήση ενός μέσου πυρήνωσης που θα παρέχει την απαραίτητη ποσότητα πυρήνωσης που απαιτείται ώστε να ξεκινήσει η κρυσταλλοποίηση. Μία εναλλακτική λύση είναι η διατήρηση ορισμένων κρυστάλλων σε μία μικρή παγωμένη περιοχή έτσι ώστε να χρησιμεύσουν ως υλικό πυρήνωσης [50].

Παρόλα αυτά, τα πλεονεκτήματα των υδατούχων αλάτων δεν στάθηκαν ικανά να υπερκεράσουν τα μειονεκτήματα. Το ενδιαφέρον στράφηκε προς τα οργανικά ΥΑΦ, τα οποία μπορεί να εμφανίζουν κατώτερες ιδιότητες σε σχέση με τα ανόργανα αλλά τα αρνητικά τους στοιχεία είναι πολύ λιγότερα ή περισσότερο αντιμετωπίσιμα. Ωστόσο η αναζήτηση για ένα καλύτερο ανόργανο ΥΑΦ δεν έχει σταματήσει, καθώς η συγκεκριμένη κατηγορία υλικών εμφανίζει και τις περισσότερες δυνατότητες.

Τα οργανικά ΥΑΦ συχνά εμφανίζεται να χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: Τις παραφίνες και τις μη-παραφίνες. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται κυρίως επειδή τα διάφορα είδη παραφινών παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες σε αντίθεση με τα υπόλοιπα οργανικά υλικά ενώ η χρήση της είναι αρκετά ευρεία. Υπάρχουν αρκετές

μελέτες [56,57] που προσπαθούν να βελτιώσουν περαιτέρω τις ιδιότητές της και να βρουν το κατάλληλο υλικό για μικροενθυλάκωση.

Τα οργανικά ΥΑΦ έχουν κατάλληλη τήξη, κάτι το οποίο σημαίνει πως μπορούν λιώνουν και στερεοποιούνται χωρίς να υπάρχει διαχωρισμός των στοιχείων και κατά συνέπεια υποβάθμιση του υλικού ή μείωση της θερμότητας σύντηξης. Γενικά η αντοχή τους είναι μεγαλύτερη από εκείνη των υδατούχων αλάτων. Επιπλέον, το γεγονός πως μπορούν να αυτό-πυρηνωθούν σημαίνει πως μπορούν να κρυσταλλοποιηθούν με ελάχιστη ή και καθόλου απόψυξη και συνήθως είναι μη διαβρωτικά. Μερικά επιπλέον προτερήματα, είναι η χημική σταθερότητά τους και η συμβατότητά τους με τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των οικοδομών. Ακόμη, όχι μόνο υπάρχουν διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες, αλλά προσφέρουν και ένα ιδιαίτερα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης προς επιλογή. Τέλος είναι και ανακυκλώσιμα [48,49].

Σε γενικές γραμμές, αν και οι δυνατότητες αποθήκευσης λανθάνουσας ενέργειας είναι αρκετά υψηλή τα οργανικά ΥΑΦ παραμένουν ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό μονωτικό υλικό. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με την αντοχή στην φθορά των οργανικών υλικών. Η αντοχή τους είναι ανώτερη από εκείνη των ανόργανων αλλά δυστυχώς κατώτερη των διαθέσιμων εμπορικά συμβατικών μονωτικών υλικών. Το συγκεκριμένο είναι ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα που εμποδίζει την ευρεία χρήση των ΥΑΦ.

Το πιο υποσχόμενο οργανικό υλικό που δεν ανήκει στην κατηγορία της παραφίνης, είναι τα λιπαρά οξέα ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$). Τα λιπαρά οξέα έχουν υψηλές τιμές θερμότητας σύντηξης σε σύγκριση με τις παραφίνες. Επίσης, εμφανίζουν αναστρέψιμους κύκλους τήξης-πήξης και μπορούν να στερεοποιηθούν χωρίς τον κίνδυνο της απόψυξης και θεωρούνται μία καλή κατηγορία ΥΑΦ. Το μεγαλύτερο μειονέκτημά τους είναι το κόστος, το οποίο είναι περίπου 2 με 2,5 φορές μεγαλύτερο από εκείνο της τεχνικά παρειαγμένης παραφίνης. Τέλος δεν θα πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός πως ως οξέα είναι αρκετά διαβρωτικά [48,49].

Οι παραφίνες είναι σήμερα ένα από τα καλύτερα ΥΑΦ. Εμφανίζουν όλα τα πλεονεκτήματα των οργανικών υλικών που προαναφέρθηκαν, ενώ επιπλέον το κόστος τους είναι χαμηλό. Παρουσιάζει υψηλό αριθμό κύκλων αλλαγής φάσης και αξιόλογη αντοχή. Τα ποσά θερμότητας, που είναι σε θέση να αποθηκεύσει, είναι αρκετά λιγότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα ορισμένων ΥΑΦ. Αυτό όμως δεν την εμποδίζει να είναι αρκετά αποτελεσματικότερη από ανάλογα μονωτικά υλικά που κυκλοφορούν στο εμπόριο.

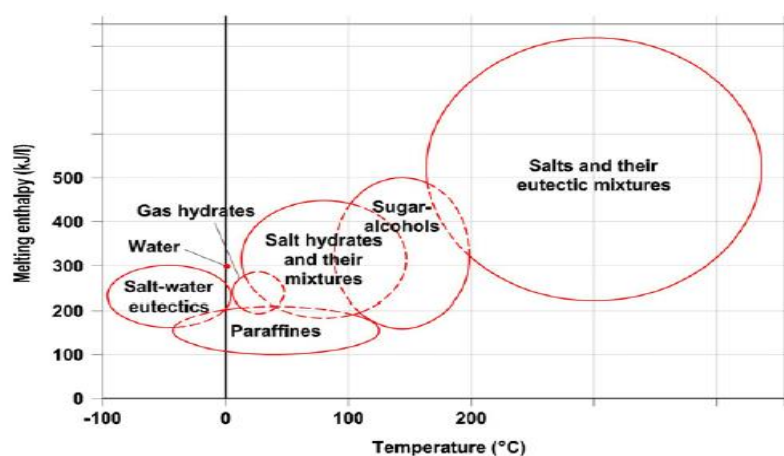
Ένα από τα μειονεκτήματά της είναι η ευφλεκτότητα της. Αυτό το πρόβλημα ωστόσο αντιμετωπίζεται εύκολα με χρήση κατάλληλου υλικού ως περίβλημα. Η μειωμένη θερμική αγωγιμότητα που την χαρακτηρίζει αντιμετωπίζεται μέσω της μικροενθυλάκωσης, ενώ πρόσφατα έχουν αναπτυχθεί και διάφορες μέθοδοι νανοενθυλάκωσης, η οποία είναι ακόμη πιο ανώτερη. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως

εξαιτίας του κόστους γενικά χρησιμοποιούνται τεχνικά είδη παραφίνων, οι οποίες στην ουσία είναι μίγματα παραφίνης και παράγονται ολοκληρωτικά από πετρέλαιο [48,49].

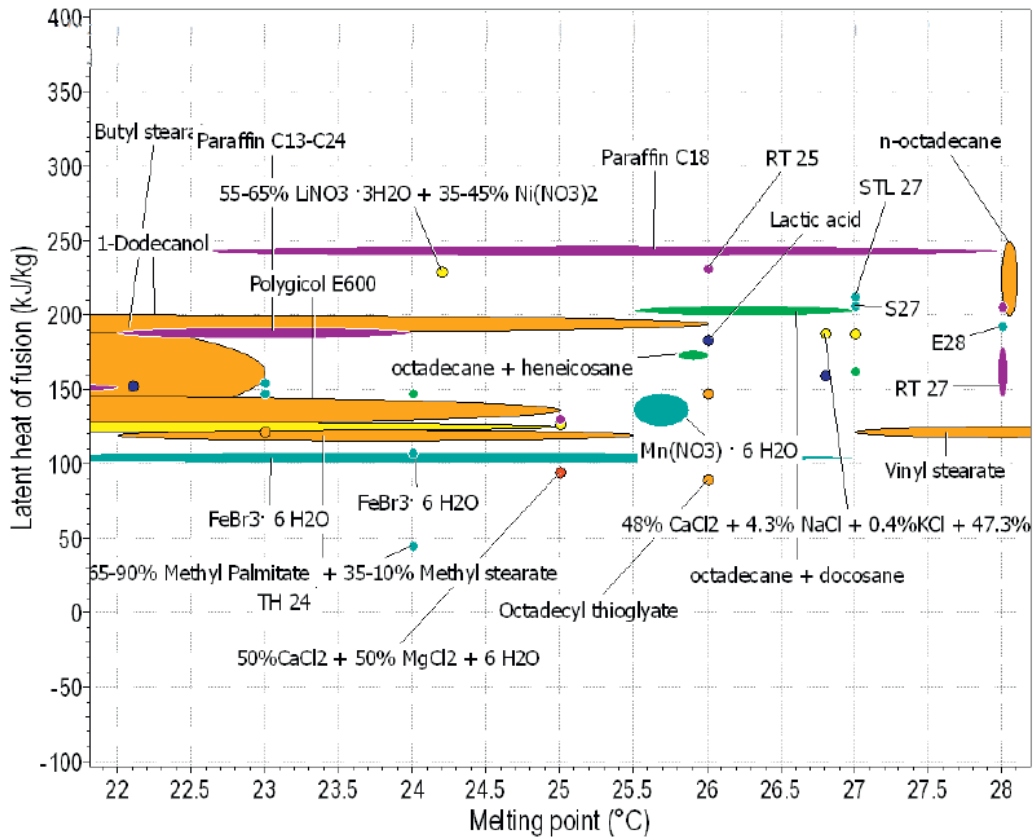
Η τελευταία κατηγορία είναι τα ευτηκτικά υλικά. Η συγκεκριμένη κατηγορία αναπτύχθηκε πολύ πρόσφατα και βρίσκεται ακόμη κυρίως σε εργαστηριακό επίπεδο. Θεωρείται αρκετά υποσχόμενη και αποτελείται από οργανικά και ανόργανα υλικά. Το ευτηκτικό υλικό είναι μία σύνθεση ελάχιστης τήξης, από δύο ή περισσότερα διαφορετικών υλικά. Το κάθε υλικό λιώνει και στερεοποιείται ομαλά δημιουργώντας μία σύνθετη κρυσταλλική δομή κατά την στερεοποίησή του. Στο ευτηκτικό υλικό τα επιμέρους συστατικά του λιώνουν και στερεοποιούνται ταυτόχρονα και δεν υπάρχει ο κίνδυνος διαχώρισής τους. Η λογική πίσω από αυτήν την κατηγορία υλικών είναι να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα των διαφόρων ΥΑΦ εξαλείφοντας τα μειονεκτήματά τους.

Δυστυχώς, περαιτέρω ανάλυση της συγκεκριμένης κατηγορίας δεν είναι δυνατή εξαιτίας των περιορισμένων διαθέσιμων δεδομένων, σχετικά με τις ιδιότητές, που υπάρχουν. Επομένως η εξαγωγή συμπερασμάτων δεν είναι ιδιαίτερα ασφαλής [48,49,58].

Οι πίνακες που παρουσιάζονται παρακάτω δίνουν μια σχηματική αναπαράσταση όσων έχουν αναφερθεί σχετικά με την επιλογή υλικού και αποδεικνύουν γιατί η παραφίνη είναι το υλικό που χρησιμοποιείται αυτήν τη στιγμή περισσότερο [59,60].



Διάγραμμα 9: Ενθαλπία τήξης (και κατά συνέπεια η χωρητικότητα λανθάνουσας θερμότητας) και σημείο τήξης διαφόρων ομάδων ΥΑΦ.



Διάγραμμα 10: Πρόσφατα ΥΑΦ που χρησιμοποιούνται στο εμπόριο για τα κτιριακά κελύφη.

Όπου στο διάγραμμα 10:

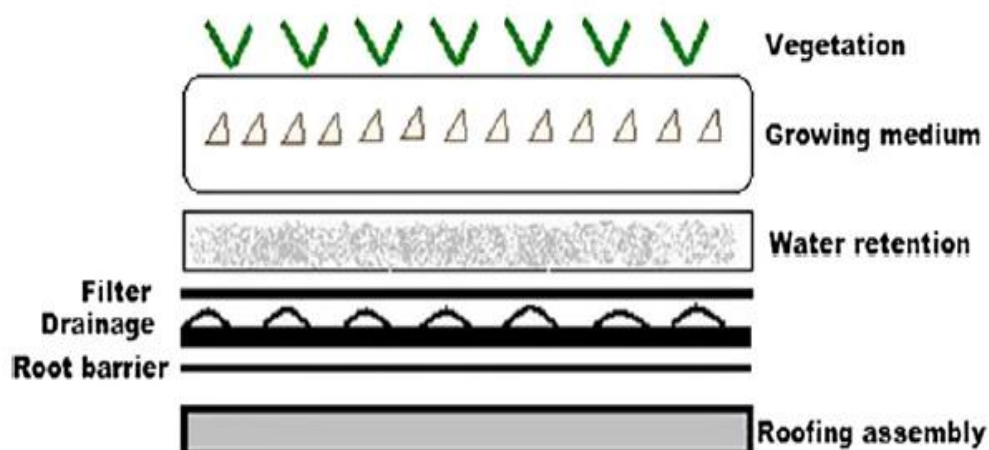
- Eutectic inorganic
- Eutectic organic
- Fatty ACID
- Inorganic
- Inorganic salt hydrate
- Organic
- Paraffin

2.4: Πράσινες Στέγες

Ένας άλλος τρόπος για να αντιμετωπιστεί η ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας που συσχετίζεται με τον κύκλο ζωής των κτιριακών μονάδων είναι η χρήση πράσινων στεγών. Ο όρος ‘πράσινη’ αναφέρεται στη δημιουργία ενός χώρου βλάστησης πάνω από την κτιριακή μονάδα, ενώ ο όρος ‘στέγη’ αναφέρεται στο γεγονός πως αυτός ο χώρος θα είναι συνεχής και θα παρέχει προστασία και μόνωση από κάθε είδους φαινόμενα στους κατοίκους εντός του σπιτιού. Τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα θετικά, καθώς οι πράσινες στέγες είναι ιδιαίτερα αποδοτικές σε σχέση με τις συμβατικές, καθώς ανταγωνίζονται και ανάλογες ‘έξυπνες’ στέγες όπου γίνεται χρήση ανακλαστικών μπογιών ή υλικών αλλαγής φάσης για τη μόνωσή τους. Η περαιτέρω μαζική χρήση των πράσινων στεγών σε επίπεδο μεγαλουπόλεων ενδέχεται να έχει ακόμη μεγαλύτερες θετικές επιδράσεις τόσο σε επίπεδο ψυχολογικό όσο και σε επίπεδο ενεργειακό και περιβαλλοντικό [61,62]. Υπάρχουσες μελέτες προσομοίωσης δείχνουν πως εφόσον οι πράσινες στέγες εφαρμοστούν σε κλίμακα πόλεως, ενδέχεται να μειώσουν τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος από 0.3 έως 3 °C [63].

2.4.1: Έννοια-Λειτουργία

Στην αγορά υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη πράσινων στεγών καθώς οι κατασκευαστές προσπαθούν να ικανοποιήσουν διαφορετικές απαιτήσεις πελατών, όπως και διαφορετικά κλίματα. Παρόλα αυτά, θα γίνει μία προσπάθεια να απεικονιστούν τα συνήθη τμήματα από τα οποία αποτελείται μία πράσινη στέγη. Η εικόνα 17 μας δίνει μια επαρκή ιδέα [64,65,66]:



Εικόνα 17: Αντιπροσωπευτικό δείγμα στρωμάτων τα οποία αποτελούν μία πράσινη στέγη

Τμήμα 1^ο: Στρώμα φραγμού ρίζας (Root barrier layer)

Είναι το πρώτο τμήμα της πράσινης στέγης και τοποθετείται ακριβώς πάνω από την υπάρχουσα συμβατική στέγη (Roofing assembly) της οικίας, η οποία είναι γενικά κτισμένη με παραδοσιακά υλικά, όπως για παράδειγμα το τσιμέντο.

Ο κυρίως σκοπός του συγκεκριμένου στρώματος είναι να παρέχει μία αδιάβροχη μεμβράνη για την προστασία της υπάρχουσας στέγης. Η πρόληψη των διαρροών είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα σύστημα πράσινης στέγης. Σε περίπτωση διαρροής όλα τα στρώματα της πράσινης στέγης θα πρέπει να αφαιρεθούν ώστε να εντοπιστεί η αιτία της διαρροής.

Ένας άλλος στόχος του συγκεκριμένου στρώματος είναι, όπως υποδηλώνει και το όνομά του, η προστασία της πράσινης στέγης από τις ρίζες των φυτών, οι οποίες θα μπορούσαν να διεισδύσουν από τα ανώτερα στρώματα. Με τη πάροδο του χρόνου οι ρίζες μεγαλώνουν, ενδυναμώνουν και καταλαμβάνουν όλο και περισσότερο χώμα αναζητώντας νερό και θρεπτικές ουσίες για το φυτό. Εάν δεν παρέχεται κατάλληλη προστασία οι ρίζες των φυτών είναι ικανές να διεισδύσουν μέσα από τα διάφορα στρώματα, προκαλώντας ρωγμές ή ακόμα και τρύπες.

Υπάρχουν δύο ειδών στρώματα φραγμού ρίζας στην αγορά: Τα υλικά και τα χημικά. Τα υλικά στρώματα αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα (συνήθως περίπου 0.05 cm) χαμηλής ποιότητας πολυαιθυλενίου και τοποθετούνται ακριβώς πάνω από την υπάρχουσα συμβατική στέγη. Τα χημικά στρώματα χρησιμοποιούν τοξίνες όπως ο χαλκός που εμποδίζουν την είσοδο των ριζών [67,68,69].

Τμήμα 2^ο: Στρώμα αποστράγγισης (Drainage layer)

Οι πράσινες στέγες έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης νερού. Εντούτοις είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας κενός χώρος ανάμεσα στα στρώματα της πράσινης στέγης που θα επιτρέπει στο επιπλέον νερό να κυλήσει έξω από αυτήν. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται και οι πιθανότητες διαρροής. Η αποτελεσματική αποστράγγιση προστατεύει το στρώμα φραγμού ρίζας από υπερβολική συγκέντρωση νερού στην αδιάβροχη μεμβράνη. Ακόμα, το νερό αυξάνει και το βάρος της πράσινης στέγης και για αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να διατίθενται ένα καλό αποχετευτικό σύστημα που θα συγκρατεί τις επιτρεπτές ποσότητες νερού και το βάρος της πράσινης στέγης δεν θα ξεπερνάει τις τιμές σχεδιασμού. Τέλος υπερβολικές ποσότητες νερού ενθαρρύνουν και τις ρίζες των φυτών να αυξηθούν και να πολλαπλασιαστούν προκαλώντας φθορές στο στρώμα φραγμού ρίζας.

Τα υλικά αποστράγγισης και τα σχήματά τους διαφέρουν ανάλογα με το επιλεγμένο είδος πράσινης στέγης και τις συνθήκες καιρού. Λεπτά και ελαφριά υλικά, όπως το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο, χρησιμοποιούνται στις 'εκτεταμένες' πράσινες στέγες εξαιτίας των περιορισμών που υπάρχουν στο επιτρεπόμενο βάρος. Οι κατασκευαστές πράσινων στεγών δήλωσαν σε συνεντεύξεις πως τα πολυμερή είναι από τα αγαπημένα τους υλικά επειδή είναι εύκαμπτα, μπορούν να μεταφερθούν σε

κυλίνδρους, έχουν εύκολη και απλή εγκατάσταση, έχουν υψηλή ισχύ και ανθεκτικότητα και χαμηλό κόστος παραγωγής. Συχνά το πολυμερές υλικό είναι συνδεδεμένο με ένα γεωύφασμα που αποτρέπει τα μικρά σωματίδια χώματος να μπλοκάρουν το σύστημα αποχέτευσης. Ανάλογα με τον τύπο της πράσινης στέγης και το σύστημα αποχέτευσης που χρησιμοποιείται το συγκεκριμένο στρώμα στις εκτατικές στέγες θα έχει πάχος από 1 έως 1.5 cm.

Στην περίπτωση των εντατικών στεγών, γίνονται επιθυμητά τα μεγαλύτερα φορτία χώματος από ότι στις εκτεταμένες. Ως απότοκο το σύστημα αποχέτευσης θα είναι βαρύτερο και με μεγαλύτερο πάχος. Γενικά εδώ, το συγκεκριμένο στρώμα θα αποτελείται από κυκλικά βότσαλα τα οποία είναι ένα φυσικό είδος αποχέτευσης και διήθησης, ενώ το πάχος του θα είναι 4 cm ή και περισσότερο [67,68,69].

Τμήμα 3^ο: Στρώμα φίλτρου (Filter layer)

Ανεξάρτητα από τον τύπο ή το σύστημα πράσινης στέγης ο σκοπός του στρώματος φίλτρου είναι να εμποδίσει τα σωματίδια από τα ανώτερα στρώματα να μπλοκάρουν το σύστημα αποχέτευσης. Επί προσθέτως το στρώμα φίλτρου διατηρεί την ακεραιότητα του μέσου καλλιέργειας (π.χ. χώμα) και των φυτών.

Υλικά όπως πολυμερικές ίνες ή πολυολεφίνες χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστούν λεπτά και ελαφριά στρώματα φίλτρου. Το φίλτρο συνδέεται στο στρώμα αποχέτευσης για να διευκολυνθεί η εγκατάσταση. Από τη στιγμή που το φίλτρο στη βιβλιογραφία θεωρείται μέρος του στρώματος αποστράγγισης δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες όσον αφορά το βάρος και το πάχος του [67,68,69].

Τμήμα 4^ο: Στρώμα κατακράτησης νερού (Water retention layer)

Ο κυρίως σκοπός του συγκεκριμένου στρώματος είναι να διατηρήσει το νερό για μελλοντική χρήση και να συγκρατήσει την υγρασία του μέσου καλλιέργειας [10]. Το νερό είναι μία φυσική πηγή θρεπτικών συστατικών για τα φυτά και τα βοηθάει να διατηρηθούν υγιή και να επιβιώσουν στις κορυφές των στεγών. Επιπλέον, το ειδικό αυτό στρώμα μειώνει κατά τη διάρκεια καταιγίδων την ποσότητα νερού που απαιτείται να διαχειριστεί το αποχετευτικό σύστημα της πόλης. Το μέγεθος της χωρητικότητας καθορίζεται από τον τύπο της στέγης, τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην συγκεκριμένη περιοχή, το είδος της βλάστησης και από τον τύπο της συμβατικής στέγης. Το αποθηκευμένο νερό προσθέτει περαιτέρω βάρος που η δομή της να αδυνατεί να σηκώσει. Συνεπώς, η στέγη είναι ο πρώτος περιορισμός στην επιλογή υλικών πάχους του στρώματος κατακράτησης νερού.

Σε αντίθεση με τα άλλα στρώματα της πράσινης στέγης το παρόν στρώμα είναι ένα 'χαλάκι' φτιαγμένο από ορυκτοβάμβακα και τοποθετείται ακριβώς πάνω από το στρώμα φίλτρου. Λόγω των παραγόντων που προαναφέρθηκαν το πάχος του συγκεκριμένου στρώματος διαφέρει επηρεάζοντας την ικανότητα διατήρησης υγρασίας στην πράσινη στέγη. Το βάθος του κάθε 'χαλιού' κυμαίνεται από 1 cm έως 6.5 cm.

Αξίζει να σημειωθεί πως διαφορετικοί τύποι ‘χαλιών’ μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους, έτσι ώστε να είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις ανάγκες διαφορετικών πράσινων στεγών.

Τμήμα 5^ο: Στρώμα μέσου καλλιέργειας (Growing medium layer)

Το παρόν στρώμα συνεισφέρει τόσο στη θερμική απόδοση της στέγης, όσο και στην ικανότητα αποθήκευσης νερού που έχει. Επί προσθέτως, παρέχει τα θρεπτικά συστατικά και το νερό που τα φυτά χρειάζονται για να επιτελέσουν τις βιολογικές τους λειτουργίες. Συγχρόνως, παρέχει το χώρο στον οποίο τα φυτά θα εγκατασταθούν αλλά και θα αναπτυχθούν ή ενδυναμώσουν, ώστε να μπορούν να αντέξουν τις δύσκολες καιρικές συνθήκες που πρόκειται να αντιμετωπίσουν στην στέγη.

Το φυσικό μέσο καλλιέργειας είναι το χώμα. Ωστόσο το χώμα είναι πιθανό να περιέχει πηλό και οργανικά σωματίδια τα οποία βαραίνουν όταν μουσκεύουν. Οι περιορισμοί βάρους στους οποίους διέπονται οι πράσινες στέγες οδήγησαν αρκετούς κατασκευαστές να αναπτύξουν τα δικά τους μέσα καλλιέργειας. Γενικά, το μέσο καλλιέργειας έχει υψηλή περιεκτικότητα πορωδών ορυκτών και χαμηλή περιεκτικότητα οργανικών υλικών για να επιτύχει την επιθυμητή ισορροπία ανάμεσα στην απόδοση και το βάρος. Παρόλα αυτά, το περιεχόμενο του μέσου καλλιέργειας μπορεί να τροποποιηθεί για ανταποκριθεί στις φυσικές απαιτήσεις της επιλεγμένης βλάστησης.

Το πάχος του μέσου καλλιέργειας συσχετίζεται επίσης με το είδος της βλάστησης. Μικρή βλάστηση, όπως βρύα, χρειάζεται μικρότερο πάχος από ότι για παράδειγμα ένας θάμνος. Μία από τις μικρότερες τιμές πάχους που έχουν τα εμπορικά διαθέσιμα μέσα καλλιέργειας είναι τα 2.5 cm και χρησιμοποιούνται για εκτεταμένο είδος πράσινης στέγης. Στον αντίποδα τα μέσα καλλιέργειας που σχετίζονται με τις εντατικές πράσινες στέγες μπορούν να έχουν πάχη που κυμαίνονται από 40 έως 120 cm [71,72].

Τμήμα 6^ο: Στρώμα βλάστησης (Vegetation layer)

Το στρώμα βλάστησης είναι το αισθητικό στρώμα των πράσινων στεγών και πιθανόν το στρώμα που καθορίζει τη πράσινη στέγη ως ένα περιβαλλοντικά φιλικό προϊόν. Η διατήρηση μιας υγιούς βλάστησης είναι ο στόχος πολλών σχεδιαστών και ιδιοκτητών για τους ψυχολογικούς και αισθητικούς παράγοντες που προσφέρει. Εκτός αυτού, η βλάστηση μπορεί να οδηγήσει και σε περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας, βελτίωση της ποιότητας του αέρα, να αντικαταστήσει το φυσικό τοπίο που εκτοπίστηκε από τις μεγαλουπόλεις και να ενθαρρύνει την βιοποικιλότητα. Ακόμη, τα φυτά βοηθούν και στη διαχείριση του νερού από το αποχετευτικό σύστημα της πόλης μέσω της ικανότητας που έχουν να αποθηκεύουν νερό, αλλά και μέσω της εξατμισοδιαπνοής τους [73].

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες στην κορυφή των στεγών είναι διαφορετικές από εκείνες του εδάφους. Για αυτό το λόγο συνίσταται να χρησιμοποιείται μία ειδική

κατηγορία φυτών, τα Crassulacean Acid Metabolism plants (ή CAM plants). Τα ειδικά αυτά φυτά, ανοίγουν τα φύλλα τους για να ανταλλάξουν οξυγόνο με διοξείδιο του άνθρακα με το περιβάλλον κατά τη διάρκεια του σκότους, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο τη διατήρηση νερού κάτω από συνθήκες ξηρασίας. Η ζήτηση τέτοιων χαρακτηριστικών, περιορίζει το εύρος των φυτών που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για μία πράσινη στέγη [74]. Ωστόσο μελέτες έχουν δείξει πως φυτά, όπως τα σέδη (Εικόνα 18) και τα βρύα, που είναι από τα πιο διάσημα και συνηθισμένα φυτά που χρησιμοποιούνται για (εκτεταμένες) πράσινες στέγες, τηρούν τις παραπάνω προδιαγραφές [75]. Τέλος, όσον αφορά τα βρύα απαιτείται ακόμα λιγότερη φροντίδα για τη διατήρησή τους.



Εικόνα 18: Χαρακτηριστικό παράδειγμα φυτών τύπου σέδου που χρησιμοποιείται κατά κόρον στις εκτεταμένες πράσινες στέγες

Όσον αφορά τις εντατικές πράσινες στέγες η κατάσταση είναι διαφορετική. Εδώ ο στόχος είναι να παρέχεται στους χρήστες ένας χώρος για να απολαύσουν ένα διαφορετικό περιβάλλον μέσα στο ίδιο τους το κτίριο. Για αυτό τον λόγο, κυρίως για αυτόν τον τύπο πράσινης στέγης χρησιμοποιούνται θάμνοι, δέντρα ή ακόμη και μικρά οπωροφόρα δέντρα και λαχανικά. Τα φυτά μπορούν να έχουν ύψος από 10 cm έως 100 cm[76].

2.4.2: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Η χρήση πράσινων στεγών στις κατοικίες παρουσιάζει πολλαπλά οφέλη τόσο σε περιβαλλοντικό, οικονομικό επίπεδο όσο και σε αισθητικό και ψυχολογικό. Παρακάτω, θα παρουσιαστούν μερικά από τα σημαντικότερα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση των πράσινων στεγών.

- ***Ιδιωτικά και κοινωνικά οφέλη:***

Ως ιδιωτικά, ορίζονται τα οφέλη που αποφέρουν άμεσα κέρδος στον ιδιοκτήτη ενός κτηρίου και περιλαμβάνουν εξοικονόμηση στα ενεργειακά κόστη, αύξηση της διάρκειας ζωής της στέγης, καθώς και αισθητικά ή και ψυχολογικά οφέλη. Ακόμη, οι ιδιωτικά προσβάσιμες πράσινες στέγες ευνοούν τον ιδιοκτήτη αυξάνοντας την αξία της κατοικίας.

Αντίθετα, ως κοινωνικά οφέλη ορίζονται εκείνα που αποφέρουν κέρδος στην ευρύτερη κοινότητα όπως καλύτερη διαχείριση του νερού από το αποχετευτικό σύστημα της πόλεως, βελτίωση του αστικού κλίματος και προώθηση της ποικιλομορφίας και του περιβάλλοντος.

Όπως αποφαίνεται, τα προαναφερθέντα κέρδη επηρεάζουν το άτομο τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προωθηθεί η ιδέα σε διαφορετικά ακροατήρια [77].

- ***Αισθητικά, ψυχολογικά και ψυχαγωγικά οφέλη:***

Ένα από τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματα που προσφέρει οι χρήση των πράσινων στεγών, είναι η παροχή επιπλέον ανοιχτού χώρου για αναψυχή. Στο πυκνό αστικό περιβάλλον, με περιορισμένες περιοχές ανοιχτού χώρου στο επίπεδο του εδάφους, οι επίπεδες πράσινες στέγες παρουσιάζουν τεράστιες προοπτικές, όντας ικανές να προσφέρουν στους αστικούς κατοίκους, τους χώρους αναψυχής που χρειάζονται για μία υγιή ζωή. Η θέαση, τα αρώματα και οι ήχοι ενός κήπου εμπλουτίζουν ανυπολόγιστα την εμπειρία και την ποιότητα της αστικής ζωής. Όσον αφορά τις πολυκατοικίες, οι πράσινες στέγες είναι ικανές να προσφέρουν και ευκαιρίες για κοινωνικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των γειτόνων που υπό διαφορετικές συνθήκες μπορεί να μην ήταν δυνατές.

Ένα ακόμη κέρδος των πράσινων στεγών είναι η υψηλή αισθητική αξία που προσδίδουν στο κτίριο, καθιστώντας τες ιδιαίτερα επιθυμητές σε κτίρια που βρίσκονται σε κεντρικά σημεία της πόλεως. Ειδικότερα, όσον αφορά την Ελλάδα η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει τα μέγιστα ώστε να αλλάξουν πρόσωπο πόλεις όπως η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, όπου η πλειοψηφία των στεγών κυρίως σχετίζονται με την εικόνα γκρίζων πλακών από σκυρόδεμα. Εφόσον υιοθετηθούν μαζικά σε επίπεδο πόλεως οι πράσινες στέγες έχουν την ικανότητα να βοηθήσουν την οπτική απεικόνιση του περιβάλλοντος σε όλη την αστική περιοχή [77].

Όσον αφορά το ψυχολογικό κομμάτι μελέτες έχουν δείξει πως η τονωτική επίδραση που έχει το φυσικό τοπίο στους κατοίκους των πόλεων τους βοηθάει να εκτρέψουν το μυαλό τους από έγνοιες και ανησυχητικές σκέψεις [78]. Οι άνθρωποι που ζουν σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα κατοίκων είναι λιγότερο ευαίσθητοι στις ασθένειες εάν έχουν δίπλα τους ένα κήπο [79]. Το γεγονός αυτό εξηγείται εν μέρει από το επιπλέον οξυγόνο, το φιλτράρισμα αέρα και τον έλεγχο της υγρασίας που τους παρέχουν τα φυτά. Η ποικιλία των χρωμάτων, μυρωδιών και ήχων που προσδίδουν σε ένα περιβάλλον τα φυτά αν και όχι μετρήσιμη μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην ανθρώπινη υγεία και ευεξία. Κάτι τέτοιο είναι δυνατό να οδηγήσει και σε πιθανή μείωση των δαπανών στον τομέα της δημόσιας υγείας.

Επί προσθέτως, οι χώροι των πράσινων στεγών είναι ιδανικό μέρος για την καλλιέργεια φαγητού μέσα σε ένα αστικό περιβάλλον. Ιδανικά παραδείγματα είναι τα βότανα, τα λαχανικά ή και τα οπωροφόρα δέντρα που μπορούν να αναπτυχθούν σε περιβάλλον εκτεταμένης και εντατικής στέγης αντίστοιχα. Πέρα από τη θεραπευτική και εκπαιδευτική αξία που ενέχει η καλλιέργεια φυτών, υπάρχουν και σημαντικά οικονομικά κέρδη από την συγκεκριμένη ασχολία [77].

- **Περιβαλλοντικά οφέλη:**

Η ενίσχυση της βιοποικιλότητας με την χρήση των πράσινων στεγών συνδέεται στενά με τον τύπο της βλάστησης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Με την καλλιέργεια των κατάλληλων φυτών είναι δυνατό να δημιουργηθούν φυσικοί βιότοποι για διαμονή για αποδημητικά πουλιά και έντομα, καθώς βασικές τους ανάγκες όπως φαγητό, νερό, καταφύγιο καλύπτονται και με το παραπάνω. Ακόμη και εάν οι πράσινες στέγες αδυνατούν να καλύψουν τα παραπάνω, μπορούν κάλλιστα να λειτουργήσουν σαν συνδετικός κρίκος ανάμεσα στην πόλη και το περιβάλλον ωφελώντας την άγρια ζωή. Μελέτες που έγιναν ώστε να εξακριβωθεί η σημασία των πράσινων στεγών για την άγρια ζωή, έδειξαν πως υπήρχε μικρή διαφορά στον αριθμό σκουληκιών και εντόμων που υπήρχαν στην πράσινη στέγη σε σχέση με εκείνα στο έδαφος. Κατά συνέπεια, παρατηρήθηκε αυξημένη επισκεψιμότητα από πουλιά, καθώς ο δεδομένος τύπος στέγης είναι και μία σπουδαία πηγή φαγητού για τη άγρια ζωή μέσα σε ένα αστικοποιημένο περιβάλλον [80].

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στην Ελλάδα είναι ο κίνδυνος πλημμυρών εξαιτίας της αποψίλωσης του τοπίου. Οι πολυκατοικίες είναι αδιαπέραστες από τη βροχή και ως συνέπεια το 75% του νερού παραλαμβάνεται από το σύστημα αποχέτευσης. Στον αντίποδα το δάσος είναι ικανό να απορροφήσει παραπάνω από το 95% του νερού κάνοντας τις πράσινες στέγες μία αποτελεσματική λύση στο παρών πρόβλημα, ιδιαίτερα από τη στιγμή που οι στέγες καταλαμβάνουν μέχρι και το 50% της επιφάνειας στις πυκνά αστικοποιημένες περιοχές. Επιπλέον, το βρόχινο νερό είναι δυνατό να αποθηκευτεί και να επαναχρησιμοποιηθεί για το πότισμα της στέγης όταν οι συνθήκες το απαιτήσουν, μειώνοντας τα κόστη της άρδευσης [80].

Ένα ακόμη αρνητικό φαινόμενο που σχετίζεται με τις μεγαλουπόλεις είναι η ρύπανση του αέρα. Αν και όχι άμεσα θανατηφόρα, μπορεί να προκαλέσει απώλειες στον πληθυσμό που ήδη έχει αναπνευστικά προβλήματα, ενώ επιβαρύνει την υγεία των υπολοίπων. Η βλάστηση στις αστικές περιοχές μπορεί να φιλτράρει τα σωματίδια του αέρα και να απορροφήσει τους αέριους ρύπους. Παρόλα αυτά δεν έχει γίνει λεπτομερής έρευνα για να ανακαλυφθεί πόσο οι πράσινες στέγες μετριάζουν το φαινόμενο της αέριας ρύπανσης. Μελέτες δείχνουν πως ένα τετραγωνικό μέτρο γρασιδιού μπορεί να αφαιρέσει 0.2 κιλά αέριων σωματιδίων [81].

Η ηχορύπανση αποτελεί επίσης ένα θέμα που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Οι πράσινες στέγες μπορούν να απορροφήσουν τον ήχο, με τα φυτά να τείνουν να απορροφήσουν τον ήχο στις χαμηλότερες συχνότητες και το υπόστρωμα στις υψηλότερες. Μελέτες στην Γερμανία αποκάλυψαν πως μία πράσινη στέγη πάχους 10cm στο αεροδρόμιο της Φρανκφούρτης είναι ικανή να μειώσει τον ήχο που μεταδίδεται στα γειτονικά κτίρια λίγο περισσότερο από 5 decibel [77].

Τέλος, ίσως το πιο σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα αστικά κέντρα στην Ελλάδα είναι η αυξημένη αστική θερμότητα της πόλεως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σε σχέση με το περιβάλλον. Η βλάστηση μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της θερμοκρασίας μέσω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής. Μελέτες υποδεικνύουν πως όσο μεγαλύτερος είναι ο πράσινος χώρος τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η μείωση της θερμοκρασίας εντός του. Μαζική χρήση των πράσινων στεγών ενδέχεται να επιφέρει μέχρι και εξάλειψη του συγκεκριμένου φαινομένου [82].

- **Οικονομικά οφέλη:**

Έχει αποδειχθεί πως οι πράσινες στέγες εάν εγκατασταθούν κατάλληλα μπορούν να επεκτείνουν την διάρκεια ζωής της στέγης. Η αποικοδόμηση από την υπεριώδη ακτινοβολία και η συνεχής διαστολή-συστολή που υφίσταται η στέγη από τις εναλλαγές της θερμοκρασίας αποτελούν τις πρωταρχικές αιτίες αποκόλλησης και υποβάθμισης των συμβατικών στεγών. Αντίθετα οι πράσινες στέγες μονώνουν τα υλικά από το υπεριώδες φως και μειώνουν τα θερμικά φορτία, που δέχονται, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής τους. Γερμανοί ερευνητές απέδειξαν πως μείωση της διακύμανσης της ημερήσιας θερμοκρασίας στα υλικά έως 94% είναι δυνατόν να επιτευχθεί [77,80].

Ένα επιπλέον προσόν των πράσινων στεγών, είναι η καλύτερη μόνωση και κατά συνέπεια τα μειωμένα ενεργειακά κόστη που προσφέρουν στο κτίριο. Οι πράσινες στέγες συνεισφέρουν στη μόνωση με διαφορετικούς τρόπους: Αρχικά παγιδεύοντας ένα στρώμα αέρα μέσα στα φυτά η επιφάνεια δροσίζεται το καλοκαίρι και ζεσταίνεται τον χειμώνα. Συνεχίζοντας με την κάλυψη της επιφάνειας με βλάστηση η καλοκαιρινή ζέστη εμποδίζεται να διεισδύσει στο κτίριο, όπως το χειμώνα η εσωτερική ζέση δεν μπορεί να διαφύγει. Τέλος τα φυτά προφυλάσσουν ενάντια στον άνεμο περιορίζοντας περαιτέρω τα κόστη [77].

Εντούτοις, υπάρχουν ακόμη σημαντικά μειονεκτήματα, όσον αφορά τις πράσινες στέγες, που πρέπει να αντιμετωπιστούν και τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω:

Ένα από τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι το γεγονός πως για να παρουσιάσουν οι πράσινες στέγες τις προαναφερθείσες ευεργετικές ιδιότητες θα πρέπει να είναι εντατικού τύπου δηλαδή να έχουν υψηλό πάχος χώματος, ώστε να είναι δυνατό μεγάλα φυτά και δέντρα να καλλιεργηθούν πάνω τους. Κάτι τέτοιο σημαίνει και αυξημένο βάρος που αρκετές κατασκευές είναι δυνατό να μην μπορούν να το αντέξουν. Καταλήγοντας, το κόστος των εντατικών στεγών αυξάνεται σημαντικά ιδιαίτερα σε σχέση με τις εκτατικές, οι οποίες ωστόσο έχουν και μειωμένη μονωτική ικανότητα. Απόπειρες προσομοίωσης που έγιναν για εκτατικές στέγες σε μεσογειακά κλίματα έδειξαν πως ο συγκεκριμένος τύπος στέγης δεν παίζει μεγάλο ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας, η οποία εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό μόνωσης της στέγης. Ειδικά δε τους καλοκαιρινούς μήνες, μεγάλο ρόλο παίζει το ποσοστό της υγρασίας του μέσου καλλιέργειας, γεγονός που αυξάνει την πολυπλοκότητα και μειώνει την ακρίβεια υπολογιστικής προσομοίωσης [77,83,84].

Ακόμη εναλλακτικές τεχνολογίες, όπως η στέγη με βαφή ανακλαστικών χρωμάτων, επιφέρει σημαντικά μεγαλύτερα κέρδη το καλοκαίρι, ιδιαίτερα σε σχέση με τις εκτατικές στέγες. Επίσης, όσο πιο μικρή είναι η έκταση της πράσινης στέγης τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη για εντατική στέγη έτσι ώστε να αποκτηθούν απτά οφέλη [77,85].

Επί προσθέτως, τα πλεονεκτήματα των πράσινων στεγών μεγιστοποιούνται μόνο εφόσον η τεχνική αυτή εφαρμοστεί σε μαζική κλίμακα και κάτι τέτοιο συνεπάγεται και πολιτική πρωτοβουλία. Η έλλειψη γνώσεων πάνω σε αυτό το θέμα δυσχεραίνει την κατάσταση. Τέλος, θα πρέπει να γίνει κατανοητό στο κοινό πως τα οφέλη από τη συγκεκριμένη τεχνολογία είναι κυρίως μακροπρόθεσμα και το κόστος θα είναι αρχικά, τουλάχιστον μεγαλύτερο από εκείνο μίας συμβατικής στέγης [77].

Όσον αφορά τα οικονομικά δεδομένα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα έκτακτα κόστη συντήρησης που μπορεί να προκύψουν εξαιτίας, παραδείγματος χάριν, κάποιας διαρροής, αλλά και τα κόστη για την άρδευση (ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες) και την ανάπτυξη των φυτών. Το τελευταίο βέβαια, εξαρτάται κυρίως από τον τύπο αλλά και το κλίμα στο οποίο είναι εγκατεστημένη η στέγη [77].

Ένα τελευταίο αρνητικό γεγονός που παρατηρείται όσον αφορά τις πράσινες στέγες είναι το γεγονός πως λειτουργούν ως ένα είδος ‘νεροχύτη’ για ρύπους, καθιστώντας σε ορισμένες περιπτώσεις την παραγωγή τροφής απαγορευτική, δυσχεραίνοντας την ανάπτυξη των φυτών και μολύνοντας με την πάροδο των ετών σημαντικά το μέσο καλλιέργειας. Ωστόσο, όπως είναι προφανές εδώ, τεράστιο ρόλο παίζει το επίπεδο μόλυνσης της πόλης στην οποία είναι εγκατεστημένη η πράσινη στέγη [86].

2.4.3. Επιλογή τύπου υλικών για την πράσινη στέγη

Όπως έχει γίνει σαφές, υπάρχουν κυρίως δύο είδη πράσινης στέγης, η εκτατική και η εντατική:

Οι εκτατικές πράσινες στέγες (Εικόνα 19) χαρακτηρίζονται από χαμηλό βάρος, χαμηλό κόστος και μηδαμινή ανάγκη διατήρησης. Το μέσο καλλιέργειας συνήθως αποτελείται από ένα μείγμα άμμου, χαλικιού, θρυμματισμένου τούβλου και τύρφης κυμαίνεται σε πάχος από 50 mm έως 150 mm. Εξαιτίας του μικρού πάχους τα φυτά πρέπει να είναι χαμηλά, σκληρά, αλπικά και ξηρά. Τα φυτά ποτίζονται και λιπαίνονται μόνο μέχρι να αναπτυχθούν, και μετά τον πρώτο χρόνο η συντήρηση περιλαμβάνει δύο με τρεις επισκέψεις τον χρόνο, για να διαπιστωθεί αν τα φυτά παρεμβαίνουν τα όρια, για κλάδεμα κτλ. Ο γενικός κανόνας εδώ είναι πως απαιτείται μικρή εξάσκηση και εμπειρία για την εγκατάσταση και διατήρηση μιας εκτατικής πράσινης στέγης.

Γενικά, το κόστος διατήρησης είναι περίπου 0.8 έως 2.25\$/m² το χρόνο και το κόστος εγκατάστασης τους 400 έως 1000\$/m². Το βάρος τους, αρκετά χαμηλό για πράσινες στέγες, κυμαίνεται από 80 έως 150kg/m². Είναι κατάλληλες για στέγες με κλίση μέχρι 30⁰ και για μεγάλες εκτάσεις, ενώ λόγω του είδους της βλάστησης που φιλοξενούν είναι δυνατό να επιτραπεί η αυθόρμητη ανάπτυξή της. Ωστόσο, το είδος των φυτών που μπορούν να καλλιεργηθούν είναι περιορισμένο, ενώ δεν είναι δυνατή η χρήση της στέγης για ψυχαγωγικές εκδηλώσεις και δραστηριότητες, ενώ μπορεί να γίνουν και οπτικά μη ελκυστικές στο κοινό, κυρίως κατά τη διάρκεια των θερινών περιόδων [77].



Εικόνα 19: Χαρακτηριστικό παράδειγμα εκτατικής πράσινης στέγης

Οι εντατικές πράσινες στέγες χαρακτηρίζονται από υψηλότερο βάρος, υψηλότερο κόστος, περισσότερα φυτά και απαιτήσεις συντήρησης. Βέβαια ο συγκεκριμένος τύπος στέγης είναι και εκείνος που παρουσιάζει και τα περισσότερα από τα οφέλη που αναλύθηκαν. Τα φυτά εδώ αναπτύσσονται και διατηρούνται με τρόπους παρόμοιους με εκείνα που καλλιεργούνται σε διάφορους κήπους. Το πάχος του μέσου καλλιέργειας μπορεί να φθάσει μέχρι και τα 2000mm όταν απαιτείται καλλιέργεια δέντρων, ενώ δίνεται στον ιδιοκτήτη η δυνατότητα να επιλέξει από μία πληθώρα φυτών, επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη ενός πολύπλοκου οικοσυστήματος. Οι απαιτήσεις για συντήρηση και άρδευση είναι μεγαλύτερες από εκείνες των εκτατικών στεγών.

Ειδικότερα, το κόστος διατήρησής τους ορίζεται στα 6.5 με 44\$/m² και το κόστος εγκατάστασης τους στα 1000 με 5000\$/m². Το βάρος πάλι κυμαίνεται από 300 έως 1000Kg/m². Προσφέρουν όμως καλές θερμομονωτικές ιδιότητες καθώς μπορούν να ‘προσομοιώσουν’ ένα κήπο άγριας φύσης πάνω σε μία στέγη, είναι οπτικά όμορφες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για διάφορους ψυχαγωγικούς λόγους [77].



Εικόνα 20: Παράδειγμα εντατικής πράσινης στέγης

Δυστυχώς το υψηλό τους κόστος εγκατάστασης και διατήρησης, όπως και το απαγορευτικό τους βάρος για ορισμένες περιπτώσεις έχουν αναγκάσει τους ερευνητές να στραφούν προς τις ημι-εντατικές στέγες. Ο σκοπός είναι ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών των δύο προηγούμενων τύπων πράσινης στέγης και η εύρεση μιας μέσης λύσης που θα κάνει την τεχνολογία αυτή περισσότερο ελκυστική στο ευρύ κοινό.

Οι ημι-εντατικές πράσινες στέγες είναι όπως δηλώνει και το όνομά τους ένα ενδιάμεσο στάδιο ανάμεσα στις εντατικές και τις εκτατικές στέγες. Συνήθως καλλιεργούνται πάνω τους απλά φυτά, όπως βρύα που συναντώνται κατά κόρον στις εκτατικές στέγες, με τη διαφορά πως εδώ παρέχεται και χώρος για καλλιέργεια περιορισμένου αριθμού μεγάλων φυτών. Στον συγκεκριμένο τύπο στέγης, είναι δυνατή η δημιουργία ενός πολύπλοκου οικοσυστήματος, η ποσότητα της άρδευσης και οι

απαιτήσεις συντήρησης είναι ανάλογες με το είδος των επιλεγμένων φυτών, το βάρος τους είναι μικρότερο από εκείνων των εντατικών, οι μονωτικές τους ικανότητες καλύτερες από εκείνες των εκτατικών και γενικά είναι μία προσπάθεια μετρίασης των σοβαρότερων μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν οι εκτατικές και οι εντατικές στέγες[87].



Εικόνα 21: Παράδειγμα ημι-εντατικής πράσινης στέγης

Ένας μεγάλο μέρος της έρευνας που αφορά τις πράσινες στέγες έχει να κάνει και με την επιλογή των υλικών που την απαρτίζουν. Οι επιστήμονες πραγματοποιούν διάφορα πειράματα ώστε να βρεθούν καλύτερα υλικά. Μερικές από τις σημαντικότερες επιθυμητές ιδιότητες που συνήθως πρέπει να έχει το υλικό είναι το χαμηλό βάρος, η υψηλή ικανότητα αποθήκευσης νερού και η ανθεκτικότητα έτσι ώστε να εμποδίζονται τυχόν διαρροές εξαιτίας της ανάπτυξης των ριζών.

Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το υδρόφιλο ορυκτό μαλλί, ως μέσο καλλιέργειας αντί του χώματος, υλικό το οποίο έχει τεράστιες προοπτικές χρήσης όσον αφορά τις ημι-εντατικές στέγες. Το υδρόφιλο ορυκτό μαλλί παρουσιάζει μεγαλύτερες ικανότητες συσσώρευσης νερού από το χώμα και συγχρόνως είναι και ελαφρύτερο. Η παραγωγή του όμως είναι ακριβότερη και δυσκολότερη, ενώ δεν έχει και τις θρεπτικές ουσίες που υπάρχουν στο χώμα και οι οποίες είναι ζωτικές για την ανάπτυξη των φυτών. Επομένως ο ιδιοκτήτης της πράσινης στέγης θα πρέπει να τις παρέχει ο ίδιος [87].

Ένα άλλο υλικό που χρησιμοποιείται συχνά είναι ο υδροπονικός αφρός (Εικόνα 22). Τοποθετείται κάτω από το μέσο καλλιέργειας και χρησιμοποιείται ως στρώμα κατακράτησης νερού. Το συγκεκριμένο υλικό μπορεί και να συγκρατήσει για μεγάλες περιόδους αξιόλογες ποσότητες νερού αλλά και να παρέχει πρόσβαση στις ρίζες στο νερό. Με αυτό τον τρόπο αποτρέπεται η ανεπιθύμητη διεύθυνση των ριζών, πέρα από τα επιτρεπόμενα όρια, στα συμβατικά στρώματα κατακράτησης νερού.

Το μεγάλο εύρος των εμπορικών προϊόντων που μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση των χαρακτηριστικών των πράσινων στεγών, ιδιαίτερα εκείνων που αφορούν την αποθήκευση νερού, δεν είναι σαφές και απαιτείται περαιτέρω έρευνα [88].



Εικόνα 22: Υδροπονικός αφρός ως στρώμα κατακράτησης νερού

2.5: Έξυπνα παράθυρα

Η σύγχρονη αρχιτεκτονική χαρακτηρίζεται από μεγάλα υαλοστάσια τα οποία επιτρέπουν άριστη οπτική επαφή μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού χώρου και την αυξημένη είσοδο ηλιακού φωτός. Ωστόσο, τα υαλοστάσια αποτελούν σημαντική πρόκληση όσον αφορά την ηλιακή απόδοση του κτιρίου, καθώς συχνά οδηγούν σε υπερβολική εισροή ηλιακής ενέργειας το καλοκαίρι και υψηλές θερμικές απώλειες το χειμώνα αντίστοιχα. Για αυτό το λόγο, υπάρχει η ανάγκη της εξισορρόπησης των ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης-ψύξης. Ιδιαίτερα όσον αφορά την ψύξη σε χώρες όπως η Ελλάδα, η αναγκαιότητα για εύρεση λύσης είναι ακόμη μεγαλύτερη. Αναδυόμενες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν θερμοχρωμικά και ηλεκτροχρωμικά υλικά, επιτρέπουν τον έλεγχο της εισροής του ηλιακού φωτός και της ηλιακής ενέργειας και ως εκ τούτου προσφέρουν καλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα από τα συμβατικά τζάμια [89]. Παρακάτω, πρόκειται να παρουσιαστεί ο τρόπος λειτουργίας των θερμοχρωμικών και ηλεκτροχρωμικών τζαμιών, που αποτελούν δύο από τις σπουδαιότερες κατηγορίες έξυπνων τζαμιών, τα θετικά και τα αρνητικά τους καθώς και ποια από αυτά επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση του ενεργειακού κελύφους.

2.5.1: Έννοια-Λειτουργία

2.5.1.1: Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα

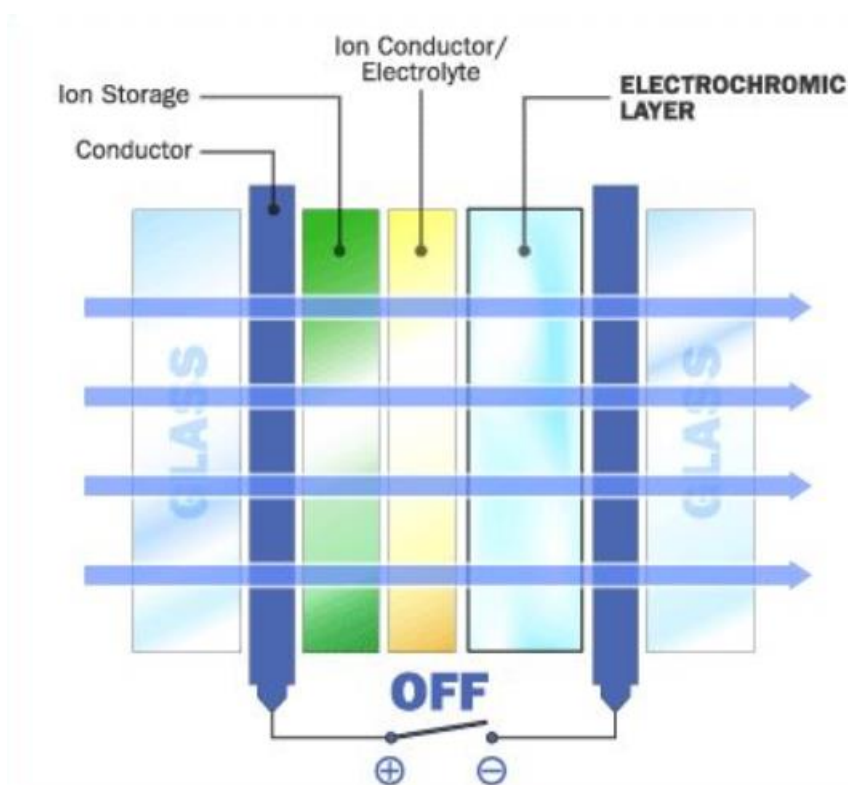
Ηλεκτροχρωμισμός είναι η ιδιότητα μιας συσκευής να αλλάξει τις οπτικές της ιδιότητες με αναστρέψιμο τρόπο κατά την εφαρμογή εξωτερικού δυναμικού. Σχετίζεται με διεργασίες εισαγωγής και εξαγωγής ηλεκτρονίων. Το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο αποτελείται από διάφορα επίπεδα και η βασική δομή του είναι η ακόλουθη:

Το παράθυρο μπορεί να είναι κατασκευασμένο είτε από γυαλί είτε από πλαστικό και αποτελείται από μία σειρά πολύ λεπτών στρωμάτων: Το εσωτερικό και εξωτερικό γυαλί, στο καθένα από τα οποία ενσωματώνεται ένα στρώμα αγώγιμου υλικού που λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο και έχει ως σκοπό την παροχή της απαραίτητης τάσης. Το δεύτερο μέρος, βρίσκεται ανάμεσα στα δύο τζάμια και περιλαμβάνει ένα διαχωριστή (συνήθως ηλεκτρολύτη), που ο σκοπός του είναι να διαχωρίσει το ηλεκτροχρωμικό στρώμα από το στρώμα αποθήκευσης των ιόντων (Εικόνα 23).

Η λειτουργία του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου περιλαμβάνει την κίνηση θετικά φορτισμένων ατόμων λιθίου που παρουσιάζουν έλλειψη ηλεκτρονίων, από το ένα στρώμα στο άλλο, διαμέσου του ηλεκτρολύτη. Όταν τα ιόντα βρίσκονται στο ηλεκτροχρωμικό στρώμα το αναγκάζουν να αλλάξει τα χαρακτηριστικά του και να

αντικατοπτρίζει το ηλιακό φως, κάνοντας το τζάμι αδιαφανές. Αντίθετα, όταν διαμένουν στο στρώμα αποθήκευσης ιόντων, το οποίο συχνά είναι ένα υλικό όπως το οξειδίο του κοβαλτίου λιθίου (LiCoO₂), τότε το παράθυρο είναι καθαρό και διαφανές.

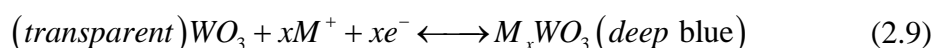
Τα ιόντα παραμένουν στο ίδιο σημείο μέχρι την αναστροφή της τάσης, η οποία είτε ρυθμίζεται να πραγματοποιηθεί αυτόματα, σε περίπτωση που η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο ύψος, είτε χειροκίνητα με το πάτημα ενός κουμπιού. Δεν απαιτείται ηλεκτρικό ρεύμα για την διατήρηση της υπάρχουσας κατάστασης σε ένα ηλεκτροχρωμικό γυαλί, παρά μόνο μία απειροελάχιστη ποσότητα έτσι ώστε τεθούν τα ιόντα λιθίου σε κίνηση.



Εικόνα 23: Απλή απεικόνιση της δομής ενός ηλεκτροχρωμικού γυαλιού

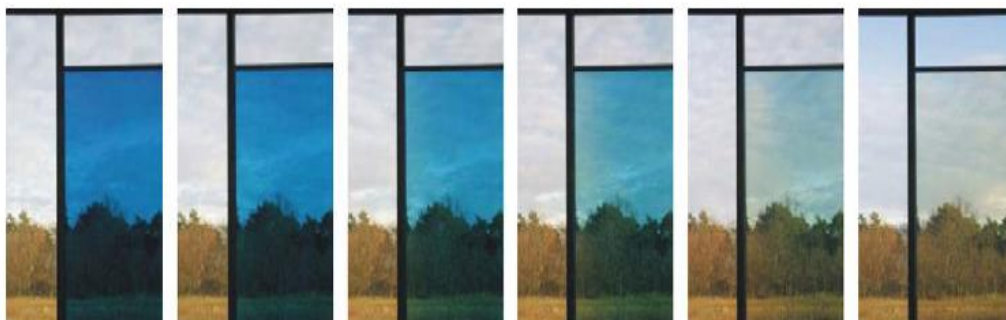
Το ηλεκτροχρωμικό φαινόμενο των υλικών αρχικά ανακαλύφθηκε σε λεπτά φιλμ οξειδίου του βολφραμίου (WO₃), το οποίο παραμένει μέχρι και σήμερα το πλέον υποσχόμενο, μελετημένο υλικό και αποτελεί το πιο διάσημο ηλεκτροχρωμικό υλικό που χρησιμοποιείται σήμερα για αυτού του είδους τις συσκευές.

Το υλικό αυτό αποτελεί τον κύριο λόγο που είναι δυνατή η συγκεκριμένη τεχνολογία, αν και οι μηχανισμοί λειτουργίας του ακόμα δεν έχουν κατανοηθεί πλήρως. Το περίπλοκο φαινόμενο του ηλεκτροχρωμισμού του οξειδίου του βολφραμίου, μπορεί να παρουσιαστεί από την ακόλουθη αντίδραση:



Όπου M θεωρείται συνήθως το λίθιο, το e^- υποδηλώνει τα ηλεκτρόνια και η μεταβλητή χ παίρνει τιμές από 0 έως 1 [90,91].

Μία καλύτερη κατανόηση της συγκεκριμένης αντίδρασης μας προσφέρει και η Εικόνα 24.



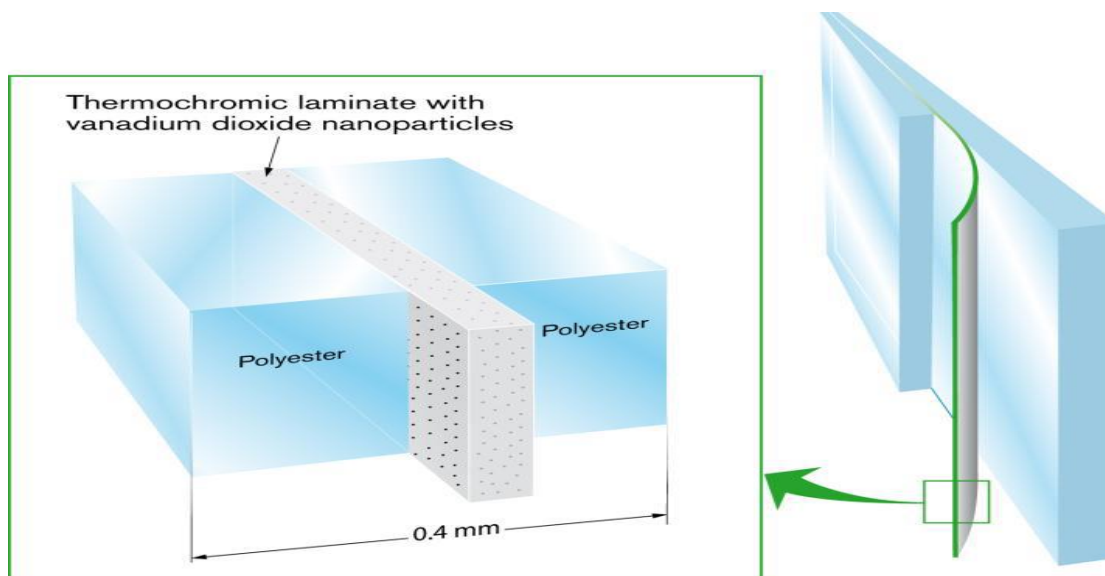
Εικόνα 24: Σταδιακή εναλλαγή των οπτικών χαρακτηριστικών ενός ηλεκτροχρωμικού γυαλιού

2.5.1.2: Θερμοχρωμικά παράθυρα

Κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών η υπερθέρμανση των υαλοστασίων ενός ενεργειακού κελύφους, καθώς και τα αυξημένα ποσά θερμότητας που τα διαπερνούν αποτελούν ένα μείζον πρόβλημα. Μία ενδεχόμενη λύση μπορεί να αποτελέσει το διοξείδιο του βαναδίου (VO_2). Το διοξείδιο του βαναδίου είναι ένα ανθεκτικό ανόργανο θερμοχρωμικό υλικό, γεγονός το οποίο σημαίνει πως είναι σε θέση να παρουσιάσει μία μεταβολή στις οπτικές του ιδιότητες εφόσον υπερβεί μία συγκεκριμένη θερμοκρασία μετάβασης. Ειδικότερα, όσον αφορά το (VO_2) παρατηρείται μία ξαφνική αλλαγή στην ικανότητα θερμικής εκπομπής του, εφόσον θερμανθεί σε θερμοκρασία υψηλότερη των 68°C . Συνδέοντας αυτό το υλικό με μεταλλικά ιόντα, με πρώτο και καλύτερο υποψήφιο το βολφράμιο, είναι δυνατό να μειωθεί η υψηλή, σε σχέση με τις ανάγκες μας, θερμοκρασία μετάβασης, καθιστώντας το ιδανικό για επένδυση υαλοπινάκων.

Το διοξείδιο του βαναδίου μπορεί να θεωρηθεί έξυπνο υλικό, καθώς νανοσωματίδια (VO_2) μπορούν να διασκορπιστούν σε πολυμερή και να ενσωματωθούν μέσω λεπτών φιλμ στα υαλοστάσια μιας κατοικίας (Εικόνα 25), έχοντας την ικανότητα να μετατρέψουν τα τζάμια της από συμβατικά που δέχονται ανεξαιρέτως όλα τα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας, σε επιλεκτικά που μπλοκάρουν την υπέρυθη ακτινοβολία όταν οι συνθήκες το απαιτούνται. Το συγκεκριμένο υλικό ενώ συμπεριφέρεται σε χαμηλές θερμοκρασίες ως ημιαγωγός, με μία σχετική διαφάνεια στην υπέρυθη ακτινοβολία, όταν ξεπεραστεί το όριο της θερμοκρασίας μετάβασης εξαιτίας ενός μετασχηματισμού που πραγματοποιείται στη δομή του, συμπεριφέρεται ως αγωγός κάτι το οποίο σημαίνει

μεγαλύτερη ανακλαστικότητα στην περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Όσον αφορά το (VO₂) η διαφορά αυτή είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακή (Εικόνα 26).



Εικόνα 25: Απεικόνιση ενός θερμοχρωμικού παραθύρου και του θερμοχρωμικού φιλμ που περιέχει



Εικόνα 26: Απεικόνιση σταδίων αλλαγής των οπτικών ιδιοτήτων ενός θερμοχρωμικού παραθύρου [92]

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας μετάβασης εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής και εξαρτάται άμεσα από την ποσότητα του βολφραμίου που πρόκειται να ενσωματωθεί. Ένας γενικός κανόνας είναι πως η θερμοκρασία μετάβασης μειώνεται κατά 25 °C για κάθε ατομικό ποσοστό βολφραμίου που προσάγεται. Γενικά, η θερμοκρασία μετάβασης επιθυμείται να είναι κοντά στις θερμοκρασίες δωματίου δηλαδή 20 με 26 °C.

Είναι προφανές πως παράθυρα με την συγκεκριμένη τεχνολογία είναι επιθυμητά σε περιοχές όπου ταλανίζονται από αρκετά υψηλές θερμοκρασίες επειδή στις συγκεκριμένες συνθήκες μπορούν να γίνουν στο μέγιστο βαθμό αποδοτικά και ενεργειακά επικερδή. Μία άλλη πιθανή χρήση τους, είναι σε υαλοστάσια, όπως οι φεγγίτες, που εξ' ορισμού δέχονται υψηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας και υπερθερμαίνονται ευκολότερα.

Καταλήγοντας, θα άξιζε να σημειωθεί αν και δεν είναι θέμα της παρούσας εργασίας, πως όπως υπάρχουν υλικά και τεχνικές για την μείωση της θερμοκρασίας μετάβασης του διοξειδίου του βαναδίου, παρομοίως μπορεί να γίνει και το αντίστροφο. Μελέτες έδειξαν πως μία θερμοκρασία μετάβασης της τάξεως των 95 °C καθιστά το υλικό αυτό ιδανικό για ηλιακούς συλλέκτες, τις κατεξοχήν συσκευές που υποφέρουν από την υπερβολική υπερθέρμανση των υλικών τους. Ενσωμάτωση λεπτών φιλμ διοξειδίου του βαναδίου βελτιώνει αισθητά την ανθεκτικότητα των ηλιακών συλλεκτών.

2.5.2: Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα και αιτιολόγηση επιλογής τύπου παραθύρου

2.5.2.1 Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα

Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα προσφέρουν τεράστιο περιβαλλοντικό όφελος. Πέρα από την ικανότητά τους να προσαρμόζουν τις οπτικές ιδιότητές τους ανάλογα με το ποσό ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, είναι ιδιαίτερα αποδοτικά στην ‘σκουρόχρωμη’ κατάστασή τους, όντας ικανά να αντανακλούν κυριολεκτικά όλο το φως που προσπίπτει πάνω τους. (Για την ακρίβεια αντανακλάται περίπου περίπου το 98% της ηλιακής ακτινοβολίας). Με αυτό τον τρόπο μπορούν να μειώσουν ή και να εξαλείψουν την ανάγκη για συσκευές κλιματισμού μειώνοντας το κόστος λειτουργίας τους ή ακόμη γλιτώνοντας στην ιδανική περίπτωση τον ιδιοκτήτη και από το κόστος εγκατάστασής τους.

Από την στιγμή που λειτουργούν με ηλεκτρικό ρεύμα, η λειτουργία τους μπορεί να είναι είτε αυτόματη και να αλλάζουν μόνα τους κατάσταση με τη βοήθεια ενός αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας, είτε χειροκίνητη και η αλλαγή αυτή να πραγματοποιείται με το πάτημα ενός κουμπιού όταν ο ιδιοκτήτης το επιθυμεί.

Αξίζει να σημειωθεί, πως τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα μπορούν να αποτελέσουν ιδανικό εξάρτημα για έξυπνα σπίτια. Στα συγκεκριμένα σπίτια, καθώς το ζητούμενο είναι οι περισσότερες λειτουργίες να λαμβάνουν χώρα με αυτοματοποιημένο τρόπο, μέσω δηλαδή ενός κεντρικού συστήματος ελέγχου, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη άνεση και καλύτερη ενεργειακή εκμετάλλευση, τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα μπορούν να συνεισφέρουν στο επίπεδο αυτό.

Επί προσθέτως, οι σύγχρονες κατασκευές και ιδιαίτερα τα κεντρικά κτίρια των πόλεων τείνουν να κάνουν χρήση όλο και περισσότερων υαλοστασίων, καθιστώντας ολοένα και πιο επιτακτική την χρήση των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων. Σημειώνεται

πως τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα μπορούν να μειώσουν έως και 8% την συνολική κατανάλωση του κτιρίου.

Ακόμη, χρησιμοποιούν πολύ μικρές ποσότητες ηλεκτρικού ρεύματος για να μεταβούν από σκούρα σε φωτεινή κατάσταση. Αυτό σημειώνεται πως το ημερήσιο κόστος λειτουργίας 100 μεγάλων ηλεκτροχρωμικών παραθύρων ισούται περίπου με αυτό ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως.

Καταλήγοντας, η χρήση των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων προσφέρει και μερικά παράπλευρα κέρδη με πρώτο και καλύτερο την εξάλειψη της ανάγκης για κουρτίνες, κουρτινόξυλα κτλ. Πέρα από το γεγονός πως γλιτώνουν τον ιδιοκτήτη από το κόστος αγοράς, τον προστατεύουν και από διάφορα κόστη συντήρησης ή αντικατάστασης που μπορεί να προκύψουν.

Εντούτοις, η καινούργια αυτή τεχνολογία, αν και πολλά υποσχόμενη, αντιμετωπίζει προβλήματα στην εφαρμογή της, ίσως γιατί είναι αρκετά πρόσφατη και δεν έχουν γίνει οι απαραίτητες βελτιώσεις.

Για αυτό το λόγο, η παρούσα τεχνολογία έχει αρχίσει να εφαρμόζεται κυρίως σε κτίρια που είναι ντυμένα εξολοκλήρου από γυαλί επειδή το κόστος απόσβεσης είναι και μεγαλύτερο αλλά και πιο σύντομο εξαιτίας των υψηλών απωλειών που παρουσιάζουν.

Συνεχίζοντας, ίσως το μεγαλύτερο από τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο είναι η διάρκεια ζωής, του η οποία κυμαίνεται από 10 μέχρι 20 χρόνια και είναι αρκετά μικρότερη από εκείνη ενός συμβατικού παραθύρου. Παράλληλα, τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα παρουσιάζουν και αυξημένη ευαισθησία, καθώς και μία απλή ρωγμή είναι ικανή να καταστρέψει τον μηχανισμό λειτουργίας τους.

Ένα ακόμη πρόβλημα που παρατηρείται σε αυτόν τον τύπο παραθύρων, αν και λιγότερο σημαντικό σε σχέση με τα προαναφερθέντα, είναι πως απαιτείται αρκετός χρόνος για την μετατροπή των οπτικών τους ιδιοτήτων, περίπου μερικά λεπτά και όχι δευτερόλεπτα όπως θα αναμενόταν, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει δυσθυμία σε τυχόν ανυπόμονους ιδιοκτήτες.

Τέλος ένα από τα μεγαλύτερα θέματα που θα έχει να αντιμετωπίσει ο ιδιοκτήτης ενός ηλεκτροχρωμικού παραθύρου είναι το ιδιαίτερα αυξημένο κόστος εγκατάστασής του σε σχέση με το συμβατικό. Υπάρχει βέβαια η δυνατότητα απόσβεσης με την πάροδο του χρόνου αλλά παρόλα αυτά το γεγονός πως ένα μεγάλο ηλεκτροχρωμικό παράθυρο στοιχίζει χονδρικά γύρω στα 1000 ευρώ στρέφει πολλά άτομα στην αγορά ενός συμβατικού παραθύρου.

2.5.2.2: Θερμοχρωμικά Παράθυρα

Τα θερμοχρωμικά παράθυρα έχουν και εκείνα την δυνατότητα να μειώσουν το φορτίο κατανάλωσης του κτιριακού κελύφους προσφέροντας και τα ανάλογα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Μία διαφορά σε σχέση με τα προηγούμενα παράθυρα είναι το γεγονός πως τα θερμοχρωμικά αποτρέπουν την πλεονάζουσα θερμότητα που εισέρχεται στο υαλοστάσιο βασιζόμενα στην θερμοκρασία που αναπτύσσεται πάνω του, ενώ τα ηλεκτροχρωμικά στηρίζονται στο ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται. Ως συνέπεια, τα τελευταία έχουν μεγαλύτερο βαθμό ευελιξίας και εντέλει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης. Για παράδειγμα, μία συννεφιασμένη μέρα με διαστήματα ηλιοφάνειας, το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο θα έχει την ικανότητα να προσαρμοστεί στις αντίστοιχες καιρικές συνθήκες, την στιγμή που στο αντίστοιχο θερμοχρωμικό παράθυρο δεν θα παρουσιάζεται καμία εναλλαγή στις ιδιότητές του.

Επιπλέον τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα έχουν την ικανότητα να επιτρέπουν να εισέλθουν στην κατοικία υψηλότερα ποσά ηλιακής ενέργειας από τα αντίστοιχα συμβατικά και θερμοχρωμικά παράθυρα όταν η κατάσταση το απαιτεί. Κατά συνέπεια το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο είναι εξίσου αποδοτικά και για τις θερμές αλλά και για τις ψυχρές εποχές του χρόνου. Στην περίπτωση των θερμοχρωμικών παραθύρων, εξακολουθεί να υπάρχει η μικρή πιθανότητα μία ζεστή ηλιόλουστη ημέρα του χειμώνα, να παρουσιαστεί μία εναλλαγή των χαρακτηριστικών τους εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας και να μεταβούν στην σκουρόχρωμη κατάσταση αποτρέποντας επιθυμητά ποσά θερμότητας να εισέλθουν στο κτίριο.

Αντιθέτως, οι συνθήκες στις οποίες διαπρέπουν τα θερμοχρωμικά παράθυρα, είναι εκείνες των θερμών μηνών της άνοιξης και του καλοκαιριού στις οποίες είναι περισσότερο εύκολο να παρατηρηθεί υπερθέρμανση του θερμοχρωμικού φιλμ και κατά συνέπεια αυξημένη ανάγκη για αποβολή της πλεονάζουσας θερμότητας από το κτίριο. Το γεγονός αυτό κάνει την τεχνολογία των θερμοχρωμικών παραθύρων ιδανική για τις μεσογειακές χώρες, στις οποίες το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως στην ψύξη των κατοικιών τους θερμούς μήνες, με την ανάγκη να γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.

Επί προσθέτως, τα θερμοχρωμικά παράθυρα χρησιμοποιούν σχετικά φθηνά υλικά για την κατασκευή τους, η σχεδιάσή τους είναι απλή, όπως και η εγκατάστασή τους (ακριβώς ο ίδιος τρόπος εγκατάστασης με τα συμβατικά παράθυρα) και επομένως το κόστος τους είναι πολύ μικρότερο από εκείνο των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων. Συγχρόνως, δεν απαιτείται και η παροχή ρεύματος για την αλλαγή των οπτικών τους ιδιοτήτων.

Ακόμη τα θερμοχρωμικά παράθυρα παρουσιάζουν μικρότερο βάρος αλλά και μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην διάρκεια ζωής τους, σε αντίθεση με τους ηλεκτροχρωμικούς ανταγωνιστές τους. Σε κάθε περίπτωση όμως, ο κύκλος ζωής τους θα είναι μικρότερος από εκείνων των συμβατικών παραθύρων, όπως και το κόστος τους. Τα συγκεκριμένα μειονεκτήματα αντισταθμίζονται όμως από τα πρόσθετα ενεργειακά κέρδη που παρέχονται από την εγκατάσταση των θερμοχρωμικών παραθύρων.

Καταλήγοντας, ίσως το μεγαλύτερο από τα μειονεκτήματα που αντιμετωπίζουν τα θερμοχρωμικά παράθυρα είναι η σημαντική ιδιότητα της θερμοχρωμικής επένδυσης να παρουσιάζει υψηλή διαπερατότητα στο ορατό φως στην σκουρόχρωμη κατάσταση, επιτρέποντας περίπου το 40% με 50% του ορατού φωτός με το ελάχιστο αποδεκτό όριο να ορίζεται λίγο παραπάνω από 60%. Μερικές φορές το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με μία μικρή αύξηση της θερμοκρασίας εναλλαγής του θερμοχρωμικού φιλμ έτσι ώστε αυτή να συμβαίνει όταν είναι πραγματικά απαραίτητο.

Εν κατακλείδι, παρά τα όποια μειονεκτήματα που εμφανίζουν τα θερμοχρωμικά παράθυρα εξακολουθούν να είναι έχουν το προβάδισμα μεταξύ των έξυπνων ανταγωνιστών τους ιδιαίτερα όταν αναφερόμαστε σε ιδιωτικές κατοικίες που έχουν να αντιμετωπίσουν υψηλές θερμοκρασίες.

Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα αποτελούν μία αρκετά πρόσφατη τεχνολογία και συνεπώς σημαντικά θέματα όπως η διάρκεια ζωής τους και το κόστος τους δεν έχουν προλάβει να αντιμετωπιστούν επαρκώς, ενώ και οι τεχνικές προσομοιώσής τους δεν είναι ακόμη εντελώς ακριβείς. Παρόλα αυτά θεωρούνται το πιο υποσχόμενο είδος παραθύρου τόσο εξαιτίας των χαρακτηριστικών τους αλλά και επειδή ένα μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας ασχολείται με τον συνδυασμό ηλεκτροχρωμικών παραθύρων και ηλιακών κυττάρων, έτσι ώστε αντί τα παράθυρα να αντανακλούν το πρόσθετο ηλιακό φως, να το απορροφούν και να το αποθηκεύουν σε μπαταρίες για μεταγενέστερη χρήση.

Για αυτό τον λόγο, η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί με τη προσομοίωση των θερμοχρωμικών παραθύρων που προς το παρόν αποτελούν για χώρες με τοποθεσία σαν την Ελλάδα την καλύτερη επιλογή.

Κεφάλαιο 3: Διαδικασία προσομοίωσης

Στο παρόν κεφάλαιο πρόκειται να αναλυθούν τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης καθώς και τα υπολογιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν. Παράλληλα παρουσιάζονται τα ενεργειακά/δομικά χαρακτηριστικά τόσο του κτιρίου όσο και των έξυπνων τεχνολογιών που επιλέχθηκαν να αντικαταστήσουν τα συμβατικά του τμήματα, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην προσαρμογή τους για τις ανάγκες της προσομοίωσης και στις αντίστοιχες υποθέσεις.

3.1: Δημιουργία του κτιριακού κελύφους

Για την κατασκευή του ενεργειακού κελύφους έπρεπε αρχικά να επιλεγεί το κατάλληλο πρόγραμμα. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας κρίθηκε πως ένα από τα καταλληλότερα αλλά και συγχρόνως εύχρηστα περιβάλλοντα υλοποίησής της ήταν το πρόγραμμα Revit 2018 (Student Version) της Autodesk.

3.1.1: Τι είναι το πρόγραμμα Revit

Το πρόγραμμα Revit είναι ένα λογισμικό που επιτρέπει την μοντελοποίηση των πληροφοριών που σχετίζονται με τα προς μελέτη κτιριακά κελύφη τόσο από μηχανολογική, ηλεκτρολογική όσο και από αρχιτεκτονική άποψη.

Αναλυτικότερα, επιτρέπει στους χρήστες του να οπτικοποιήσουν την δομή και τα συστατικά που συνθέτουν το εξεταζόμενο κτίριο τόσο σε 2D, όσο και σε 3D διαστάσεις. Επιπροσθέτως, ο χρήστης μπορεί να παρέμβει επιλέγοντας οπτικά το κομμάτι που επιθυμεί να εξετάσει στο κτίριο και να εφαρμόσει τις απαραίτητες αλλαγές κάνοντας τη διαχείριση των πληροφοριών πολύ πιο εύκολη.

Σε αντίθεση, π.χ. με το Autocad της Autodesk το οποίο αποτελεί κυρίως σχεδιαστικό πρόγραμμα, το Revit δίνει την δυνατότητα προσθήκης συστήματος θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού, σχεδίασης κυκλωμάτων ύδρευσης και ηλεκτρισμού, μελέτης στατικότητας και ενεργειακής απόδοσης κτιρίου κτλ. Η επιλογή των στοιχείων που συνθέτουν το κτίριο, όπως τοίχοι, πόρτες, παράθυρα, συστήματα θέρμανσης κλιματισμού κ.ο.κ, μπορεί να γίνει από τη βάση δεδομένων του Revit, στην οποία βρίσκεται αποθηκευμένη η πλειοψηφία των εμπορικά διαθέσιμων ενεργειακών και κατασκευαστικών συστατικών που αποτελούν το κτιριακό κέλυφος.

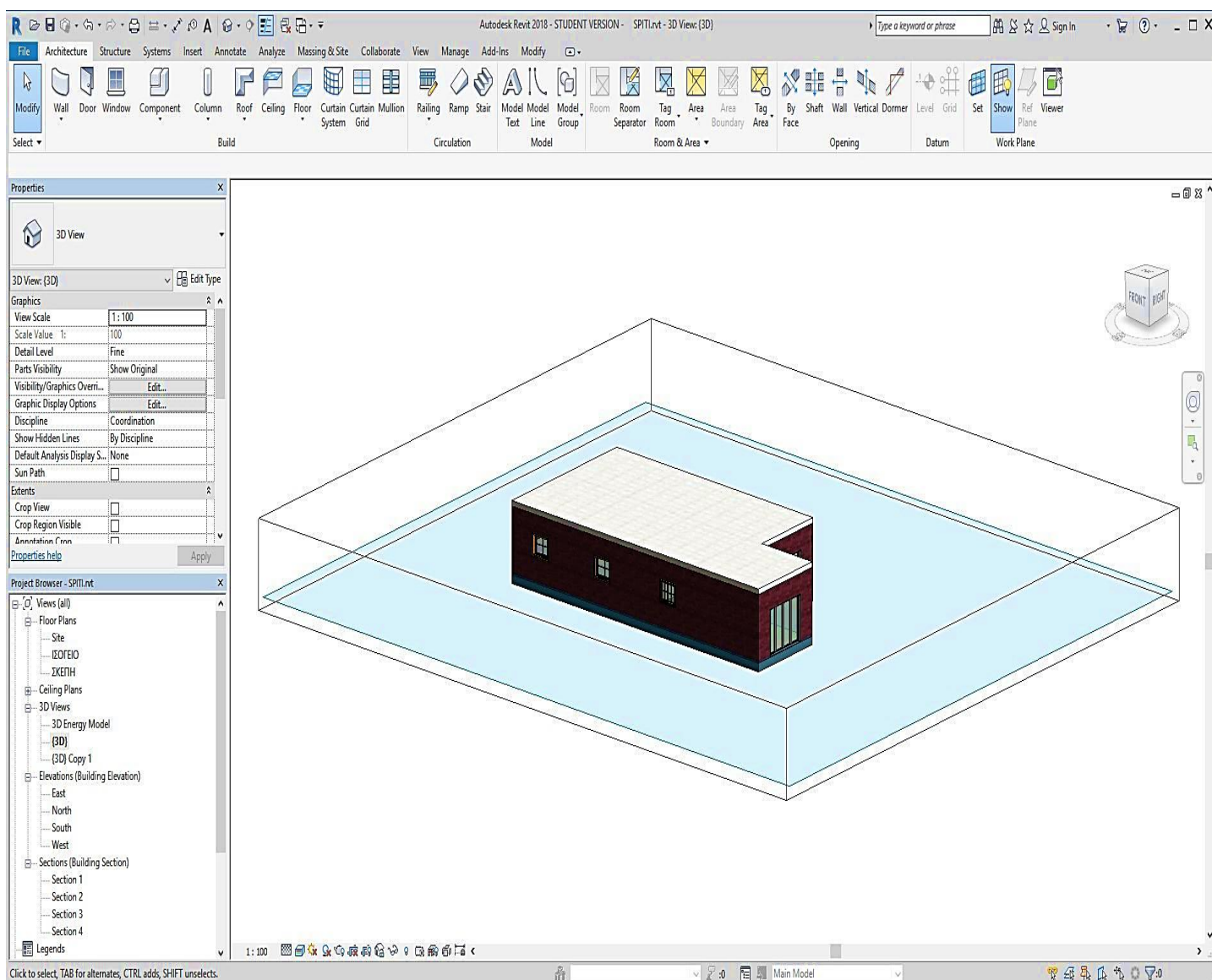
Τέλος, ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του λογισμικού είναι το γεγονός πως παρέχεται η δυνατότητα όχι μόνο εισαγωγής αλλά και εξαγωγής των

μοντελοποιημένων δεδομένων του εξεταζόμενου κτιρίου, μέσω διάφορων μορφών αρχείων όπως IFC, DWG και DGN.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά, όπως και η τεράστια γκάμα επιλογών που προσφέρεται για την κατασκευή του κτιριακού κελύφους, καθιστούν το πρόγραμμα Revit ιδανικό για τις περισσότερες κατηγορίες μηχανικών [94].

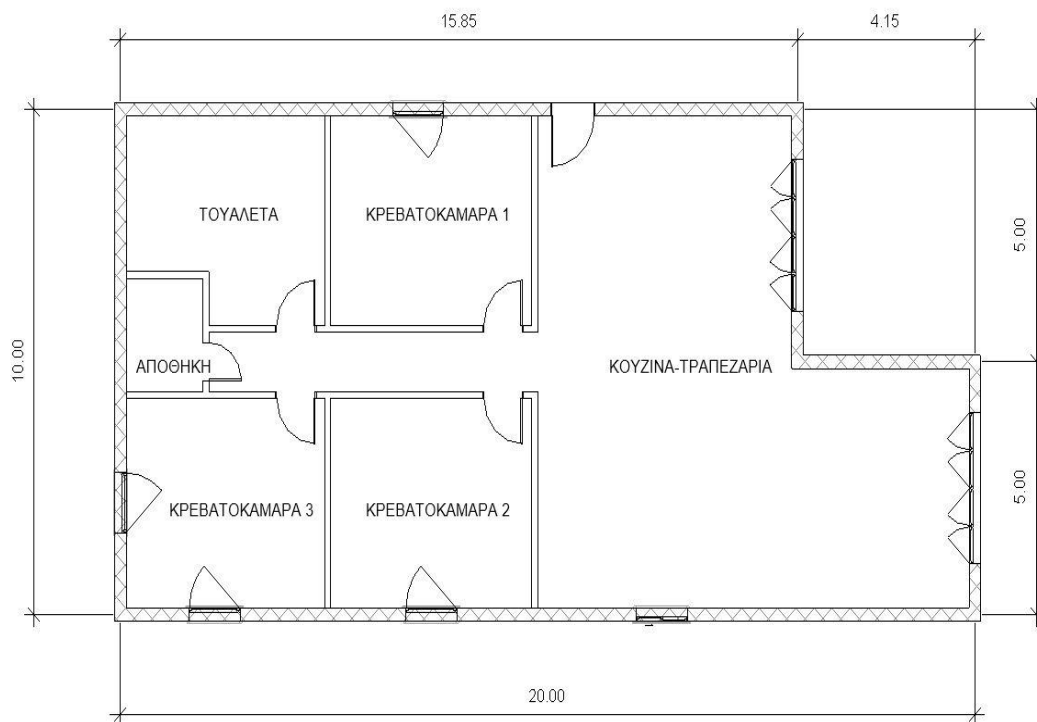
3.1.2: Βήματα κατασκευής της κατοικίας στο Revit 2018

Αρχικά, μέσω της καρτέλας ‘Architecture’ δημιουργήθηκε το προς εξέταση κτιριακό κέλυφος (Εικόνα 27) οι διαστάσεις του οποίου παρουσιάζονται εκτενέστερα σε μεταγενέστερες εικόνες.



Εικόνα 27: 3D απεικόνιση του κτιριακού κελύφους στο οποίο πρόκειται να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση.

Αξίζει να σημειωθεί, πως μέσω του κάτω αριστερά παραθύρου ‘Project Browser’ υπάρχει η δυνατότητα επιλογής επιπέδου (ισόγειο η στέγη) ώστε να εφαρμοστεί κάποια αλλαγή στο εκάστοτε επίπεδο. Η εικόνα 28 αναπαριστά αναλυτικά τα τμήματα του ισογείου του παραπάνω κτιρίου βοηθώντας στην καλύτερη κατανόηση.



Εικόνα 28: Κάτοψη της κατοικίας και παρουσίαση των τμημάτων-χώρων

Το κτιριακό κέλυφος που παρουσιάζεται εδώ αποτελεί μια οικογενειακή κατοικία μεγέθους 179.25 m². Ειδικότερα, οι δύο μεγάλοι υαλοπίνακες στην περιοχή της κουζίνας-τραπεζαρίας έχουν ανατολική διεύθυνση για μεγιστοποίηση των ηλιακών θερμικών κερδών. Αντίστοιχα οι κρεβατοκάμαρες 2 και 3 παρουσιάζουν νότιο προσανατολισμό και η τουαλέτα με την κρεβατοκάμαρα 1 βόρειο.

Επιπροσθέτως, όλοι οι χώροι θεωρούνται κλιματιζόμενοι και θερμαινόμενοι με εξαίρεση εκείνον της αποθήκης ο οποίος είναι απλώς φυσικά αεριζόμενος. Το Revit για να διευκολύνει τον χρήστη στην πραγματοποίηση της ενεργειακής προσομοίωσης, επιτρέπει τον διαχωρισμό του κτιρίου σε επιμέρους χώρους στον οποίο ορίζονται οι επιθυμητές θερμοκρασίες που επιθυμεί ο χρήστης να επικρατούν. Στην συγκεκριμένη κατοικία επιλέχθηκε να οριστεί κάθε δωμάτιο ως ένας ξεχωριστός χώρος και ορίστηκε σε όλους τους θερμαινόμενους και κλιματιζόμενους χώρους ως επιθυμητή θερμοκρασία για το χειμώνα οι 23 °C και για το καλοκαίρι οι 26 °C.

Μία περαιτέρω ρύθμιση των ενεργειακών επιλογών του κτιρίου φαίνεται στην Εικόνα 29. Συγκεκριμένα, ένα μεγάλο προσόν του προγράμματος, είναι το γεγονός πως έχει αποθηκευμένες στην βάση δεδομένων του πολλές αυτοματοποιημένες

επιλογές, ανά είδος δωματίου, όπως ώρες λειτουργίας κτιρίου, πυκνότητα ατόμων, λειτουργία ηλεκτρικού εξοπλισμού, φωτισμού κτλ.

Advanced Energy Settings

Parameter	Value
Detailed Model	
Target Percentage Glazing	0%
Target Sill Height	0.7500
Glazing is Shaded	<input type="checkbox"/>
Shade Depth	0.4572
Target Percentage Skylights	0%
Skylight Width & Depth	0.9144
Building Data	
Building Type	Single Family
Building Operating Schedule	24/7 Facility
HVAC System	4-Pipe Fan Coil System, Chiller 5.96 COP, Boilers 84.5 eff
Outdoor Air Information	Edit...
Room/Space Data	
Export Category	Spaces
Material Thermal Properties	
Conceptual Types	Edit...
Schematic Types	<Building>
Detailed Elements	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 29: Επιλογή των κατάλληλων ενεργειακών ρυθμίσεων για το εξεταζόμενο κτιριακό κέλυφος

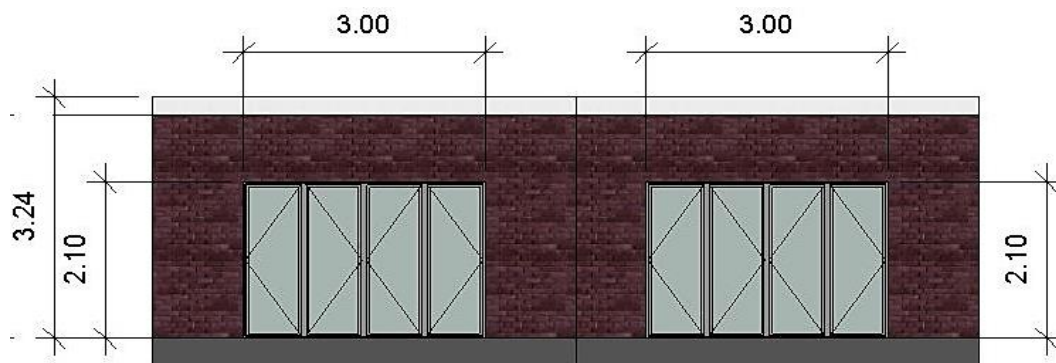
Ένα ακόμη στοιχείο της παραπάνω καρτέλας που πρέπει να σημειωθεί είναι πως το Revit προσφέρει τη δυνατότητα επιλογής του επιθυμητού συστήματος θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού για το εξεταζόμενο κτιριακό κέλυφος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το σύστημα που επιλέχτηκε περιλαμβάνει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Φυγόκεντρος ψύκτης υδρόψυκτου νερού (COP 2.9).
- Ανοιχτός, ατμοσφαιρικής πίεσης πύργος ψύξης, με ανεμιστήρα μεταβλητής ταχύτητας και με προσέγγιση 2.8 °C.
- Εμπρόσθια καμπυλωτός ανεμιστήρας σταθερής έντασης με υψηλής απόδοσης κινητήρα.
- Σύστημα αγωγών σταθερού όγκου πίεσης 62.3 Pascal.
- Λέβητας φυσικού αερίου απόδοσης 78%.
- Αντλία ζεστού νερού μεταβλητής έντασης.
- Πηνίο ζεστού νερού
- Αντλία ψυκτικού υγρού μεταβλητής έντασης

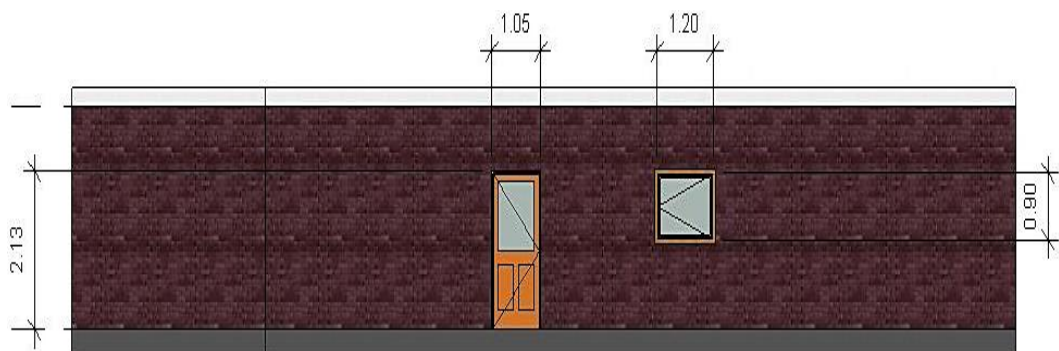
- Πηνίο ψυκτικού υγρού
- Αντλία συμπυκνωμένου νερού μεταβλητής έντασης
- Οικιακή μονάδα ζεστού νερού χρήσης

Εν συνεχεία, στο αρχιτεκτονικό κομμάτι του κτιριακού κελύφους, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής ή δημιουργίας τοπογραφικού σχεδίου που αφορά τις υψομετρικές διαφορές που μπορεί να παρατηρηθούν κατά μήκος της κατοικίας. Η συγκεκριμένη εργασία όμως, κυρίως θα εστιάσει στα ενεργειακά οφέλη που προκύπτουν για το κτίριο ύστερα από την ενσωμάτωση διαφόρων έξυπνων τεχνολογιών. Οπότε για λόγους απλοποίησης το κτίριο τοποθετήθηκε σε επίπεδο έδαφος.

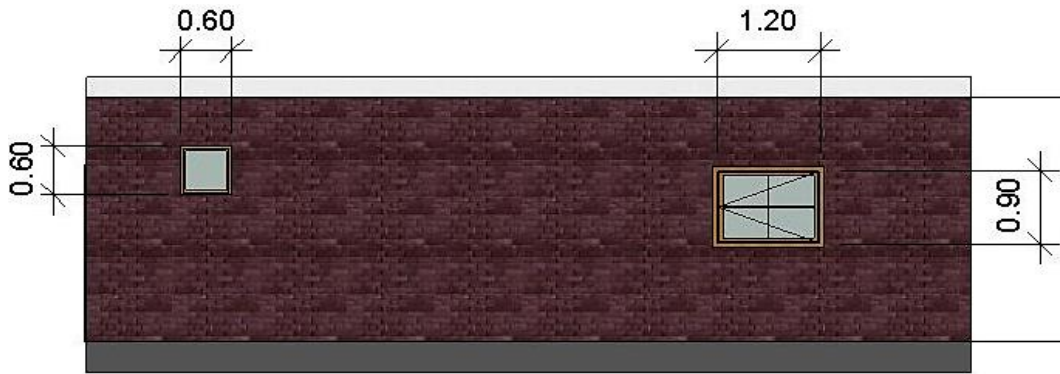
Καταλήγοντας, στον φάκελο του παραθύρου 'Project Browser' με το όνομα 'sections', επιτρέπεται η δημιουργία τομών του κτιρίου κάνοντας ευκολότερη την κατανόηση της γεωμετρίας του. Ταυτόχρονα, στο ίδιο παράθυρο στον φάκελο 'Elevations' παρέχεται μία λεπτομερής απεικόνιση των πλάγιων όψεων του κτιριακού κελύφους (Εικόνες 30-33)



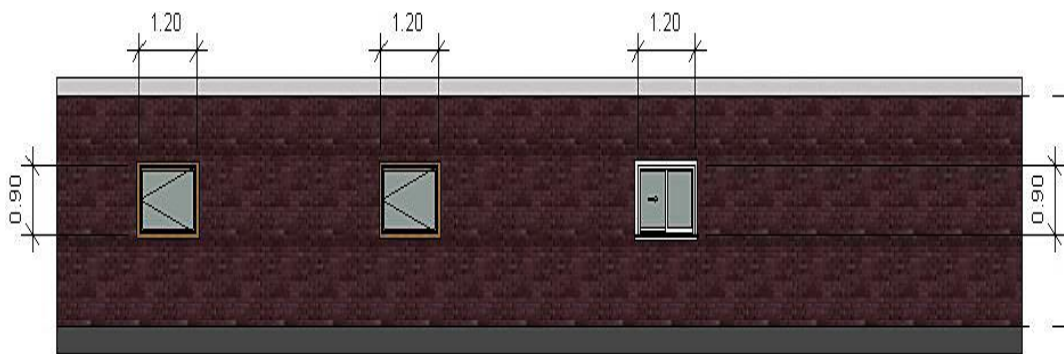
Εικόνα 30: Πλάγια όψη (του ανατολικού τμήματος) της κατοικίας



Εικόνα 31: Πλάγια (του βόρειου τμήματος) της κατοικίας



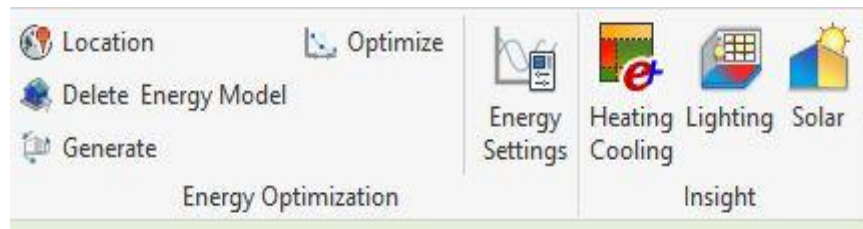
Εικόνα 32: Πλάγια όψη (του δυτικού τμήματος) της κατοικίας



Εικόνα 33: Πλάγια όψη (του νότιου τμήματος) της κατοικίας

Το είδος των δομικών στοιχείων (κουφώματα, εξ. τοίχοι, υαλοπίνακες κτλ.) που χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκαν με την βοήθεια της καρτέλας 'Properties'. Συγκεκριμένα, επιλέγοντας το ανάλογο δομικό στοιχείο του κτιρίου (πχ Νότιος τοίχος) και με την εντολή 'Edit type' εμφανίζεται η βάση δεδομένων του προγράμματος Revit όπου παρουσιάζονται όλες οι διαθέσιμες επιλογές (προτυποποιημένων δομικών στοιχείων, υλικών κτλ.) με τα απαραίτητα χαρακτηριστικά τους, όπως για παράδειγμα ο συντελεστής θερμοπερατότητας .

Εφόσον δημιουργήθηκε το αρχιτεκτονικό σχέδιο του κτιριακού κελύφους και έχουν επιλεγεί όλα μηχανολογικά/δομικά στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για την ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου μέσω της καρτέλας 'Analyze' παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας του ενεργειακού μοντέλου (Εικόνα 34).

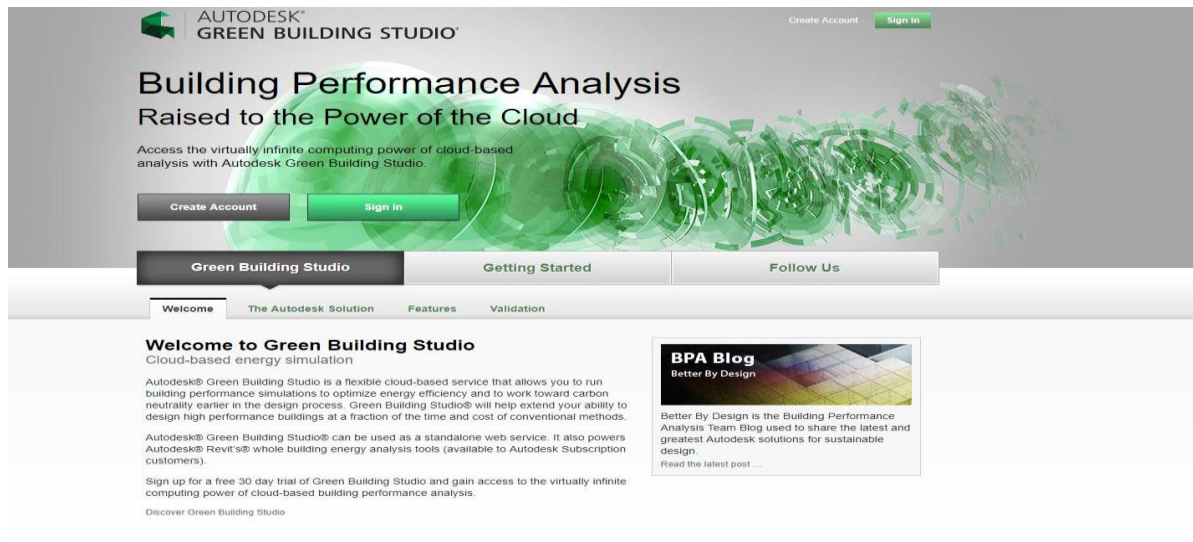


Εικόνα 34: Επιλογές της καρτέλας ‘Analyze’ του προγράμματος Revit 2018

Ειδικότερα, στην επιλογή ‘Location’ επιλέγεται η τοποθεσία της κατοικίας παρέχοντας αυτόματα όλα τα απαραίτητα κλιματικά δεδομένα. Στην παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε η τοποθεσία Αθήνα, όντας η περιοχή με την μεγαλύτερη συγκέντρωση κατοικιών στον Ελλαδικό χώρο. Τα μετεωρολογικά δεδομένα λήφθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό στην περιοχή Αιγάλεω

Επιπλέον, από τις εντολές ‘Heating’/‘Cooling’ στην καρτέλα ‘insight’ δίνεται η δυνατότητα να βρεθούν τα θερμικά και ψυκτικά φορτία του κτιρίου, ενώ από τις εντολές ‘Lighting’/‘Solar’ παρουσιάζονται τα ποσά της ηλιακής ακτινοβολίας στα οποία θα εκτεθεί μία επιφάνεια για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, με τη διαφορά πως η εντολή ‘Lighting’ περιλαμβάνει όλες τις επιφάνειες που είναι ορατές από το φως του ήλιου. Όχι δηλαδή μόνο αυτές που εκτίθενται σε άμεση και διάχυτη ακτινοβολία αλλά και εκείνες οι οποίες είναι σε θέση να την ανακλάσουν. Τρέχοντας συγχρόνως και τα δύο είδη προσομοιώσεων, μπορεί να προσδιοριστεί η ανακλαστικότητα των στοιχείων του κτιρίου. Οι υπολογισμοί γίνονται σε ωριαία βάση. Επίσης, το κτιριακό κέλυφος με το οποίο θα ασχοληθεί η συγκεκριμένη εργασία θεωρείται πως δεν περιβάλλεται από εξωτερικά εμπόδια όπως κτίρια ή δέντρα.

Τέλος, μία αρκετά πρακτική εντολή είναι η ‘Optimize’, όπου μετά το πέρας της προσομοίωσης το Revit εντοπίζει τα σημεία στα οποία παρατηρούνται υψηλές ενεργειακές απώλειες και προτείνει τις κατάλληλες λύσεις. Ακόμη, με επιλογή της εντολής ‘generate’ μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία της προσομοίωσης, η οποία στο Revit 2018 πραγματοποιείται πλέον από τους servers της Autodesk μέσω της ηλεκτρονικής πλατφόρμας Green Building Studio (Εικόνα 35)



Εικόνα 35: Το ηλεκτρονικό περιβάλλον της ιστοσελίδας Green Building Studio

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης πλατφόρμας είναι πως μετατρέπει τα αρχεία της προσομοίωσης σε διάφορες μορφές και γίνεται δυνατή η μεταφορά τους σε άλλα λογισμικά, όπως το EnergyPlus για περαιτέρω επεξεργασία. Αυτή η δυνατότητα ήταν σημαντική για την επίτευξη της παρούσας διπλωματικής, καθώς οι τεχνολογίες που εξετάστηκαν είναι ιδιαίτερα καινοτόμες και η προσομοίωση τους μέσω Revit δεν ήταν δυνατή. Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε η προσομοίωση να πραγματοποιηθεί στο EnergyPlus. Συνεπώς επιλέχθηκε το αρχείο της συμβατικής προσομοίωσης, με κατάληξη .idf, το οποίο είναι γραμμένο σε αποδεκτή μορφή προς το EnergyPlus, και συγχρόνως έγινε η εισαγωγή του αρχείου των μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής με κατάληξη .epw. Τα συγκεκριμένα μετεωρολογικά δεδομένα παρέχονταν μέσω της πλατφόρμας Green building studio για την περιοχή του Αιγάλεω [95,96].

3.2: Ενεργειακή προσομοίωση του έξυπνου ενεργειακού κελύφους

Όπως προαναφέρθηκε, επειδή οι τεχνολογίες που θα εφαρμοστούν στο κέλυφος έχουν μόλις αρχίσει να γίνονται εμπορικά προσιτές ή βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο, ο αριθμός των προγραμμάτων που καταστούν δυνατή την προσομοίωσή τους είναι περιορισμένος. Ένα από αυτά είναι το Energy plus το οποίο και επιλέχθηκε.

3.2.1: Τι είναι το πρόγραμμα EnergyPlus

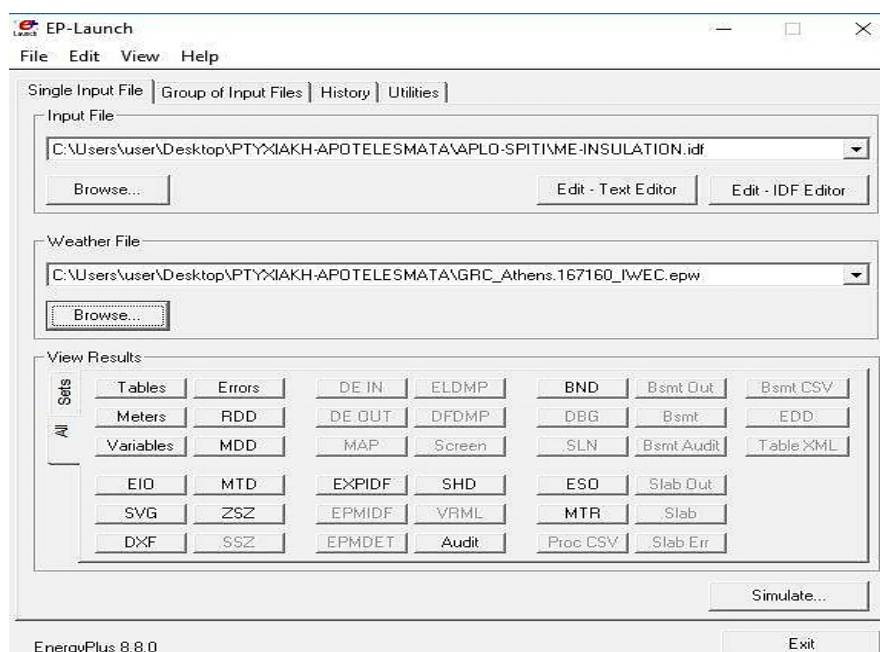
Το EnergyPlus έχει παρόμοιο αντικείμενο με το Revit Autodesk. Τα δύο αυτά προγράμματα αποτελούν κορυφαία εργαλεία προσομοίωσης των ενεργειακών φορτίων ενός κτιρίου. Ωστόσο, το EnergyPlus εστιάζει κυρίως στο ενεργειακό/μηχανολογικό κομμάτι του κτιρίου, ενώ το Revit προσφέρει περισσότερες επιλογές κυρίως για αρχιτέκτονες.

Μία ακόμη ειδοποιός διαφορά μεταξύ των δύο αυτών λογισμικών είναι το γεγονός πως το EnergyPlus παρέχεται δωρεάν. Το γεγονός αυτό είναι και θετικό αλλά και αρνητικό. Το μειονέκτημα που παρουσιάζει το EnergyPlus έναντι του Revit, είναι πως το τελευταίο παρουσιάζει ένα περισσότερο αυτοματοποιημένο και εύκολο περιβάλλον ενεργειακής προσομοίωσης της κατοικίας και παρέχει επιπλέον την δυνατότητα οικονομοτεχνικής ανάλυσης. Αντίθετα, το EnergyPlus δεν είναι φιλικό προς τον χρήστη. Εντούτοις υπάρχουν και ορισμένα θετικά οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση του EnergyPlus. Ειδικότερα, με την τεράστια ποικιλία επιλογών που παρέχεται τόσο σε επίπεδο μεταβλητών εισόδου, όσο και σε επίπεδο μεταβλητών εξόδου, επιτρέπεται στους χρήστες του να πραγματοποιήσουν οι ίδιοι την προσομοίωση που θέλουν στοχεύοντας στα αντικείμενα που εκείνοι επιθυμούν.

Τελειώνοντας, όσον αφορά την παρούσα εργασία, το γεγονός ότι δίνεται στο EnergyPlus η δυνατότητα ενσωμάτωσης 'έξυπνων' δομικών υλικών στο κέλυφος του κτιρίου αποτέλεσε καθοριστικής σημασίας για την επίτευξή της.

3.2.2: Διαδικασία προσομοίωσης του έξυπνου κτιριακού κελύφους μέσω του λογισμικού EnergyPlus

Αρχικά, πριν την έναρξη της προσομοίωσης της κατοικίας θα πρέπει να έχουν γίνει οι απαραίτητες ενέργειες μεταφοράς του εξεταζόμενου κτιριακού κελύφους από το Revit στο EnergyPlus. Με την εκκίνηση του Energyplus παρουσιάζεται η επιφάνεια εργασίας της Εικόνας 36, η οποία δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα εισαγωγής των αρχείων της κατοικίας και των καιρικών δεδομένων της περιοχής μέσω των επιλογών Input File και Weather File αντίστοιχα.



Εικόνα 36: Κεντρική καρτέλα του λογισμικού EnergyPlus

Παρατηρώντας την εικόνα 36 αξίζει να αναφερθούν μερικές από τις πιο σημαντικές εντολές της. Με το 'Edit-Idf Editor' ανοίγεται ένα καινούργιο παράθυρο εργασίας, όπου στην ουσία ο χρήστης συμπληρώνει σε αυτήν τις κατάλληλες μεταβλητές εισόδου και εξόδου και ύστερα από αυτό το βήμα, με την εντολή 'simulate' γίνεται η προσομοίωση.

Επιπλέον, η εντολή 'Edit-Text Editor' εμφανίζει τις μεταβλητές εισόδου και εξόδου σε μορφή κειμένου και απευθύνεται σε πιο εξειδικευμένο χρήστη.

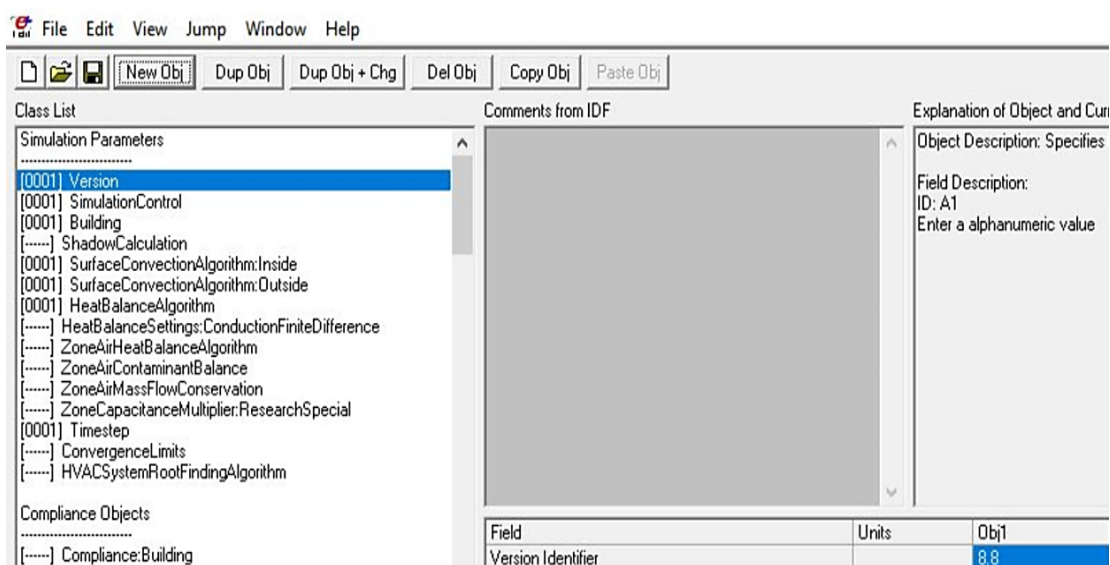
Συνεχίζοντας, οι επιλογές Tables και Errors αποτελούν επίσης σημεία αναφοράς. Η πρώτη αποδίδει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε διαγραμματική μορφή, ενώ η δεύτερη επισημαίνει τα λάθη που συνέβησαν κατά την πραγματοποίησή της. Υπάρχουν τριών ειδών λάθη: Τα 'Fatal' που είναι ιδιαιτέρως βαρυσήμαντα λάθη και καθιστούν αδύνατη τη διενέργεια της προσομοίωσης, τα 'Severe' που αν και λιγότερο σοβαρά, καθώς επιτρέπουν την διεξαγωγή της προσομοίωσης, συνίσταται να επιλύονται για υψηλότερη εγκυρότητα των αποτελεσμάτων και τα 'Warnings' που

είναι λάθη τα οποία επηρεάζουν σε αρκετά μικρότερο ή και ελάχιστο βαθμό το τελικό αποτέλεσμα.

Ένα πρόσθετο πρόβλημα που συχνά είναι πιθανό να προκύψει κατά κατά την εξαγωγή της ενεργειακής ανάλυσης από το Revit στο EnergyPlus είναι η επίλυση των λαθών που εμφανίζονται στο δεύτερο κατά την μετάφραση του αρχείου με κατάληξη .gbxml (αρχείο που δημιουργεί το revit) σε .idf (αρχείο που δημιουργεί το EnergyPlus). Επιπλέον, με την εντολή 'Transition Version' της καρτέλας File γίνεται η μεταφορά σε ενός αρχείου idf σε μεταγενέστερη έκδοση του προγράμματος.

Τέλος, με την επιλογή αρχείου τύπου DXF γίνεται η οπτική απεικόνιση του κτιριακού κελύφους, μέσω κατάλληλου σχεδιαστικού προγράμματος, όπως για παράδειγμα το Autocad.

Ανοίγοντας την εντολή 'Edit-IDF Editor' της Εικόνας 36, ο χρήστης εισέρχεται στο πραγματικό περιβάλλον του EnergyPlus όπου μέσω της καρτέλας 'Simulations Parameters' (Εικόνα 37), μπορεί να εισάγει τις παραμέτρους προσομοίωσης που τον ενδιαφέρουν. Ωστόσο οι διαθέσιμες επιλογές είναι πάρα πολλές για να περιγραφούν και εδώ θα παρουσιαστούν κυρίως οι παράμετροι στις οποίες η συγκεκριμένη εργασία εστίασε.



Εικόνα 37: Εισαγωγή παραμέτρων προσομοίωσης στο 'IDF-Editor'

Ξεκινώντας από την παράμετρο 'Version', το λογισμικό γνωστοποιεί στον σχεδιαστή μηχανικό τον τύπο της έκδοσης με την οποία θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση, όπου στην προκειμένη περίπτωση είναι η 8.8.

Η κατηγορία 'Simulation Control' αναφέρεται στο είδος των υπολογισμών που θα γίνουν κατά την διάρκεια της προσομοίωσης (Εικόνα 37).

Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		Yes
Do System Sizing Calculation		Yes
Do Plant Sizing Calculation		No
Run Simulation for Sizing Periods		Yes
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes
Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods		
Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes		

Εικόνα 38: Ρύθμιση του τρόπου διεξαγωγής της προσομοίωσης για την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, επιλέχθηκε να γίνουν όλοι οι απαιτούμενοι υπολογισμοί για την διαστασιολόγηση των στοιχείων που συνθέτουν ένα κτίριο, όπως πχ τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού, με βάση τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής.

Η παράμετρος προσομοίωσης ‘Building’ αφορά την εισαγωγή παραμέτρων που συσχετίζονται με την τοποθεσία του κτιρίου, όπως τον προσανατολισμό του, την τοπογραφία της περιοχής, τον τρόπο μοντελοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας και τον αριθμό των ‘ημερών προθέρμανσης’ στις οποίες θα επιτευχθεί η σύγκλιση ανάμεσα στους υπολογισμούς των θερμικών φορτίων και εσωτερικών θερμοκρασιών της κατοικίας. Η Εικόνα 39 που παρατίθεται παρακάτω παρουσιάζει τις τιμές των μεταβλητών που εισήχθησαν.

Field	Units	Obj1
Name		Project Name
North Axis	deg	0
Terrain		Suburbs
Loads Convergence Tolerance Value		0,04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0,4
Solar Distribution		FullExterior
Maximum Number of Warmup Days		25
Minimum Number of Warmup Days		6

Εικόνα 39: Πληροφορίες της κατηγορίας ‘Building’ για το εξεταζόμενο κτιριακό κέλυφος

Συνεχίζοντας, ο χρήστης καλείται να επιλέξει τον τύπο του αλγόριθμου με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Αρχικά, παρατηρούνται οι αλγόριθμοι της μορφής ‘SurfaceConvectionAlgorithm:Inside’, όπου εφαρμόζονται για τον υπολογισμό των φορτίων θερμότητας που μεταδίδονται μέσω συναγωγής στις εσωτερικές επιφάνειες του κτιριακού κελύφους. Εδώ, παρέμεινε από την προεπιλογή επιλεγμένος ο αλγόριθμος ‘tarp’.

Το αντίθετο ακριβώς υπολογίζουν οι αλγόριθμοι της κατηγορίας ‘SurfaceConvectionAlgorith:Outside’. Ο σκοπός τους είναι να εκτιμήσει τα θερμικά φορτία που δέχονται μέσω συναγωγής οι εξωτερικές επιφάνειες της κατοικίας. Η διαφορά των δύο αλγορίθμων είναι ότι στον τελευταίο οι εξωτερικές επιδράσεις λόγω καιρικών συνθηκών πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Όπως και πριν χρησιμοποιήθηκε ο προεπιλεγμένος αλγόριθμος και ειδικότερα ο ‘DOE-2’.

Ο τελευταίος τύπος αλγόριθμου που εφαρμόστηκε είναι ο ‘HeatBalance Algorithm’, όπου εφαρμόζεται για καθορισμό του ποσού θερμότητας και υγρασίας που

μεταδίδεται μέσα στα ενδιάμεσα στρώματα των δομικών στοιχείων. Η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου ήταν υψίστης σημασίας για αυτήν την διπλωματική εργασία, καθώς η εκάστοτε τεχνολογία απαιτεί τον δικό της ‘ιδανικότερο’ τρόπο προσέγγιση.

Εντέλει, χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του συμβατικού αλλά και του έξυπνου κτιριακού κελύφους στο οποίο ενσωματώθηκαν τα υλικά αλλαγής φάσης, ο ‘ConductionFiniteDifference’ (CFD) algorithm, ο οποίος είναι ο πλέον κατάλληλος αλγόριθμος που είναι και σε θέση να προσομοιώσει αξιόπιστα ένα κτιριακό κέλυφος που εμπεριέχει υλικά αλλαγής φάσης.

Όλοι οι αλγόριθμοι του EnergyPlus είναι σύμφωνοι με τις βασικές αρχές μετάδοσης θερμότητας. Η διαφορά είναι πως ο αλγόριθμος CFD βασιζόμενος πάνω στους υπόλοιπους αλγόριθμους του EnergyPlus, έρχεται να συμπληρώσει το κενό που οι υπόλοιποι αλγόριθμοι αδυνατούν να ικανοποιήσουν, δηλαδή τη χρήση υλικών μόνωσης μεταβλητής θερμικής αγωγιμότητας, όπως τα υλικά αλλαγής φάσης.

Ο ειδικός αυτός αλγόριθμος χωρίζει σε κομμάτια (nodes) (Εικόνα 40) τα δομικά στοιχεία της εξεταζόμενης κατοικίας και μέσω της εξίσωσης πεπερασμένης διαφοράς Crank-Nicholson, που παρατίθεται αμέσως πιο κάτω, καταλήγει στο ζητούμενο αποτέλεσμα.

$$C_p \rho \Delta x \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = k_w \frac{(T_{i+1}^{j+1} - T_i^{j+1})}{\Delta x} + k_E \frac{(T_{i-1}^{j+1} - T_i^{j+1})}{\Delta x} \quad (3.1)$$

Όπου για τις μεταβλητές της εξίσωσης ορίζονται ως:

$$\bullet \quad k_w = \frac{(k_{i+1}^{j+1} + k_i^{j+1})}{2} \quad (3.2)$$

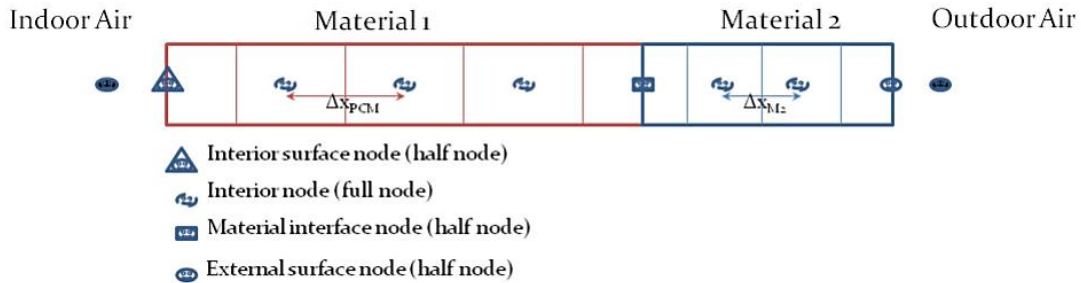
$$\bullet \quad k_E = \frac{(k_{i-1}^{j+1} + k_i^{j+1})}{2} \quad (3.3)$$

Ενώ σε περίπτωση μεταβλητής θερμικής αγωγιμότητας θα ισχύει:

$$\bullet \quad k_i = k(T_i^{j+1}) \quad (3.4)$$

- T= Θερμοκρασία
- i= Κομμάτι (node) που βρίσκεται υπό μοντελοποίηση
- i+1= Γειτονικό κομμάτι ως προς το εσωτερικό της κατασκευής
- i-1= Γειτονικό κομμάτι ως προς το εξωτερικό της κατασκευής
- j+1= Επόμενο timestep (Η έννοια θα αναλυθεί παρακάτω)
- j= Προηγούμενο χρονικό βήμα

- Δt = χρονικό βήμα
- Δx = Στρώση πάχους πεπερασμένης διαφοράς
- C_p = Ειδική θερμότητα του υλικού
- ρ = Πυκνότητα του υλικού



Εικόνα 40: Τρόπος διαμοιρασμού σε κομμάτια (nodes) των στρωμάτων ενός τοίχου βάσει του αλγόριθμου CFD

Το πάχος πεπερασμένης διαφοράς της κάθε στρώσης Δx καθορίζεται από την παρακάτω αξίσωση:

$$\Delta x = \sqrt{c \cdot a \cdot \Delta t} = \sqrt{\frac{a \cdot \Delta t}{Fo}} \quad (3.5)$$

Όπου ορίζονται:

- c : η σταθερά διακριτοποίησης διαστήματος
- a : η θερμική διαχυτικότητα του υλικού
- Δt : το χρονικό βήμα
- Fo : ο αριθμός Fourier που ορίζεται ως:

$$Fo = \frac{a \cdot \Delta t}{\Delta x^2} \quad (3.6)$$

Τέλος σε περίπτωση που στον τοίχο έχει ενσωματωθεί και ένα στρώμα υλικού αλλαγής φάσης, τότε ο τρόπος υπολογισμού του πάχους πεπερασμένης διαφοράς της στρώσης του υλικού αλλαγής φάσης Δx_{PCM} παραμένει ο ίδιος. Το μόνο που αλλάζει σε αυτήν την περίπτωση είναι η ειδική θερμότητα του υλικού C_p που χρησιμοποιείται στην εξίσωση Crank-Nicholson, όπου η ενθαλπία της διαφοροποιείται συναρτήσει της θερμοκρασίας του υλικού αλλαγής φάσης, όπως φαίνεται και στις παρακάτω εξισώσεις:

$$h = h(T) \quad (3.7)$$

$$C_p^*(T) = \frac{h_i^j - h_i^{j-1}}{T_i^j - T_i^{j-1}} \quad (3.8)$$

Όπου ως h ορίζεται η ενθαλπία.

Συνεχίζοντας, την παρουσίαση των παραμέτρων προσομοίωσης, παρατηρείται η παράμετρος Timestep, στην οποία ορίζεται το χρονικό βήμα με το οποίο θα λαμβάνονται δεδομένα κατά την διεξαγωγή της προσομοίωσης. Στο EnergyPlus η τιμή αυτή ορίζεται ως τον αριθμό των χρονικών βημάτων που θα συμβούν σε διάστημα μιας ώρας. Εδώ για timestep επιλέχθηκε ο αριθμός 20, κάτι το οποίο συμβαίνει πως τα δεδομένα λήφθηκαν κάθε 3 λεπτά.

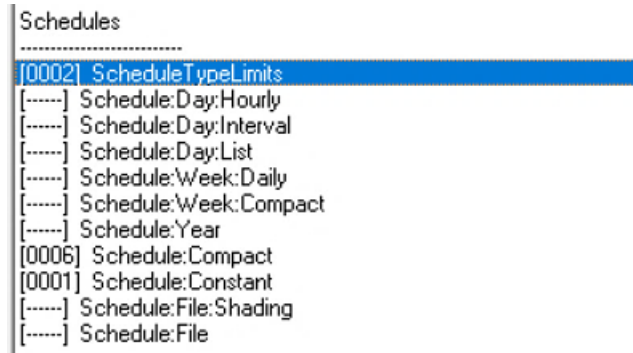
Από το σημείο αυτό και μετά, οι παράμετροι που ακολουθούν αφορούν στοιχεία τα οποία εισάχθηκαν στο περιβάλλον του Revit και οι επιλεγμένες τιμές τους μεταφέρθηκαν αυτόματα στο EnergyPlus.

Η πρώτη κατηγορία αφορά την τοποθεσία και το κλίμα. Οι ζητούμενες τιμές εισάχθηκαν αυτόματα με την μεταφορά του 'Weather file' στο EnergyPlus, όπως επισημάνθηκε προηγουμένως. Το μοναδικό πρόβλημα υπήρξε στην παράμετρο 'θερμοκρασία εδάφους' όπου στο Revit δεν είχαν οριστεί οι τιμές τους. Η εικόνα 41 παρουσιάζει τις ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας του εδάφους που λήφθηκαν για την περιοχή της Αθήνας.

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	20,03
February Ground Temperature	C	20,03
March Ground Temperature	C	20,13
April Ground Temperature	C	20,3
May Ground Temperature	C	20,43
June Ground Temperature	C	20,52
July Ground Temperature	C	20,62
August Ground Temperature	C	20,77
September Ground Temperature	C	20,78
October Ground Temperature	C	20,55
November Ground Temperature	C	20,44
December Ground Temperature	C	20,2

Εικόνα 41: Ετήσιες θερμοκρασιακές τιμές του εδάφους στην περιοχή Αιγάλεω της Αθήνας

Στη συνέχεια, ο χρήστης καλείται να επιλέξει τις κατάλληλες τιμές που πρέπει να οριστούν στην ομάδα κατηγοριών schedules (Εικόνα 42). Η ομάδα αυτή επιτρέπει τη δημιουργία προγραμμάτων-σταθερών που αφορούν π.χ. τις ώρες λειτουργίας, την θερμοκρασία των χώρων κτλ.. Ακόμη, καθορίζεται εάν ο υπό εξέταση χώρος χρησιμοποιείται με διαλείματα ή έχει συνεχή χρήση κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 42: Υποπεριπτώσεις της κατηγορίας schedules

Όλες οι ζητούμενες τιμές αυτής της ομάδας ορίστηκαν αυτόματα στο περιβάλλον του Revit και επίσης εμφανίστηκαν αυτόματα στο EnergyPlus. Σε περίπτωση που τα δεδομένα που εισήχθησαν δεν κάλυπταν όλο το χώρο, τότε θα είχαμε ‘fatal error’ και η προσομοίωση θα ήταν αδύνατη.

Επόμενη παράμετρος είναι τα ‘Surface Construction Elements’ όπου καταγράφονται διάφορα δεδομένα που σχετίζονται με τα δομικά στοιχεία του κελύφους, από τοιχοποιία μέχρι υαλοστάσια (Εικόνα 43). Όλες οι τιμές των χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων της παρακάτω εικόνας εμφανίστηκαν ταυτόχρονα με την επιλογή του είδους του δομικού στοιχείου στο Revit χάρη στη βάση δεδομένων της Autodesk.

Θα πρέπει να τονιστεί πως το EnergyPlus έχει και αυτό, μία βάση δεδομένων, στην οποία ο χρήστης μπορεί να μεταβεί μέσω της επιλογής ‘OpenDataSet’ της καρτέλας ‘File’, στην οποία περιέχονται από τυποποιημένα schedules μέχρι μηχανολογικά και δομικά στοιχεία και γενικώς ότι στοιχείο αφορά ένα κτιριακό κέλυφος.

Surface Construction Elements

- [0045] Material
- [0001] Material:NoMass
- [.....] Material:InfraredTransparent
- [0001] Material:AirGap
- [0001] Material:RoofVegetation
- [0002] WindowMaterial:SimpleGlazingSystem
- [.....] WindowMaterial:Glazing
- [.....] WindowMaterial:GlazingGroup:Thermochromic
- [.....] WindowMaterial:Glazing:RefractionExtinctionMethod
- [.....] WindowMaterial:Gas
- [.....] WindowGap:SupportPillar
- [.....] WindowGap:DeflectionState
- [.....] WindowMaterial:GasMixture
- [.....] WindowMaterial:Gap
- [.....] WindowMaterial:Shade
- [.....] WindowMaterial:ComplexShade
- [.....] WindowMaterial:Blind
- [.....] WindowMaterial:Screen
- [.....] WindowMaterial:Shade:EquivalentLayer
- [.....] WindowMaterial:Drape:EquivalentLayer
- [.....] WindowMaterial:Blind:EquivalentLayer
- [.....] WindowMaterial:Screen:EquivalentLayer
- [.....] WindowMaterial:Glazing:EquivalentLayer
- [.....] WindowMaterial:Gap:EquivalentLayer
- [.....] MaterialProperty:MoisturePenetrationDepth:Settings
- [0021] MaterialProperty:PhaseChange
- [.....] MaterialProperty:PhaseChangeHysteresis
- [.....] MaterialProperty:VariableThermalConductivity
- [.....] MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer:Settings
- [.....] MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer:SorptionIsotherm
- [.....] MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer:Suction
- [.....] MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer:Redistribution
- [.....] MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer:Diffusion
- [.....] MaterialProperty:HeatAndMoistureTransfer:ThermalConductivity
- [.....] MaterialProperty:GlazingSpectralData
- [0009] Construction
- [.....] Construction:FactorUndergroundWall
- [.....] Construction:FactorGroundFloor
- [.....] Construction:InternalSource
- [.....] WindowThermalModel:Params
- [.....] Construction:ComplexFenestrationState
- [.....] Construction:WindowEquivalentLayer
- [.....] Construction:WindowDataFile

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		BRICK	air-layer-exwall	concrete-exwalls
Roughness		Rough	Rough	Rough
Thickness	m	0,102	0,05	0,1
Conductivity	W/m-K	0,54	0,058	1,3
Density	kg/m3	1550	350	1800
Specific Heat	J/kg-K	840	840	840
Thermal Absorptance		0,9	0,9	0,9
Solar Absorptance		0,75	0,75	0,75
Visible Absorptance		0,75	0,75	0,75

Εικόνα 43: Ιδιότητες των δομικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της εξεταζόμενης κατοικίας

Εκτός από την επιλεγμένη παράμετρο ‘material’ της Εικόνας 43, υπάρχει και η παράμετρος ‘MaterialNoMass’ η οποία συνίσταται όταν υπάρχει άγνοια σχετικά με τις τιμές των αναλυτικών ιδιοτήτων των υλικών όπως πυκνότητα. Τότε το EnergyPlus πάλι επιτρέπει τη διενέργεια της προσομοίωσης, αρκεί ο χρήστης να ορίσει την πιο βασική μεταβλητή όσον αφορά την ενεργειακή ανάλυση, τη θερμική αντίσταση του υλικού. Επιπλέον είναι εφικτό να καθοριστεί και η τιμή της ηλιακής, θερμικής και ορατής απορροφητικότητας που αυτή παρουσιάζει.

Στη συνέχεια, αφού του έχουν οριστεί πλήρως οι μεταβλητές που σχετίζονται με τα δομικά υλικά του κτιρίου, απαιτείται ο ορισμός των στρωμάτων που συνθέτουν το κάθε δομικό στοιχείο όπως η διαστρωμάτωση των υλικών στο εσωτερικό ενός τοίχου. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της κατηγορίας ‘Construction’ (Εικόνα 44).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		EX-WALLS	ROOF-CON/N	GLASS-ALL	GLASS-WC	FLOOR-CON/N
Outside Layer		BRICK	tile-roof	CLEAR 12MM	CLEAR 12MM	SAND
Layer 2		vapour-retarder	vapour-retarder	AIR 13mm	AIR 13mm	damp-proofing
Layer 3		air-layer-exwall	CONCRETE-20C	CLEAR 12MM	CLEAR 12MM	CONCRETE-20C
Layer 4		concrete-exwalls	Insulation: Glass fiber - organic bonded - 66mm			Insulation: Glass fiber - organic bonded - 66mm
Layer 5		Insulation: Glass fiber - organic bonded - 66mm	GYPSUM-2			oAK
Layer 6		gypsum-exwalls				

Εικόνα 44: Παρουσίαση των στρωμάτων από τα οποία αποτελούνται τα δομικά στοιχεία του υπό έλεγχο κτιριακού κελύφους

Η διάταξη των στρωμάτων παρέμεινε ακριβώς η ίδια όπως είχε οριστεί στο περιβάλλον του Revit. Μόνη διαφορά ήταν η προσθήκη μόνωσης υαλοβάμβακα πάχους 66mm, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί και η προσομοίωση μονωμένης κατοικίας.

Επίσης, η εικόνα 44 εμφανίζει τα δεδομένα με τα οποία έγινε η προσομοίωση του συμβατικού κτιριακού κελύφους, αφού τεχνολογίες όπως πχ τα υλικά αλλαγής φάσης απουσιάζουν. Η προσομοίωση του έξυπνου κελύφους έγινε απλά με τον ορισμό του υλικού ως υλικό αλλαγής φάσης από την επιλογή ‘material property phase change’ της εικόνας 43, με ορισμό των απαραίτητων τιμών ενθαλπίας και θερμοκρασίας που ζητούνται και προσθήκη ενός επιπλέον στρώματος υλικού αλλαγής φάσης στο υπάρχον κτιριακό κέλυφος.

Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις υπόλοιπες έξυπνες τεχνολογίες όπως οι θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες και τις πράσινες στέγες η οποία θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω.

Υπενθυμίζεται πως και στις δύο περιπτώσεις, της συμβατικής και της προηγμένης τοιχοποιίας η προσομοίωση της έγινε από τον ίδιο αλγόριθμο, τον ConductionFiniteDifference.

Οι επόμενες παράμετροι προσομοίωσης ανήκουν στην κατηγορία Thermal zones and surfaces και αφορούν τον διαμερισμό της κατοικίας σε μικρότερους χώρους (Εικόνα 45). Είναι οι ίδιοι χώροι που ορίστηκαν στο Revit και στους οποίους βασίζονται τα schedules του EnergyPlus.

Η διαφορά είναι πως εδώ καθορίζονται τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά, όπως ο όγκος τους ή ο προσανατολισμός τους. Οι μεταβλητές X,Y,Z περιγράφουν την σχετική τοποθεσία των καθορισμένων χώρων (πχ. Κουζίνα), ως προς αυτήν του κτιρίου και η αρίθμησή τους βασίζεται σε ένα ειδικό σύστημα του EnergyPlus.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		KOUZINA	KREVATOKAMAR A1
Direction of Relative North	deg	0	0
X Origin	m	0	0
Y Origin	m	0	0
Z Origin	m	0	0
Type		1	1
Multiplier		1	1
Ceiling Height	m	3,2404	3,2404
Volume	m3	251,7094	55,45065
Floor Area	m2	92,26	21,0975
Zone Inside Convection Algorithm			
Zone Outside Convection Algorithm			
Part of Total Floor Area			

Εικόνα 45: Διαστασιολόγηση των θερμικών ζωνών του κτιριακού κελύφους στο EnergyPlus

Μία ακόμα παράμετρος εισόδου του προγράμματος είναι τα εσωτερικά κέρδη (Εικόνα 46), τα οποία έχουν μεταφερθεί και αυτά αυτομάτως από το Revit στο EnergyPlus. Ειδικότερα, μεγέθη όπως η πυκνότητα και η συχνότητα των ατόμων, της λειτουργίας του φωτισμού, του εξοπλισμού καθώς και του ζεστού νερού χρήσης καθορίστηκαν από αυτή την καρτέλα.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		people-KOUZINA	people-KREVATOKAMAR A1
Zone or ZoneList Name		KOUZINA	KREVATOKAMAR A1
Number of People Schedule Name		aim0205	aim0328
Number of People Calculation Method		People	People
Number of People		1	1
People per Zone Floor Area	person/m2		
Zone Floor Area per Person	m2/person		
Fraction Radiant		0,5	0,5
Sensible Heat Fraction		0,5	6,17283937E-01
Activity Level Schedule Name		aim0188-peep-activ-level	aim0311-peep-activ-level
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-W		
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings			
Mean Radiant Temperature Calculation Type			

Εικόνα 46: Εσωτερικά θερμικά κέρδη επιμέρους χώρων της κατοικίας

Με την ίδια ακριβώς λογική εισάχθηκαν τα δεδομένα στην κατηγορία 'HVAC Templates' όπου ζητείται ο υπολογισμός των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού με τα οποία είναι εφοδιασμένη η κατοικία. Στο κεφάλαιο ανάλυσης του Revit περιγράφηκαν τα χαρακτηριστικά τους. Η εικόνα 47 περιγράφει, περισσότερο αναλυτικά, το ίδιο ακριβώς αντικείμενο, όπως εισάχθηκε στο EnergyPlus.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Zone Name		KOUZINA	KREVATOKAMAR A1	TOUALETA	APOTHIKI	KREVATOKAMAR A2
Template Thermostat Name		Thermostat-KOUZINA	Thermostat-KREVA TOKAMARA1	Thermostat-TOUAL ETA	Thermostat-APOTH IKI	Thermostat-KREVA TOKAMARA2
Cooling Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Heating Supply Air Flow Rate	m3/s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
No Load Supply Air Flow Rate	m3/s					
Zone Heating Sizing Factor						
Zone Cooling Sizing Factor						
Outdoor Air Method		Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person	Flow/Person
Outdoor Air Flow Rate per Person	m3/s	0,002300071	0,002300071	0,002300071	0	0,002300071
Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2					
Outdoor Air Flow Rate per Zone	m3/s					
System Availability Schedule Name		FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34
Supply Fan Operating Mode Schedule Name		FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34
Supply Fan Placement		DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough	DrawThrough
Supply Fan Total Efficiency		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Supply Fan Delta Pressure	Pa	331	331	331	331	331
Supply Fan Motor Efficiency		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Cooling Coil Type		SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX	SingleSpeedDX
Cooling Coil Availability Schedule Name		FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34
Cooling Coil Gross Rated Total Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio		autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Cooling Coil Gross Rated Cooling COP	W/W	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Heating Coil Type		Gas	Gas	Gas	Gas	Gas
Heating Coil Availability Schedule Name		FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34	FanSch-34
Heating Coil Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize
Gas Heating Coil Efficiency		0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Gas Heating Coil Parasitic Electric Load	W					
Dedicated Outdoor Air System Name						
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Input Method		SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature
Zone Cooling Design Supply Air Temperature	C	14	14	14	14	14
Zone Cooling Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	11,11	11,11	11,11	11,11	11,11
Zone Heating Design Supply Air Temperature Input Method		SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature	SupplyAirTemperature
Zone Heating Design Supply Air Temperature	C	48,9	48,9	48,9	48,9	48,9
Zone Heating Design Supply Air Temperature Difference	deltaC	15	15	15	15	15
Design Specification Outdoor Air Object Name						
Design Specification Zone Air Distribution Object Name						
Baseboard Heating Type		None	None	None	None	None
Baseboard Heating Availability Schedule Name						
Baseboard Heating Capacity	W	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize

Εικόνα 47: Χαρακτηριστικά των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού της κατοικίας.

Καταλήγοντας, η τελευταία κατηγορία παραμέτρων έχει διαφορετική λογική από της προηγούμενες. Ενώ μέχρι τώρα ο σκοπός ήταν να εισαχθούν τα απαραίτητα δεδομένα, τώρα στόχος είναι η κατάλληλη επιλογή μεταβλητών εξόδου. Οι μεταβλητές εξόδου επιτρέπουν στον χρήστη να εστιάσει την ενεργειακή ανάλυση στο σημείο που εκείνος επιθυμεί.

Η απάντηση σχετικά με το είδος των μεταβλητών και τον λόγο που επιλέχθηκαν φαίνεται στα αποτελέσματα της προσομοίωσης, καθώς και στα συμπεράσματα που εξήχθησαν από αυτά και παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.

Στο σημείο αυτό με την εντολή simulate πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση του μονωμένου συμβατικού κελύφους. Η διαδικασία προσομοίωσης του έξυπνου ενεργειακού κελύφους, ξεκίνησε αρχικά με την εισαγωγή των υλικών αλλαγής φάσης στην στέγη, το πάτωμα και στους τοίχους που περιβάλλουν την κατοικία.

3.2.3: Διαδικασία προσομοίωσης των ΥΑΦ μέσω του λογισμικού EnergyPlus

Στην κατηγορία ‘material’ επιλέχθηκε ως παράμετρος η ‘Material Property: Phase change’ που καθορίζει το δομικό υλικό, ως αλλαγής φάσης και εισήχθησαν τα παρακάτω δεδομένα.

Field	Units	Obj1
Name		BIOPCMM51/Q23
Temperature Coefficient for Thermal Conductivity	W/m-K2	0
Temperature 1	C	-20
Enthalpy 1	J/kg	1
Temperature 2	C	0
Enthalpy 2	J/kg	12
Temperature 3	C	10
Enthalpy 3	J/kg	23058
Temperature 4	C	15
Enthalpy 4	J/kg	32580
Temperature 5	C	20
Enthalpy 5	J/kg	41280
Temperature 6	C	21,5
Enthalpy 6	J/kg	55230
Temperature 7	C	22
Enthalpy 7	J/kg	81820
Temperature 8	C	22,5
Enthalpy 8	J/kg	128509
Temperature 9	C	23
Enthalpy 9	J/kg	201879
Temperature 10	C	24
Enthalpy 10	J/kg	236860
Temperature 11	C	25
Enthalpy 11	J/kg	245462
Temperature 12	C	27
Enthalpy 12	J/kg	249194
Temperature 13	C	30
Enthalpy 13	J/kg	254503
Temperature 14	C	35
Enthalpy 14	J/kg	258813
Temperature 15	C	45
Enthalpy 15	J/kg	267178
Temperature 16	C	100
Enthalpy 16	J/kg	300420

Εικόνα 48: Αριθμητικές τιμές των δεδομένων των υλικών αλλαγής φάσης που χρησιμοποιήθηκαν

Υπενθυμίζεται πως στον αλγόριθμο CFD, η μεταβλητή ενεργειακή συμπεριφορά τους, καθορίζεται ανάλογα με τις μεταβολές της ενθαλπίας τους σε σχέση με τη θερμοκρασία τους τη δεδομένη χρονική στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο υπολογισμός του λανθάνοντος φορτίου θερμότητας που συγκρατούν κατά τη μετάβασή τους από την στερεή στην υγρή κατάσταση και το αντίστροφο.

Βέβαια, τα υλικά αλλαγής φάσης εξακολουθούν να λειτουργούν ως μονωτικά στοιχεία ακόμα και όταν δεν βρίσκονται σε διαδικασία μεταλλαγής. Σε αυτήν την περίπτωση, συμπεριφέρονται όπως και τα γνωστά μονωτικά υλικά και κατακρατούν τα αισθητά ποσά θερμότητας. Για αυτό τον λόγο, πρέπει να οριστούν αναλυτικά και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά τους (Εικόνα 49), τα οποία συσχετίζονται με την ενεργειακή ανάλυση της κατοικίας, όπως ακριβώς συνέβει και με τα συμβατικά υλικά μόνωσης.

Field	Units	Obj30
Name		BIOPCMM51/Q23
Roughness		VeryRough
Thickness	m	0,0208
Conductivity	W/m-K	0,2
Density	kg/m ³	235
Specific Heat	J/kg-K	1970
Thermal Absorptance		0,9
Solar Absorptance		0,1
Visible Absorptance		0,5

Εικόνα 49: Τιμές των θερμικών χαρακτηριστικών των υλικών αλλαγής φάσης που σχετίζονται με τη συγκράτηση των αισθητών φορτίων θερμότητας

Στη συνέχεια, η καινοτόμα στρώση δομικού υλικού, εισάχθηκε εσωτερικά της τοιχοποιίας και της οροφής μέσω της κατηγορίας ‘construction’ όπως φαίνεται από κάτω (obj1 και obj2 για τοιχοποιία και οροφή αντίστοιχα) και εξωτερικά (obj3 και obj4 για τοιχοποιία και οροφή αντίστοιχα).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		EX-WALLS	ROOF-CON/N	EX-WALLS	ROOF-CON/N
Outside Layer		BRICK	tile-roof	BRICK	tile-roof
Layer 2		vapour-retarder	vapour-retarder	vapour-retarder	vapour-retarder
Layer 3		air-layer-exwall	CONCRETE-20CM	BIOPCMM51/Q23	BIOPCMM51/Q23
Layer 4		concrete-exwalls	Insulation: Glass fiber - organic bonded - 66mm	air-layer-exwall	CONCRETE-20CM
Layer 5		Insulation: Glass fiber - organic bonded - 66mm	BIOPCMM51/Q23	concrete-exwalls	Insulation: Glass fiber - organic bonded - 66mm
Layer 6		BIOPCMM51/Q23	GYP SUM-2	Insulation: Glass fiber - organic bonded - 66mm	GYP SUM-2
Layer 7		gypsum-exwalls		gypsum-exwalls	

Εικόνα 50: Παρουσίαση στρωμάτων του ενεργειακού κελύφους με εσωτερική-εξωτερική επίστρωση ΥΑΦ

Το υλικό αλλαγής φάσης ενσωματώθηκε στους εξωτερικούς τοίχους και στην στέγη εσωτερικά των γυψοσανίδων, έτσι ώστε να βρίσκεται όσο περισσότερο εγγύτερα

γίνεται στις εσωτερικές συνθήκες του κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο οι θερμοκρασιακές μεταβολές αυξομειώνονται γύρω από το σημείο αλλαγής φάσης, το οποίο έχει οριστεί να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία της κατοικίας, επιτυγχάνοντας έτσι μεγιστοποίηση της απόδοσης του συγκεκριμένου υλικού.

Μετά το πέρας της παραπάνω διαδικασίας, πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών προσομοιώσεις. Η πρώτη για να καθοριστεί η συμπεριφορά των υλικών αλλαγής φάσης σε υπάρχον μονωμένο κέλυφος και η δεύτερη σε μη-μονωμένο κέλυφος έχοντας ως ΥΑΦ το ΒΙΟPCM51Q23 το οποίο λειτουργεί στους 23°C .

Τέλος, με ακριβώς ανάλογο τρόπο, έγιναν δύο πανομοιότυπες προσομοιώσεις (για μονωμένο και μη-μονωμένο κέλυφος) έχοντας το ίδιο ΥΑΦ στην εξωτερική πλευρά του τοίχου και της οροφής.

3.2.4: Διαδικασία προσομοίωσης της πράσινης στέγης μέσω του λογισμικού EnergyPlus

Όσον αφορά την πράσινη στέγη, πρέπει να εισαχθούν οι κατάλληλες παράμετροι που περιγράφουν τη δημιουργία της.

Αρχικά, θα πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος αλγόριθμος ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί ειδικά μόνο για το κομμάτι της οροφής του κτιρίου. Τελικά εφαρμόστηκε ο ‘Effective Moisture Penetration Depth’ (EMPD), εξαιτίας της ικανότητάς του να υπολογίζει την προσρόφηση και εκρόφηση της υγρασίας από τις επιφάνειες κατασκευής και υπολογίζει την επίδραση που έχει αυτή η προσρόφηση / εκρόφηση στην υγρασία σε κάθε ζώνη.

Υπάρχουν δύο πλασματικά στρώματα υλικού με ομοιόμορφη περιεκτικότητα σε υγρασία: ένα επιφανειακό στρώμα, το οποίο αντιπροσωπεύει την βραχυπρόθεσμη ρυθμιστική υγρασία και ένα βαθύ στρώμα, το οποίο αντιπροσωπεύει την πιο αργή ρυθμιστική υγρασία. Το μοντέλο υπολογίζει τη μεταφορά υγρασίας μεταξύ του αέρα και του επιφανειακού στρώματος και μεταξύ του επιφανειακού στρώματος και της βαθιάς στρώσης. Αυτή η μεταφορά υγρασίας επηρεάζει την υγρασία της ζώνης και επιδρά επίσης στη θερμοκρασία της ζώνης μέσω μετατροπής της λανθάνουσας σε αισθητή από τη θερμότητα προσρόφησης.

Ο αλγόριθμος EMPD βασίζεται στην παραδοχή των κυκλικών διακυμάνσεων της υγρασίας και συνεπώς στην περιεκτικότητα σε υγρασία υλικού, u . Με άλλα λόγια, πρέπει να πληρείται ο ακόλουθος περιορισμός:

$$\int_{t_2}^{t_1} \frac{du}{dt} dt = 0 \quad (3.9)$$

Αυτό είναι γενικά μια λογική υπόθεση για τα κτίρια, με καθημερινά εσωτερικά λανθάνοντα κέρδη. Το μοντέλο EMPD χρησιμοποιεί ένα λεπτό στρώμα υλικού σταθερού πάχους σε κάθε επιφάνεια του υλικού. Η περιεκτικότητα σε υγρασία θεωρείται σταθερή σε αυτό το πάχος, που ονομάζεται βάθος διείσδυσης της επιφάνειας. Για τα περισσότερα δομικά υλικά, η ισόθερμη ισορροπία ισορροπίας υγρασίας μπορεί να οριστεί από την ακόλουθη γενική εξίσωση:

$$u = a\varphi^b + c\varphi^d \quad (3.10)$$

Όπου: a , b , c , και d είναι παράμετροι προσαρμογής και φ είναι η σχετική υγρασία.

Αυτό το επιφανειακό στρώμα (που φέρει τον δείκτη 1 κατωτέρω) ανταλλάσσει την υγρασία με τον αέρα της ζώνης με βάση τη διαφορά μεταξύ της πυκνότητας ατμού αέρα ζώνης και της πυκνότητας ατμού υλικού. Το μοντέλο μετατρέπει την περιεκτικότητα υγρασίας επιφανειακού στρώματος σε πυκνότητα ατμού ρ_{u1} μέσω της καμπύλης απορρόφησης του υλικού:

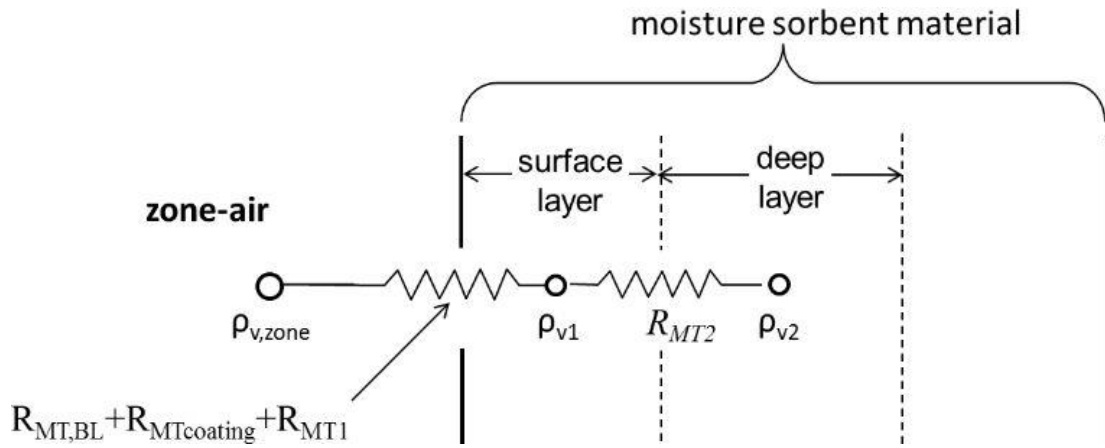
$$\rho_{u1} = \frac{0.622 \rho_{air} u_1}{\frac{du \cdot P}{d\varphi \cdot P_{sat}} - u_1} \quad (3.11)$$

Όπου:

- $\frac{du}{d\varphi}$: η κλίση της καμπύλης απορρόφησης υγρασίας σε kg / kg-RH
- P_{sat} : η κορεσμένη τάση ατμών
- ρ_{air} : η πυκνότητα ξηρού αέρα

Η ροή υγρασίας μεταξύ του υλικού και του αέρα της ζώνης (j_{zone}) είναι η διαφορά στις πυκνότητες ατμών διαιρούμενη με την συνολική αντίσταση μεταφοράς μάζας, η οποία είναι το άθροισμα της διαχύσεως αντίσταση της επιφάνειας του στρώματος, η διαχυτική αντίσταση οποιασδήποτε επικάλυψης, και την αντοχή του αεραγωγού:

$$j_{zone} = \frac{\rho_{u1} - \rho_{u,zone}}{R_{MT1} + R_{MT,coating} + R_{MT,BL}} \quad (3.12)$$



Εικόνα 51: Κομβικό μοντέλο για αποτελεσματική διείσδυση της υγρασίας

Η αντίσταση επιφανειακού στρώματος υπολογίζεται με:

$$R_{MT,1} = \frac{d_{EMPD,1}}{2R_{water} T \delta_{perm}} \quad (3.13)$$

Όπου:

- $d_{EMPD,1}$: το βάθος επιφανειακής στρώσης σε m
- R_{water} : η παγκόσμια σταθερά των αερίων για το νερό σε J/ kg K
- T : η θερμοκρασία σε K
- δ_{perm} : η διαπερατότητα υδρατμών του υλικού σε kg / ms-Pa

Η αντίσταση επικάλυψης είναι:

$$R_{MT,coating} = \frac{t_{coating} P_{ambient}}{R_{water} T \delta_{perm,coating}} \quad (3.14)$$

Όπου:

- $t_{coating}$: το πάχος του επιχρίσματος σε m
- $P_{ambient}$: η πίεση περιβάλλοντος σε Pa
- $\delta_{perm,coating}$: η διαπερατότητα της επικάλυψης σε kg / ms-Pa.

Τέλος, η αντίσταση μεταφοράς μάζας οριακού στρώματος υπολογίζεται με μετατροπή του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας σε μεταφορά μάζας με τη σχέση Lewis:

$$R_{MT,BL} = \frac{\rho_{air} C_{p,air}}{h_{conv}} \quad (3.15)$$

Πίσω από το επιφανειακό στρώμα υπάρχει μια βαθιά στρώση πάχους ($d_{EMPD,2}$). Το επιφανειακό στρώμα, με δείκτη 1, αντιπροσωπεύει τις

βραχυπρόθεσμες μεταβολές στην υγρασία του αέρα της ζώνης, ενώ η βαθιά στρώση, με δείκτη 2, αντιστοιχεί στην ανταπόκριση του υλικού σε πιο μακροπρόθεσμες αλλαγές στην υγρασία του αέρα της ζώνης. Το μοντέλο υπολογίζει τη ροή υγρασίας μεταξύ της επιφάνειας και των βαθιών στρωμάτων με την εξίσωση:

$$j_2 = \frac{\rho_{u,1} - \rho_{u,2}}{R_{MT,2}} \quad (3.16)$$

όπου $R_{MT,2}$ ισούται με:

$$R_{MT,2} = \frac{d_{EMPD,1} + d_{EMPD,2}}{2R_{water} T \delta_{perm}} \quad (3.17)$$

Αυτές οι ροές υγρασίας χρησιμοποιούνται για να διορθώσουν την περιεκτικότητα σε υγρασία (ή ισοδύναμη RH, ϕ για κάθε στρώση):

$$\phi_1(t) = \phi_1(t - \delta t) - \frac{(j_{zone} + j_2)timestep}{\rho_{mat} d_{EMPD,2}} \frac{du}{d\phi} \quad (3.18)$$

$$\phi_2(t) = \phi_2(t - \delta t) - \frac{j_2 timestep}{\rho_{mat} d_{EMPD,2}} \frac{du}{d\phi} \quad (3.18)$$

Όπου:

- ρ_{mat} : η ξηρή πυκνότητα του υλικού σε kg/m^3
- timestep: χρονικό βήμα σε s

Η ισοδύναμη πυκνότητα RH και ισοδύναμη πυκνότητα ατμού σχετίζεται με:

$$\rho_{u,1} = \frac{\phi_1 P_{sat}(T)}{R_{water}} \quad (3.19)$$

$$\rho_{u,2} = \frac{\phi_2 P_{sat}(T)}{R_{water}} \quad (3.20)$$

Η ροή θερμότητας της ζώνης χρησιμοποιείται μαζί με την περιοχή της συγκεκριμένης επιφάνειας, για την διόρθωση της υγρασίας ζώνης, όπως αναλύθηκε παραπάνω.

Η ροή θερμότητας της ζώνης χρησιμοποιείται επίσης για τον υπολογισμό της αισθητής θερμότητας που απελευθερώνεται (κατά την προσρόφηση) ή για την απορρόφηση (κατά τη διάρκεια της εκρόφησης) στην επιφάνεια του υλικού:

$$Q_{flux} = j_{zone} h_{fg} \quad (3.21)$$

Όπου: h_{fg} είναι η ενθαλπία της εξάτμισης του νερού η οποία είναι 2500 kJ / kg. Αυτό προστίθεται στους υπολογισμούς θερμικής ισορροπίας στην εσωτερική επιφάνεια.

Η υγρασία έχει μικρή επίδραση στην απόδοση του συστήματος θέρμανσης της κατοικίας. Δεν ισχύει όμως το ίδιο και για τα συστήματα κλιματισμού. Επομένως, για να προσομοιωθεί η κατοικία κατά τη διάρκεια των περιόδων που απαιτείται συνεχής ψύξη του κτιρίου, είναι ύψιστης σημασίας να είναι γνωστές οι συνθήκες υγρασίας του κτιρίου.

Στην περίπτωση των πράσινων στεγών όπου απαιτείται η ύδρευση του μέσου καλλιέργειας, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες, η ποσότητα υγρασίας που εμφανίζεται στην πράσινη στέγη παίζει τεράστιο ρόλο στον καθορισμό της απόδοσης των συστημάτων ψύξης και κλιματισμού, κάνοντας τη χρήση του EMPD αλγόριθμου επιτακτική.

Εφόσον επιλεγεί η χρησιμοποίησή του συγκεκριμένου αλγόριθμου θα πρέπει να οριστούν και τα ποσοστά της υγρασίας που επιτρέπει να εισέλθουν κάθε υλικό. Η Εικόνα 52 εμφανίζει ένα μέρος των τιμών που επιλέχθηκαν για την παρούσα διπλωματική και οι οποίες εισήχθησαν μέσω της βάσης δεδομένων που διαθέτει το EnergyPlus.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		CONCRETE-20CM	GYPSUM-2
Water Vapor Diffusion Resistance Factor	dimensionless	6,6	6
Moisture Equation Coefficient a	dimensionless	0,045	0,0068
Moisture Equation Coefficient b	dimensionless	0,352	0,939
Moisture Equation Coefficient c	dimensionless	0,0859	0,0202
Moisture Equation Coefficient d	dimensionless	14,8	12,2
Surface Layer Penetration Depth	m	autocalculate	autocalculate
Deep Layer Penetration Depth	m	autocalculate	autocalculate
Coating Layer Thickness	m	0	0,001
Coating Layer Water Vapor Diffusion Resistance Factor	dimensionless	0	200

Εικόνα 52: Παρουσίαση των δεδομένων των δομικών στοιχείων της κατοικίας, πάνω στα οποία βασίστηκε ο EMPD αλγόριθμος

Έπειτα, ξεκινάει η διαδικασία ενσωμάτωσης της πράσινης στέγης στο υπάρχον κτίριο. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η επιλογή ενός μοντέλου προσομοίωσης που περιγράφει ικανοποιητικά την συγκεκριμένη τεχνολογία πράγμα το οποίο διαθέτει το πρόγραμμα.

Η επιλογή του γίνεται μέσω της ομάδας 'Material' και της κατηγορίας 'Material:RoofVegetation'. Συγκεκριμένα στην εικόνα 53 παρουσιάζονται οι μεταβλητές που προσομοιώνουν την πράσινη στέγη.

Surface Construction Elements

- [0045] Material
- [0001] Material:NoMass
- [.....] Material:InfraredTransparent
- [0001] Material:AirGap
- [0001] Material:RoofVegetation
- [0002] WindowMaterial:SimpleGlazingSystem
- [0007] WindowMaterial:Glazing
- [.....] WindowMaterial:GlazingGroup:Thermochromic
- [.....] WindowMaterial:Glazing:RefractionExtinctionMethod
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [.....] WindowGap:SupportPillar
- [.....] WindowGap:DeflectionState
- [.....] WindowMaterial:GasMixture
- [.....] WindowMaterial:Gap
- [.....] WindowMaterial:Shade
- [.....] WindowMaterial:ComplexShade
- [.....] WindowMaterial:Blind
- [.....] WindowMaterial:Screen
- [.....] WindowMaterial:Shade:EquivalentLayer
- [.....] WindowMaterial:Drape:EquivalentLayer
- [.....] WindowMaterial:Blind:EquivalentLayer
- [.....] WindowMaterial:Screen:EquivalentLayer
- [.....] WindowMaterial:Glazing:EquivalentLayer
- [.....] WindowMaterial:Gap:EquivalentLayer

Field	Units	Obj1
Name		vegetation
Height of Plants	m	0,5
Leaf Area Index	dimensionless	5
Leaf Reflectivity	dimensionless	0,2
Leaf Emissivity		0,95
Minimum Stomatal Resistance	s/m	180
Soil Layer Name		EcoRoofSoil
Roughness		VeryRough
Thickness	m	0,18
Conductivity of Dry Soil	W/m-K	0,4
Density of Dry Soil	kg/m3	641
Specific Heat of Dry Soil	J/kg-K	1100
Thermal Absorptance		0,95
Solar Absorptance		0,8
Visible Absorptance		0,7
Saturation Volumetric Moisture Content of the Soil Layer		0,4
Residual Volumetric Moisture Content of the Soil Layer		0,01
Initial Volumetric Moisture Content of the Soil Layer		0,2
Moisture Diffusion Calculation Method		Advanced

Εικόνα 53: Χαρακτηριστικά της πράσινης στέγης που χρησιμοποιήθηκαν

Εκτενέστερα, οι σχέσεις που περιγράφουν το ενεργειακό μοντέλο της πράσινης στέγης βασίζονται στους τύπους των Frankenstein και Koenig.

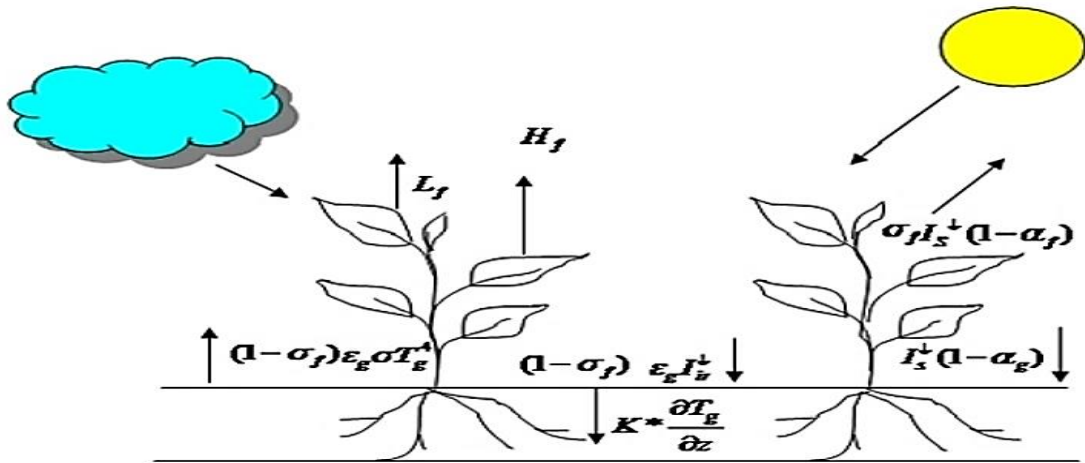
Η σχέση (3.22) που περιγράφει το ενεργειακό ισοζύγιο στο επίπεδο των φυλλωμάτων:

$$F_f = \sigma_f \left[I_s^\downarrow (1 - a_f) + \varepsilon_f I_{ir}^\downarrow - \varepsilon_f \sigma T_f^4 \right] + \frac{\sigma_f \varepsilon_g \varepsilon_f \sigma}{\varepsilon_f} T_g^4 - T_f^4 + H_f + L_f \quad (3.22)$$

Η σχέση (3.23) που περιγράφει το ενεργειακό ισοζύγιο στο επίπεδο του εδάφους:

$$F_f = (1 - \sigma_f) \left[I_s^\downarrow (1 - a_g) + \varepsilon_g I_{ir}^\downarrow - \varepsilon_g \sigma T_g^4 \right] - \frac{\sigma_f \varepsilon_g \varepsilon_f \sigma}{\varepsilon_f} T_g^4 - T_g^4 + H_g + L_g + K^* \frac{\partial T_g}{\partial z} \quad (3.23)$$

Επιπλέον, η Εικόνα 54 παρουσιάζει μία οπτική απεικόνιση των μεταβλητών που παρίσταται στους παραπάνω τύπους.



Εικόνα 54: Ενεργειακό ισοζύγιο της πράσινης στέγης

- F_f : ενεργειακό ισοζύγιο στο επίπεδο των φυλλωμάτων
- F_g : ενεργειακό ισοζύγιο στο επίπεδο του μέσου καλλιέργειας
- H_f : η αισθητή μεταφορά θερμότητας μεταξύ των φύλλων και του αέρα σε W/m^2
- L_f : η λανθάνουσα μεταφορά θερμότητας μεταξύ των φύλλων και του αέρα σε W/m^2
- I_s : η συνολική ποσότητα εισερχόμενης κοντού κύματος ακτινοβολίας σε W/m^2
- I_{ir} : η συνολική ποσότητα εισερχόμενης μακρινού κύματος ακτινοβολίας σε W/m^2
- σ_f : το κλάσμα της πράσινης στέγης που καλύπτεται από βλάστηση
- σ : η σταθερά Stefan-Boltzmann που ισούται με $5.699 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$
- α_f : το ποσοστό της ακτινοβολίας κοντού κύματος που αντανακλάται εξαιτίας της σκίασης που προσφέρουν τα φυτά
- α_g : το ποσοστό της ακτινοβολίας κοντού κύματος που αντανακλάται από το μέσο καλλιέργειας (πχ χώμα)
- ϵ_f : η εκπομπή των φυλλωμάτων
- ϵ_g : η εκπομπή στην επιφάνεια του μέσου καλλιέργεια
- T_g : η θερμοκρασία επιφάνειας του μέσου καλλιέργεια σε K
- T_f : η θερμοκρασία των φυλλωμάτων σε K

Όλες οι τιμές των μεταβλητών των σχέσεων Frankenstein-Koenig βασίζονται στα δεδομένα που δόθηκαν προηγουμένως στην εικόνα 53. Μία αρκετά λεπτομερής ανάλυση των σχέσεων πάνω στις οποίες βασίζονται οι συγκεκριμένες μεταβλητές παρουσιάζεται αναλυτικότερα στο 'Engineering Reference' όπου περιέχονται τα πάντα σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του προγράμματος.

Στη συνέχεια θα πρέπει να εισαχθεί η πράσινη στέγη στο υπάρχον κτιριακό κέλυφος. Όπως προηγουμένως, μέσω της κατηγορίας ‘construction’ εισάγονται τα στρώματα τα οποία συχνά εμφανίζονται σε μία πράσινη στέγη (Εικόνα 55).

Field	Units	Obj1
Name		ROOF-CON/N
Outside Layer		vegetation
Layer 2		vapour-retarder
Layer 3		CONCRETE-20CM
Layer 4		Insulation: Glass fiber - organic bonded - 75mm
Layer 5		GYPSUM-2
Layer 6		
Layer 7		
Layer 8		
Layer 9		
Layer 10		

Εικόνα 55: Παρουσίαση των στρωμάτων της πράσινης στέγης

Το εξωτερικό στρώμα με το όνομα ‘vegetation’ περιγράφεται από το ενεργειακό μοντέλο της πράσινης στέγης που αναφέρθηκε προηγουμένως και υπολογίζει τα ενεργειακά φορτία που κατακρατούνται από τα φύλλα και το χώμα. Στην ουσία, είναι το στρώμα του οποίου η παρουσία του καθορίζει το εάν μία οροφή ανήκει στην κατηγορία πράσινης στέγης ή όχι.

Στο σημείο αυτό, με το πέρας του καθορισμού των δεδομένων που χαρακτηρίζουν μία πράσινη στέγη ξεκινάει η προσομοίωση του έξυπνου κτηριακού κελύφους. Έγιναν δύο ειδών προσομοιώσεων, όπως θα αναλυθεί και στην συνέχεια:

Στην πρώτη περίπτωση, υπήρχε στο κτήριο μόνωση και πράσινη στέγη, ενώ στη δεύτερη περίπτωση προσομοιώθηκε μία πράσινη στέγη με τα ακριβώς ίδια χαρακτηριστικά αλλά χωρίς μόνωση οροφής, με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με εκείνα του συμβατικού κελύφους.

3.2.3: Διαδικασία προσομοίωσης των θερμοχρωμικών υαλοπινάκων μέσω του λογισμικού EnergyPlus

Συνεχίζοντας, έπρεπε να επιλεχθούν οι κατάλληλες τιμές για την προσομοίωση της έξυπνης κατοικίας στην οποία έχει πλέον ενσωματωθεί ένα καινούργιο είδος παραθύρων, τα θερμοχρωμικά παράθυρα.

Η διαδικασία ξεκινά με τον καθορισμό του θερμοχρωμικού παραθύρου με τη βοήθεια της κατηγορίας construction. Δεν χρειάστηκε η επιλογή κανενός

εξειδικευμένου αλγόριθμου. Οι υπολογισμοί έγιναν με τον αλγόριθμο ‘Conduction Finite Difference’.

Η δομή του θερμοχρωμικού υαλοστασίου που ορίστηκε ήταν ακριβώς η ίδια με εκείνη του συμβατικού παραθύρου με μία διαφορά το εξωτερικό διπλό γυαλί ορίζεται σαν μεταβλητό και αλλάζει χρωματισμούς σύμφωνα με την θερμοκρασία του ένω το εσωτερικό παραμένει σταθερό όπως επίσης και το κενό των 13 mm αέρα αναμεσα τους.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του αέρα που βρίσκεται εσωτερικώς του υαλοπίνακα αυτά ορίζονται όπως φαίνεται στην Εικόνα 56.

Field	Units	Obj1
Name		AIR_13mm
Gas Type		Air
Thickness	m	0,013

Εικόνα 56: Ιδιότητες του αέρα που βρίσκεται μεταξύ των δύο υαλοστασίων στο θερμοχρωμικό παράθυρο

Ωστόσο, για το γυαλί που ορίστηκε ως θερμοχρωμικό, τα πράγματα είναι περισσότερο περίπλοκα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι ιδιότητες των θερμοχρωμικών γυαλιών αλλάζουν ανάλογα με τη θερμοκρασία τους. Μία πιο λεπτομερής παράθεση των ιδιοτήτων τους συναρτήσει της θερμοκρασίας τους προσφέρει η Εικόνα 57.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		TCGlazing24	CLEAR 12MM	TCGlazing34	TCGlazing48	TCGlazing64	TCGlazing76
Optical Data Type		SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name							
Thickness	m	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
Solar Transmittance at Normal Incidence		0,229	0,653	0,192	0,117	0,056	0,035
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,045	0,064	0,044	0,042	0,042	0,041
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,054	0,064	0,052	0,05	0,048	0,048
Visible Transmittance at Normal Incidence		0,545	0,841	0,438	0,228	0,07	0,023
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,055	0,077	0,051	0,045	0,042	0,042
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,065	0,077	0,06	0,053	0,048	0,047
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	0	0	0	0	0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Conductivity	W/m.K	1	0,9	1	1	1	1
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance		1		1	1	1	1
Solar Diffusing		No		No	No	No	No

Εικόνα 57: Τιμές των χαρακτηριστικών του θερμοχρωμικού γυαλιού ανάλογα με τη θερμοκρασία του

Ο ορισμός των θερμοκρασιών όπου συμβαίνει αυτή η αλλαγή, έγινε μέσω της κατηγορίας ‘window material group: ThermoChromic’ (Εικόνα 58).

Surface Construction Elements

[0045] Material
 [0001] Material:NoMass
 [-----] Material:InfraredTransparent
 [0001] Material:AirGap
 [0001] Material:RoofVegetation
 [0002] WindowMaterial:SimpleGlazingSystem
 [0006] WindowMaterial:Glazing
 [0001] WindowMaterial:GlazingGroup:Thermochromic
 [-----] WindowMaterial:Glazing:RefractionExtinctionMethod
 [0001] WindowMaterial:Gas
 [-----] WindowGap:SupportPillar
 [-----] WindowGap:DeflectionState
 [-----] WindowMaterial:GasMixture
 [-----] WindowMaterial:Gas

Field	Units	Obj1
Name		TCGlazings
Optical Data Temperature 1	C	24
Window Material Glazing Name 1		TCGlazing24
Optical Data Temperature 2	C	34
Window Material Glazing Name 2		TCGlazing34
Optical Data Temperature 3	C	48
Window Material Glazing Name 3		TCGlazing48
Optical Data Temperature 4	C	64
Window Material Glazing Name 4		TCGlazing64
Optical Data Temperature 5	C	76
Window Material Glazing Name 5		TCGlazing76

Εικόνα 58: Ορισμός των θερμοκρασιών αλλαγής ιδιοτήτων του θερμοχρωμικού στρώματος

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση της κατοικίας στην οποία βρίσκονται ενσωματωμένα τα παραπάνω θερμοχρωμικά παράθυρα. Τα αποτελέσματα και συμπεράσματα που εξήχθησαν από αυτά θα αναλυθούν διεξοδικά στο 4^ο κεφάλαιο.

3.2.4: Διαδικασία προσομοίωσης των ανακλαστικών χρωμάτων μέσω του λογισμικού EnergyPlus

Το τελευταίο κομμάτι προσομοίωσης της διπλωματικής αφορούσε την προσομοίωση του κτιριακού κελύφους στο οποίο έχει βαφεί με ένα νέο είδος τις ανακλαστικές ‘μπογιές’.

Ειδικότερα στην κατηγορία material επιτρέπεται η ρύθμιση των χαρακτηριστικών των υλικών του κτιριακού κελύφους, όπως για παράδειγμα εάν έχουν μάζα ή όχι, ποια είναι η πυκνότητά τους, το πάχος τους κτλ.

Το χαρακτηριστικό το οποίο παίζει τεράστιο ρόλο όσον αφορά τις μπογιές είναι αυτό της ηλιακής απορροφητικότητας. Η ιδιαιτερότητα των ανακλαστικών μπογιών είναι πως εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τις συμβατικές. Ο πίνακας 1 παραθέτει τις τιμές της ηλιακής απορροφητικότητας των συμβατικών αλλά και των ανακλαστικών χρωμάτων.

Χρώμα	Απορροφητικότητα
Ψυχρό κίτρινο	0.48
Τυπικό κίτρινο	0.69
Ψυχρό άσπρο	0.09
Τυπικό άσπρο	0.16
Ψυχρό μαύρο	0.68
Τυπικό μαύρο	0.95
Ψυχρό καφέ	0.61
Τυπικό καφέ	0.8

Πίνακας 1: Αριθμητικές τιμές των δεδομένων των συμβατικών και ανακλαστικών χρωμάτων πάνω στα οποία έγιναν οι προσομοιώσεις

Επειδή έγινε μία προσπάθεια να καλυφθεί όλη η γκάμα χρωμάτων που εφαρμόζεται στη βαφή των κατοικιών, έτσι ώστε να διερευνηθεί η περίπτωση όπου εμφανίζεται το υψηλότερο κέρδος, επιλέχθηκε το πιο ανοιχτό χρώμα (λευκό) και το πιο σκούρο χρώμα (μαύρο) το κέρδος διαμέσου αυτών των δύο ακραίων περιπτώσεων.

Καταλήγοντας, θα πρέπει να επισημανθεί πως έγιναν και μερικές ακόμα προσομοιώσεις της έξυπνης κατοικίας συνδυάζοντας τις πιο πάνω τεχνολογίες. Συγκεκριμένα έγινε ο συνδυασμός των ΥΑΦ και των θερμοχρωμικών υαλοπινάκων . Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται μαζί με όλα τα υπόλοιπα στο 4^ο κεφάλαιο.

Καταλήγοντας, εφόσον η εργασία ολοκληρώθηκε στο EnergyPlus όλα τα αποτελέσματα και συμπεράσματα που παρουσιάζονται στα κεφάλαια 4 και 5 αντίστοιχα, αφορούν τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον του. Εκτός από την προσομοίωση του κτιριακού κελύφους στο οποίο έγινε προσθήκη των 'έξυπνων' τεχνολογιών, επαναλήφθηκε και η προσομοίωση του συμβατικού κελύφους, καθώς ορισμένα συμβατικά στοιχεία του υποβλήθηκαν σε βελτιστοποίηση των ενεργειακών χαρακτηριστικών τους, έτσι ώστε να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στα ενεργειακά πρότυπα του ΚΕΝΑΚ. Η μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας της τοιχοποιίας με την προσθήκη περαιτέρω μόνωσης αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα.

Κεφάλαιο 4^ο: Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρατεθούν τα διάφορα δεδομένα που προέκυψαν από την προσομοίωση του έξυπνου κτιριακού κελύφους και θα συγκριθούν με εκείνα του συμβατικού κτιρίου.

Πρέπει να σημειωθεί, πως ο όγκος των δεδομένων που προέκυψαν ήταν ιδιαίτερα μεγάλος, καθώς το κάθε έξυπνο δομικό στοιχείο προσομοιώθηκε ξεχωριστά, για την εξαγωγή καλύτερων συμπερασμάτων σε σχέση με τις δυνατότητές του, ενώ πολλές φορές δοκιμάστηκαν διαφορετικές περιπτώσεις εφαρμογής του έξυπνου υλικού, έτσι ώστε να βρεθεί που ακριβώς παρουσιάζεται το μέγιστο κέρδος. Για τον λόγο αυτό, σε μία προσπάθεια περιορισμού της ποσότητας των δεδομένων, παρουσιάζονται τα στοιχεία εκείνα που κρίθηκαν ως τα σημαντικότερα.

4.1: Ενεργειακά δεδομένα του κτιριακού κελύφους

Αρχικά, παρακάτω δίνεται ο πίνακας με το συντελεστή θερμοπερατότητας όλων των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους που προσομοιώθηκε, πριν την ενσωμάτωση των έξυπνων τεχνολογιών. Οι τιμές θερμοπερατότητας υπολογίστηκαν από τις αντίστοιχες τιμές θερμικών αντιστάσεων, για τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, σύμφωνα με την σχέση (4.1):

$$U_i = \frac{1}{R_{tot}} \quad (4.1)$$

Όπου:

- U_i : η θερμοπερατότητα του δομικού στοιχείου i
- R_{tot} : το άθροισμα των επιμέρους θερμικών αντιστάσεων (R_j) των υλικών από τα οποία απαρτίζεται το δομικό στοιχείο i

Η θερμική αντίσταση (R_j) υπολογίστηκε σύμφωνα με την σχέση (4.2):

$$R_j = \frac{\text{θερμική αγωγιμότητα υλικού } j}{\text{πάχος υλικού } j} \quad (4.2)$$

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 2, οι τιμές για μόνωση ικανοποιούν τις απαιτήσεις του ΚΕΝΑΚ για τη θερμική ζώνη Α που βρίσκεται το κτίριο.

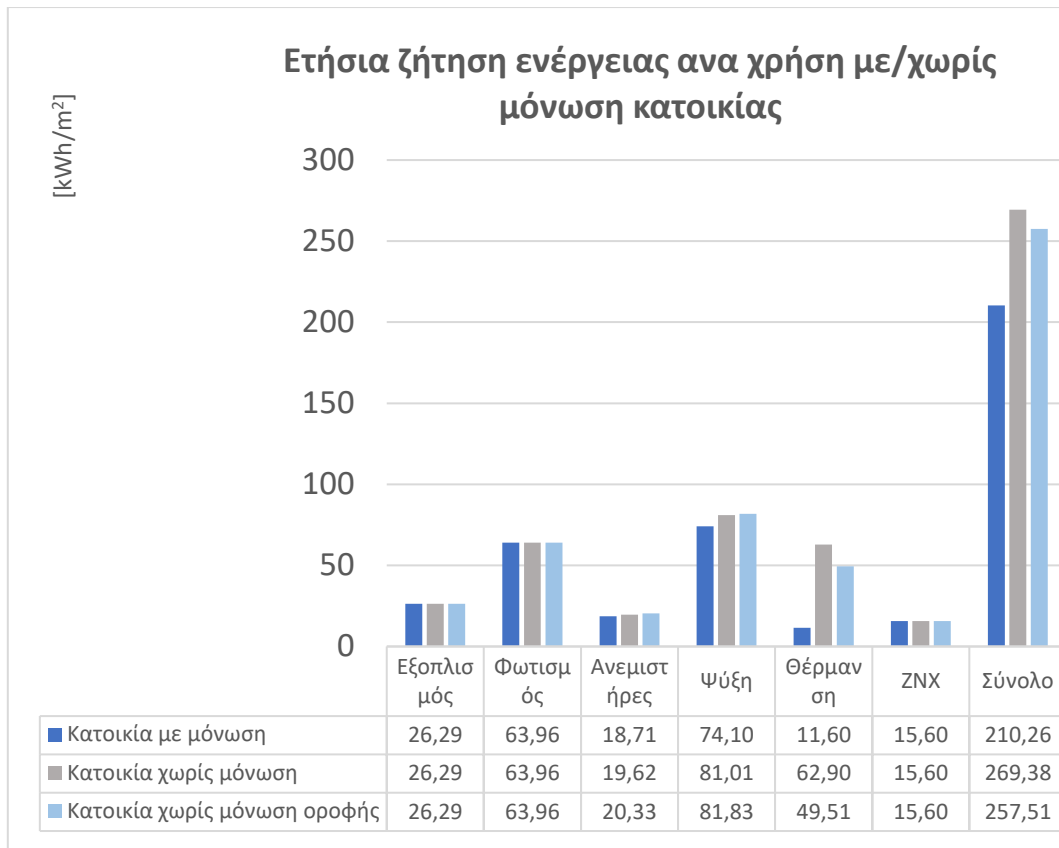
Είδος	Συντελεστής θερμοπερατότητας με μόνωση (W/m ² K)	Συντελεστής θερμοπερατότητας χωρίς μόνωση (W/m ² K)
Παράθυρα	2.57	2.57
Οροφή	0.43	1.98
Δάπεδο	0.47	0.47
Εξ. Τοίχοι	0.33	0.86
Εξ. Πόρτα	2.38	2.38

Πίνακας 2: Συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων της εξεταζόμενης κατοικίας.

4.2: Αποτελέσματα προσομοίωσης του συμβατικού κτιριακού κελύφους

Στο διάγραμμα 11 παρουσιάζονται τα ετήσια ενεργειακά φορτία που απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών της υπό εξέταση συμβατικής κατοικίας. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα φορτία για τη θέρμανση, τη ψύξη το κλιματισμό και για το ζεστό νερό χρήσης αλλά και τα ηλεκτρικά φορτία που χρησιμοποιούνται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του κτιρίου σε φωτισμό και για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό με τον οποίο είναι εφοδιασμένο.

Για τις ανάγκες διερεύνησης της αποτελεσματικότητας της κάθε παρέμβασης, πραγματοποιήθηκαν τρεις περιπτώσεις προσομοίωσης όσον αφορά το συμβατικό κτίριο. Ειδικότερα: α) Συμβατικό κτίριο με επαρκώς μονωμένη τοιχοποιία, β) Συμβατικό κτίριο χωρίς μόνωση για το σύνολο της τοιχοποιίας και γ) Συμβατικό κτίριο χωρίς μόνωση στην οροφή.



Διάγραμμα 11: Ετήσια ενεργειακά φορτία για διάφορες περιπτώσεις του εξεταζόμενου κτιριακού κελύφους

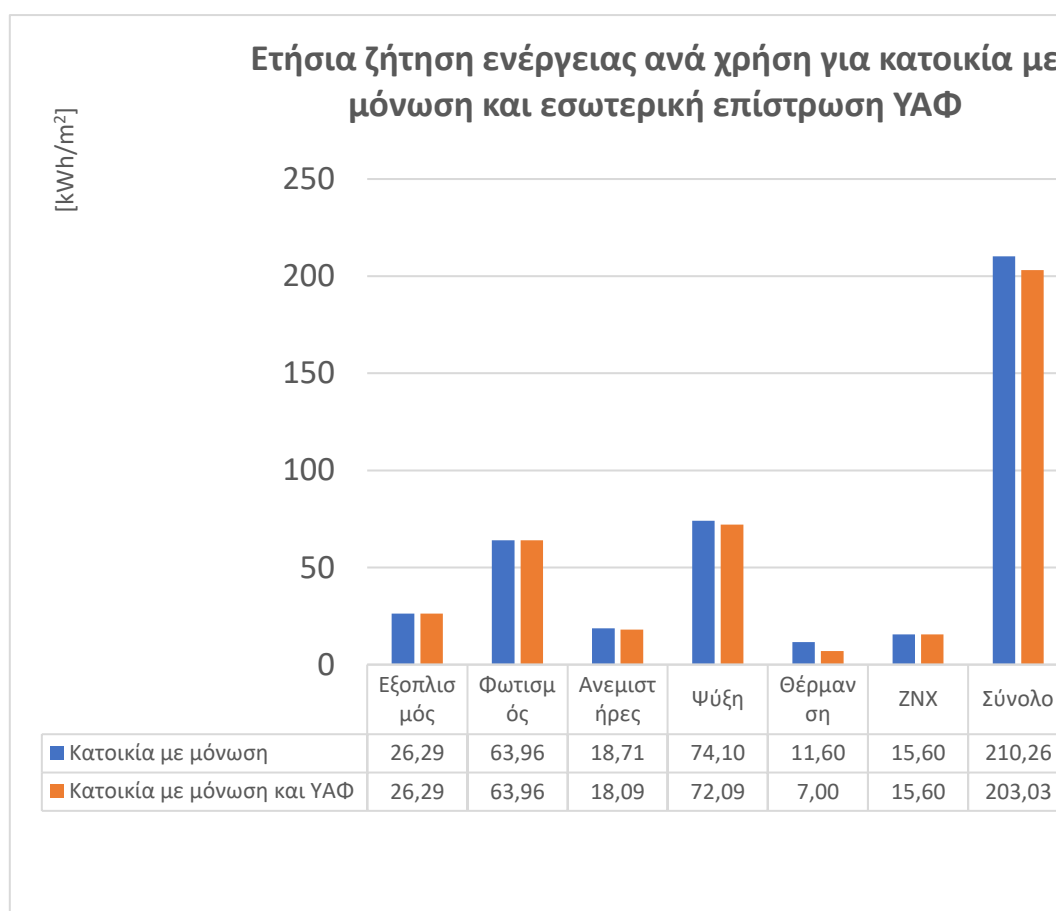
Τα αποτελέσματα της δυναμικής προσομοίωσης διαχωρίζονται στα μεταβλητά και στα μη-μεταβλητά στοιχεία χρήσης. Τα τελευταία αποτελούνται από τα φορτία λόγω φωτισμού, ηλεκτρικού εξοπλισμού και ζεστού νερού χρήσης. Εφόσον οι τιμές τους παρέμειναν σταθερές για κάθε περίπτωση προσομοίωσης δεν αναλύθηκαν περαιτέρω. Αντιθέτως, τα πρώτα αποτελούνται από τα φορτία ανεμιστήρων, θέρμανσης και ψύξης της κατοικίας και οι τιμές τους παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις ανάλογα το είδος προσομοίωσης που επιλέχθηκε. Επισημαίνεται ότι ως φορτία ανεμιστήρων ορίζονται εκείνα τα οποία σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει το σύστημα παροχής αέρα (είτε θερμού κατά την θέρμανση του χώρου είτε ψυχρού κατά την ψύξη του) και είναι συνάρτηση του χρόνου λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης και ψύξης.

4.3: Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνου’ κτιριακού κελύφους με ενσωματωμένα ΥΑΦ εσωτερικά

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη προσομοίωση της ‘έξυπνης’ τοιχοποιίας στην οποία ενσωματώθηκε η τεχνολογία των ΥΑΦ. Για να βρεθεί το σημείο εγκατάστασης στο οποίο τα ΥΑΦ προσφέρουν το βέλτιστο κέρδος στον ιδιοκτήτη, διερευνήθηκαν δύο περιπτώσεις στις οποίες τα ΥΑΦ τοποθετήθηκαν τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά της τοιχοποιίας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξεταστεί η πρώτη περίπτωση.

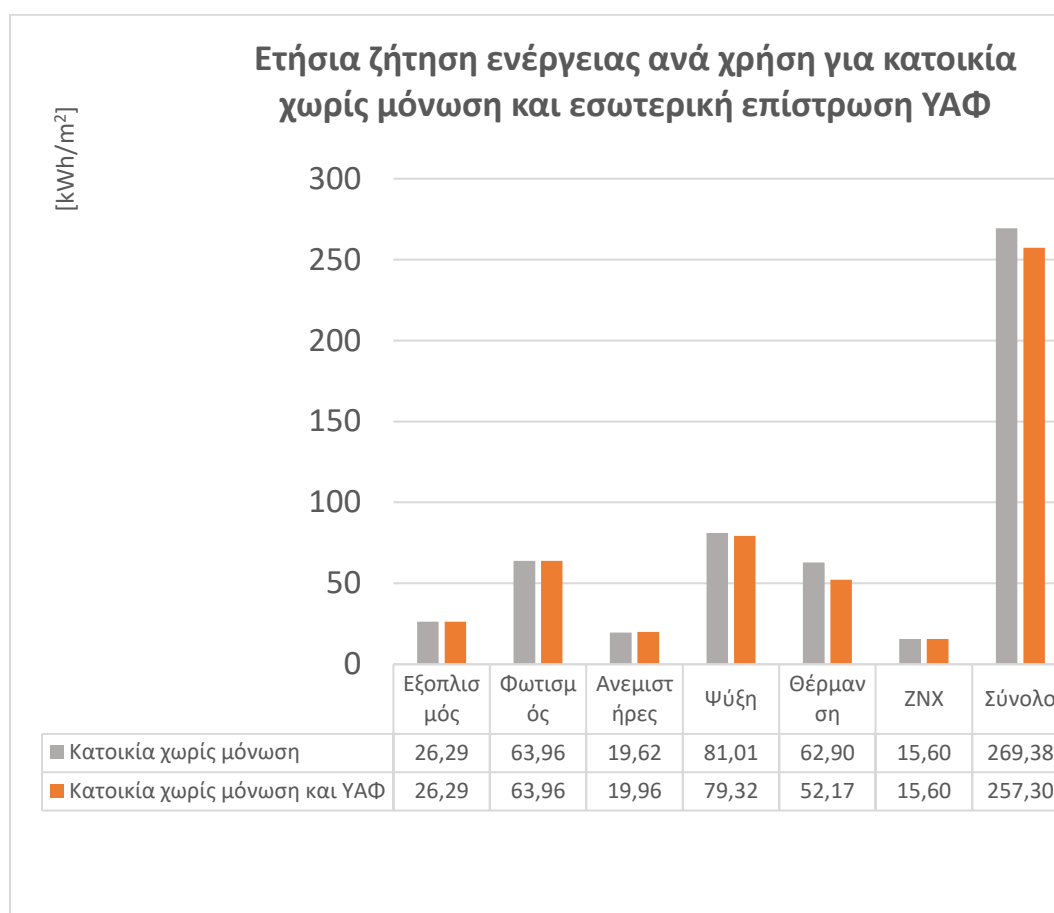
Ύστερα από εφαρμογή των ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας γίνονται δύο ειδών προσομοιώσεων: 4.3α) Περίπτωση κατοικίας με συμβατική μόνωση και 4.3β) Περίπτωση κατοικίας χωρίς συμβατική μόνωση

Στο διάγραμμα 12, που ακολουθεί, συγκρίνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά τη προσομοίωση μονωμένης κατοικίας στην οποία περιέχεται η τεχνολογία των ΥΑΦ, με εκείνη της απλής μονωμένης συμβατικής κατοικίας.



Διάγραμμα 12: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μονωμένης συμβατικής τοιχοποιίας και ‘έξυπνης’ μονωμένης τοιχοποιίας με εσωτερική επίστρωση ΥΑΦ

Στη συνέχεια, στο διάγραμμα 13 παρατίθενται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την εγκατάσταση των ΥΑΦ σε χωρίς μόνωση τοιχοποιία. Η σύγκριση γίνεται όμοια με την προηγούμενη περίπτωση όπου υπήρχε μόνωση.



Διάγραμμα 13: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μη μονωμένης συμβατικής τοιχοποιίας και ‘έξυπνης’ μη-μονωμένης τοιχοποιίας με εσωτερική επίστρωση ΥΑΦ

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 12 και 13, τόσο το φορτίο της ψύξης όσο και εκείνο της θέρμανσης μειώνεται αντίστοιχα και για τις δύο περιπτώσεις (μόνωση και χωρίς μόνωση). Η ποσοτικοποίηση των κερδών γίνεται πιο ευκρινής με τη βοήθεια του πίνακα 3, όπου παρουσιάζεται το ποσοστό κέρδους, ύστερα από ενσωμάτωση των ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας στο κτιριακό κέλυφος των προαναφερθέντων περιπτώσεων: 4.3α και 4.3β αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, στην πρώτη περίπτωση, παρατηρείται ποσοστό κέρδους της τάξεως του 3.44%, ενώ στη δεύτερη το αντίστοιχο ποσοστό είναι 4.48%.

Ετήσιο ποσοστό κέρδους (%) ανά χρήση και συνολικά				
Είδος κατοικίας	Ανεμιστήρες	Ψύξη	Θέρμανση	Σύνολο
Κατοικία με μόνωση και ΥΑΦ	3.31	2.71	39.68	3.44
Κατοικία χωρίς μόνωση και ΥΑΦ	-1.76	2.08	17.06	4.48

Πίνακας 3: Ποσοστό κέρδους που προκύπτει με εφαρμογή της τεχνολογίας των ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας

Σύμφωνα με τον πίνακα 3, στην περίπτωση μονωμένης κατοικίας, παρατηρείται ότι υπάρχουν μεγαλύτερα ποσοστιαία κέρδη τόσο στο τομέα της ψύξης, όσο και στον τομέα της θέρμανσης, με τα τελευταία να παρουσιάζουν αισθητά υψηλότερες τιμές κερδών της τάξεως του 39.78% έναντι του 2.71% που εμφανίζουν τα πρώτα. Τα κέρδη στη κατηγορία των ανεμιστήρων είναι 3.31%. Το συνολικό ποσοστιαίο κέρδος ανέρχεται στα 3.44% κυρίως επειδή τα συνολικά ψυκτικά φορτία είναι πολύ μεγαλύτερα των θερμικών και κατά συνέπεια παίζουν πολύ μεγαλύτερο ρόλο στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος.

Στην περίπτωση μη μονωμένης κατοικίας, εμφανίζονται αισθητά μικρότερα κέρδη ανά χρήση. Στα ψυκτικά φορτία σημειώνεται κέρδος της τάξεως του 2.08% ενώ στα θερμικά φορτία 17.06% αντίστοιχα. Στους ανεμιστήρες υπάρχει ζημία της τάξεως του 1.76% το οποίο δηλώνει ότι το σύστημα θέρμανσης και ψύξης παραμένει ανοιχτό περισσότερη ώρα σε σχέση με την αρχική κατοικία. Παρόλο που υπάρχει πτώση στα ποσοστιαία κέρδη ανά χρήση, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα κέρδη της μονωμένης κατοικίας, παρατηρείται αύξηση των συνολικών κερδών στα 4.48%. Αυτό συμβαίνει διότι, στην περίπτωση μη μονωμένης κατοικίας, τα συνολικά θερμικά φορτία έχουν αυξηθεί κατά πολύ και δεν διαφέρουν τόσο σε σύγκριση με τα ψυκτικά.

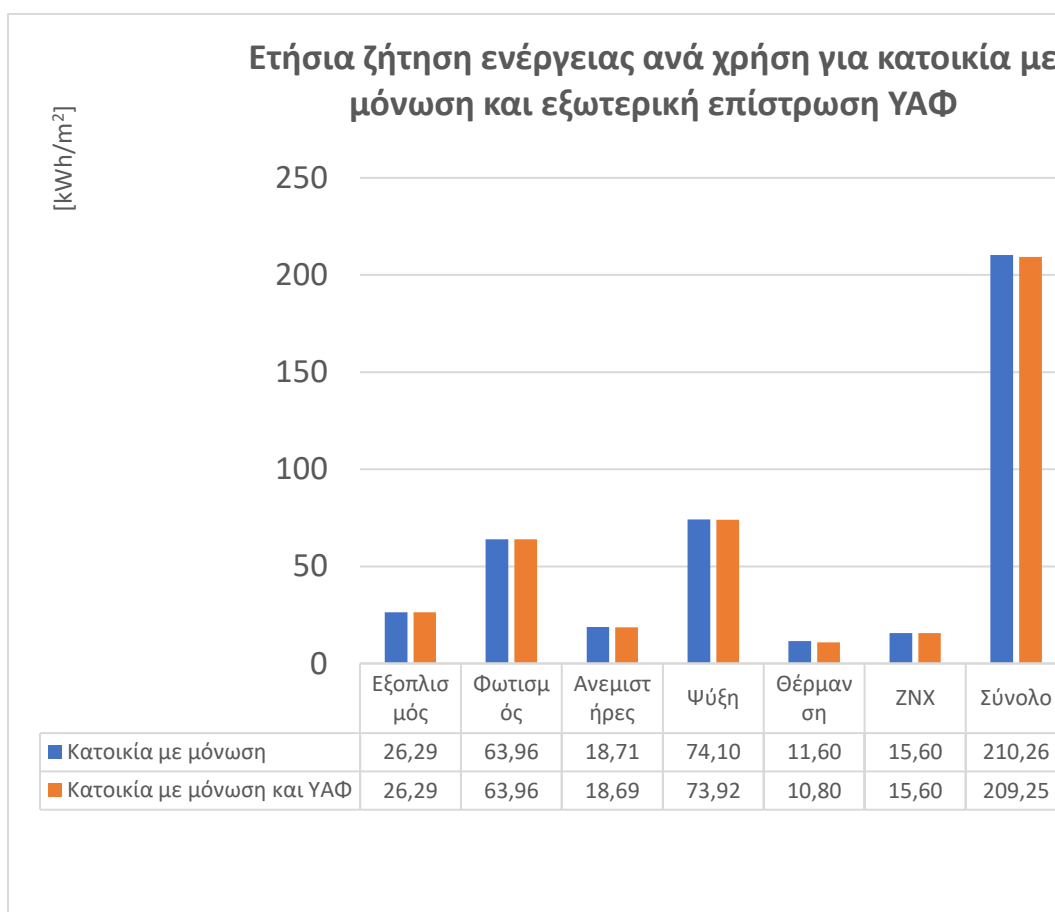
Παρατηρείται ότι στην τεχνολογία των ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας βελτιώνει σε πολύ μεγάλο βαθμό τα θερμικά φορτία σε σχέση με τα ψυκτικά τα οποία βελτιώνει επίσης αλλά σε μικρότερο βαθμό.

4.4: Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνου’ κτιριακού κελύφους με ενσωματωμένα ΥΑΦ εξωτερικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την εγκατάσταση των ΥΑΦ εξωτερικά της τοιχοποιίας. Η διαφορά σε σχέση με πριν φαίνεται μικρή αλλά η επίδραση που έχει στα τελικά αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα μεγάλη.

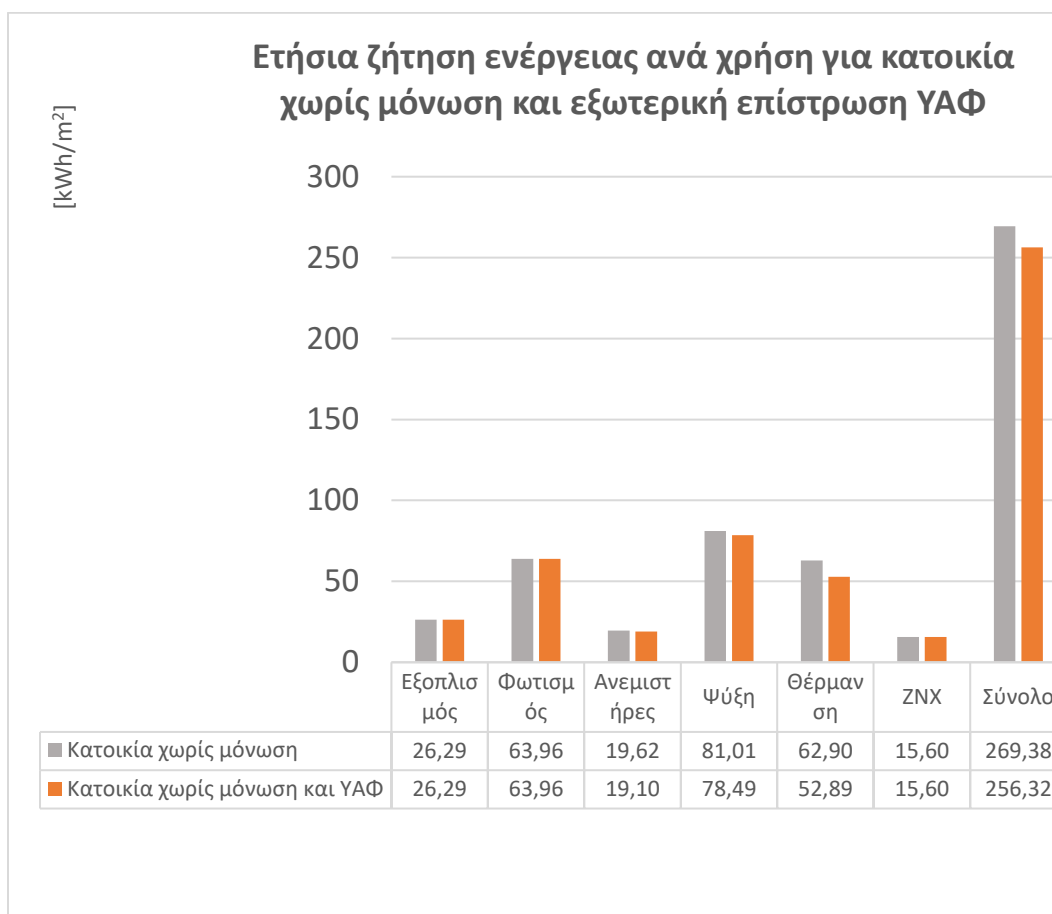
Ύστερα από εφαρμογή των ΥΑΦ εξωτερικά της τοιχοποιίας γίνονται δύο ειδών προσομοιώσεων: 4.4α) Περίπτωση κατοικίας με συμβατική μόνωση και 4.4β) Περίπτωση κατοικίας χωρίς συμβατική μόνωση

Στο διάγραμμα 14, που ακολουθεί, συγκρίνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά τη προσομοίωση μονωμένης κατοικίας στην οποία περιέχεται η τεχνολογία των ΥΑΦ, με εκείνη της απλής μονωμένης συμβατικής κατοικίας.



Διάγραμμα 14: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μονωμένης συμβατικής τοιχοποιίας και ‘έξυπνης’ μονωμένης τοιχοποιίας με εξωτερική επίστρωση ΥΑΦ

Στη συνέχεια, στο διάγραμμα 15 παρατίθενται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την εγκατάσταση των ΥΑΦ σε χωρίς μόνωση τοιχοποιία. Η σύγκριση γίνεται όμοια με πριν, δηλαδή με την περίπτωση της ύπαρξης μόνωσης.



Διάγραμμα 15: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μη μονωμένης συμβατικής και ‘έξυπνης’ μη-μονωμένης κατοικίας με εξωτερική επίστρωση ΥΑΦ

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 14, δηλαδή στην περίπτωση κατοικίας με μόνωση, τόσο το φορτίο της ψύξης όσο και εκείνο της θέρμανσης μειώνεται ελάχιστα. Αντίθετα, στο διάγραμμα 15, δηλαδή στην περίπτωση κατοικίας χωρίς μόνωση, τόσο το φορτίο της ψύξης όσο και εκείνο της θέρμανσης μειώνονται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό συγκριτικά με το διάγραμμα 14 αντίστοιχα. Η ποσοτικοποίηση των κερδών γίνεται πιο ευκρινής με τη βοήθεια του πίνακα 4, όπου παρουσιάζεται το ποσοστό κέρδους, ύστερα από ενσωμάτωση των ΥΑΦ εξωτερικά της τοιχοποιίας στο κτιριακό κέλυφος των προαναφερθέντων περιπτώσεων: 4.4α και 4.4β αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, στην πρώτη περίπτωση, παρατηρείται ελάχιστο ποσοστό κέρδους της τάξεως του 0.48%, ενώ στη δεύτερη το αντίστοιχο ποσοστό είναι κατά πολύ μεγαλύτερο φτάνοντας το 4.85%.

Ποσοστό κέρδους (%) ανά χρήση και συνολικά				
Είδος κατοικίας	Ανεμιστήρες	Ψύξη	Θέρμανση	Σύνολο
Κατοικία με μόνωση και PCM	0.10	0.25	6.90	0.48
Κατοικία χωρίς μόνωση και PCM	2.65	3.11	15.92	4.85

Πίνακας 4: Ποσοστό κέρδους που προκύπτει με εφαρμογή της τεχνολογίας των ΥΑΦ εξωτερικά της τοιχοποιίας

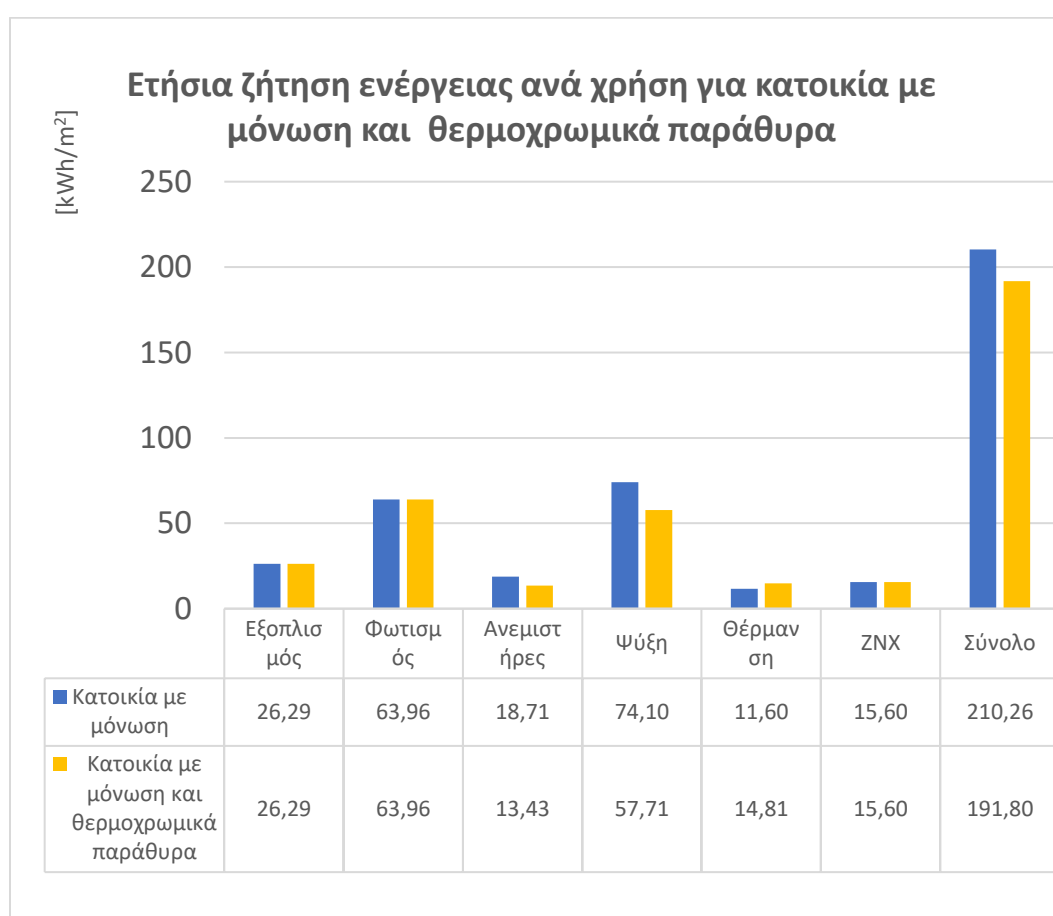
Σύμφωνα με τον πίνακα 4, στην περίπτωση μονωμένης κατοικίας, παρατηρείται ότι υπάρχουν μικρότερα ποσοστιαία κέρδη τόσο ανά χρήση όσο και συνολικά. Το συνολικό ποσοστιαίο κέρδος ανέρχεται μόλις στο 0.48%. Κατά κύριο λόγο, αυτό οφείλεται στο ότι τα ποσά θερμότητας που παράγονται όταν το ΥΑΦ στερεοποιείται, απορρίπτονται κυρίως στο περιβάλλον, καθώς η μόνωση αποτρέπει την είσοδο τους προς το εσωτερικό του κτιρίου.

Στην περίπτωση μη μονωμένης κατοικίας, εμφανίζονται μεγαλύτερα κέρδη ανά χρήση. Στα ψυκτικά φορτία σημειώνεται κέρδος της τάξεως του 3.11% ενώ στα θερμικά φορτία 15.92% αντίστοιχα. Στους ανεμιστήρες υπάρχει κέρδος της τάξεως του 2.65% το οποίο δηλώνει ότι το σύστημα θέρμανσης και ψύξης παραμένει ανοιχτό λιγότερη ώρα σε σχέση με την αρχική κατοικία. Το συνολικό ποσοστό κέρδους μεγιστοποιείται αγγίζοντας το 4.85 %.

4.5: Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνης’ κατοικίας με θερμοχρωμικά παράθυρα

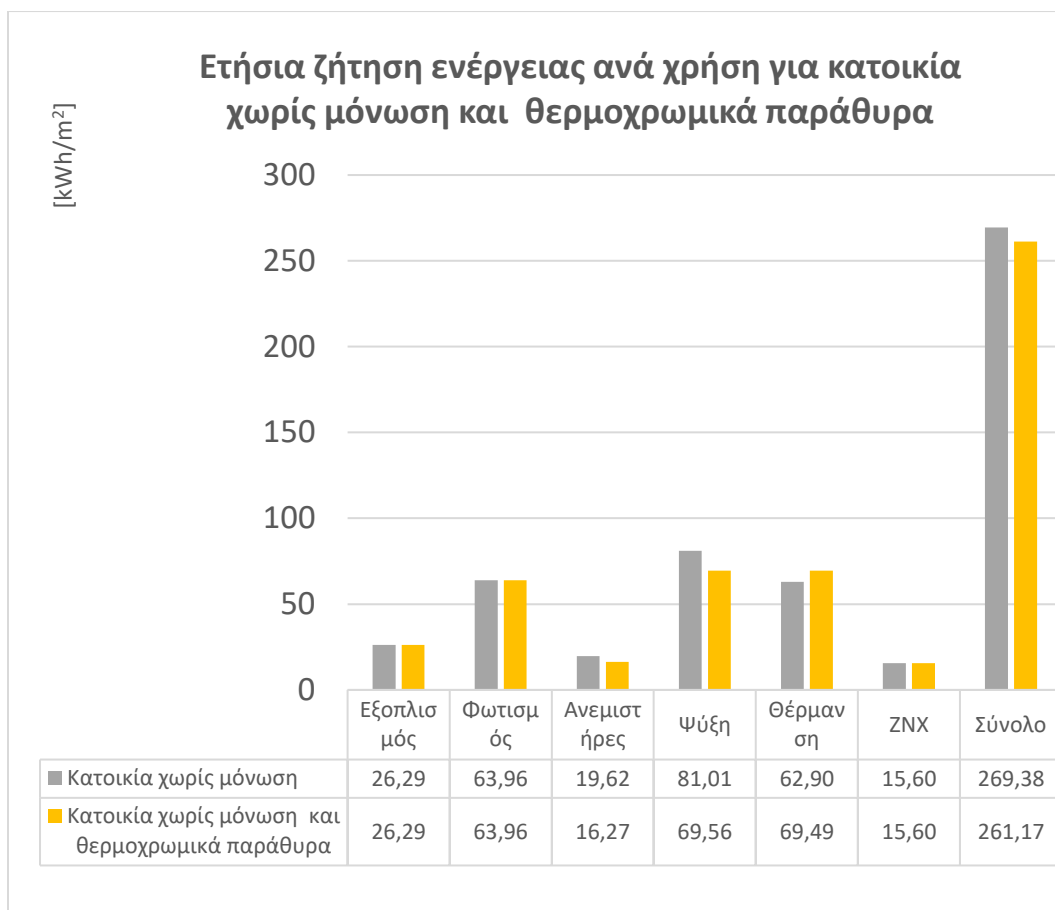
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, ενσωματώνεται η τεχνολογία των θερμοχρωμικών παραθύρων. Κατά τον ίδιο τρόπο, ύστερα από εφαρμογή των θερμοχρωμικών παραθύρων γίνονται δύο ειδών προσομοιώσεων: 4.5α) Περίπτωση κατοικίας με συμβατική μόνωση και 4.5β) Περίπτωση κατοικίας χωρίς συμβατική μόνωση

Στο διάγραμμα 16, που ακολουθεί, συγκρίνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την πρώτη περίπτωση κατοικίας, με εκείνη της απλής μονωμένης συμβατικής κατοικίας.



Διάγραμμα 16: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μονωμένης κατοικίας με συμβατικά παράθυρα και μονωμένης ‘έξυπνης’ κατοικίας με ενσωματωμένα θερμοχρωμικά παράθυρα

Στη συνέχεια, στο διάγραμμα 17 παρατίθενται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την δεύτερη περίπτωση. Η σύγκριση γίνεται όμοια με πριν, δηλαδή με την περίπτωση της συμβατικής κατοικίας χωρίς μόνωση.



Διάγραμμα 17: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μη μονωμένης κατοικίας με συμβατικά παράθυρα και μη μονωμένης ‘έξυπνης’ κατοικίας με θερμοχρωμικά παράθυρα

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 16 και 17, το φορτίο ψύξης μειώνεται, ενώ το φορτίο θέρμανσης αυξάνεται, και για τις δύο περιπτώσεις (μόνωση και χωρίς μόνωση). Η ποσοτικοποίηση των κερδών γίνεται πιο ευκρινής με τη βοήθεια του πίνακα 5, όπου παρουσιάζεται το ποσοστό κέρδους, ύστερα από ενσωμάτωση των θερμοχρωμικών παραθύρων στο κτιριακό κέλυφος των προαναφερθέντων περιπτώσεων: 4.5α και 4.5β αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται αρκετά υψηλό ποσοστό κέρδους στην πρώτη περίπτωση, φτάνοντας το 8.78%, ενώ στη δεύτερη το αντίστοιχο ποσοστό είναι 3.05%.

Ποσοστό κέρδους (%) ανά χρήση και συνολικά				
Είδος κατοικίας	Ανεμιστήρες	Ψύξη	Θέρμανση	Σύνολο
Κατοικία με μόνωση και θερμοχρωμικά παράθυρα	28.20	22.12	-27.68	8.78
Κατοικία χωρίς μόνωση και θερμοχρωμικά παράθυρα	17.06	14.14	-10.48	3.05

Πίνακας 5: Ποσοστό κέρδους που προκύπτει με την εφαρμογή της τεχνολογίας των θερμοχρωμικών παραθύρων

Σύμφωνα με τον πίνακα 5 ,στην περίπτωση μονωμένης κατοικίας, παρατηρείται ότι υπάρχουν μεγαλύτερα ποσοστιαία κέρδη στο τομέα της ψύξης και ζημία στον τομέα της θέρμανσης, με τα τελευταία να παρουσιάζουν τιμές της τάξεως του -27.68% έναντι του 22.12% που εμφανίζουν τα πρώτα. Τα ποσοστιαία κέρδη στη κατηγορία των ανεμιστήρων είναι 28.20% ενώ το συνολικό ποσοστιαίο κέρδος είναι 8.78%.

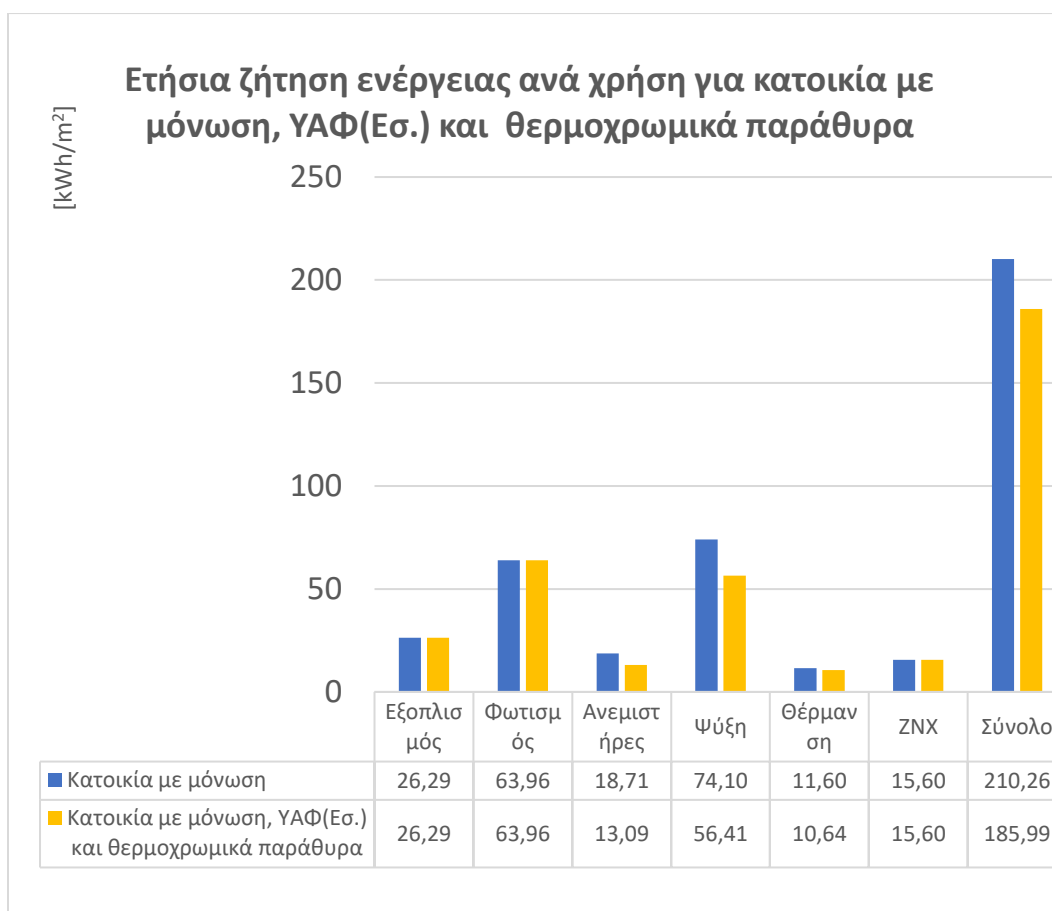
Στην περίπτωση μη μονωμένης κατοικίας, εμφανίζονται αισθητά μικρότερα ποσοστιαία κέρδη ανά χρήση και συνολικά. Στα ψυκτικά φορτία σημειώνεται κέρδος της τάξεως του 14.14% ενώ στα θερμικά φορτία ζημία -10.48% αντίστοιχα. Στους ανεμιστήρες υπάρχει κέρδος της τάξεως του 17.06% ενώ το συνολικό ποσοστιαίο κέρδος είναι μόλις 3.05%

4.6: Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνης’ κατοικίας με ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας και θερμοχρωμικά παράθυρα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την συνδυασμένη περίπτωση όπου στο κτίριο χρησιμοποιήθηκαν ΥΑΦ στην τοιχοποιία και θερμοχρωμικά παράθυρα. Όμοια για να βρεθεί το σημείο εγκατάστασης στο οποίο τα ΥΑΦ προσφέρουν το βέλτιστο κέρδος στον ιδιοκτήτη, διερευνήθηκαν δύο περιπτώσεις στις οποίες τα ΥΑΦ τοποθετήθηκαν τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά της τοιχοποιίας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξεταστεί η πρώτη περίπτωση.

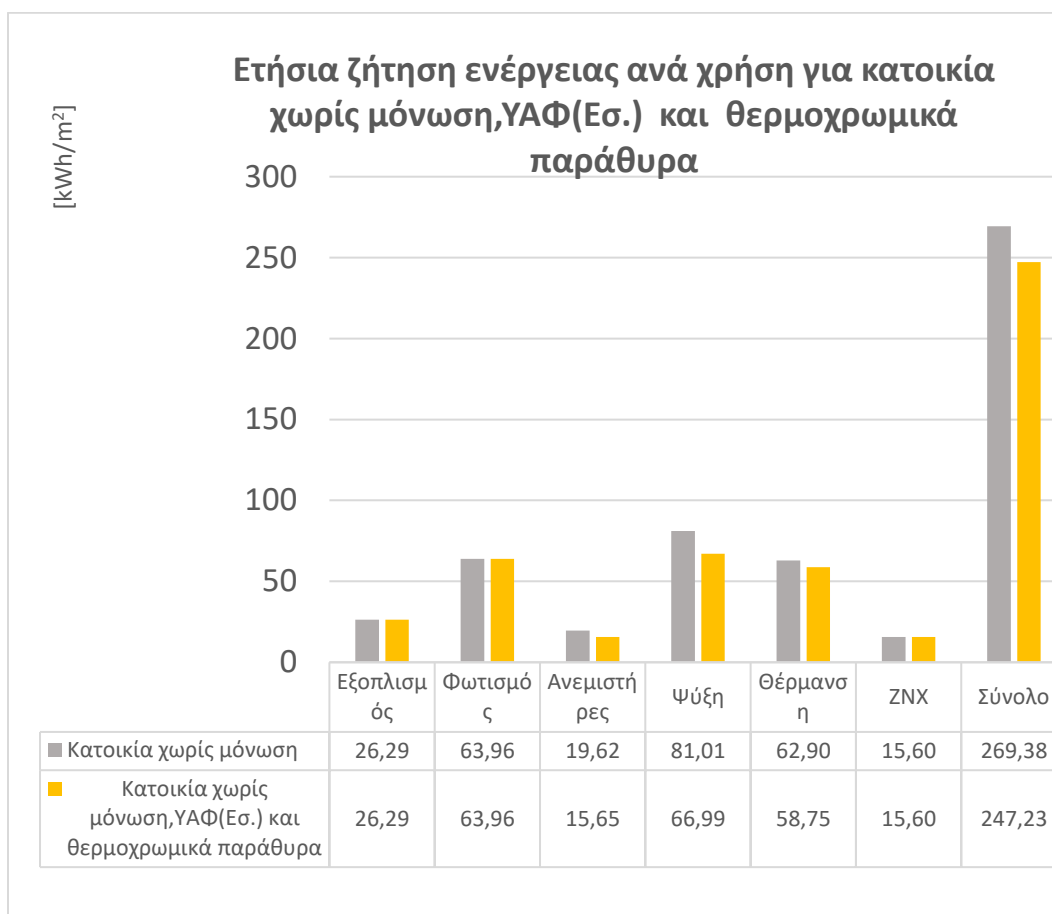
Ύστερα από εφαρμογή της συνδυασμένης αυτής τεχνολογίας γίνονται δύο ειδών προσομοιώσεων: 4.6α) Περίπτωση κατοικίας με συμβατική μόνωση και 4.6β) Περίπτωση κατοικίας χωρίς συμβατική μόνωση

Στο διάγραμμα 18, που ακολουθεί, συγκρίνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την προσομοίωση μονωμένης κατοικίας στην οποία περιέχεται η τεχνολογία των ΥΑΦ και των θερμοχρωμικών παραθύρων, με εκείνη της απλής μονωμένης συμβατικής κατοικίας.



Διάγραμμα 18: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων συμβατικής μονωμένης κατοικίας και αντίστοιχου κτιριακού κελύφους με ενσωματωμένα θερμοχρωμικά παράθυρα και ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας

Στη συνέχεια, στο διάγραμμα 19 παρατίθενται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την δεύτερη περίπτωση. Η σύγκριση γίνεται όμοια με πριν, δηλαδή με την περίπτωση της συμβατικής κατοικίας χωρίς μόνωση.



Διάγραμμα 19: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μη μονωμένης συμβατικής κατοικίας και αντίστοιχου κτιριακού κελύφους με ενσωματωμένα θερμοχρωμικά παράθυρα και ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 18 και 19, το φορτίο ψύξης μειώνεται πολύ περισσότερο σε σχέση με αυτό της θέρμανσης και για τις δύο περιπτώσεις (μόνωση και χωρίς μόνωση). Η ποσοτικοποίηση των κερδών γίνεται πιο ευκρινής με τη βοήθεια του πίνακα 6, όπου παρουσιάζεται το ποσοστό κέρδους, ύστερα από ενσωμάτωση των ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας και των θερμοχρωμικών παραθύρων στο κτιριακό κέλυφος των προαναφερθέντων περιπτώσεων: 4.6α και 4.6β αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται αρκετά υψηλό ποσοστό κέρδους και στις δύο περιπτώσεις με εκείνο της πρώτης να φτάνει το 11.54% ενώ της δεύτερης το 8.22%.

Ποσοστό κέρδους (%) ανά χρήση και συνολικά				
Είδος κατοικίας	Ανεμιστήρες	Ψύξη	Θέρμανση	Σύνολο
Κατοικία με μόνωση, ΥΑΦ(Εσ.) και θερμοχρωμικά παράθυρα	30.01	23.87	8.32	11.54
Κατοικία χωρίς μόνωση, ΥΑΦ(Εσ.) και θερμοχρωμικά παράθυρα	20.24	17.31	6.61	8.22

Πίνακας 6: Ποσοστό κέρδους που προκύπτει με την εφαρμογή της τεχνολογίας των ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας και των θερμοχρωμικών παραθύρων

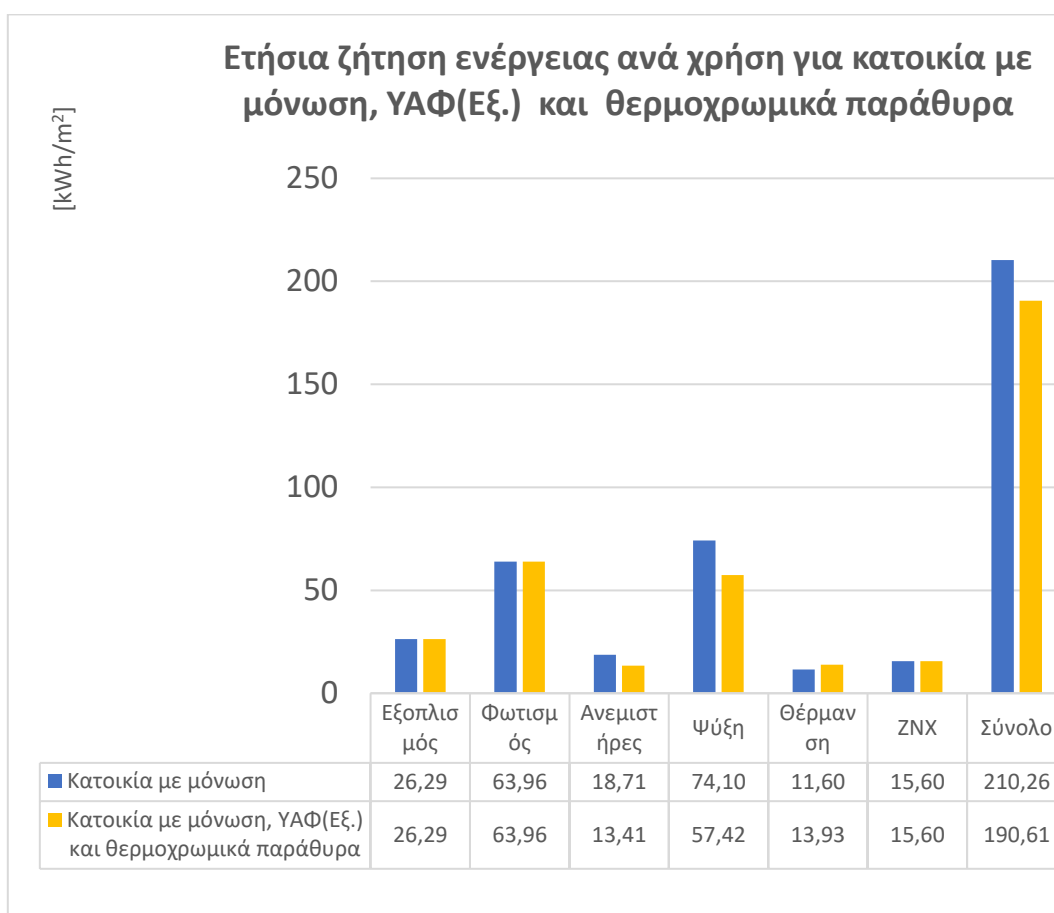
Σύμφωνα με τον πίνακα 6 ,στην περίπτωση μονωμένης κατοικίας, παρατηρείται ότι υπάρχουν μεγαλύτερα ποσοστιαία κέρδη τόσο στο τομέα της ψύξης, όσο και στον τομέα της θέρμανσης, με τα πρώτα να παρουσιάζουν αισθητά υψηλότερες τιμές κερδών της τάξεως του 23.87% έναντι του 8.32% που εμφανίζουν τα τελευταία. Τα κέρδη στη κατηγορία των ανεμιστήρων είναι 30.01% ενώ το συνολικό ποσοστιαίο κέρδος ανέρχεται στα 11.54%.

Στην περίπτωση μη μονωμένης κατοικίας, εμφανίζονται αισθητά μικρότερα κέρδη ανά χρήση. Στα ψυκτικά φορτία σημειώνεται κέρδος της τάξεως του 17.31% ενώ στα θερμικά φορτία 6.61% αντίστοιχα. Στους ανεμιστήρες υπάρχει κέρδος της τάξεως του 20.24% ενώ συνολικά σημειώνεται κέρδος 8.22%.

4.7: Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνης’ κατοικίας με ΥΑΦ εξωτερικά της τοιχοποιίας και θερμοχρωμικά παράθυρα

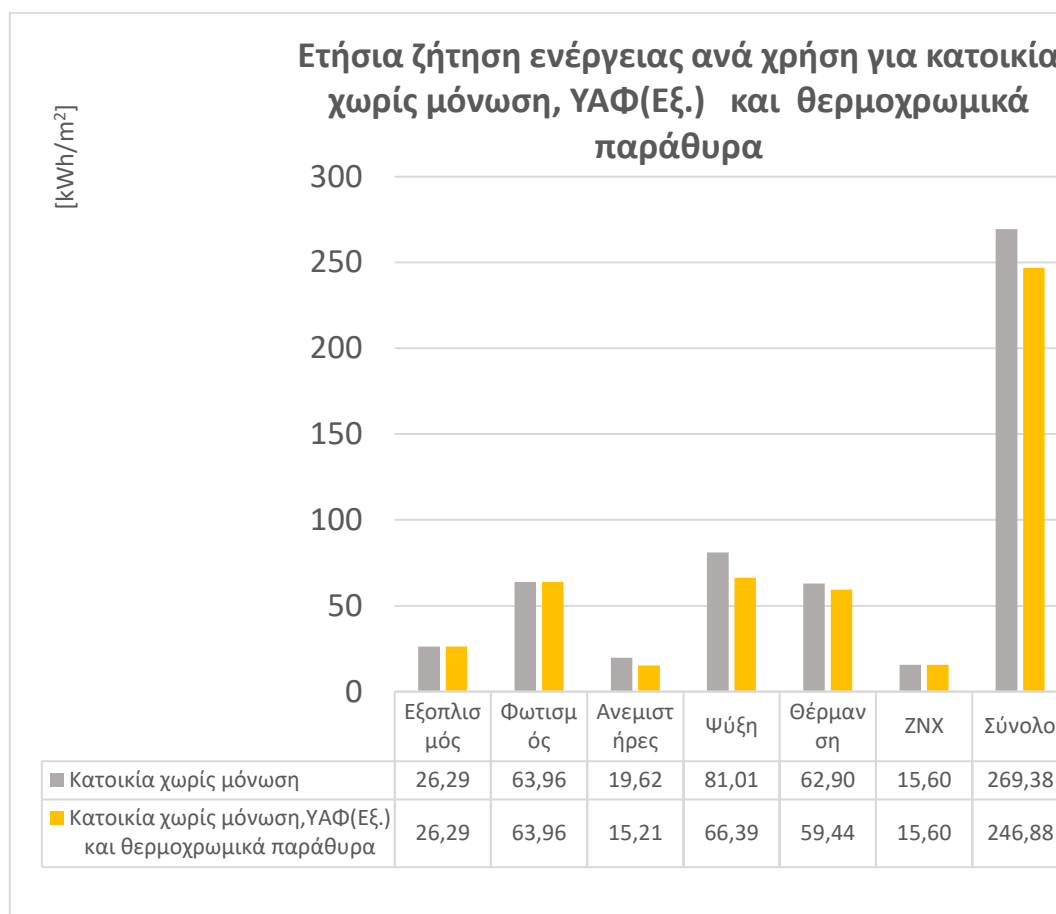
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την συνδυασμένη περίπτωση όπου στο κτίριο χρησιμοποιήθηκαν ΥΑΦ εξωτερικά της τοιχοποιίας και θερμοχρωμικά παράθυρα. Κατά τον ίδιο τρόπο, ύστερα από εφαρμογή του συνδυασμού αυτών των τεχνολογιών, γίνονται δύο ειδών προσομοιώσεων: 4.7α) Περίπτωση κατοικίας με συμβατική μόνωση και 4.7β) Περίπτωση κατοικίας χωρίς συμβατική μόνωση

Στο διάγραμμα 20, που ακολουθεί, συγκρίνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την προσομοίωση μονωμένης κατοικίας στην οποία περιέχεται η τεχνολογία των ΥΑΦ και των θερμοχρωμικών παραθύρων, με εκείνη της απλής μονωμένης συμβατικής κατοικίας.



Διάγραμμα 20: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων συμβατικής μονωμένης κατοικίας και αντίστοιχου κτιριακού κελύφους με ενσωματωμένα ΥΑΦ εξωτερικά της τοιχοποιίας και θερμοχρωμικά παράθυρα

Στη συνέχεια, στο διάγραμμα 21 παρατίθενται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την δεύτερη περίπτωση. Η σύγκριση γίνεται όμοια με πριν, δηλαδή με την περίπτωση της συμβατικής κατοικίας χωρίς μόνωση.



Διάγραμμα 21: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μη μονωμένης συμβατικής κατοικίας και αντίστοιχου κτιριακού κελύφους με ενσωματωμένα ΥΑΦ εξωτερικά της τοιχοποιίας και θερμοχρωμικά παράθυρα

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 20, το φορτίο ψύξης μειώνεται ενώ εκείνο της θέρμανσης αυξάνεται στην περίπτωση κατοικίας με μόνωση. Αντίθετα, στο διάγραμμα 21, τόσο το φορτίο της ψύξης όσο και εκείνο της θέρμανσης μειώνεται με το δεύτερο να μειώνεται σημαντικά λιγότερο σε σχέση με το πρώτο. Η ποσοτικοποίηση των κερδών γίνεται πιο ευκρινής με τη βοήθεια του πίνακα 7, όπου παρουσιάζεται το ποσοστό κέρδους, ύστερα από ενσωμάτωση των ΥΑΦ εξωτερικά της τοιχοποιίας και των θερμοχρωμικών παραθύρων στο κτιριακό κέλυφος των προαναφερθέντων περιπτώσεων: 4.7α και 4.7β αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται αρκετά υψηλό ποσοστό κέρδους και στις δύο περιπτώσεις με εκείνο της πρώτης να φτάνει το 9.34% ενώ της δεύτερης το 8.35%.

Ποσοστό κέρδους (%) ανά χρήση και συνολικά				
Είδος κατοικίας	Ανεμιστήρες	Ψύξη	Θέρμανση	Σύνολο
Κατοικία με μόνωση, ΥΑΦ(Εξ.) και θερμοχρωμικά παράθυρα	28.31	22.51	-20.09	9.34
Κατοικία χωρίς μόνωση, ΥΑΦ(Εξ.) και θερμοχρωμικά παράθυρα	22.50	18.05	5.50	8.35

Πίνακας 7: Ποσοστό κέρδους που προκύπτει με την εφαρμογή της τεχνολογίας των ΥΑΦ εξωτερικά της τοιχοποιίας και των θερμοχρωμικών παραθύρων

Σύμφωνα με τον πίνακα 7, στην περίπτωση μονωμένης κατοικίας, παρατηρείται ότι υπάρχουν μεγάλα ποσοστιαία κέρδη της τάξεως του 22.51% στο τομέα της ψύξης, και μεγάλη ζημία στον τομέα της θέρμανσης της τάξεως του -20.09. Τα κέρδη στη κατηγορία των ανεμιστήρων είναι 28.31% ενώ το συνολικό ποσοστιαίο κέρδος ανέρχεται στα 9.34%.

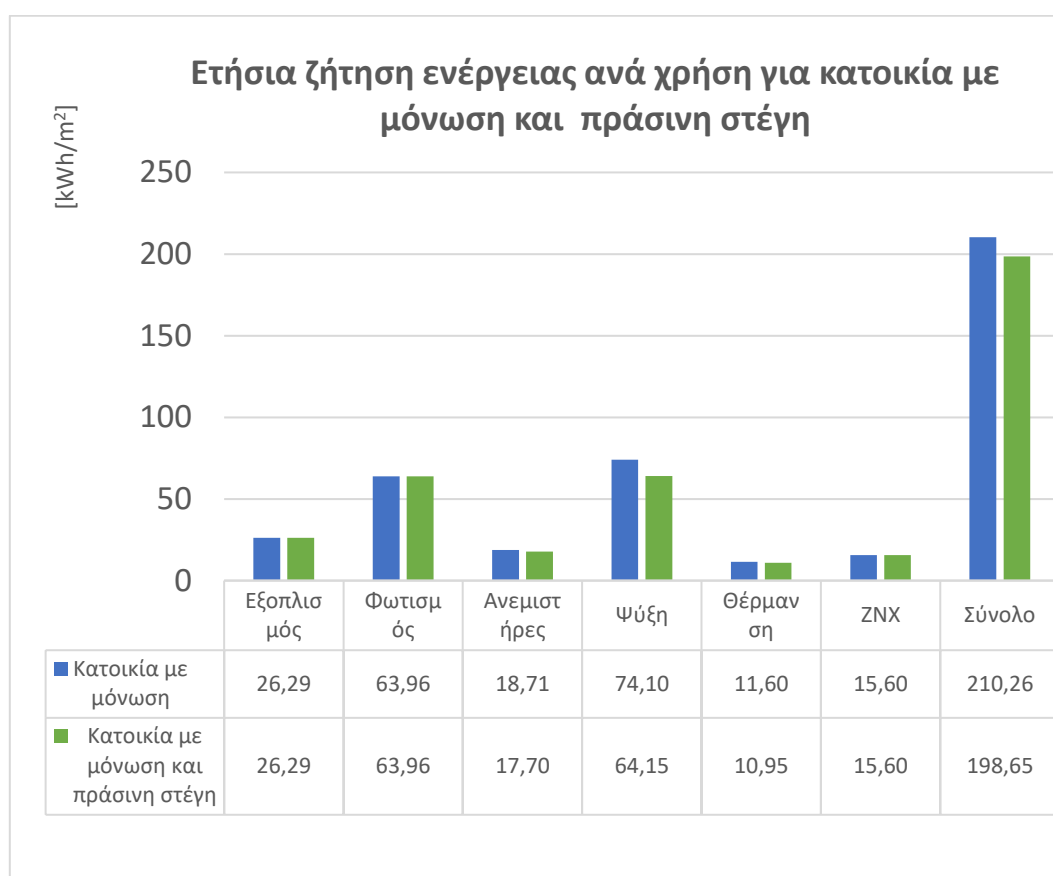
Στην περίπτωση μη μονωμένης κατοικίας, εμφανίζονται αισθητά μικρότερα κέρδη ανά χρήση. Στα ψυκτικά φορτία σημειώνεται κέρδος της τάξεως του 18.05% ενώ στα θερμικά φορτία 5.50% αντίστοιχα. Στους ανεμιστήρες υπάρχει κέρδος της τάξεως του 22.50% ενώ συνολικά σημειώνεται κέρδος 8.35%.

Αξίζει να επισημανθεί, ότι παρόλο που στην πρώτη περίπτωση υπάρχει ζημία στο ποσοστιαίο κέρδος του τομέα της θέρμανσης, το συνολικό κέρδος παραμένει υψηλότερο έναντι του συνολικού κέρδους στην δεύτερη περίπτωση.

4.8: Αποτελέσματα προσομοίωσης ‘έξυπνης’ κατοικίας με πράσινη στέγη

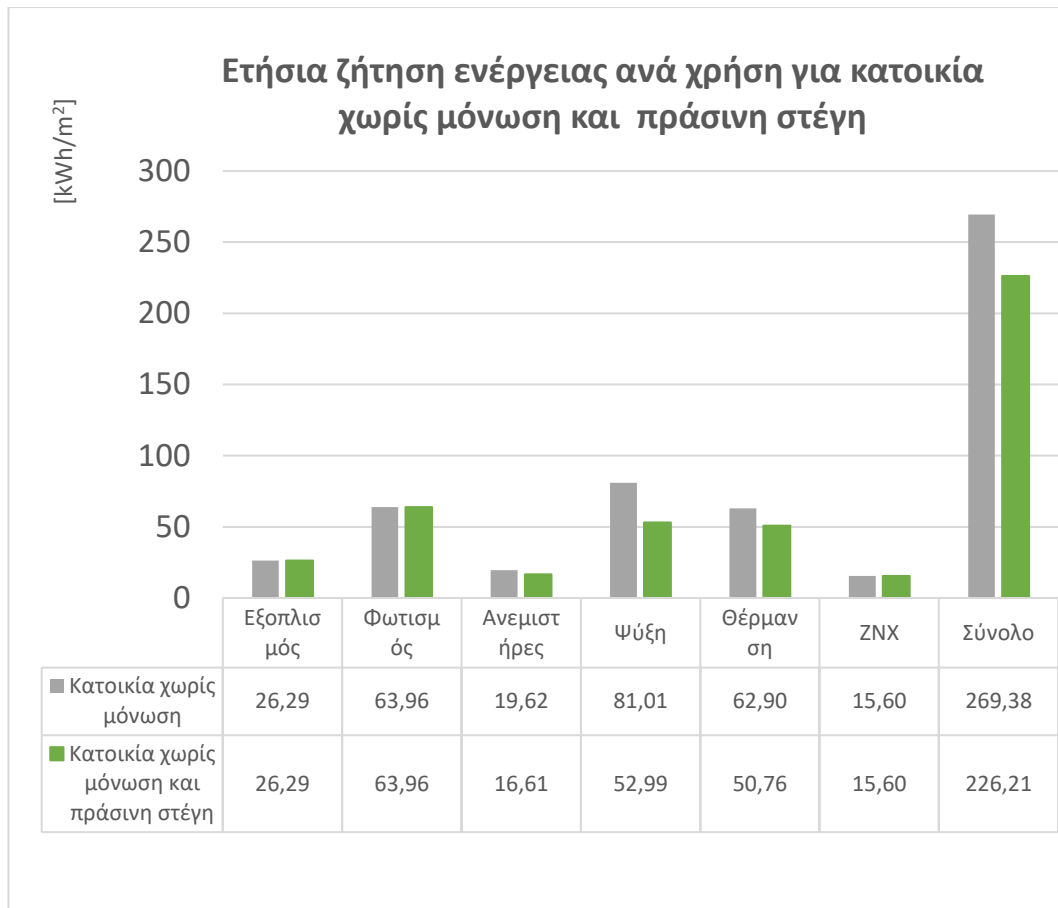
Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη προσομοίωση της πράσινης στέγης. Για να βρεθεί πότε βελτιστοποιείται η απόδοση της και κατ’ επέκταση το κέρδος του ιδιοκτήτη, διερευνήθηκαν τρεις περιπτώσεις κατοικίας με ενσωματωμένη πράσινη στέγη: 4.8α) Κατοικία η οποία διαθέτει συμβατική μόνωση στην τοιχοποιία της, 4.8β) Κατοικία η οποία δεν διαθέτει συμβατική μόνωση και 4.8γ) Κατοικία η οποία δεν διαθέτει συμβατική μόνωση οροφής

Στο διάγραμμα 22, που ακολουθεί, συγκρίνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την πρώτη περίπτωση, με εκείνη της απλής μονωμένης συμβατικής κατοικίας.



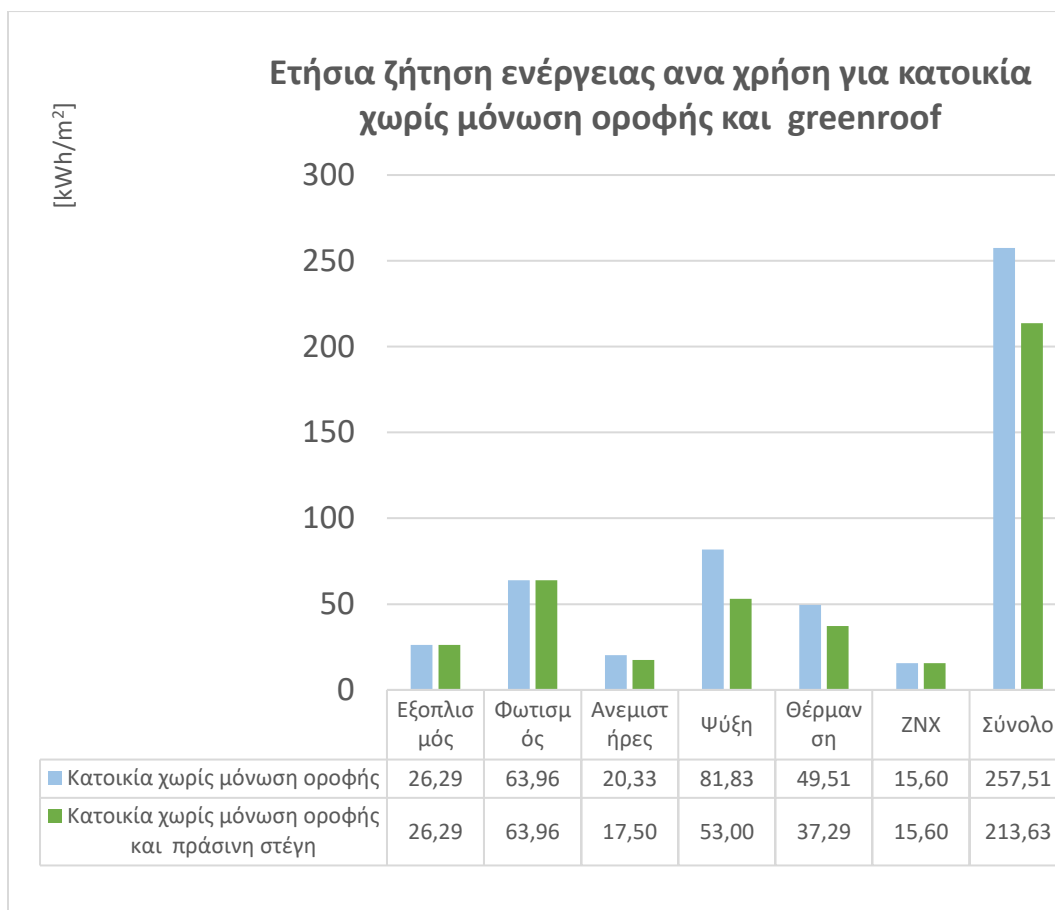
Διάγραμμα 22: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μονωμένης κατοικίας με συμβατική στέγη και μονωμένης ‘έξυπνης’ κατοικίας με ενσωματωμένη πράσινη στέγη

Στη συνέχεια, στο διάγραμμα 23 παρατίθενται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την δεύτερη περίπτωση. Η σύγκριση γίνεται όμοια με πριν, δηλαδή με την περίπτωση της κατοικίας χωρίς μόνωση.



Διάγραμμα 23: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μη μονωμένης κατοικίας με συμβατική στέγη και μη μονωμένης 'έξυπνης' κατοικίας με ενσωματωμένη πράσινη στέγη

Στο διάγραμμα 24 παρατίθενται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την τρίτη περίπτωση. Η σύγκριση γίνεται όμοια με πριν, δηλαδή με την περίπτωση της κατοικίας χωρίς μόνωση οροφής.



Διάγραμμα 24: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μεταξύ κατοικίας με μη μονωμένη συμβατική στέγη και 'έξυπνη' κατοικία με ενσωματωμένη πράσινη στέγη χωρίς μόνωση οροφής

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 22, 23 και 24, το φορτίο ψύξης μειώνεται πολύ περισσότερο σε σχέση με αυτό της θέρμανσης και για τις τρεις περιπτώσεις (μόνωση, χωρίς μόνωση και χωρίς μόνωση οροφής). Η ποσοτικοποίηση των κερδών γίνεται πιο ευκρινής με τη βοήθεια του πίνακα 8, όπου παρουσιάζεται το ποσοστό κέρδους, ύστερα από ενσωμάτωση της πράσινης στέγης στο κτιριακό κέλυφος των προαναφερθέντων περιπτώσεων: 4.8α, 4.8β και 4.8γ αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται αρκετά υψηλό ποσοστό κέρδους στις δύο τελευταίες περιπτώσεις φτάνοντας το 16.02% και το 17.08% αντίστοιχα σε σύγκριση με αυτό της πρώτης όπου σημειώνεται ποσοστιαίο κέρδος της τάξεως μόλις του 5.52%.

Ποσοστό κέρδους (%) ανά χρήση και συνολικά				
Είδος κατοικίας	Ανεμιστήρες	Ψύξη	Θέρμανση	Σύνολο
Κατοικία με μόνωση και πράσινη στέγη	5.37	13.43	5.61	5.52
Κατοικία χωρίς μόνωση και πράσινη στέγη	15,34	34.59	5.6	16.02
Κατοικία χωρίς μόνωση οροφής και πράσινη στέγη	13.92	35.23	24.68	17.08

Πίνακας 8: Ποσοστό κέρδους που προκύπτει με την εφαρμογή της τεχνολογίας της πράσινης στέγης

Σύμφωνα με τον πίνακα 8, στην πρώτη περίπτωση μονωμένης κατοικίας, παρατηρείται ότι υπάρχουν σημαντικά ποσοστιαία κέρδη τόσο στο τομέα της ψύξης, όσο και στον τομέα της θέρμανσης, με τα τελευταία να παρουσιάζουν αισθητά χαμηλότερες τιμές κερδών της τάξεως του 5.61% έναντι του 13.43% που εμφανίζουν τα πρώτα. Τα κέρδη στη κατηγορία των ανεμιστήρων είναι 5.37% ενώ το συνολικό ποσοστιαίο κέρδος ανέρχεται στα 5.52%

Στην δεύτερη περίπτωση παρατηρείται αύξηση του ποσοστού κέρδους ανά χρήση. Το ποσοστιαίο κέρδος στα ψυκτικά φορτία είναι της τάξης του 34.59% ενώ στα θερμικά φορτία είναι 5.6% αντίστοιχα. Στους ανεμιστήρες υπάρχει κέρδος της τάξεως του 15.34% ενώ το συνολικό ποσοστιαίο κέρδος είναι 16.02%.

Στην περίπτωση μη μονωμένης κατοικίας, εμφανίζονται πολύ μεγαλύτερα κέρδη. Στα ψυκτικά φορτία σημειώνεται μέγιστο κέρδος της τάξεως του 35.23%, ενώ στα θερμικά φορτία 24.68% αντίστοιχα. Στους ανεμιστήρες υπάρχει ανάλογο κέρδος της τάξεως του 13.952%, ενώ το συνολικό ποσοστιαίο κέρδος σχεδόν τριπλασιάζεται σε σχέση με την πρώτη περίπτωση αγγίζοντας το 17.03%.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι η μόνωση στην οροφή εμποδίζει τα επιπλέον ψυκτικά 'οφέλη' λόγω εξάτμισης της υγρασίας του δώματος. Επιπλέον η απόδοση της εφαρμογής της πράσινης στέγης μεγιστοποιείται στην τρίτη περίπτωση, δηλαδή σε εκείνη που μεγιστοποιείται το συνολικό ποσοστό κέρδους. Αυτό συμβαίνει διότι σε αυτή την περίπτωση βελτιώνεται περαιτέρω το θερμικό φορτίο εξαιτίας της συμβατικής μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους.

4.9: Σύνοψη συνολικών ετήσιων φορτίων για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν

Σε αυτή την ενότητα δημιουργήθηκαν δύο διαγράμματα για να βρεθεί σε ποια περίπτωση ελαχιστοποιούνται τα συνολικά φορτία αντίστοιχα. Στην πρώτη περίπτωση εξετάστηκε η ‘έξυπνη’ κατοικία με συμβατική μόνωση τοιχοποιίας σε σχέση με την απλή την απλή μονωμένη κατοικία ενώ στην δεύτερη η ‘έξυπνη’ κατοικία χωρίς συμβατική μόνωση τοιχοποιίας σε σχέση με την απλή χωρίς μόνωση κατοικία.

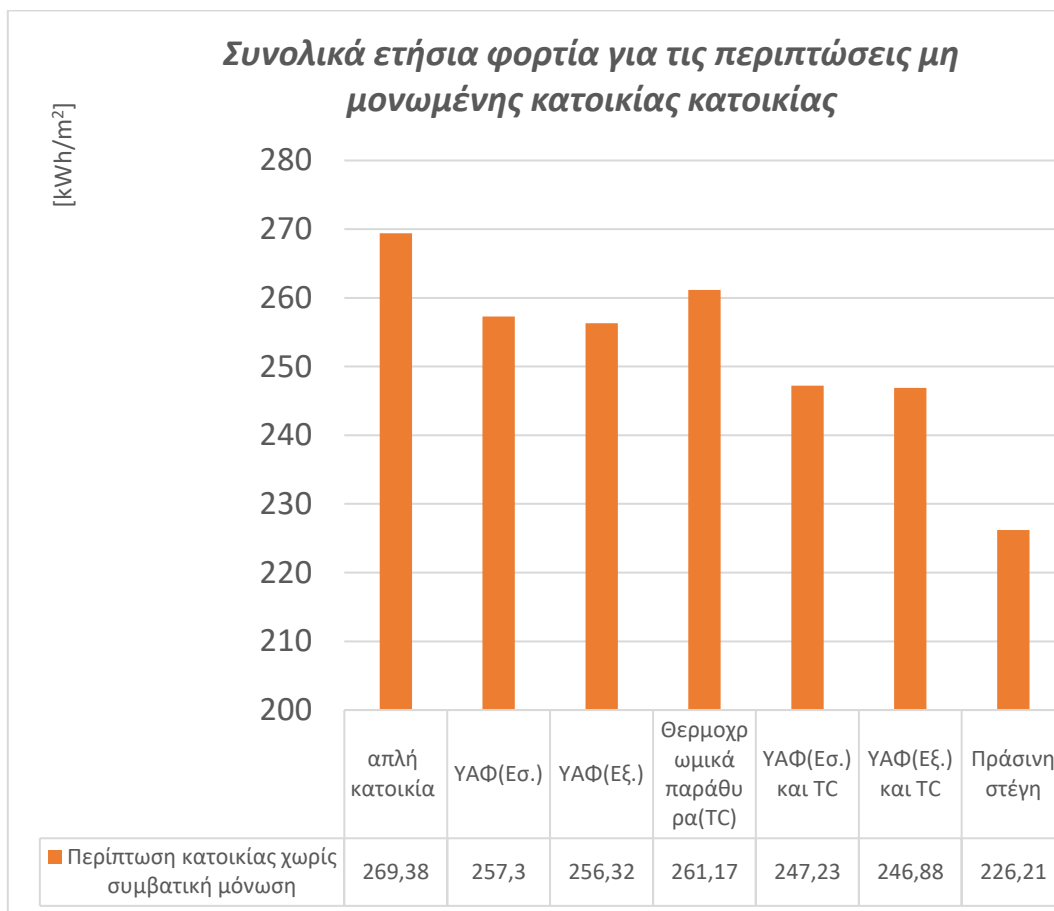
Στο διάγραμμα 25 το οποίο συνοψίζει όλες τις τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν για τις περιπτώσεις μονωμένης κατοικίας. Η βέλτιστη περίπτωση είναι η συνδυασμένη τεχνολογία με ΥΑΦ εσωτερικά και θερμοχρωμικά παράθυρα στο κέλυφος.



Διάγραμμα 25: Συνολικά ετήσια φορτία για τις περιπτώσεις μονωμένης κατοικίας που εξετάστηκαν

Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε το διάγραμμα 26 το οποίο συνοψίζει όλες τις τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν για τις περιπτώσεις μη μονωμένης κατοικίας. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί, ότι στην περίπτωση της πράσινης στέγης, για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα, τοποθετήθηκε μόνο η περίπτωση κατοικίας χωρίς μόνωση και όχι

μόνο χωρίς μόνωση οροφής. Σύμφωνα με το διάγραμμα 26 βέλτιστη τεχνολογία αποτελεί αυτή της πράσινης στέγης.



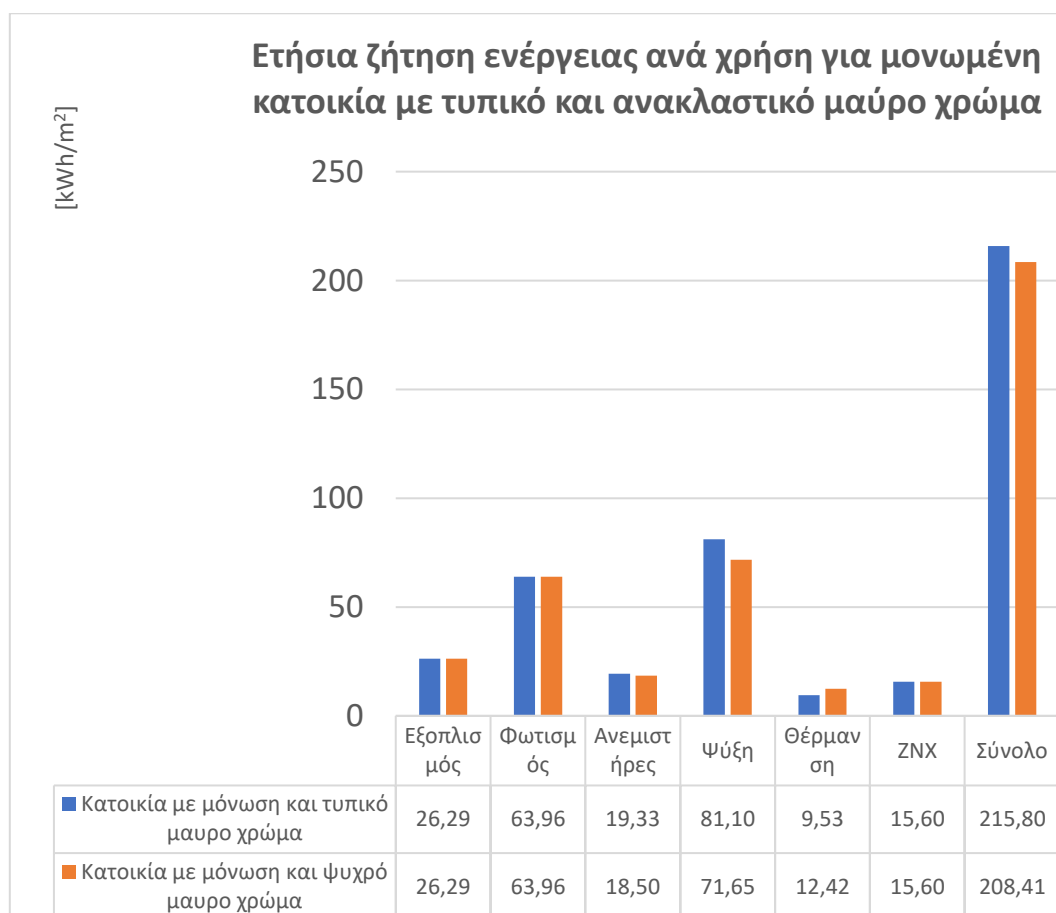
Διάγραμμα 26: Συνολικά ετήσια φορτία για τις περιπτώσεις μη μονωμένης κατοικίας που εξετάστηκαν

4.10: Αποτελέσματα προσομοίωσης κατοικίας βαμμένης με ανακλαστικές χρωστικές ουσίες.

Η τεχνολογία των ανακλαστικών χρωμάτων απευθύνεται κυρίως σε κτιριακά κελύφη που χρησιμοποιούνται κυρίως τους θερινούς μήνες. Η επαρκής ψύξη κατά τη διάρκεια αυτών των μηνών, είναι το πρωταρχικό πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Για το λόγο αυτό, δεν έγινε ο συνδυασμός της με τις προαναφερθείσες τεχνολογίες οι οποίες εξετάζουν κατοικίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για όλη τη διάρκεια του έτους.

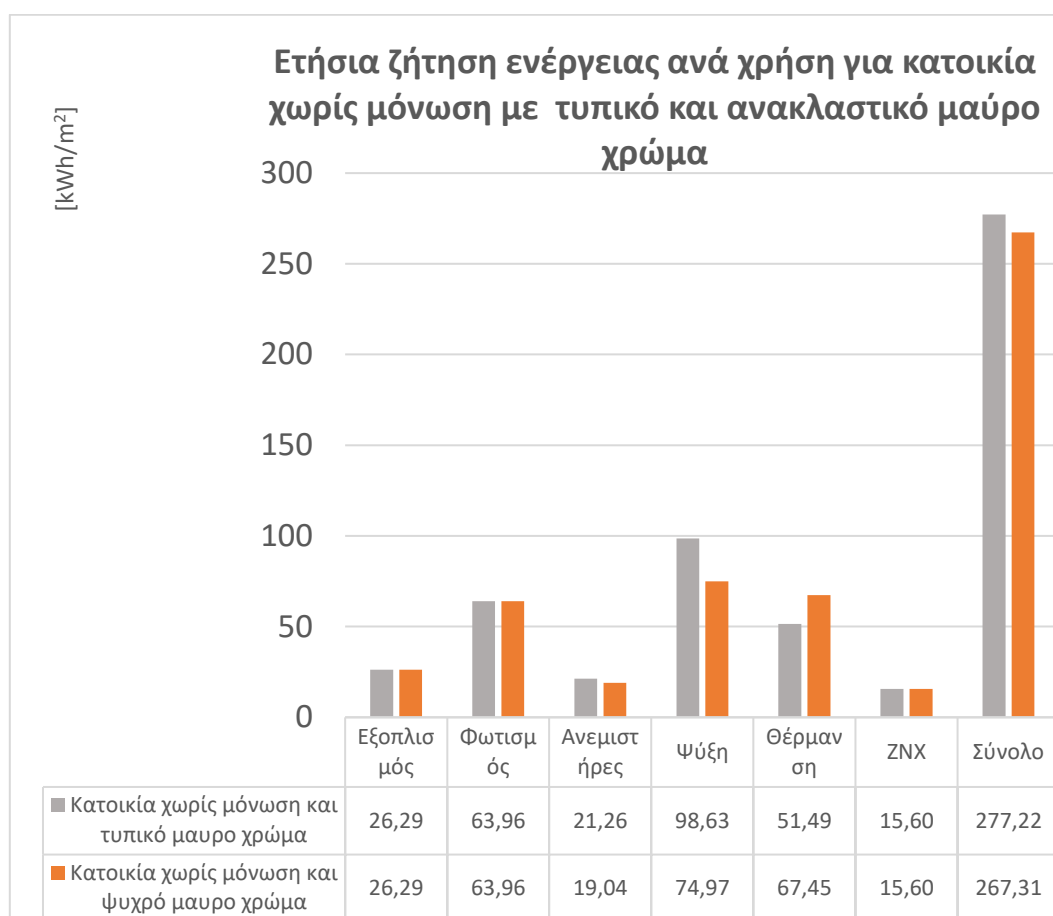
Συνεχίζοντας, έγιναν προσομοιώσεις των δυο ακραίων χρωμάτων (μαύρο και άσπρο) για τις περιπτώσεις: 4.10α) κατοικία με μόνωση για το μαύρο ανακλαστικό χρώμα, 4.10β) Κατοικία χωρίς μόνωση για το μαύρο ανακλαστικό χρώμα, 4.10γ) Κατοικία με μόνωση για το άσπρο ανακλαστικό χρώμα και 4.10δ) Κατοικία χωρίς μόνωση για το άσπρο ανακλαστικό χρώμα.

Στο διάγραμμα 27, που ακολουθεί, συγκρίνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την πρώτη περίπτωση, με εκείνη της μονωμένης συμβατικής κατοικίας μαύρου χρώματος.



Διάγραμμα 27: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μονωμένης κατοικίας βαμμένης με συμβατικό μαύρο χρώμα και αντίστοιχης κατοικίας βαμμένης με ανακλαστικό μαύρο

Στο διάγραμμα 28 παρατίθενται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την δεύτερη περίπτωση. Η σύγκριση γίνεται όμοια με πριν, δηλαδή με την περίπτωση της κατοικίας χωρίς μόνωση μαύρου χρώματος.



Διάγραμμα 28: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μη μονωμένης κατοικίας βαμμένης με συμβατικό μαύρο χρώμα και αντίστοιχης κατοικίας βαμμένης με ανακλαστικό μαύρο

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 27 και 28, το φορτίο ψύξης μειώνεται, ενώ το φορτίο θέρμανσης αυξάνεται, και για τις δύο περιπτώσεις (μόνωση και χωρίς μόνωση). Η ποσοτικοποίηση των κερδών γίνεται πιο ευκρινής με τη βοήθεια του πίνακα 9, όπου παρουσιάζεται το ποσοστό κέρδους, ύστερα από ενσωμάτωση του ανακλαστικού μαύρου χρώματος στο κτιριακό κέλυφος των προαναφερθέντων περιπτώσεων: 4.10α και 4.10β αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται ικανοποιητικό ποσοστό κέρδους στην πρώτη περίπτωση, φτάνοντας το 3.42%, και στη δεύτερη το αντίστοιχο ποσοστό είναι 3.57%.

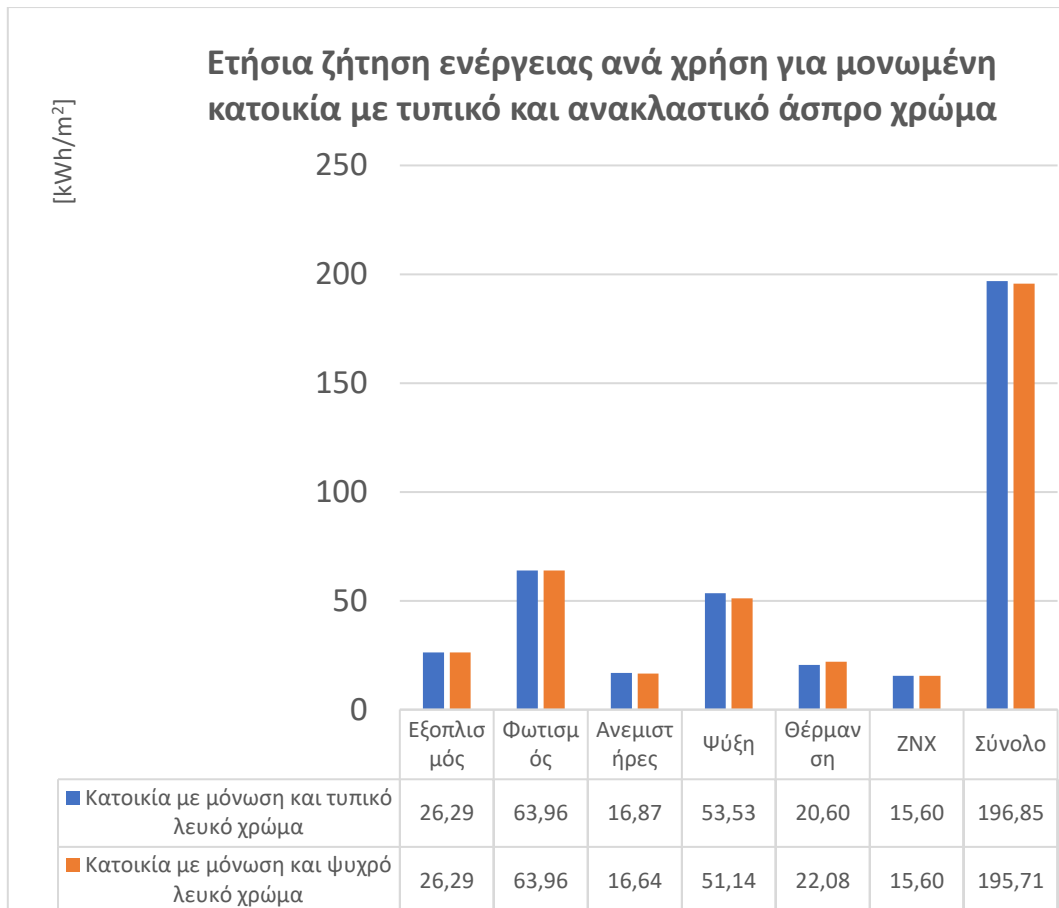
Ποσοστό κέρδους (%) ανά χρήση και συνολικά				
Είδος κατοικίας	Ανεμιστήρες	Ψύξη	Θέρμανση	Σύνολο
Κατοικία με μόνωση και ανακλαστικό μαύρο χρώμα	4.29	11.65	-30.33	3.42
Κατοικία χωρίς μόνωση και ανακλαστικό μαύρο χρώμα	10.44	23.99	-31	3.57

Πίνακας 9: Ποσοστό κέρδους για τις περιπτώσεις κατοικίας ανακλαστικού μαύρου χρώματος

Σύμφωνα με τον πίνακα 9 ,στην περίπτωση μονωμένης κατοικίας, παρατηρείται ότι υπάρχουν μεγάλα ποσοστιαία κέρδη της τάξεως του 11.65% στο τομέα της ψύξης, και μεγάλη ζημία στον τομέα της θέρμανσης της τάξεως του -30.33% αντίστοιχα. Τα κέρδη στη κατηγορία των ανεμιστήρων είναι 4.29% ενώ το συνολικό ποσοστιαίο κέρδος ανέρχεται στα 3.42%.

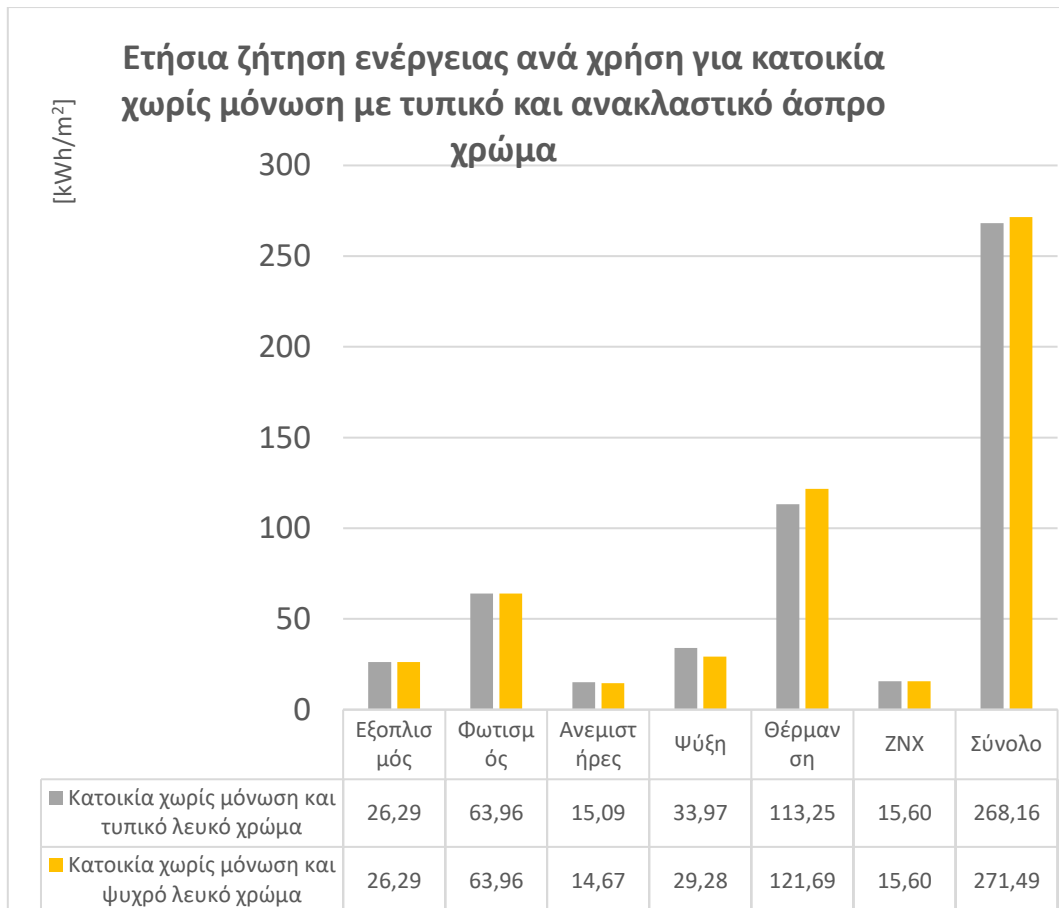
Στην περίπτωση μη μονωμένης κατοικίας, εμφανίζονται μεγαλύτερα κέρδη ανά χρήση. Στα ψυκτικά φορτία σημειώνεται κέρδος της τάξεως του 11.65% ενώ στα θερμικά φορτία ζημία της τάξεως του -31% αντίστοιχα. Στους ανεμιστήρες υπάρχει κέρδος της τάξεως του 10.44% ενώ συνολικά μεγιστοποιείται με τιμή 3.57%.

Στην συνέχεια, στο διάγραμμα 29 συγκρίνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την τρίτη περίπτωση , με εκείνη της απλής μονωμένης συμβατικής κατοικίας άσπρου χρώματος.



Διάγραμμα 29: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μονωμένης κατοικίας βαμμένης με συμβατικό άσπρο χρώμα και αντίστοιχης κατοικίας βαμμένης με ανακλαστικό άσπρο

Στο διάγραμμα 30 παρατίθενται τα δεδομένα που εξήχθησαν κατά την τέταρτη περίπτωση. Η σύγκριση γίνεται όμοια με πριν, δηλαδή με την περίπτωση της κατοικίας χωρίς μόνωση άσπρου χρώματος.



Διάγραμμα 30: Σύγκριση ενεργειακών φορτίων μη μονωμένης κατοικίας βαμμένης με συμβατικό άσπρο χρώμα και αντίστοιχης κατοικίας με ανακλαστικό άσπρο

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 29 και 30, το φορτίο ψύξης μειώνεται, ενώ το φορτίο θέρμανσης αυξάνεται, και για τις δύο περιπτώσεις (μόνωση και χωρίς μόνωση). Η ποσοτικοποίηση των κερδών γίνεται πιο ευκρινής με τη βοήθεια του πίνακα 10, όπου παρουσιάζεται το ποσοστό κέρδους, ύστερα από ενσωμάτωση του ανακλαστικού άσπρου χρώματος στο κτιριακό κέλυφος των προαναφερθέντων περιπτώσεων: 4.10γ και 4.10δ αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται μηδαμινό ποσοστό κέρδους στην πρώτη περίπτωση, φτάνοντας το 0.01%, ενώ στη δεύτερη μηδαμινή ζημία με ποσοστό -0,01%.

Ποσοστό κέρδους (%) ανά χρήση και συνολικά				
Είδος κατοικίας	Ανεμιστήρες	Ψύξη	Θέρμανση	Σύνολο
Κατοικία με μόνωση και ανακλαστικό άσπρο χρώμα	0.01	0.04	-0.07	0.01
Κατοικία χωρίς μόνωση και ανακλαστικό άσπρο χρώμα	0.03	0.16	-0.07	-0.01

Πίνακας 10: Ποσοστό κέρδους για τις περιπτώσεις κατοικίας ανακλαστικού άσπρου χρώματος

Αξίζει να σημειωθεί, πως στις περιπτώσεις κατοικίας με μόνωση και χωρίς για το ανακλαστικό άσπρο χρώμα αντίστοιχα, πρακτικά δεν σημειώνεται κέρδος ή ζημία ανεξαρτήτου ύπαρξης μόνωσης στην κατοικία.

Κεφάλαιο 5^ο: Συμπεράσματα

Στην διπλωματική εργασία, αναλύθηκαν καινοτόμες τεχνολογίες βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιριακού κελύφους τόσο σε θεωρητικό επίπεδο, όσο και σε επίπεδο δυναμικής μοντελοποίησης με το πρόγραμμα Energy plus. Οι τεχνολογίες που εξετάστηκαν είναι τα ΥΑΦ, η πράσινη στέγη, τα ανακλαστικά χρώματα και τα θερμοχρωμικά παράθυρα.

Στη προσομοίωση δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη δυνατότητα μοντελοποίησης των εν λόγω τεχνολογιών, με δεδομένο ότι πρόκειται για τεχνολογίες με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, και ως εκ τούτου η μοντελοποίηση τους εμφανίζει δυσκολίες σε σχέση με συμβατικού τύπου λύσεις.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, αποδεικνύεται ότι σε περίπτωση ύπαρξης μόνωσης είναι πιο συμφέρουσα η περίπτωση χρήσης των ΥΑΦ ως εσωτερικό επίστρωμα, από ότι ως εξωτερικό. Στην περίπτωση κτιρίου χωρίς μόνωση τα ποσοστά κέρδους είναι υψηλότερα από την περίπτωση κτιρίου με μόνωση. Το συνολικό ποσοστό κέρδους μεγιστοποιείται στο 4.85% και είναι για την περίπτωση όπου το ΥΑΦ τοποθετείται εξωτερικά σε τοιχοποιία χωρίς μόνωση.

Τα θερμοχρωμικά παράθυρα έχουν θετική επίπτωση στα φορτία ψύξης, όχι όμως στα φορτία θέρμανσης, τα οποία εμφανίζονται αυξημένα στην περίπτωση εφαρμογής τους, ανεξάρτητα αν το κτίριο έχει μόνωση ή όχι. Το συνολικό ενεργειακό ποσοστιαίο κέρδος ανέρχεται στο 8.78%, το οποίο είναι κατά πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με το ποσοστό κέρδους που προέρχεται από την χρήση θερμοχρωμικών παραθύρων σε κατοικία χωρίς μόνωση.

Αξίζει να σημειωθεί, πως ενώ με τη χρήση των θερμοχρωμικών παραθύρων τους θερμούς μήνες καταγράφηκαν σημαντικά κέρδη στον τομέα της ψύξης, τον χειμώνα σημειώθηκαν θερμικές απώλειες, οι οποίες λόγω του μεγέθους, τους είχαν πολύ μικρή επίδραση στα συνολικά αποτελέσματα, κυρίως όσον αφορά την περίπτωση μονωμένου κτιριακού κελύφους.

Εν συνεχεία, τα αποτελέσματα στην κατηγορία της πράσινης στέγης αποδεικνύουν πως πρόκειται για μία ιδιαίτερα επικερδής ενεργειακά λύση, καθώς παρατηρείται σημαντική βελτίωση τόσο στα ψυκτικά όσο και στα θερμικά φορτία. Ωστόσο, παρατηρείται, όταν δεν υπάρχει μόνωση στην στέγη, ότι σημειώνονται υψηλότερα ποσοστά κέρδους της τάξεως του 16,02% σε αντίθεση με του 5.52% όταν υπάρχει μόνωση. Ωστόσο μεγιστοποιείται το ποσοστό κέρδους στην περίπτωση όπου έχει τοποθετηθεί μόνωση στους εξωτερικούς τοίχους, επιτυγχάνοντας 17.08% κέρδος.

Τα ανακλαστικά χρώματα αποτελούν και αυτά με την σειρά τους, όπως προαναφέρθηκε, ένα αποτελεσματικό και ιδιαίτερα πετυχημένο μέτρο για την μείωση των ψυκτικών φορτίων για κατοικίες οι οποίες έχουν κυρίως καλοκαιρινή χρήση. Οι αισθητές θερμικές απώλειες που παρατηρούνται ωστόσο το χειμώνα περιορίζουν τον

βαθμό επιτυχίας τους, ενώ σε περίπτωση που εφαρμοστούν σε μη μονωμένο κτιριακό κέλυφος τα τελικά αποτελέσματα δυσχεραίνουν ακόμη περισσότερο. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ανακλαστικό λευκό χρώμα που εφόσον χρησιμοποιηθεί σε μη μονωμένη κατοικία θα επιφέρει ζημία.

Συνεχίζοντας, πολύ ενθαρρυντικά είναι τα αποτελέσματα προσομοίωσης που λήφθηκαν ύστερα από συνδυασμό των ΥΑΦ και των θερμοχρωμικών παραθύρων, αγγίζοντας το ποσοστό κέρδους του 11.54%. Συγκεκριμένα, αυτό το ποσοστό επιτυγχάνεται για μονωμένη κατοικία με εγκατάσταση ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας. Το χαμηλότερο συνολικό ποσοστό κέρδους βρέθηκε για ΥΑΦ εσωτερικώς της μη μονωμένης κατοικίας και είναι της τάξεως του 8.22%.

Ολοκληρώνοντας, κρίνοντας τα ποσοστά κέρδους της κάθε τεχνολογίας που προσομοιώθηκε ξεχωριστά, συμπεραίνουμε πως η πράσινη στέγη αποτελεί την πιο επικερδή πρόταση στην περίπτωση μη μονωμένης κατοικίας ενώ στην περίπτωση ήδη υπάρχουσας μονωμένης κατοικίας, μια περαιτέρω βελτίωση αποτελεί ο συνδυασμός εφαρμογής των ΥΑΦ εσωτερικά της τοιχοποιίας καθώς και των θερμοχρωμικών παραθύρων.

Κεφάλαιο 6^ο: Βιβλιογραφία

Βιβλιογραφία

[1] Buckman A., Mayfield M., Beck S., (2014), ‘What is a Smart Building?’, Smart and Sustainable Built Environment, Vol. 3 Issue: 2, pp.92-109

[2] Ghasson S., (2006), ‘A critical review of the impact of embedded smart sensors on productivity in the workplace’, Facilities, Vol. 24 Issue: 13/14

[3] Wong J.K.W., Li H., Wang S.W., (2005), ‘Intelligent building research: a review’. Automation in Construction. 14: p. 143– 159

[4] Brooks D. J., (2012), ‘Security threats and risks of Intelligent Building Systems: Protecting facilities from current and emerging vulnerabilities’. In Christopher Laing, Atta Badii and Paul Vickers (Eds.). Securing Critical Infrastructures and Critical Control Systems: Approaches for Threat Protection (pp. 1-16)

[5] Kershaw P., Scott P., Welch H.,(2016) ‘The Shelter Characteristics of Traditional-Styled Inuit Snow Houses’, Arctic v.49, p.328–338

[6] Squier M., Davidson C.I., (2016), ‘Heat flux and seasonal thermal performance of an extensive green roof’. Building and Environment, 107, 235-244

[7] Jim C.Y., (2017), ‘Archaeological and historical exploration of the origins of green roofs’. Urban Forestry and Urban Greening (Elsevier Science, Amsterdam) 27: 32–42

[8] EU.BAC, (2016), ‘Europe needs more Building Automation and Control Technology’

[9] Horizon 2020, ‘Case study 1 Demonstration at residential building scale’, (2016)

[10] Amsterdam Roundtable Foundation, McKinsey & Company The Netherlands, editors. Evolution, ‘Electric Vehicles in Europe: gearing up for a new phase?’. Amsterdam Roundtable Foundation, (2014)

[11] Danfoss, ‘Local residents stay warm thanks to supermarket’s cooling system’,(2015)

[12] Bloomberg, ‘The Smartest Building in the World’, (2015)

[13] Council of European Energy Regulators, ‘Status Review of Regulatory Aspects of Smart Metering’, (2013)

[14] SULPU, ‘The future of Heat Pumps in Finland’, (2015)

[15] KWF, KFW and Federal Environment Ministry launch programme to promote use of energy storage in solar PV installations, (2013)

[16] DIRECTIVE 2010/30/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products

[17] DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC

[18] DIRECTIVE 2009/125/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products

[19] BPIE own analysis

[20] Santamouris M., (2007), 'Heat island research in Europe: The state of the art', *Advances in building energy research*, 1(1), 123–150

[21] Rosenzweig C., Solecki W.D., Parshall L., Chopping M., Pope G., Goldberg R., (2005) 'Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey'. *Glob. Environ. Change B*, 6, 51-62

[22] Taha H., Chang S.C., Akbari H., 'Meteorological and Air Quality Impacts of Heat Island Mitigation Measures in three U.S. Cities', Lawrence Berkeley National Laboratory Report, Berkeley, CA, (2000)

[23] Kolokotroni M., Zhang Y., Watkins R., 'The London heat island and building cooling design', *Solar Energy* 81 (1) (2007) 102e10

[24] Huang L., Li D., Zhao J., Zhu J., 'A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing', *Build. Environ.* 43 (2008) 7–17

[25] Malshe V., Bendiganavale A. (2008), 'Infrared reflective inorganic pigments'. *Recent Patents on Chemical Engineering*, 1(1), 67-79

[26] Levinson R., Berdahl P., Akbari, H., (2005), 'Solar spectral optical properties of pigments— art I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements'. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 89(4), 319-349

[27] Kaur B., Quazi N., Ivanov I., Bhattacharya S. N., (2012), 'Near-infrared reflective properties of perylene derivatives'. *Dyes and Pigments*, 92(3), 1108-1113

[28] Libbra A., Tarozzi L., Muscio A., Corticelli M.A., (2011), 'Spectral response data for development of cool coloured tile coverings'. *Optics & Laser Technology*, 43(2), 394-400

[29] Sainz J.G., Castello R.B., Pla R.M., Gallart J.C. (2003), US20036616744. Shepherd Color Company, 2001

[30] Song Z., Zhang W., Shi Y., Song J., Qu J., Qin J., Zhang T., Li Y., Zhang H., Zhang R. (2013), 'Optical properties across the solar spectrum and indoor thermal performance of cool white coatings for building energy efficiency'. *Energy and Building*, v.63, p.49-58.

[31] DuPont, (2007), 'DuPont™ Ti-Pure® titanium dioxide: titanium dioxide for coatings'

[32] Zinzi M., (2015), 'Characterisation and assessment of near infrared reflective paintings for building facade applications'. *Energy and Buildings*

- [33] Shi Y., Song Z., Zhang W., Song J., Qu J., Qin J., Zhang T., Li Y., Zhang H., Zhang R. (2013), 'Optical properties across the solar spectrum and indoor thermal performance of cool white coatings for building energy efficiency'. *Energy and Building*, v.63, p.49-58
- [34] Cozza E.S., Alloisio M., Comite A., Tanna G., Vicini, S., (2015), 'NIR-reflecting properties of new paints for energy-efficient buildings', *Solar Energy* v.116 p108-116
- [35] Dias D.,(2009), 'Impact of using cool paints on energy demand and thermal comfort of a residential building'
- [36] Jeevanandam P., Mulukutla R.S., Phillips M.,Chaudhuri S.,Erickson L.E., Klabunde K.J., (2007), 'Near Infrared Reflectance Properties of Metal Oxide Nanoparticles', *J. Phys. Chem* pp.1912-1918
- [37] Bendiganavale A., Malshe V., (2007), 'Infrared Reflective Inorganic Pigments', *Recent Patents on Chemical Engineering* p67-79
- [38] Khan M.A.I., Ueno K., Horimoto S., Komai F., Someya T., Inoue K., Tanaka K., Ono Y., (2009), 'CIELAB color variables as indicators of compost stability', *Waste management* v.29 p.2969-2975
- [39] Quimanil (2010). *Colorimetria*. São Paulo: Quimanil. (2014)
- [40] Baetens R., Jelle B.P., Gustavsen A., 'Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review'
- [41] Kenisarin M., Mahkamov K, (2007), 'Solar energy storage using phase change materials'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* v.11 p1913-1965
- [42] Mehling, Harald, Cabeza, Luisa F., 'Heat and cold storage with PCM', (2008)
- [43] Kumar S., Dhingra S., Singh G.,(2014), 'Review on thermal energy storage with phase change materials and applications'. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering* v.9 p287-292
- [44] Springer, 'Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials Fundamentals and Applications', (2015)
- [45] Jamekhorshid A., Sadrameli S.M., Farid M., (2013), 'A review of microencapsulation methods of phase change materials (PCMs) as a thermal energy storage (TES) medium'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* p.531-542
- [47] Sukhorukov G., Fery A., Möhwal H., (2005), 'Intelligent micro- and nanocapsules'. *Progress in Polymer Science* p.885-897
- [48] Pasupathy A.,Velraj R., Seeniraj R.V., (2008), 'Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 12(1), p.39-64
- [49] Dhingra S., Kumar S., Singh G.,(2014), 'Review on thermal energy storage with phase change materials and applications'. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering* v.9 p.287-292

- [50] Lane G.A. et al. Macro-encapsulation of PCM. Report no. ORO/5117-8. Midland, Michigan: Dow Chemical Company. (1978). p. 152.
- [51] Lane GA, Rossow HE. Encapsulation of heat of fusion storage materials. In: Proceedings of the second south eastern conference on application of solar energy. (1976) p. 442–55.
- [52] Telkes M., ‘Thermal storage for solar heating and cooling. In: Proceedings of the workshop on solar energy storage sub-systems for heating and cooling of buildings’. University of Virginia, Charlottesville, (1975)
- [53] Biswas R., ‘Thermal storage using sodium sulfate decahydrate and water’. Solar Energy
- [54] Charlsson B., Stymme H., Wattermark G., ‘An incongruent heat of fusion system $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ made congruent through modification of chemical composition of the syste. Solar Energy (1979)
- [55] Alexiades V, Solomon A.D., ‘Mathematical modeling of melting and freezing process’. Washington, DC: Hemisphere Publishing Corporation, (1992)
- [56] Wanga Q., Zhang J., Ding Z., Qiu L., (2011), ‘Study on Properties of Paraffin Phase Change Energy Storage Concrete’. Energy procedia p.365-370
- [57] Kousksou T., Jamil A., ElRhafiki T., Zeraouli Y., (2010), ‘Paraffin wax mixtures as phase change materials’. Solar Energy Materials & Solar Cells 94 p.2158–2165
- [58] George A. Hand book of thermal design. In: Guyer C, editor. Phase change thermal storage materials. McGraw Hill Book Co.(1989) [chapter 1]
- [59] Barrenechea C., Navarroa H., Serranob S., Cabezab L.F., Fernández A.I,(2013), ‘New database on phase change materials for thermal energy storage in buildings to help PCM selection’. Energy procedia p.2408-2415
- [60] Jelle B.P., Gustavsen A., Baetens R., ‘Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review’
- [61] Derek Townshend. (2007). Study on Green Roof Application in Hong Kong, Final Report, pp 77-81, 100-104.
- [62] Zinzi M., Agnoli S., (2012), ‘Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region’. Energy and buildings p.66-76
- [63] Santamouris M., (2014), ‘Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments’. Solar energy v.103 p.682-703
- [64] Berndtsson J.C., (2010), ‘Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review’. Ecological engineering v.36 p.351-360
- [65] Palla A., Gnecco I., Lanza L.G., (2009), ‘Unsaturated 2D modelling of subsurface water flow in the coarse-grained porous matrix of a green roof’
- [66] Seymour RB, Carraher CE., ‘Polymer chemistry’, (1995)

- [67] She N, Pang J., 'Physically based green roof model'. J Hydrologic Eng 2010 p.458-64
- [68] Soprema, Green roofing system
- [69] Xeroflor Canada, Xeroflor systems.
- [70] Jim C.Y., Tsang S.W., (2011), 'Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof'. Building and environment v.46 p.1263-1274
- [71] Schrader S., Boning M., (2006), 'Soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on Collembolans'. Pedobiologia, v.50 p.347-356
- [72] Yang J., Yu Q., Gong, P., (2008), 'Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago'
- [73] Tabares-Velasco P.C., Srebric J., (2009), 'The role of plants in the reduction of heat flux through green roofs: laboratory experiments'. ASHRAE Transact.
- [74] Getter K.L., Rowe D.B. 'The role of extensive green roofs in sustainable development'
- [75] Dunnett N., Nagase A., Booth R., Grime P., (2009), 'Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments'. Urban Ecosystems p.385-398
- [76] Cavanaugh L.M., (2008), 'Redefining the green roof'. Journal of Architectural Engineering v.14
- [77] Townshend D., 'Study on green roof application in hong kong', (2007)
- [78] Ulrich W., (1992), 'Einleitung. Literatur und bildende Kunst: Geschichte, Systematik, Methoden'. Weisstein Hrsg p.11-34
- [79] Johnson J.W., (1996) 'Linking employee perceptions of service climate to customer satisfaction'. Personnel psychology v.49 p.831-851
- [80] Dunnett N., Kingsbury N., 'Planting Green Roofs and Living Walls', (2004)
- [81] Peck S., 'Green Roofs for Healthy Cities Coalition', (2002)
- [82] Dunnett N., Kingsbury N., 'Planting Green Roofs and Living Walls', (2004)
- [83] Silva M.C., Gomes M.G., Silva M., (2016), 'Green roofs energy performance in Mediterranean climate'. Energy and buildings v.116 p.318-325
- [84] Fioretti R., Palla A., Lanza L.G., Principi P., (2010), 'Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate'. Building and environment v.45 p.1890-1904
- [85] Zinzi M., Agnoli S., (2012), 'Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region'. Energy and buildings p.66-76
- [86] Speak A.F., Rothwell J.J., Lindley S.J., Smith C.L., (2014), 'Metal and nutrient dynamics on an aged intensive green roof'. Environmental pollution v.184 p.33-43

- [87] Vacek P., Struhala K., Matějka K., (2017), 'Life-cycle study on semi intensive green roofs'. Journal of cleaner production v.154 p.203-213
- [88] Simmons M.T., (2015), 'Climates and Microclimates: Challenges for Extensive Green Roof Design in Hot Climates'. Green roof ecosystems p.63-80
- [89] Granqvist C.G., (2016) , 'Recent Progress in Thermochromics and Electrochromics: A Brief Survey'. Thin solid films v.614 part:b p.90-96
- [90] Chen C.C., Jheng W.D., (2012), 'Logotype-selective electrochromic glass display'. Ceram. Int v.38 p.5835-5842
- [91] Baetens R., Jelle B.P., Gustavsen A., (2010), 'Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review'. Solar energy materials and solar cells v.94 p.87-105
- [92] Antonio P., Mario G., Rosendo S., Andreas S., (2014), 'Thermal solar collector with VO₂ absorber coating and V1-xWxO₂ thermochromic glazing – Temperature matching and triggering', Solar energy v.110 p.151-159
- [93] Wilde P.D., Voorden M.V.D., (2004), ' Providing computational support for the selection of energy saving building components'.
- [94] <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>
- [95] <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore?sort=score>
- [96] <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-38A9EB5B-8631-43B4-9AD6-6F532BC860D8-hm.html>
- [97] https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs_v8.3.0/EngineeringReference.pdf

Πηγές εικόνων

Εικόνα 1: <https://www.freeimages.com/search/ice-house> Εικόνα 2: World Digital Library of the Library of Congress

Εικόνα 2: <https://seanmunger.com/2014/10/23/historic-color-photo-fossestuen-hotel-trondheim-norway-1890s/>

Εικόνα 3: <http://uk.businessinsider.com/the-edge-office-building-in-amsterdam-2015-9>

Εικόνα 4: από την βιβλιογραφική πηγή [9]

Εικόνα 5: <https://www.zdnet.com/article/can-the-dutch-lead-the-way-on-electric-cars/>

Εικόνα 6: http://e2ba.peak-sourcing.com/project-database-list/project-details/?tx_psdatabaselistingprojects_projectdetails%5Bproject%5D=84&tx_psdatabaselistingprojects_projectdetails%5Baction%5D=show&tx_psdatabaselistingprojects_projectdetails%5Bcontroller%5D=Project&cHash=93739ac556f6f9267c8ae2429b1ac88e Εικόνα 7: Diginomica

Εικόνα 7: <https://www.sahiel.gr/2018/06/deh-telos-ta-palia-rologia-erxontai-oi-exypnoi.html>

Εικόνα 8: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/heat-pumps-information/commercial-heat-pumps.html>

Εικόνα 9: <http://bpie.eu/publication/is-europe-ready-for-the-smart-buildings-revolution/>

Εικόνα 10: Characterisation and assessment of near infrared reflective paintings for building facade applications

Εικόνα 11: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010414282015000300010

Εικόνα 12: Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications.

Εικόνα 13: Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications.

Εικόνα 14: A review of microencapsulation methods of phase change materials (PCMs) as a thermal energy storage (TES) medium.

Εικόνα 15: A review of microencapsulation methods of phase change materials (PCMs) as a thermal energy storage (TES) medium.

Εικόνα 16: Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications.

Εικόνα 17: http://www.ceyes.eu/LCA_How%20green%20are%20the%20green%20roofs.pdf

Εικόνα 18: <https://www.sempergreen.com/us/solutions/green-roofs/everything-about-sedum>

Εικόνα 19: από την πηγή [77]

Εικόνα 20: <https://www.archsd.gov.hk/media/11687/1353-green-roofs-es-2007-02-16.pdf>

Εικόνα21:http://www.devb.gov.hk/filemanager/en/content_29/Green%20roof%20study_executive%20summary%20eng.pdf

Εικόνα 22: από την βιβλιογραφία [88]

Εικόνα 23: https://file.scirp.org/pdf/ENG_2013011515440588.pdf

Εικόνα24:<https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2473860/Properties%2C%20requirements%20and%20possibilities.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Εικόνα 25: <http://www.extrakt.se/hallbart-byggande/smarta-fonster-minskar-behovet-av-air-condition/> Εικόνα 26: Green Nanotechnology: Solutions for Sustainability and Energy in the Built Environment.

Εικόνα26:<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.702.6525&rep=rep1&type=pdf>

Εικόνα 51: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-8/engineering-reference/effective-moisture-penetration-depth-empd.html#effective-moisture-penetration-depth-empd-model>

Εικόνα 54: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-0/engineering-reference/page-029.html>