ΜΑΡΓΩΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΑΜ:02116072

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάλυση της επίδρασης των θερμογεφυρών στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων

Τομέας: Ενέργειας

Επιβλέπων: Χρήστος Τζιβανίδης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2021

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Χρήστο Τζιβανίδη για την ευκαιρία που μου έδωσε να επιλέξω ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα μελέτης για την εργασία μου και να συνεργαστώ με το Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου. Επίσης, ένα τεράστιο ευχαριστώ στον κ. Δημήτριο Παλλαντζά, ο οποίος υπήρξε ο επιβλέπον μου από το ΕΙΠΑΚ και βρισκόταν εκεί μαζί μου σε οποιαδήποτε δυσκολία και αν συνάντησα καθ΄ όλη τη διάρκεια της μελέτης μου για να με κατατοπίσει και να με βοηθήσει.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου, οι οποίοι με στήριζαν όλα τα χρόνια της φοίτησής μου και μου έδιναν τη δύναμη να συνεχίσω παρά τις όποιες δυσκολίες.

Πίνακας περιεχομένων

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ 7

2. ABSTRACT 8

3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 9

4. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ 10

4.1 Το Παθητικο Κτιριο 10
4.1.1 Πλεονεκτήματα 10
4.1.2 Βασικές αρχές παθητικού κτιρίου 12
4.1.3 Τρόπος λειτουργείας παθητικού κτιρίου 13
4.2 Ευρωπαϊκη Στρατηγικη 18

5. ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΕΣ 20

5.1 Ορισμος θερμογεφυρων και συνεπειες 20
5.2 Κατηγοριες Θερμογεφυρων 22
5.3 Μετρα αντιμετωπισης θερμογεφυρων 25
5.4 Οδηγιες για ανακαινιση 25
5.4.1 Εκσυγχρονισμός 25
5.4.2 Τα χαρακτηριστικά κλειδιά του Παθητικού Κτιρίου 25
5.4.3 Συνηθέστερα προβλήματα και λύσεις 26
5.5 Θερμικες ροες 29
5.5.1 Ελληνικός κανονισμός 30
5.6 Παραμετροι ενεργειας, υγειινης και αποδοτικοτητας 34

6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΩΝ 37

6.1 Βασικες σχεσεις 37
6.2 Βασικες αρχες για τον υπολογισμο θερμογεφυρων 38
6.2.1 Καθορισμός μετάδοσης θερμότητας 39
6.2.2 Οριακές Συνθήκες / Αντιστάσεις μετάδοσης 43
6.2.3 Οριακές συνθήκες για τις θερμοκρασίες 45
6.3 Ειδικες περιπτωσεις 46
6.3.1 Ψ_g τιμές – Επαφή με έδαφος 46

7. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΩΝ 65

7.1 Εργαλεια Υπολογισμων 72

8. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΘΕΡΜΟΓΕΦΥΡΩΝ 75

8.1 Σκοπος της μελετης 75
8.2 Οδηγιες αναγνωσης καταλογου 75
8.3 Λεπτομερεια 1 – Μπαλκονι 1ου οροφου 77
8.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 1 82
8.4 Λεπτομερεια 2 – Μπαλκονι 2ου οροφου 83
8.4.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 2 88
8.5 Λεπτομερεια 3 – Στηθαιο 89
8.5.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 3 94
8.6 Λεπτομερεια 4 – Επαφη με εδαφος 95
8.6.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 4 100
8.7 Λεπτομερεια 5 – Κουφωμα (Λαμπας με ρολο) 101
8.7.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 5 106
8.8 Λεπτομερεια 6 – Κουφωμα (Κατωκασι τοποθετηση 1η) 107
8.8.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 6 112
8.9 Λεπτομερεια 7 – Κουφωμα (Κατωκασι τοποθετηση 2η) 113
8.9.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 7 118
8.10 Λεπτομερεια 8 – Κουφωμα (Κατωκασι τοποθετηση 3η) 119

8.10.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 8 ..... *124*
9. ΑΝΑΦΟΡΕΣ **125**
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ **126**

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτιρίου(πηγή: Κ.Εν.Α.Κ.) 33
Πίνακας 2-Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου (πηγή Κ.Εν.Α.Κ.) 34
Πίνακας 3- Παράγοντας f_{Rsi} ανάλογα με την κλιματική ζώνη 36
Πίνακας 4- Συνηθέστερα μονωτικά υλικά και οι συντελεστές λ τους..... 38
Πίνακας 5- Θερμικές αντιστάσεις..... 43
Πίνακας 6- Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 1..... 77
Πίνακας 7-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 2..... 83
Πίνακας 8-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 3..... 89
Πίνακας 9-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 4..... 95
Πίνακας 10-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 5..... 101
Πίνακας 11-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 6..... 107
Πίνακας 12-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 7..... 113
Πίνακας 13-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 8..... 119

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1- Ενεργειακή αποδοτικότητα παθητικού κτιρίου(Πηγή: ΙΡΗΑ) 10
Εικόνα 2- Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης παθητικών με συμβατικά κτίρια(Πηγή:ΙΡΗΑ)..... 11
Εικόνα 3- Βασικές αρχές παθητικού κτιρίου(Πηγή: http://www.passipedia.org)..... 12
Εικόνα 4- Παθητικό Κτίριο(Πηγή: http://www.passipedia.org)..... 13
Εικόνα 5- Πρότυπο Passive House(Πηγή: ΕΙΠΑΚ) 14
Εικόνα 6- Κριτήρια Passive House(Πηγή: ΕΙΠΑΚ)..... 14
Εικόνα 7- Πρότυπο EnerPHit(Πηγή: ΕΙΠΑΚ) 15
Εικόνα 8- Κριτήρια μεθόδου στοιχείων(Πηγή: ΕΙΠΑΚ) 15
Εικόνα 9- Κριτήρια μεθόδου απαίτησης θέρμανσης(Πηγή: ΕΙΠΑΚ) 16
Εικόνα 10- Γενικά κριτήρια EnerPHit(Πηγή: ΕΙΠΑΚ)..... 16
Εικόνα 11-Πρότυπο Low Energy Building(Πηγή: ΕΙΠΑΚ) 17
Εικόνα 12- Κριτήρια PHI Low Energy Building(Πηγή: ΕΙΠΑΚ)..... 17
Εικόνα 13- Συνήθης Θερμογέφυρες σε ένα κτίριο(Πηγή:Akkp35)..... 20
Εικόνα 14-Επιδράσεις σε ένα πλευρικό τοίχωμα(Πηγή:http://www.monodromiki.gr) 21

Εικόνα 15-Παράδειγμα δημιουργίας θερμογεφυρών(Πηγή:http://www.monodromiki.gr).....22
Εικόνα 16- Θέσεις εμφάνισης κατακόρυφων θερμογεφυρών(Πηγή:http://www.monodromiki.gr).....23
Εικόνα 17- Θέσεις εμφάνισης οριζόντιων θερμογεφυρών(Πηγή:http://www.monodromiki.gr).....24
Εικόνα 18- Σύγκριση ενεργειακής διαφοράς ανακαινισμένου κτιρίου σύμφωνα με τις αρχές παθητικού κτιρίου (αριστερά) με συμβατικό κτίριο (δεξιά)(Πηγή : PHI) 26
Εικόνα 19 - Θερμογέφυρες που φαίνονται μέσω θερμικής κάμερας(Πηγή: Solanova Consortium) 27
Εικόνα 20- Αυτό-στηριζόμενη κατασκευή μπαλκονιού(Πηγή CPD).....27
Εικόνα 21- Εγκατάσταση παραθύρων- αεροστεγανότητα(Πηγή: PHI) 28
Εικόνα 22- Θερμική ροή(Πηγή IPHA).....30
Εικόνα 23-Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας(Πηγή(http://www.maps-of-europe.net)...32
Εικόνα 24- Κλιματικές ζώνες του πλανήτη(Πηγή: PHI).....36
Εικόνα 25- Παράδειγμα θερμογέφυρας- Πλάνο θερμοκρασίας(Πηγή: HTflux).....39
Εικόνα 26- Παράδειγμα θερμογέφυρας- Πλάνο θερμικών ροών 2d (Πηγή: HTflux).40
Εικόνα 27- Θερμικές αντιστάσεις σε ένα τυπικό κτίριο (Πηγή: HTflux) 44
Εικόνα 28- Θερμοκρασία εδάφους σε συνάρτηση με εξωτερική θερμοκρασία(Πηγή: http://www.passipedia.org).....48
Εικόνα 29- Παράδειγμα υπολογισμού Ψg για δομικό στοιχείο πάνω ή κοντά στο έδαφος(Πηγή: HTflux).....49
Εικόνα 30- Συνθήκες υπολογισμών(Πηγή: http://www.passipedia.org).....50
Εικόνα 31- Παράδειγμα υπολογισμού Β΄(Πηγή: HTflux).....51
Εικόνα 32- Παράδειγμα υπολογισμού Ψg για δομικό στοιχείο κάτω από έδαφος(Πηγή: HTflux).....52
Εικόνα 33- 1.Επάλληλο κούφωμα 2. Ανοιγόμενο κούφωμα(Πηγή: http://www.exal.gr).....54
Εικόνα 34- Χωνευτό κούφωμα(Πηγή: http://www.kaptain.gr).....54
Εικόνα 35- Τοποθέτηση παραθύρου σε διάφορες θέσεις της τοιχοποιίας (Πηγή: http://www.passipedia.org).....56
Εικόνα 36- Τύποι υαλοπινάκων (Πηγή : IPHA).....58
Εικόνα 37- Είδη κουφωμάτων(Πηγή: http://www.alumal.gr).....59
Εικόνα 38- Πλευρική εικόνα κουφώματος με θερμική ροή(Πηγή:PHI) 59
Εικόνα 39- Κούφωμα χωρίς μόνωση με Uf=1,4W/(m^2K) (αριστερά) και κούφωμα με μόνωση Uf=0,8W/(m^2K) (δεξιά)(Πηγή: PHI) 60
Εικόνα 40- Το κτίριο πριν και μετά την αναδόμηση(Πηγή: http://www.passipedia.org) 61
Εικόνα 41- Σύνδεση παραθύρου με μόνωση (Πηγή: Kaufmann, Peper 2005) 61
Εικόνα 42- Το κτίριο πριν και μετά την ανακαίνιση(Πηγή: Conrad et. al. 2008).....62
Εικόνα 43- Το διπλό παράθυρο εξωτερικά και εσωτερικά(Πηγή: Häupl et. Al. 2007) 62
Εικόνα 44- Κουφώματα με τριπλούς υαλοπίνακες(Πηγή: Häupl et. Al. 2007) 63
Εικόνα 45- Το κτίριο πριν και μετά την ανακαίνιση (Πηγή: http://www.energy-architects.com/).....64
Εικόνα 46- HTflux logo(Πηγή: http://www.htflux.com).....65
Εικόνα 47-Όψη θερμικής ροής(Πηγή: http://www.htflux.com).....65
Εικόνα 48-Όψη υλικών κατασκευής(Πηγή: http://www.htflux.com) 66
Εικόνα 49-Όψη θερμοκρασίας(Πηγή: http://www.htflux.com) 66
Εικόνα 50-Γραφικό περιβάλλον(Πηγή: http://www.htflux.com).....67

Εικόνα 51- Επιλογή όψεων HTflux(Πηγή: http://www.htflux.com).....68
Εικόνα 52- Project Materials List HTflux(Πηγή: http://www.htflux.com).....69
Εικόνα 53- Χαρακτηριστικά υλικών(Πηγή: http://www.htflux.com) 70
Εικόνα 54- Κατάλογος υλικών(Πηγή: http://www.htflux.com).....70
Εικόνα 55- Quick Toolbar HTflux(Πηγή: http://www.htflux.com) 71
Εικόνα 56- Καθορισμός επιφάνειας για τον υπολογισμό θερμικής ροής(Πηγή: http://www.htflux.com).....72
Εικόνα 57- Καθορισμός επιφάνειας για μέτρηση θερμοκρασιών(Πηγή: http://www.htflux.com).....72

1. Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ο κύριος στόχος είναι η ανάλυση της επίδρασης των θερμογεφυρών στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων, καθώς και η κατασκευή ενός καταλόγου με τις συνηθέστερες θερμογέφυρες που θα συναντήσει ένας μηχανικός σε περιοχές της νότιας Ευρώπης.

Η εργασία χωρίζεται, λοιπόν, σε δύο κύρια μέρη, ένα θεωρητικό κομμάτι και ένα πρακτικό. Όσον αφορά στο πρώτο, αποτελείται, αρχικά, από κάποια γενικά στοιχεία για τα Παθητικά Κτίρια και στη συνέχεια αναλύεται το κομμάτι των θερμογεφυρών, το οποίο περιλαμβάνει τόσο γενικά στοιχεία και νομοθεσίες, όσο και ορισμένες ειδικές περιπτώσεις που μπορεί να συναντήσει ένας μηχανικός. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, επιλέχθηκε το λογισμικό HTflux για την προσομοίωση και την επίλυση κάποιων από τις συνηθέστερες θερμογέφυρες και κατασκευάστηκε ένας κατάλογος θερμογεφυρών, τον οποίο μπορεί ο καθένας να χρησιμοποιήσει και να λάβει απευθείας ορισμένα δεδομένα που θα τον βοηθήσουν στην κατασκευή ή την αναδόμηση κτιρίων σύμφωνα με τα πρότυπα του Παθητικού.

Τέλος, η εργασία περιλαμβάνει αρκετά στοιχεία που μπορούν να βοηθήσουν οποιονδήποτε μηχανικό να κατανοήσει τις βασικές αρχές των Παθητικών Κτιρίων και τις συνέπειες των θερμογεφυρών. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί πως δεν είναι επαρκές για να καλύψει όλες τις πιθανές θερμογέφυρες που μπορεί να συναντήσει ένας μηχανικός κατά την κατασκευή και την αναδόμηση ενός κτιρίου.

2. Abstract

The main goal of this thesis is to analyze the effects of thermal bridges in the energy efficiency upgrade of the buildings, as well as the making of a catalogue containing the most common thermal bridges an engineer can encounter while building in southern Europe.

The thesis is divided into two main parts, one theoretical and a hands-on experience. As fast as the former is concerned, it consists, at first, of some general data for the Passive Houses and then the analysis of thermal bridges follows, which contains both some general data and legislations, as well as some special cases of bridges an engineer can come across. Regarding the practical part of the thesis, HTflux software has been selected in order to simulate and solve the thermal bridges problems and a catalogue containing some basic thermal bridges was constructed, which can be easily used by anyone and get back some information and data that will help the engineer build or reconstruct buildings according to the Passive House standards.

Finally, the thesis contains enough data which can help an engineer understand the basic principles of the Passive Houses and the effects of thermal bridges in buildings. However, it should be noted that it does not cover all the possible thermal bridges one can encounter during construction of buildings.

3. Εισαγωγή

Στις μέρες μας οι ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων αυξάνονται συνεχώς, ενώ τα μέσα που μπορούν να βοηθήσουν στην κάλυψη τους είναι περιορισμένα. Είναι γεγονός, λοιπόν, πως θα πρέπει ως μηχανικοί να αναζητήσουμε λύσεις, ώστε να αντιμετωπίσουμε αυτό το πρόβλημα.

Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας έχει σοβαρές επιπτώσεις τόσο προς το περιβάλλον όσο και προς τους φυσικούς πόρους και την ποιότητα της ζωής. Αυτό, σημαίνει πως θα πρέπει να γίνει η αρχή για την αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων ενέργειας και να τεθεί ως βασική προτεραιότητα η εξοικονόμηση ενέργειας. Για παράδειγμα, με τις αυξημένες θερμοκρασίες που επικρατούν λόγω του φαινόμενου του θερμοκηπίου εκτός από την θέρμανση των κτιρίων που ήταν μέχρι πρόσφατα το ζητούμενο έχει προκύψει και πρόβλημα με την ψύξη τους κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Έτσι, γίνεται λόγος για ενεργή ψύξη με τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών, αφού τους θερινούς μήνες τις νύχτες δεν επιτυγχάνονται τόσο χαμηλές θερμοκρασίες έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ψύξη μέσω των παραθύρων.

Στην Ελλάδα, τα κτίρια, τόσο τα οικιακά όσο και τα τριτογενή, συμμετέχουν σε εξαιρετικά μεγάλο ποσοστό στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που αγγίζει και το 60%. Αυτό σημαίνει πως συμμετέχουν, επίσης, στις εκπομπές ρύπων, κάτι που το καθιστά πρόβλημα προς αντιμετώπιση. Γενικά, λόγω του γενικού κτισίματος των κτιρίων στη χώρα υπάρχουν αρκετές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, αφού περίπου 7 στα 10 κτίρια στην Ελλάδα δεν είναι θερμομονωμένα, ενώ, επίσης, είναι φτωχά σε αεροστεγανότητα και έχουν χαμηλής ποιότητας κουφώματα. Σαφέστερα, με την αναδόμηση κτιρίων σύμφωνα με τα πρότυπα των Παθητικών, δηλαδή σωστά θερμομονωμένων, με χρήση των κατάλληλων κουφωμάτων και συστημάτων αερισμού και σωστής σκίασης.

Επομένως, είναι εξαιρετικά σημαντικό εν καιρό οι μηχανικοί και οι αρχιτέκτονες κατά τον σχεδιασμό των κτιρίων προς κατασκευή να λαμβάνουν υπόψη όλους τους καιρικούς παράγοντες και στην Ελλάδα ιδιαίτερα τον παράγοντα ήλιο μιας και η ηλιακή ενέργεια είναι αστείρευτη και στη χώρα μας επικρατεί κατά τους περισσότερους μήνες του χρόνου ηλιοφάνεια, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη εκμετάλλευσής του.

4. Θεωρητικό υπόβαθρο

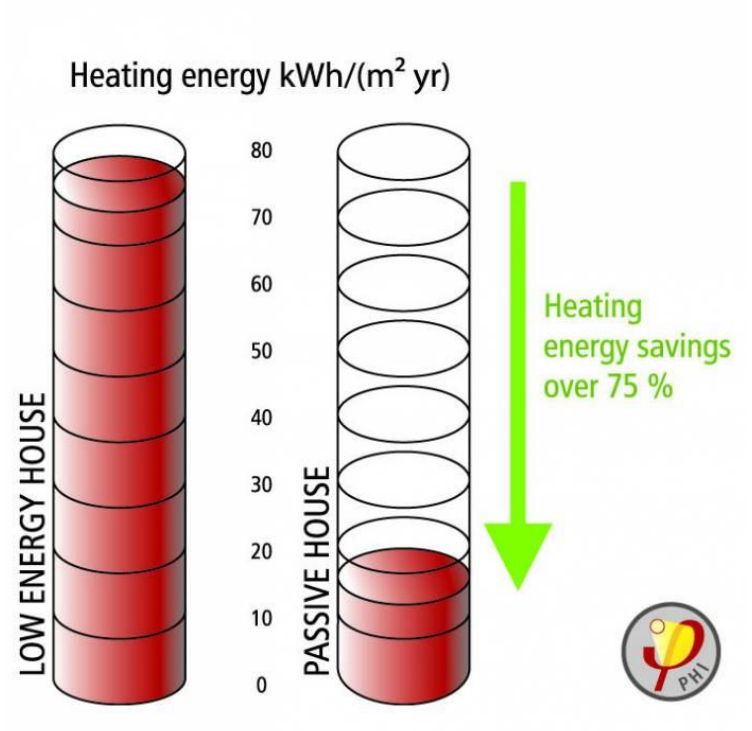
4.1 Το Παθητικό Κτίριο

Ορισμός : Το παθητικό κτίριο είναι ένα κτίριο στο οποίο η εσωτερική θερμική άνεση, όπως αυτή ορίζεται στο ISO 7730, εξασφαλίζεται αποκλειστικά από προθέρμανση ή πρόψυξη της ποσότητας νωπού αέρα, η οποία απαιτείται - σύμφωνα με το DIN 1946 - για την σωστή εσωτερική ατμόσφαιρα, χωρίς τη χρήση επιπλέον ανακυκλοφορίας του αέρα.

4.1.1 Πλεονεκτήματα

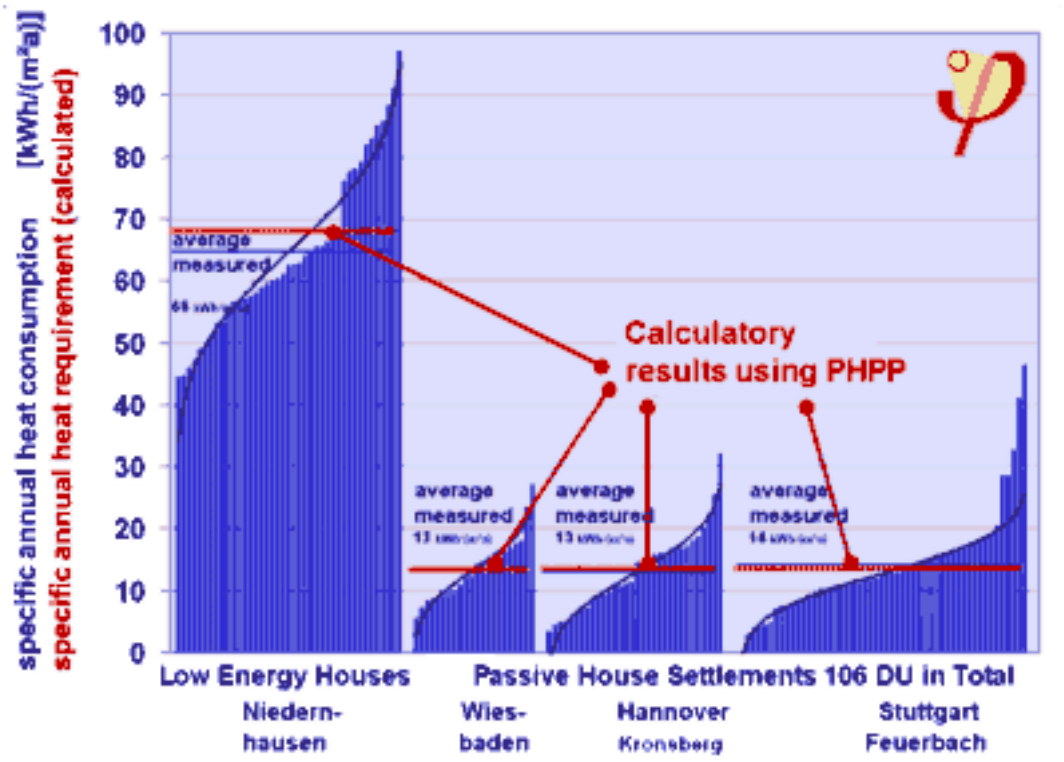
Μέσω της κατασκευής παθητικών κτιρίων μπορούμε να αλλάξουμε όλη τη λογική στις κατασκευές του σήμερα. Πιο συγκεκριμένα, το παθητικό κτίριο έχει πάρα πολλά πλεονεκτήματα έναντι των απλών κτιρίων και δεν είναι, όπως πολλοί θεωρούν, απλά ένα κτίριο χαμηλής ενέργειας.

Αρχικά, με το παθητικό κτίριο μπορούμε να πετύχουμε μεγάλη **ενεργειακή αποδοτικότητα.** Σαφέστερα, μια τέτοια κατασκευή μας βοηθά να εξασφαλίσουμε ότι η θέρμανση, αλλά και η ψύξη του κτιρίου μας θα διασφαλίζεται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου ανεξάρτητα από το κλίμα ή την περιοχή με ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις. Αναφορικά με τη θέρμανση, τα κτίρια θερμαίνονται παθητικά, δηλαδή χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια, τις εσωτερικές πηγές ενέργειας και την ανάκτηση θερμότητας με τέτοιο τρόπο που οι γνωστές σε όλους μας συσκευές θέρμανσης δεν είναι απαραίτητες. Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, ο σωστός σχεδιασμός σκίασης και νυχτερινού φυσικού αερισμού διατηρούν το κτίριό μας δροσερό.



Εικόνα 1- Ενεργειακή αποδοτικότητα παθητικού κτιρίου(Πηγή: IPHA)

Ένα εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα των παθητικών κτιρίων έναντι των συμβατικών είναι η **βιωσιμότητα** τους, η οποία όπως έχει αποδειχθεί είναι ιδιαίτερα μακροχρόνια. Τα παθητικά κτίρια μας επιτρέπουν έως και 90% οικονομία σε ενέργεια που χρησιμοποιείται για θέρμανση και ψύξη σε σχέση με τα συμβατικά κτίρια και έως 75% σε σχέση με νεόδμητα κτίρια. Αυτό, πρακτικά σημαίνει πως ένα παθητικό κτίριο καταναλώνει λιγότερο από 1,5 κυβικό μέτρο φυσικού αερίου για τη θέρμανση ενός τετραγωνικού μέτρου κατοικήσιμου χώρου, σημαντικά λιγότερο ποσό από τα συμβατικά κτίρια. Παρόμοια εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται και σε θερμότερες περιοχές που έχουν περισσότερη ανάγκη ψύξης.



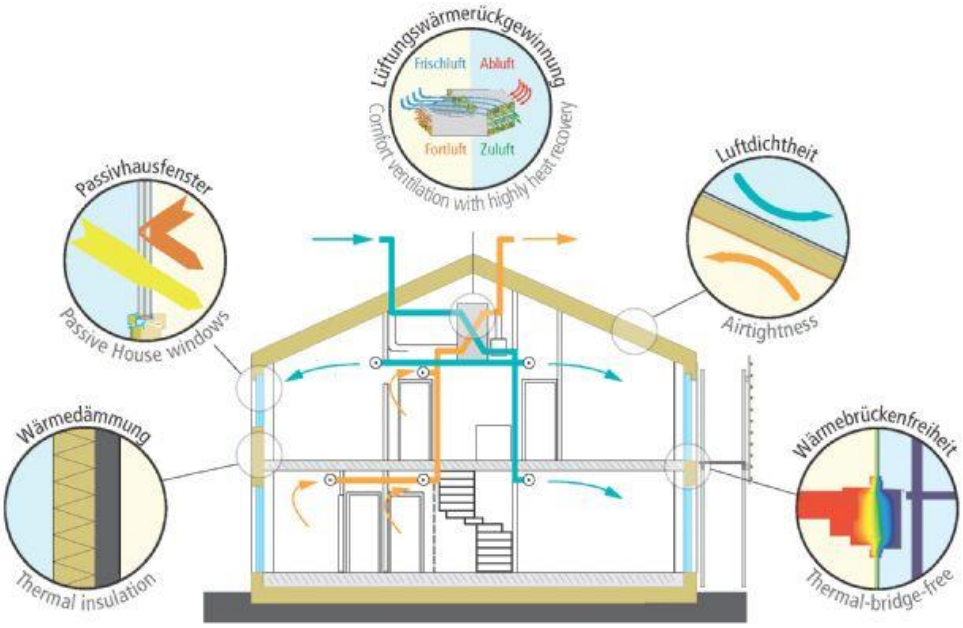
Εικόνα 2- Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης παθητικών με συμβατικά κτίρια(Πηγή:IPHA)

Τα παθητικά κτίρια μας επιτρέπουν να έχουμε και αυξημένη **θερμική άνεση** στο χώρο μας. Αυτό συμβαίνει γιατί για να πετύχουμε αυτή την άνεση χρειαζόμαστε ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις. Ο συνδυασμός του μέγιστου επιπέδου άνεσης ακόμα και στους πιο θερμούς ή ψυχρούς μήνες και του λογικού κόστους κατασκευής καθιστούν το παθητικό κτίριο την ιδανική επιλογή.

4.1.2 Βασικές αρχές παθητικού κτιρίου

Το παθητικό κτίριο έχει την ικανότητα να διατηρεί το εσωτερικό του στις επιθυμητές συνθήκες, ώστε να επιτυγχάνει τα μέγιστα ενεργειακά κέρδη. Αυτή η ικανότητά του εξασφαλίζεται χάρη σε πέντε βασικές αρχές.

1. **Υψηλό επίπεδο θερμομόνωσης** : Ένα σωστά μονωμένο κτιριακό κέλυφος, κατά τη διάρκεια του χειμώνα διατηρεί τη ζέστη μέσα στο κτίριο, ενώ το καλοκαίρι την εμποδίζει να εισέλθει.
2. **Αερισμός με Ανάκτηση Ενέργειας** : Τα συστήματα αερισμού των Παθητικών κτιρίων παρέχουν καθαρό αέρα, απαλλαγμένο από γύρη και σκόνη, με μέγιστη ενεργειακή απόδοση μέσο της ανάκτησης θερμότητας και με έλεγχο της υγρασίας.
3. **Σωστά σχεδιασμένα, μονωμένα και τοποθετημένα κουφώματα** : Συμμετέχουν στη βέλτιστη αξιοποίηση των ηλιακών κερδών τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι
4. **Αεροστεγανότητα κτιριακού κελύφους** : Τα παθητικά κτίρια είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να αποφεύγονται οι διαρροές αέρα στο κτιριακό κέλυφος με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση και να εμποδίζεται η εμφάνιση ρευμάτων αέρα και φθορών από την υγρασία.
5. **Θερμογέφυρες** : Η ελαχιστοποίηση θερμογεφυρών και ασθενών σημείων στο κτιριακό κέλυφος, συνεισφέρει στη δημιουργία ευχάριστης και σταθερής θερμοκρασίας, ενώ εξαλείφει τις φθορές από την υγρασία και αυξάνει την ενεργειακή απόδοση.



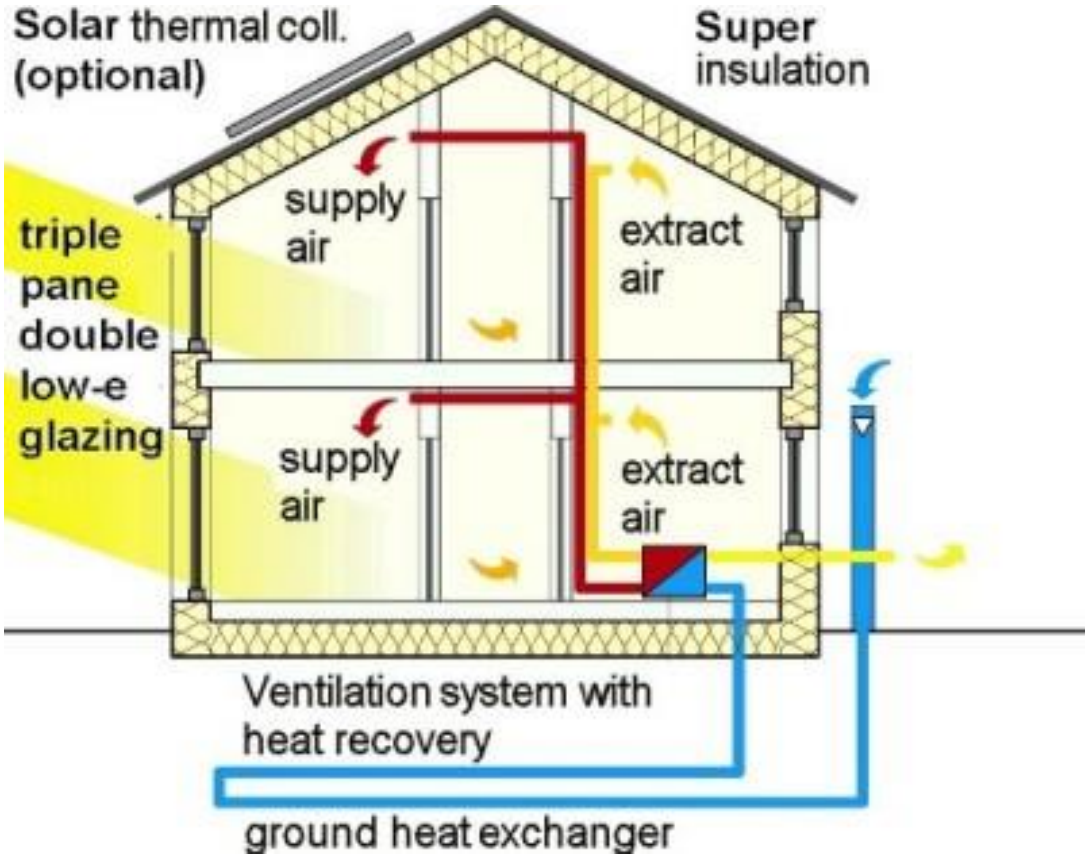
Εικόνα 3- Βασικές αρχές παθητικού κτιρίου(Πηγή: http://www.passipedia.org)

4.1.3 Τρόπος λειτουργείας παθητικού κτιρίου

Αφού αναπτύχθηκαν τα μοναδικά προνόμια που μας προσφέρει η κατασκευή ενός παθητικού κτιρίου είναι σημαντικό να αναφέρουμε και ορισμένα στοιχεία αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας του.

Το Παθητικό κτίριο είναι παγκοσμίως το κυρίαρχό πρότυπο για μια ενεργειακά αποδοτική κατασκευή, αφού απαιτεί ένα ελάχιστο ποσοστό από την ενέργεια που απαιτούν τα συμβατικά κτίρια για να καλύψουν τις αντίστοιχες ανάγκες. Αυτό στις δύσκολες οικονομικές συνθήκες που επικρατούν αυτή τη χρονική περίοδο στη μεσόγειο σημαίνει και λιγότερα έξοδα για την κάλυψη αυτών των αναγκών κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό.

Είναι γεγονός πως ένα Παθητικό Κτίριο χρειάζεται λιγότερο από 15 kWh/(m^2yr) για θέρμανση ή ψύξη και ζεστό νερό χρήσης. Επιπλέον, το θερμικό/ψυκτικό φορτίο είναι περιορισμένο με μέγιστο τα 10 W/m^2 ενώ η συνολική πρωτεύουσα ενέργεια δεν ξεπερνάει τις 120 kWh/m^2 το χρόνο. Ακόμα αξίζει να σημειωθεί πως στα Παθητικά Κτίρια πρέπει να εξασφαλίζεται αεροστεγανότητα με τις εναλλαγές του αέρα να είναι περιορισμένες στις n_{50} =0,6/h.



Εικόνα 4- Παθητικό Κτίριο(Πηγή: http://www.passipedia.org)

4.1.4 Ενεργειακά πρότυπα

Το πρότυπο παθητικού κτιρίου χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις κλιματικές ζώνες του πλανήτη και ισχύουν για όλα τα κτίρια κατοικιών και τα περισσότερα κτίρια γραφείων και εκπαιδευτικών. Αυτές οι κατηγορίες περιγράφονται ως εξής :

- **Πρότυπο Passive House (νέο παθητικό κτίριο)**

Όπως προαναφέρθηκε το υψηλό επίπεδο θερμικής άνεσης όπως και η ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση χαρακτηρίζουν τα Παθητικά Κτίρια. Η βέλτιστη οικονομική απόδοση, όμως, επιτυγχάνεται στην περίπτωση των νεόδμητων κτιρίων. Οι τρεις βασικές του κατηγορίες Classic, Plus ή Premium παθητικού κτηρίου μπορούν να επιτευχθούν με βάση τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Εικόνα 5- Πρότυπο Passive House(Πηγή: ΕΙΠΑΚ)

Παρακάτω παρουσιάζονται τα κριτήρια και τα εναλλακτικά κριτήρια Passive House τα οποία εφαρμόζονται παγκοσμίως.

			Κριτήρια[1]			Εναλλακτικά Κριτήρια[2]
Θέρμανση						
Απαίτηση Θέρμανσης	[kWh/(m²a)]	≤	15			-
Θερμικό φορτίο[3]	[W/m²]	≤	-			10
Ψύξη						
Απαίτηση Ψύξης+Αφύγρανσης	[kWh/(m²a)]	≤	15 + συνεισφορά αφύγρανσης[4]			μεταβλητή οριακή τιμή[5]
Ψυκτικό Φορτίο[6]	[W/m²]	≤	-			10
Αεροστεγανότητα						
Αποτέλεσμα ελέγχου συμπίεσης n_{50}	[1/h]	≤	0.6			
Πρωτογενής Ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές (ΠΕΑ)[7]			Classic	Plus	Premium	
Απαίτηση ΠΕΑ[8]	[kWh/(m²a)]	≤	60	45	30	±15 kWh/(m²a) απόκλιση από τα κριτήρια...
Παραγωγή ενέργειας ΑΠΕ[9] (σε σχέση με το προβαλλόμενο κτιριακό αποτύπωμα)	[kWh/(m²a)]	≥	-	60	120	...με αντιστάθμιση της παραπάνω απόκλισης από διαφορετική ποσότητα παραγωγής

Εικόνα 6- Κριτήρια Passive House(Πηγή: ΕΙΠΑΚ)

- **Πρότυπο EnerPHit**

Συχνά είναι δύσκολο να επιτευχθεί το πρότυπο Passive House σε υφιστάμενα κτίρια. Για να γίνει, λοιπόν, η αναβάθμιση αυτών των κτιρίων χρησιμοποιείται το πρότυπο EnerPHit, το οποίο χρησιμοποιεί στοιχεία Παθητικού Κτιρίου για όλα τα δομικά στοιχεία και βελτιώνει σημαντικά τόσο τη θερμική άνεση του κτιρίου όσο και την οικονομική αποδοτικότητα και τις ενεργειακές απαιτήσεις. Παρά την ελαφρώς υψηλότερη απαίτηση σε ενέργεια προσφέρει εξίσου σημαντικά πλεονεκτήματα με το πρότυπο Passive House. Οι κατηγορίες του EnerPHit Classic, Plus ή Premium καθορίζονται με βάση τη πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ΠΕΑ) και την παραγωγή από ΑΠΕ.

Εικόνα 7- Πρότυπο EnerPHit(Πηγή: ΕΙΠΑΚ)

Για να επιτευχθεί το πρότυπο EnerPHit αρκεί να πληρούνται τα κριτήρια μίας εκ των δύο μεθόδων, είτε της μεθόδου των στοιχείων, είτε της μεθόδου ενεργειακής απαίτησης, καθώς και κάποια γενικά κριτήρια που φαίνονται παρακάτω.

Κλιματική Ζώνη σύμφωνα με το PHPP	Διαφανές Κέλυφος[1] προς...				Κουφώματα (συμπεριλαμβάνονται εξώθυρες)					Αερισμός	
	...έδαφος	...εξωτερικό αέρα			Συνολικά[4]			Υαλοπίνακας[5]	Ηλιακό φορτίο[6]		
	Μόνωση	Εξωτερική μόνωση	Εσωτερική μόνωση[2]	Εξωτερική βαφή[3]	Max. Συντελεστής θερμοπερατότητας ($U_{DW,installed}$)			Συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών (g-value)	Max. ειδικό ηλιακό φορτίο κατά την περίοδο ψύξης	Min. Ποσοστό ανάκτησης θερμότητας[7]	Min. Ποσοστό ανάκτησης υγρασίας[8]
	Max. Συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value)			Ψυχρές βαφές							
	[W/(m²K)]			-	[W/(m²K)]			-	[kWh/m²a]	%	
Αρκτική	Υπολογιζόμενη στο PHPP με βάση τις συγκεκριμένες βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης του έργου προς το έδαφος.	0.09	0.25	-	0.45	0.50	0.60	U_g - g*0.7 ≤ 0	100	80%	-
Ψυχρή		0.12	0.30	-	0.65	0.70	0.80	U_g - g*1.0 ≤ 0		80%	-
Ψυχρή-εύκρατη		0.15	0.35	-	0.85	1.00	1.10	U_g - g*1.6 ≤ 0		75%	-
Θερμή-εύκρατη		0.30	0.50	-	1.05	1.10	1.20	U_g - g*2.8 ≤ -1		75%	-
Θερμή		0.50	0.75	-	1.25	1.30	1.40	-		-	-
Ζεστή		0.50	0.75	Yes	1.25	1.30	1.40	-		-	60 % (υγρό κλίμα)
Πολύ ζεστή		0.25	0.45	Yes	1.05	1.10	1.20	-		-	60 % (υγρό κλίμα)

Εικόνα 8- Κριτήρια μεθόδου στοιχείων(Πηγή: ΕΙΠΑΚ)

Κλιματική Ζώνη σύμφωνα με το PHPP	Θέρμανση	Ψύξη
	Max. Απαίτηση θέρμανσης	Max. Απαίτηση ψύξης + αφύγρανσης
	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]
Αρκτική	35	ίση με την απαίτηση Passive House
Ψυχρή	30	
Ψυχρή-εύκρατη	25	
Θερμή-εύκρατη	20	
Θερμή	15	
Ζεστή	-	
Πολύ ζεστή	-	

Εικόνα 9- Κριτήρια μεθόδου απαίτησης θέρμανσης(Πηγή: ΕΙΠΑΚ)

			Κριτήρια[1]			Εναλλακτικά Κριτήρια[2]
Αεροστεγανότητα						
Αποτέλεσμα ελέγχου συμπίεσης n_{50}	[1/h]	≤	1.0			
Πρωτογενής Ενέργεια από ΑΠΕ (ΠΕΑ)[3]			Classic	Plus	Premium	
Απαίτηση ΠΕΑ[4]	[kWh/(m²a)]	≤	$60 + (Q_H - Q_{H,PH}) \cdot f_{\varnothing PER,H} + (Q_C - Q_{C,PH}) \cdot 1/2$	$45 + (Q_H - Q_{H,PH}) + (Q_C - Q_{C,PH}) \cdot 1/2$	$30 + (Q_H - Q_{H,PH}) + (Q_C - Q_{C,PH}) \cdot 1/2$	±15 kWh/(m²a) απόκλιση από τα κριτήρια...
Παραγωγή ενέργειας ΑΠΕ[5] (σε σχέση με το προβαλλόμενο κτιριακό αποτύπωμα) projected building footprint)	[kWh/(m²a)]	≥	-	60	120	...με αντιστάθμιση της παραπάνω απόκλισης από διαφορετική ποσότητα παραγωγής

Εικόνα 10- Γενικά κριτήρια EnerPHit(Πηγή: ΕΙΠΑΚ)

- **Πρότυπο Κτιρίου Χαμηλής Ενέργειας PHI**

Το πρότυπο PHI Low Energy Building είναι το πλέον κατάλληλο πρότυπο για νέες κατασκευές, οι οποίες δεν καθίσταται δυνατό να συμμορφωθούν πλήρως με τα κριτήρια του Passive House.

Εικόνα 11-Πρότυπο Low Energy Building(Πηγή: ΕΙΠΑΚ)

Αντίστοιχα, παρουσιάζονται παρακάτω τα κριτήρια που πρέπει να πληρούνται, ώστε να εφαρμοστεί το πρότυπο.

			Κριτήρια[1]	Εναλλακτικά Κριτήρια[2]
Θέρμανση				
Απαίτηση θέρμανσης	[kWh/(m²a)]	≤	30	
Ψύξη				
Απαίτηση ψύξης+αφύγρανσης	[kWh/(m²a)]	≤	Passive House requirement[3] + 15	
Αεροστεγανότητα				
Αποτέλεσμα ελέγχου συμπίεσης n_{50}	[1/h]	≤	1.0	
Πρωτογενής Ενέργεια από ΑΠΕ (ΠΕΑ)[4]				
Απαίτηση ΠΕΑ[5]	[kWh/(m²a)]	≤	75	Επιτρέπεται η υπέρβαση των κριτηρίων μέχρι +15 kWh/(m²a) ...
Παραγωγή ενέργειας ΑΠΕ[6] (σε σχέση με το προβαλλόμενο κτιριακό αποτύπωμα) projected building footprint)	[kWh/(m²a)]	≥	-	...με αντιστάθμιση της παραπάνω απόκλισης από πρόσθετη ποσότητα παραγωγής

Εικόνα 12- Κριτήρια PHI Low Energy Building(Πηγή: ΕΙΠΑΚ)

4.2 Ευρωπαϊκή Στρατηγική

Οδηγία 2010/31 ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων

Η οδηγία αυτή εκδόθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο στις 16 Μαΐου του 2010 ως αναδιατύπωση της οδηγίας 2002/91/ΕΚ της 16ης Δεκεμβρίου 2002 δεδομένου των τροποποιήσεων της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Η παραπάνω οδηγία προωθεί τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές κλιματολογικές και τις τοπικές συνθήκες καθώς και τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων και τη σχέση κόστους-οφέλους.

Σύμφωνα, λοιπόν, με την παρούσα οδηγία θεσπίζονται απαιτήσεις που αφορούν:

α) Το κοινό γενικό πλαίσιο για τη μεθοδολογία υπολογισμού της συνολικής ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων

β) Την εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση νεόδμητων κτιρίων

γ) Την εφαρμογή ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση:

   I. υφιστάμενων κτιρίων, τα οποία υποβάλλονται σε μεγάλης κλίμακας ανακαίνιση

   II. δομικών στοιχείων που αποτελούν τμήμα του κελύφους του κτιρίου και έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ενεργειακή απόδοση του κελύφους, όταν τοποθετούνται εκ των υστέρων ή αντικαθίστανται

   III. τεχνικών συστημάτων κτιρίων, σε περίπτωση εγκατάστασης νέου, αντικατάστασης ή αναβάθμισης

δ) Τα εθνικά σχέδια αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας

ε) Την ενεργειακή πιστοποίηση κτιρίων ή κτιριακών μονάδων

στ) Την τακτική επιθεώρηση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού κτιρίων

ζ) Τα ανεξάρτητα συστήματα ελέγχου για τα πιστοποιητικά ενεργειακών επιδόσεων και τις εκθέσεις επιθεώρησης

Εδώ θα πρέπει να επισημάνουμε πως οι απαιτήσεις της οδηγίας αποτελούν τις ελάχιστες απαιτήσεις και δεν εμποδίζουν τα κράτη μέλη της ΕΕ να θεσπίσουν αυστηρότερα μέτρα.

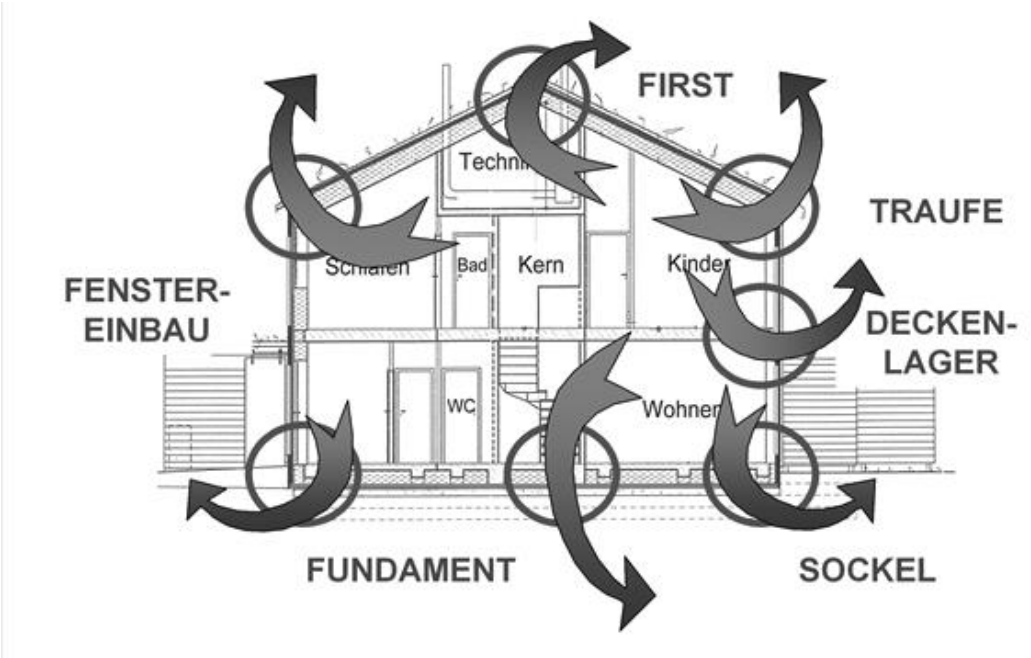
5. Θερμογέφυρες

5.1 Ορισμός θερμογεφυρών και συνέπειες

Η θερμότητα μεταφέρεται από έναν θερμαινόμενο χώρο προς το εξωτερικό του. Ακολουθώντας αυτό το μονοπάτι συναντάει τη μικρότερη θερμική αντίσταση κατά τη διάρκεια αυτής της μεταφοράς. Ως θερμική γέφυρα ή αλλιώς θερμογέφυρα χαρακτηρίζεται μία επιμέρους περιοχή του εξωτερικού κελύφους ενός κτηρίου, όπου η ροή θερμότητας είναι διαφορετική - συνήθως αυξημένη – σε σύγκριση με τις γειτονικές περιοχές του περιβλήματος. Για να συμβεί, βέβαια, αυτό θα πρέπει να επικρατούν διαφορετικές θερμοκρασιακές συνθήκες ανάμεσα στον εσωτερικό χώρο και το εξωτερικό περιβάλλον. Τα πιο συνήθη αίτια δημιουργίας θερμογεφυρών σε μια κατασκευή είναι ορισμένες αμέλειες ή ακόμα και κακοτεχνίες κατά τη διάρκεια της κατασκευής, όπως και φθορές, οι οποίες οφείλονται στον χρόνο.

Οι θερμογέφυρες, λοιπόν, αποτελούν ένα «αγκάθι» για την ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου, αφού επηρεάζουν αρνητικά τη θερμική άνεση του χώρου και επιβαρύνουν τη θερμική του προστασία. Επιπλέον, η ύπαρξη θερμογεφυρών ευνοεί τη διαδικασία συμπύκνωσης υδρατμών, η οποία με τη σειρά της συνιστά στην ανάπτυξη μούχλας και μικροοργανισμών στην επιφάνεια των δομικών στοιχείων.

Στην ουσία, λοιπόν, για έναν μηχανικό που ασχολείται με την επίλυση τέτοιων προβλημάτων θερμικών ροών μια θερμογέφυρα είναι μια διόρθωση στις θερμικές απώλειες που υπολογίζει από την τοιχοποιία.

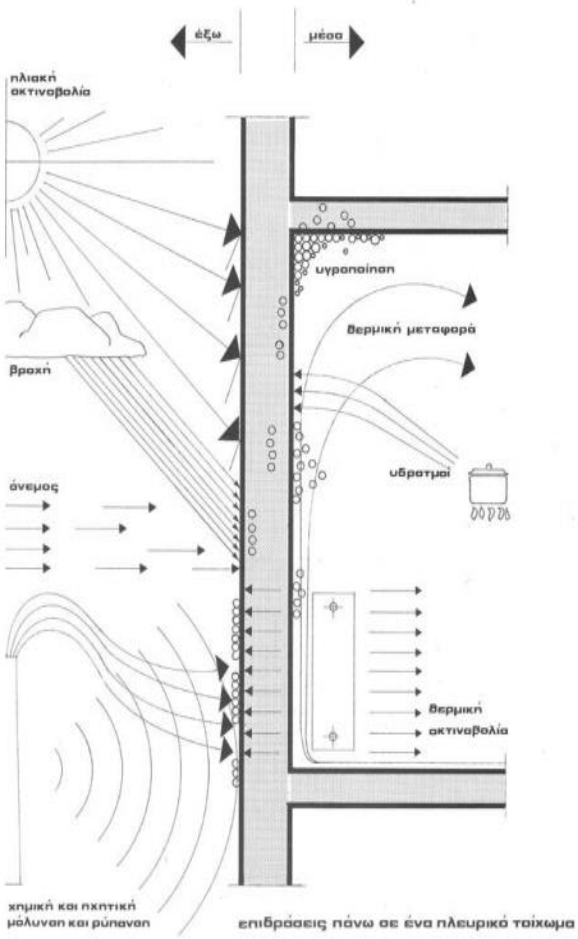


Εικόνα 13- Συνήθης Θερμογέφυρες σε ένα κτίριο(Πηγή:Akkp35)

Οι συνέπειες, λοιπόν, των θερμογεφυρών είναι οι εξής :

- Διαφοροποιημένες, συνήθως μειωμένες, θερμοκρασίες των εσωτερικών επιφανειών του κτηρίου - στην χειρότερη των περιπτώσεων αυτό οδηγεί στην εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου και την ανάπτυξη μούχλας.

- Διαφοροποιημένες, συνήθως αυξημένες, θερμικές απώλειες.



Εικόνα 14-Επιδράσεις σε ένα πλευρικό τοίχωμα(Πηγή:http://www.monodromiki.gr)

Και οι δύο συνέπειες μπορούν να αποφευχθούν στα Παθητικά Κτίρια. Εκεί, οι θερμοκρασίες όλων των εσωτερικών επιφανειών είναι αρκετά υψηλές, ώστε να μην μπορούν να επιτευχθούν επικίνδυνα επίπεδα υγρασίας, ενώ οι θερμικές απώλειες γίνονται μηδαμινές. Εδώ αξίζει να αναφερθεί πως οι θερμογέφυρες χαρακτηρίζονται από μία τιμή που ονομάζεται τιμή Ψ. Πρόκειται για ένα μέτρο της απώλειας θερμότητας ανά βαθμό Kelvin για κάθε ένα μέτρο της ένωσης (Μονάδες: W/(mK)). Έχοντας θέσει ως ανώτατο όριο στην τιμή του Ψ για τους υπολογισμούς των θερμογεφυρών το Ψ = 0.01 W/(mK), οι λεπτομέρειες, στις οποίες η τιμή της θερμογέφυρας είναι μικρότερη ή ίση του ορίου είναι επαρκείς για να ενταχθούν σε ένα «σχέδιο ελεύθερο από θερμογέφυρες» σύμφωνα με το οποίο οι κατασκευαστές δεν θα χρειάζεται πλέον να ανησυχούν για τα «κρύα» σημεία του κτιρίου πια.

Για την Ελλάδα, η νομοθεσία που προβλέπει τη λειτουργία των θερμογεφυρών στο κτίριο ορίζεται στην Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, που περιλαμβάνεται στον Κανονισμό Ενεργειακής απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) και αναθεωρήθηκε το 2017.

5.2 Κατηγορίες Θερμογεφυρών

Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις βασικές κατηγορίες θερμογεφυρών ως προς τις αιτίες δημιουργίας τους και ακόμα δύο ανάλογα με τη μορφή μιας διατομής.

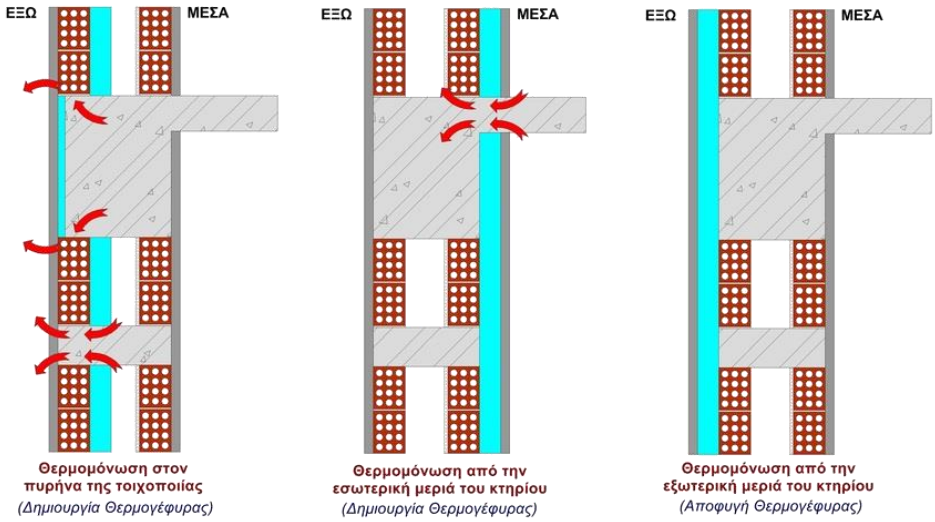
Όσον αφορά στην πρώτη επιλογή κατηγοριοποίησης έχουμε τους εξής τύπους :

- Κατασκευαστικές θερμογέφυρες
- Γεωμετρικές θερμογέφυρες
- Συνδυασμός των δύο παραπάνω

Οι **Κατασκευαστικές θερμογέφυρες** είναι οι θερμογέφυρες οι οποίες συνήθως δημιουργούνται σε σημεία του κτιρίου όπου σταματάει να υπάρχει θερμομονωτικό υλικό, υπάρχει, δηλαδή, μια ασυνέχεια της θερμομόνωσης. Τέτοιου είδους θερμογέφυρες, συνήθως συναντώνται σε θέσεις ένωσης της τοιχοποιίας με τη θερμομόνωση εσωτερικά, αλλά και σε θέσεις ένωσης του τοιχώματος με θερμομόνωση εξωτερικά.

Αντίστοιχα, οι **Γεωμετρικές θερμογέφυρες** είναι εκείνες που συναντώνται στα σημεία του κτιρίου στα οποία υπάρχει μία σχηματική διαφοροποίηση του δομικού στοιχείου. Ένα αρκετά σύνηθες παράδειγμα μιας τέτοιας θερμογέφυρας είναι η περίπτωση κάθετης τομής δύο εξωτερικών δομικών στοιχείων με τη συνέχεια της θερμομόνωσης να μη διακόπτεται.

Είναι αρκετές, επίσης, οι περιπτώσεις που ένας μηχανικός θα βρει στον δρόμο του μία θερμογέφυρα που έχει προκύψει ως **συνδυασμός** των ανωτέρω, όπως για παράδειγμα συμβαίνει σε ένα γωνιακό υποστύλωμα θερμομονωμένο εξωτερικά, στο οποίο εφάπτονται δύο κάθετες μεταξύ τους τοιχοποιίες.



Εικόνα 15-Παράδειγμα δημιουργίας θερμογεφυρών(Πηγή:http://www.monodromiki.gr)

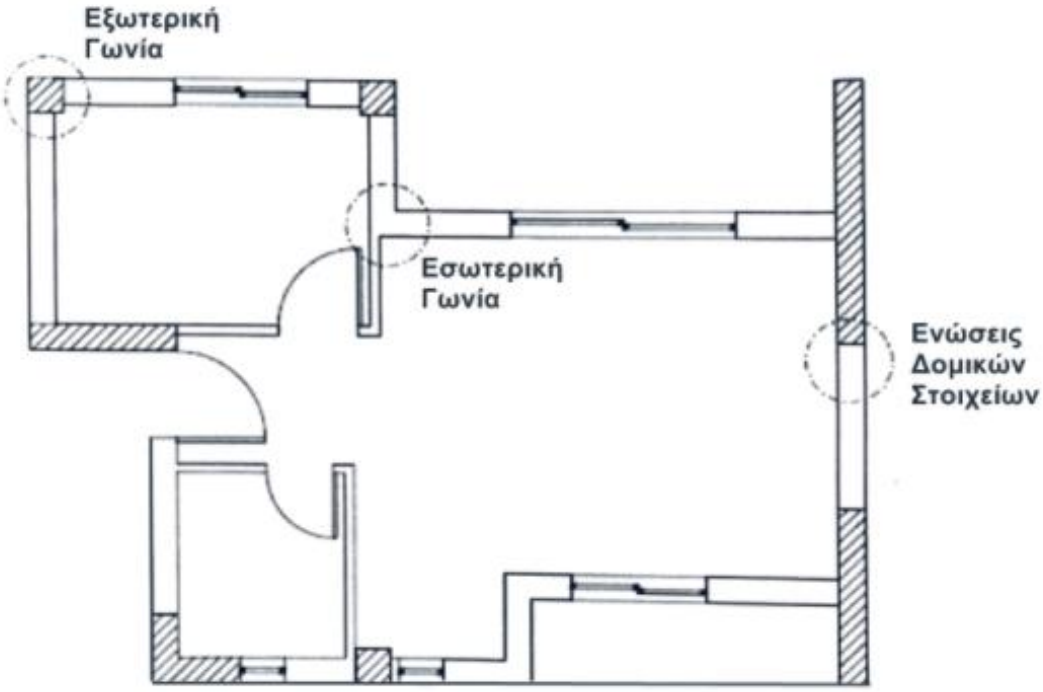
Αντίστοιχα, όσον αφορά στην δεύτερη επιλογή κατηγοριοποίησης οι θερμογέφυρες διαχωρίζονται ως :

- Γραμμικές θερμογέφυρες, και
- Σημειακές θερμογέφυρες.

Οι **Γραμμικές θερμογέφυρες**, εμφανίζονται κατά μήκος μιας επιφάνειας, στην οποία συνενώνονται διάφορα δομικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα συμβαίνει κατά την ένωση δαπέδου με τοίχο ή την ένωση δοκού με τοίχο.

Αντίθετα, οι **Σημειακές θερμογέφυρες** εμφανίζονται πάντοτε τοπικά σε ένα σημείο και δεν υπάρχει και η ομοιογενής ροή θερμότητας κατά μήκος μίας διεύθυνσης που υπάρχει στις γραμμικές.

Χρησιμοποιώντας τα σχέδια που έχει ο εκάστοτε μηχανικός στη διάθεσή του μπορεί να εντοπίσει και ενδεχόμενες θερμογέφυρες σε συγκεκριμένες θέσεις. Για παράδειγμα, κοιτώντας την κάτοψη ενός κτιρίου μπορούν να εντοπιστούν ορισμένες κατακόρυφες θερμογέφυρες σε α) εξωτερικές γωνίες του κτιρίου, β) εσωτερικές γωνίες του κτιρίου και γ) ενώσεις δομικών στοιχείων.



Εικόνα 16- Θέσεις εμφάνισης κατακόρυφων θερμογεφυρών(Πηγή:http://www.monodromiki.gr)

Αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπ' όψη τις τομές του κτιρίου ο μηχανικός μπορεί να εντοπίσει ορισμένες οριζόντιες θερμογέφυρες, όπως :

α) θερμογέφυρες δώματος ή οροφής σε προεξοχή,

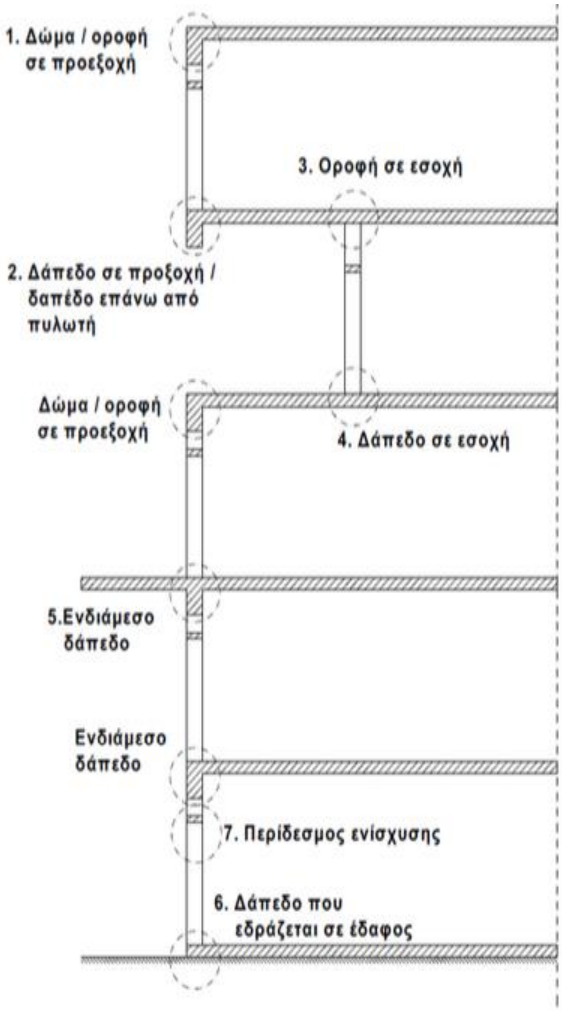
β) θερμογέφυρες δαπέδου σε εσοχή ή προεξοχή και επάνω από πυλωτή,

γ) θερμογέφυρες οροφής σε εσοχή,

δ) θερμογέφυρες ενδιάμεσου δαπέδου,

ε) θερμογέφυρες περιδέσμου ενίσχυσης και

στ) θερμογέφυρες δαπέδου που εδράζεται σε έδαφος.



Εικόνα 17- Θέσεις εμφάνισης οριζόντιων θερμογεφυρών(Πηγή:http://www.monodromiki.gr)

Τέλος, παρατηρούνται επίσης θερμογέφυρες στις περιοχές των κουφωμάτων. Αυτές μπορούν να βρεθούν τόσο στον λάμπα όσο και στο ανωκάσι και το κατωκάσι του κουφώματος και έχουν ως μήκος τις διαστάσεις των ανοιγμάτων.

5.3 Μέτρα αντιμετώπισης θερμογεφυρών

Για να μπορέσει ένας μηχανικός να αντιμετωπίσει το σύνηθες, αυτό, πρόβλημα μπορεί να ακολουθήσει δύο εξίσου αποτελεσματικές στρατηγικές. Αρχικά, σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να προνοήσει κατά τη μελέτη για την κατασκευή του κτιρίου και να

- **αποφύγει** τυχόν θερμογέφυρες στα σημεία εκείνα που γνωρίζει πως είναι επικίνδυνο να εμφανιστούν.

- Η εναλλακτική στρατηγική έχει να κάνει με την **ελαχιστοποίηση** των ήδη υπαρχόντων θερμογεφυρών. Έτσι, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό από την αγορά μπορεί να εξετάσει τις θερμικές ροές στα κρίσιμα σημεία και να με δικές του διορθώσεις, όπως για παράδειγμα την προσθήκη ενός στρώματος μόνωσης να μπορέσει να μειώσει ή ακόμα και να απαλείψει τον κίνδυνο.

5.4 Οδηγίες για ανακαίνιση

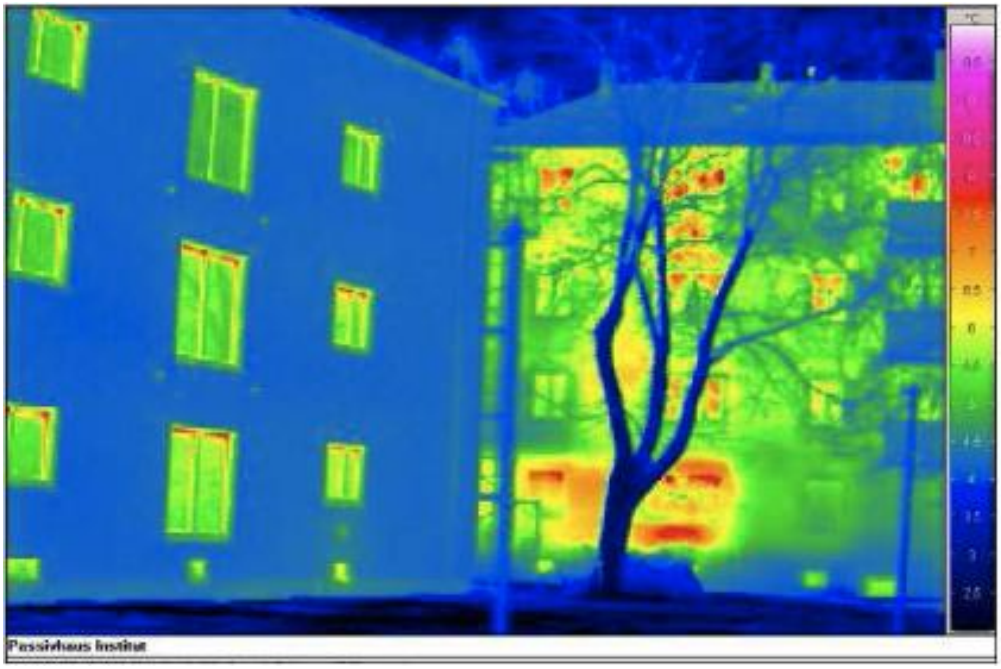
5.4.1 Εκσυγχρονισμός

Σε αντίθεση με τις κτιριακές αναμορφώσεις, που έχουμε συνηθίσει και που πρόκειται για προληπτικά μέτρα για επιδιόρθωση τυχόν ζημιών που θα δημιουργηθούν με τον εκσυγχρονισμό των κτιρίων οδηγούμαστε σε αναβάθμιση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να λάβουμε ορισμένα μέτρα τα οποία θα οδηγήσουν την κατασκευή μας σε υψηλότερη ενεργειακή αποδοτικότητα και άνεση.

5.4.2 Τα χαρακτηριστικά κλειδιά του Παθητικού Κτιρίου

Πολλές φορές ορισμένες από τις βασικές αρχές του Παθητικού Κτιρίου δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστούν σε υπάρχοντα κτίρια. Αναφορικά με τα ανακαινιζόμενα κτίρια υπάρχουν κάποια βασικά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που οδηγούν σε παθητικά ή χαμηλής ενεργειακής απαίτησης κτίρια, τα οποία έχουν ως εξής:

- 18-30 εκ. θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων, εξάλειψη των θερμογεφυρών
- 25-40 εκ. θερμομόνωσης οροφής
- Θερμομόνωση δαπέδων, θεμελίων, υπογείων ή μη θερμαινόμενων δωματίων
- Εξάλειψη θερμογεφυρών
- Τριπλοί υαλοπίνακες με κουφώματα υψηλής ποιότητας
- Αεροστεγανό κτιριακό κέλυφος
- Εγκατάσταση συστήματος εξαερισμού με αποδοτική ανάκτηση θερμότητας
- Θερμομόνωση σωληνώσεων ζεστού νερού, αναβάθμιση υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης
- Εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακοί συλλέκτες, βιομάζα)

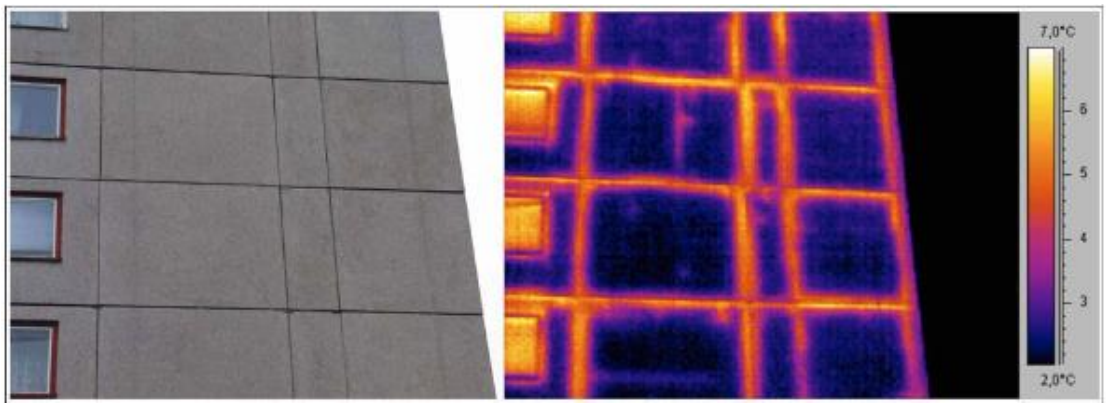


Εικόνα 18- Σύγκριση ενεργειακής διαφοράς ανακαινισμένου κτιρίου σύμφωνα με τις αρχές παθητικού κτιρίου (αριστερά) με συμβατικό κτίριο (δεξιά)(Πηγή : PHI)

5.4.3 Συνηθέστερα προβλήματα και λύσεις

Όπως είναι φυσικό στα υπάρχοντα κτίρια είναι σύνηθες να προκύπτουν προβλήματα που αλλοιώνουν την άνεση του κτιρίου μας. Αυτά τα προβλήματα είναι εύκολο να αντιμετωπιστούν εάν ακολουθηθούν τα μέτρα ανακαίνισης σύμφωνα με τα παθητικά κτίρια. Παρακάτω σημειώνονται τα συνηθέστερα προβλήματα στις κατασκευές μας καθώς και οι λύσεις τους.

Αρχικά, ένα από τα πιο συχνοεμφανιζόμενα προβλήματα είναι οι εξωτερικοί τοίχοι να μην ακολουθούν τα πρότυπα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται εξαιρετικά επικίνδυνες θερμογέφυρες , καθώς και διάβρωση στα στοιχεία κατασκευής – σκουριά στις ενισχύσεις και απώλειες στις ενώσεις. Αυτό, είναι αρκετά εύκολο να αντιμετωπιστεί με τη χρήση 18-30 εκ. μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους, όπως και 10-20 εκ. μόνωσης στο υπόγειο. Ακόμα, αρκετά χρήσιμο είναι να υπάρχει καλή προστασία της πρόσοψης του κτιρίου, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με καλή μόνωση και χρήση επιχρίσματος.



Εικόνα 19 - Θερμογέφυρες που φαίνονται μέσω θερμικής κάμερας(Πηγή: Solanova Consortium)

Εξαιρετικά επικίνδυνη είναι η εμφάνιση θερμογεφυρών στις ενώσεις δομικών στοιχείων στα μπαλκόνια. Η πλέον αποτελεσματική λύση είναι ο θερμικός διαχωρισμός του μπαλκονιού από την εξωτερική τοιχοποιία. Στο εξωτερικό χρησιμοποιούνται προκατασκευασμένες πλάκες που τοποθετούνται ανεξάρτητα του κτιριακού κελύφους. **Λόγω σεισμικότητας αυτή η λύση είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί στην Ελλάδα.**

Εικόνα 20- Αυτό-στηριζόμενη κατασκευή μπαλκονιού(Πηγή CPD)

Ένα εξίσου σημαντικό πρόβλημα είναι η κατασκευή της οροφής. Πιο συγκεκριμένα, συνήθως, δεν ακολουθείται το πρότυπο με αποτέλεσμα τη δημιουργία θερμογεφυρών, καθώς και άλλων ζημιών όπως εισχώρηση νερού εντός του κτιρίου. Αντίστοιχα, μπορούμε να αντιμετωπίσουμε αυτό το πρόβλημα με τη χρήση μόνωσης 20-40 εκ. στην οροφή.

Προβλήματα, επίσης, παρουσιάζονται στα παράθυρα και στα κουφώματα. Σαφέστερα, συνηθίζεται οι υαλοπίνακες να μην πληρούν τις απαιτήσεις θερμοπερατότητας με αποτέλεσμα τη μείωση της στεγανότητας. Ανανεώνοντας τα παράθυρα με χρήση υαλοπινάκων και κουφωμάτων ώστε να πληρούν τις προϋποθέσεις θα λύσει το πρόβλημα άμεσα.

Εικόνα 21- Εγκατάσταση παραθύρων- αεροστεγανότητα(Πηγή: PHI)

Η άνεση και η υγιεινή μπορεί να αλλοιωθεί λόγω της χαμηλής αεροστεγανότητας που μπορεί να υπάρχει στο κτίριό μας. Αντίστοιχα, θα πρέπει να προσέχουμε να έχουμε μία στεγανή ένωση στα κουφώματα του παραθύρου μας.

Υψηλές θερμικές απώλειες είναι συχνό να συναντήσουμε στο σύστημα θέρμανσης και μετάδοσης. Για να αντιμετωπίσουμε τέτοιου είδους προβλήματα είναι καλό να εγκαταστήσουμε θερμοστατικές βάνες, καθώς και να μονώσουμε επαρκώς τις σωληνώσεις του κτιρίου. Ακόμα, ιδιαίτερο προσοδοφόρα θα ήταν η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως πηγές θερμότητας.

5.5 Θερμικές ροές

Η μεταφορά θερμότητας σε ένα κτίριο είναι μια διαδικασία, κατά την οποία η ενέργεια μεταφέρεται στο εσωτερικό, αλλά και στο ενδιάμεσο των υλικών του κτιριακού κελύφους, τα οποία έχουν, βέβαια, διαφορετική θερμοκρασία. Η επιστήμη της μεταφοράς θερμότητας επιδιώκει να προβλέψει τον ρυθμό με τον οποίο θα λάβει χώρα αυτή η εναλλαγή θερμότητας [1].

Η μεταφορά θερμότητας μπορεί να γίνει με τρείς βασικούς τρόπους:

- **Αγωγή**, η οποία είναι μια μοριακή συναλλαγή θερμότητας, μεταξύ άμεσα συνδεδεμένων στοιχείων τα οποία έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες.

- **Συναγωγή**, η οποία αφορά στη μεταφορά θερμότητας μεσώ της κίνησης ενός ρευστού και της επαφής του με άλλα στερεά σώματα.

- **Ακτινοβολία**, η οποία χαρακτηρίζεται από τη μεταφορά ενέργειας από ένα σώμα σε ένα άλλο μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Συχνά αυτές οι διαδικασίες συνυπάρχουν και, ακόμα, είναι πιθανόν να συνοδεύονται και από μεταφορά υλικού, δηλαδή εναλλαγή μάζας.

5.5.1 Ελληνικός κανονισμός

Σύμφωνα με τον Ελληνικό κανονισμό που περιγράφεται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017 για να πραγματοποιήσουμε μια επαρκή μελέτη πάνω στο κομμάτι των θερμογεφυρών θα πρέπει να έχουμε ως γνώμονα ορισμένες παραδοχές ώστε και να γίνει λεπτομερέστερη η περιγραφή του φαινομένου, αλλά και να μπορούμε να επεξεργαζόμαστε τα αποτελέσματα ευκολότερα.

Αρχικά, σύμφωνα με την υπόθεση του Fourier, η οποία εκφράζεται στη Formula 1, η ποσότητα της θερμότητας η οποία καταφέρνει να διαπεράσει το στοιχείο της ισόθερμης επιφάνειας κατά τη διάρκεια ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος είναι ανάλογη του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας κατά την μεταφορά θερμότητας κάθετα προς το δομικό στοιχείο.

Αυτή η διατύπωση μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη σχέση :

$$d^2Q_\tau = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \cdot dF \cdot d\tau \tag{5.1}$$

Όπου,

d^2Q_τ η ποσότητα θερμότητας που ρέει

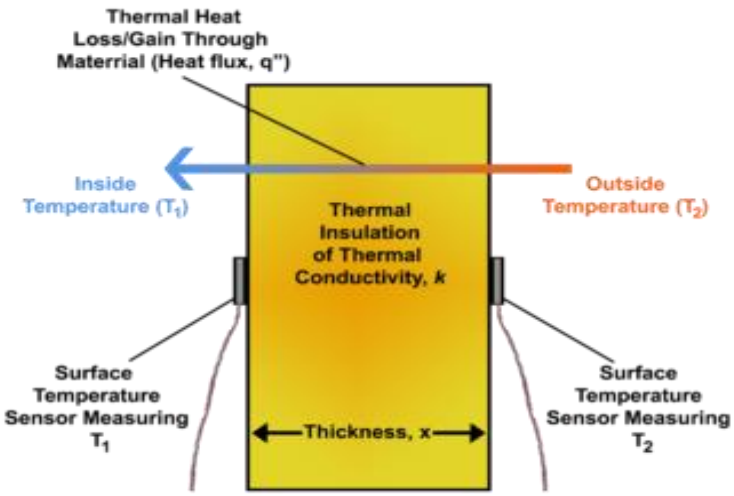
dF το εμβαδόν της διατομής του ισόθερμου στοιχείου

$d\tau$ το απειροστό χρονικό διάστημα

$\frac{\partial t}{\partial n}$ ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας

λ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του δομικού στοιχείου.

Το αρνητικό πρόσημο στη formula 1 σηματοδοτεί πως η θερμότητα μεταφέρεται προς τη κατεύθυνση όπου η θερμοκρασία μειώνεται. Το ποσό της θερμότητας που περνάει σε μια περίοδο του διαστήματος ονομάζεται θερμική ροή.



Εικόνα 22- Θερμική ροή(Πηγή IPHA)

Για να είναι εφικτοί οι υπολογισμοί γίνεται ακόμη μία σημαντική παραδοχή, η οποία αφορά στη ροή θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα, δεχόμαστε ότι επικρατεί μονοδιάστατη ροή θερμότητας 1D.

Βέβαια, η μελέτη θερμογεφυρών συνήθως δημιουργεί τριδιάστατων ή δυδιάστατων θερμικών ροών, οι οποίες, όπως περιγράφεται και στο διεθνές standard ISO 10211:2007, μπορούν να επιλυθούν επακριβώς χρησιμοποιώντας μεθόδους αριθμητικών υπολογισμών. Σε πολλές εφαρμογές οι αριθμητικοί υπολογισμοί για την επίλυση δυδιάστατων προβλημάτων παρέχουν εξαιρετική ακρίβεια και δεν χρειάζεται να προχωρήσουμε στην πολυπλοκότητα των τριδιάστατων προβλημάτων.

Η ακόλουθη σχέση από το norm DIN 14683 (παράγραφος 4.2) προχωρά σε μία διακριτοποίηση μεταξύ των μονοδιάστατων, δυδιάστατων και τριδιάστατων θερμικών ροών για τον υπολογισμό των θερμογεφυρών:

$$H_T = \sum_i A_i\, U_i + \sum_k i_k\, \Psi_k + \sum_j X_j \qquad (5.2)$$

Όπου κάθε όρος αθροίσματος αφορά και μία ροή, αντίστοιχα και

A_i Επιφάνεια στοιχείου κτιρίου, σε m^2

U_i Συντελεστής θερμοπερατότητας του στοιχείου i του κτιριακού κελύφους, σε $W/(m^2K)$

i_k Μήκος της γραμμικής θερμογέφυρας k, σε m

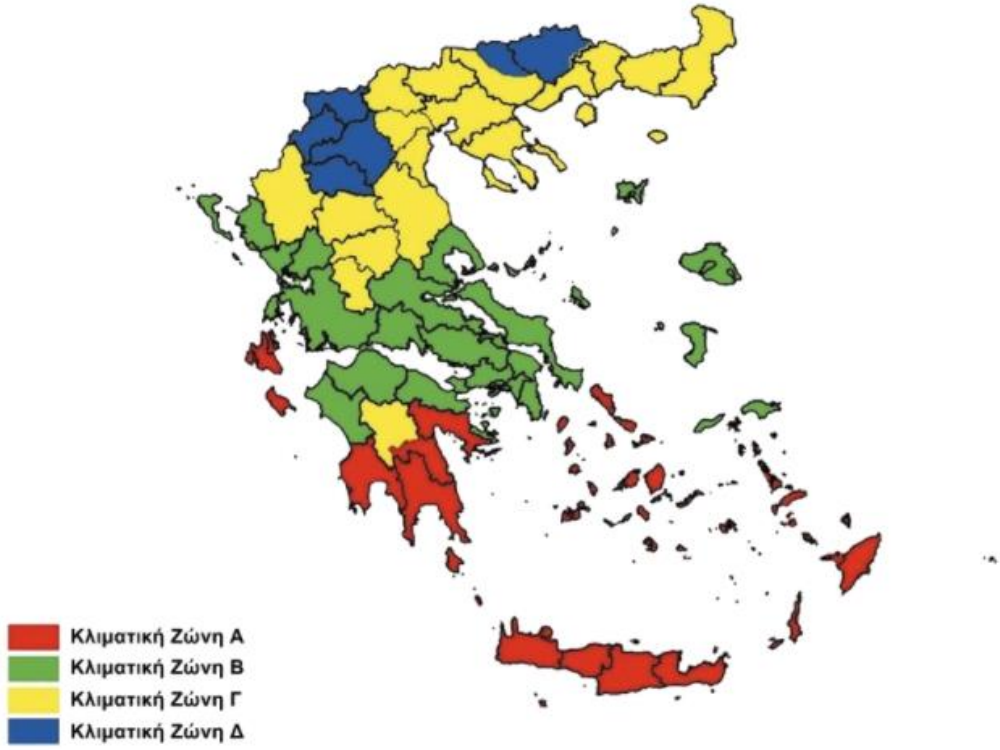
Ψ_k Θερμική διαπερατότητα της γραμμικής θερμογέφυρας k, σε W/(mK)

X_j Θερμική διαπερατότητα της σημειακής θερμογέφυρας j, σε W/K

Ακόμα, ιδιαίτερα σημαντικό είναι να αναφέρουμε πως οι ανταλλαγές θερμότητας θεωρούνται ανεξάρτητες από το χρόνο (στάσιμη κατάσταση) και ανεπηρέαστες από εξωγενείς παράγοντες. Ομοίως, όλα τα υλικά θεωρούνται κατά παραδοχή ομογενή και ισότροπα, με σταθερά θερμοφυσικά χαρακτηριστικά και ανεπηρέαστα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως η τιμή που θα υπολογίσουμε για το συντελεστή θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου i του κτιριακού κελύφους θα πρέπει, αναλόγως της θέσης του στο κτίριο, να προκύπτει μικρότερη ή ίση με τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή όπως αυτή έχει οριστεί για κάθε κλιματική ζώνη του Ελλαδικού χώρου.

Ο διαχωρισμός της Ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες γίνεται βάσει των διαφορετικών θερμοκρασιακών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε νομό της χώρας. Σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων Κ.Εν.Α.Κ. στον Ελλαδικό χώρο διακρίνονται 4 διαφορετικές κλιματικές ζώνες όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα και κατατάσσονται από τη θερμότερη ζώνη Α στην ψυχρότερη ζώνη Δ.



Εικόνα 23-Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας(Πηγή(http://www.maps-of-europe.net)

Σύμφωνα, λοιπόν, με τον παραπάνω διαχωρισμό προκύπτουν και οι μέγιστες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας U, οι οποίες παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Αρχικά, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 οι τιμές ασφαλείας στην περίπτωση νεόδμητου κτιρίου και στη συνέχεια στον Πίνακα 2 εξετάζεται η περίπτωση ριζικώς ανακαινιζόμενου κτιρίου. Αξίζει εδώ να σημειωθεί πως οι τιμές αυτές που αντιστοιχούν στις ελάχιστες απαιτήσεις ισχύουν για κάθε κτίριο αδιαφόρως της χρήσης τους.

Πίνακας 1-Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτιρίου(πηγή: Κ.Εν.Α.Κ.)

Δομικό στοιχείο	**Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m2 ·K)]**			
	Ζώνη Α'	**Ζώνη Β'**	**Ζώνη Γ'**	**Ζώνη Δ'**
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,55	0,45	0,40	0,35
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,10	1,90	1,75	1,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	3,80	3,40	3,00	2,80

Πίνακας 2-Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου (πηγή Κ.Εν.Α.Κ.)

Δομικό στοιχείο	**Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m2 ·K)]**			
	Ζώνη Α'	**Ζώνη Β'**	**Ζώνη Γ'**	**Ζώνη Δ'**
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,20	2,00	1,80	1,80
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,70	5,20	4,80	4,40
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,70	5,20	4,80	4,40
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	4,00	3,60	3,10	2,90

5.6 Παράμετροι ενέργειας, υγιεινής και αποδοτικότητας

- Αξιολόγηση ενέργειας

Για τη αξιολόγηση της ενέργειας μιας λεπτομέρειας χρησιμοποιήσαμε την τιμή Ψ. Αυτή η τιμή είναι ένα μέσο ώστε να αξιολογήσουμε τις γραμμικές θερμικές απώλειες που δημιουργούνται λόγω των θερμογεφυρών. Σε ένα πρότυπο παθητικό κτίριο έχουμε ως πρωταρχικό στόχο να καταφέρουμε να έχουμε την τιμή του Ψ μικρότερη ή ίση με 0.01 W/(mK), δηλαδή να πετύχουμε ένα «ελεύθερο από θερμογέφυρες σχέδιο». Παρ ’όλα αυτά δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός στην τιμή του Ψ που θα απέτρεπε ένα κτίριο από το να χαρακτηριστεί παθητικό. Η τιμή του Ψ πρέπει να λαμβάνεται υπ’ όψη όταν υπολογίζουμε τις συνολικές μεταδιδόμενες απώλειες κατά μήκος του κελύφους του κτιρίου, επειδή θα επηρεάσει σημαντικά την ολική ενεργειακή ισορροπία.

- Αξιολόγηση υγιεινής και αποδοτικότητας

Για κάθε λεπτομέρεια, επίσης υπολογίστηκε η ελάχιστη θερμοκρασία που θα πρέπει να επικρατεί στις επιφάνειες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται μέσω του παράγοντα f_{Rsi}, ο οποίος ορίζεται ως :

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si}-\theta_e)}{(\theta_i-\theta_e)} \tag{5.3}$$

Όπου,

θ_{si} η ελάχιστη θερμοκρασία των εσωτερικών επιφανειών

θ_e η ελάχιστη θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος

θ_i η εσωτερική θερμοκρασία

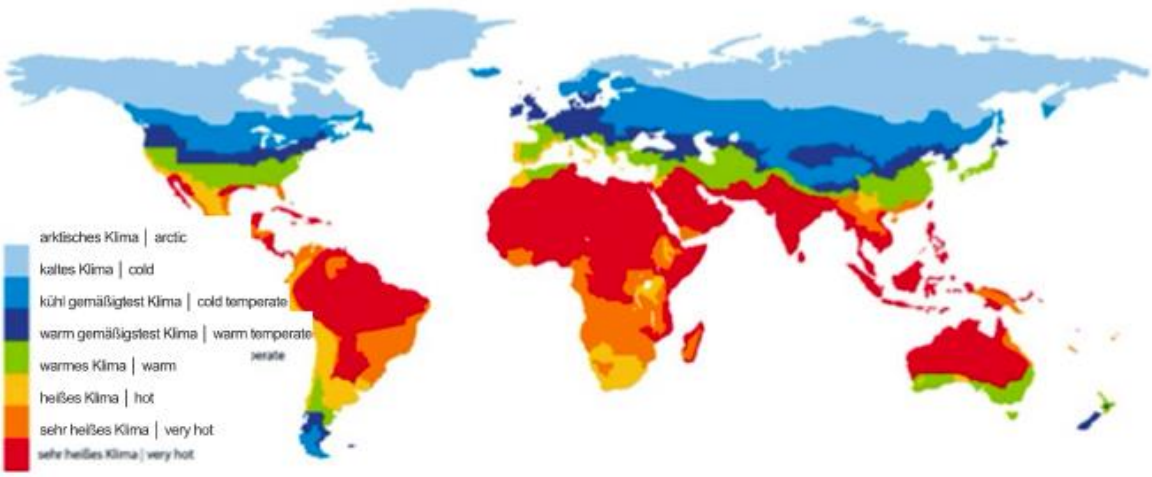
Ο παράγοντας f_{Rsi} είναι μια παράμετρος που επιλέγουμε για να εντοπίσουμε εύκολα και γρήγορα τον κίνδυνο εμφάνισης μούχλας και συμπύκνωσης υδρατμών. Τα κριτήρια υγιεινής και αποδοτικότητας έχουν καθοριστεί για κάθε κλιματική ζώνη του πλανήτη. Το κριτήριο υγιεινής παρουσιάζει τον ελάχιστο παράγοντα f_{Rsi} που μπορεί να δεχθεί ένα στοιχείο ώστε να είναι ασφαλές ως προς την εμφάνιση μούχλας. Το κριτήριο αποδοτικότητας με τη σειρά του καθορίζει τον την ελάχιστη τιμή του παράγοντα f_{Rsi} ώστε να επιτύχουμε θερμική άνεση. Στη θεωρία του ο Fanger [2] εξηγεί πως μια από τις σημαντικότερες αιτίες που χαλάνε τη θερμική άνεση ενός χώρου είναι η ασύμμετρη ακτινοβολούμενη θερμοκρασία σε ένα δωμάτιο. Το πρότυπο Παθητικού Κτιρίου ορίζει ότι πρέπει να επιτυγχάνεται άνεση κλάσης Α [3].

Τα όρια για τις τιμές του παράγονται f_{Rsi} για κάθε κλιματική ζώνη για τα κριτήρια υγιεινής και αποδοτικότητας σύμφωνα με το πρότυπο του Παθητικού Κτιρίου [4] παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3- Παράγοντας f_{Rsi} ανάλογα με την κλιματική ζώνη

No	Climate	Hygiene Criterion f_{Rsi} = 0.25 m^2K/W	Efficiency Criterion f_{Rsi} = 0.25 m^2K/W
1	Arctic	0,80	0,90
2	Cold	0,75	0,88
3	Cold - Temperate	0,70	0,86
4	Warm- Temperate	0,65	0,82
5	Warm	0,55	0,74
6	Hot	-	0,74
7	Very Hot	-	0,82

Οι κλιματικές ζώνες του πλανήτη ορίζονται ως:



Εικόνα 24- Κλιματικές ζώνες του πλανήτη(Πηγή: PHI)

6. Μεθοδολογία Υπολογισμού Θερμογεφυρών

6.1 Βασικές σχέσεις

Για να μπορέσουμε να προχωρήσουμε στην περιγραφή του αναλυτικού υπολογισμού των θερμογεφυρών θα πρέπει πρώτα να εξοικειωθούμε με κάποιες βασικές έννοιες που θα χρησιμοποιήσουμε καθ' όλη την έκταση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Κάθε δομικό στοιχείο προβάλλει μια αντίσταση στη ροή θερμότητας η οποία υπολογίζεται από το γενικό τύπο:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\frac{m^2K}{W}\right] \tag{6.1}$$

Όπου,

R η αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας το δομικό στοιχείο

d το πάχος της στρώσης του δομικού στοιχείου

λ. ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού του δομικού στοιχείου.

Η συνολική θερμική αντίσταση που προβάλλει στη θερμική ροή ένα πολυστρωματικό δομικό στοιχείο θα μπορούσαμε να πούμε πως αντιστοιχεί σε μια σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά σε ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα, αφού πρόκειται για το άθροισμα των επιμέρους αντιστάσεων.

$$R_{ολικό} = \sum_i^n R_i \tag{6.2}$$

Οι θερμικές απώλειες, οι οποίες δημιουργούνται δια μέσου ενός δομικού στοιχείου εκφράζονται από το συντελεστή θερμοπερατότητας U, που δίνει την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται στη μονάδα χρόνου σε σταθερό θερμοκρασιακό πεδίο μέσω της μοναδιαίας επιφάνειας ενός δομικού στοιχείου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου ισούται με τη μονάδα.
Ο συντελεστής, αυτός, ορίζεται ως :

$$U = \frac{1}{R_{ολικό}} \quad \left[\frac{W}{m^2K}\right] \tag{6.3}$$

Το οποίο τελικά προκύπτει ως εξής εάν στο Rολικό προσθέσουμε και τις θερμικές αντιστάσεις λόγω συναγωγής

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{out}} + \sum_i^n \frac{L_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{in}}} \tag{6.4}$$

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ εξαρτάται από τις ιδιότητες των δομικών υλικών. Τα μονωτικά υλικά χαρακτηρίζονται από χαμηλή θερμική αγωγιμότητα η οποία είναι της τάξης 0.035 W/mK γι' αυτό και με τη χρήση μόνωσης τα θερμικά φορτία μειώνονται πάρα πολύ και έτσι καθίσταται αναγκαία σε όλα τα κτίρια.

Για παράδειγμα σε έναν τοίχο με θερμική διαπερατότητα 2 W/m^2K με την προσθήκη ενός μόνο στρώματος μόνωσης περίπου 6-9 εκ. αυτή μπορεί να μειωθεί σε ακόμα και σε 0.3 W/m^2K.

Τα συνηθέστερα μονωτικά υλικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 4- Συνηθέστερα μονωτικά υλικά και οι συντελεστές λ τους

Μονωτικό Υλικό	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/mK)
Πολυστερίνη	0,033-0,038
Πολυουρεθάνη	0,030-0,038
Υαλοβάμβακας	0,033-0,041
Πετροβάμβακας	0,033-0,041
Αφρώδες Γυαλί	0,049-0,052
Ξυλόμαλλο	0,100-0,150
Πορώδη Υλικά	0,026
Ελαφρύ Τσιμέντο	0,110-0,220
Φελλός	0,042-0,065

6.2 Βασικές αρχές για τον υπολογισμό θερμογεφυρών

Για τον υπολογισμό των θερμογεφυρών, είναι, αρχικά, αναγκαίο να μοντελοποιήσουμε το αντίστοιχο στοιχείο του κτιριακού μας κελύφους σε κάποιο πρόγραμμα που θα μας δώσει τις θερμικές ροές. Τέτοιου είδους προγράμματα είναι το Flixo, το οποίο είναι ένα από τα πιο σύνθετα λογισμικά υπολογισμού θερμογεφυρών και χρησιμοποιείται αρκετά σε πιστοποιήσεις κουφωμάτων και σε υπολογισμό δύσκολων τρισδιάστατων θερμογεφυρών, το Therm, που είναι ίσως το μόνο δωρεάν λογισμικό στην αγορά και το HTFLux, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη διπλωματική εργασία καθώς είναι ιδιαίτερα εύχρηστο και διατίθεται δωρεάν για φοιτητές. Για το εν λόγω πρόγραμμα θα μιλήσουμε πιο συγκεκριμένα και στη συνέχεια.

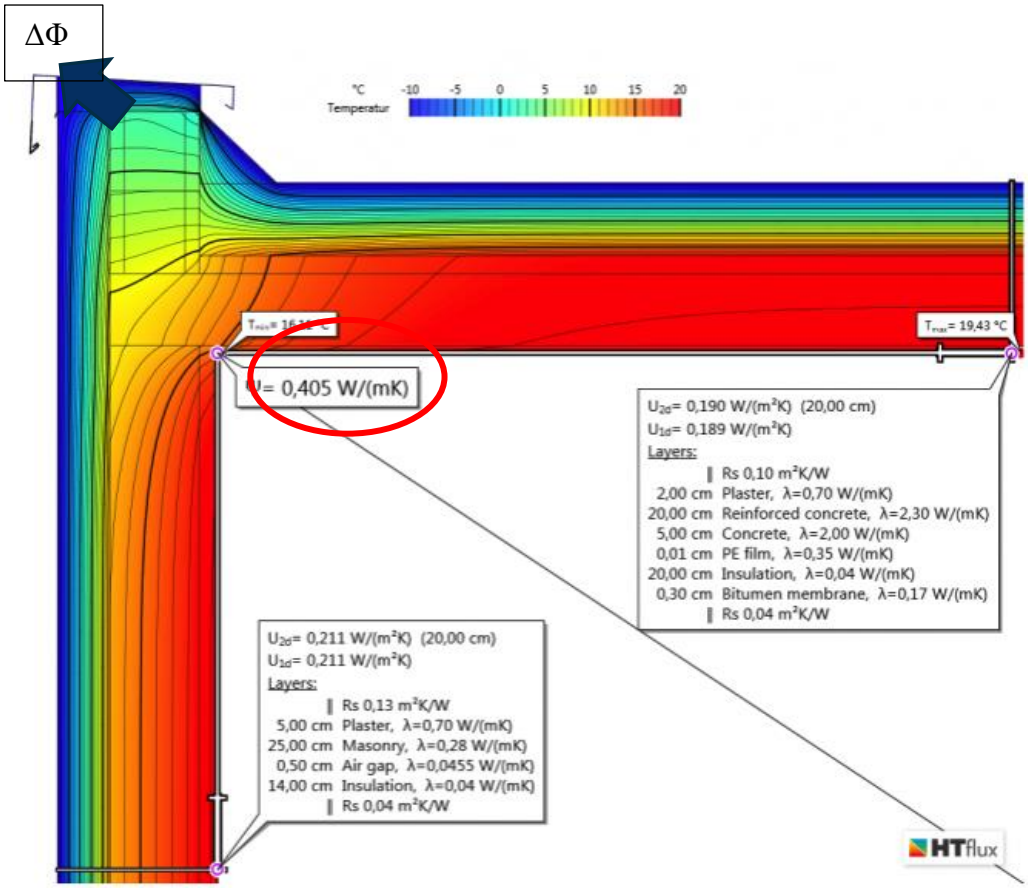
Όσον αφορά στους υπολογισμούς, φυσικά θα πρέπει να ορίσουμε και την θερμική αγωγιμότητα για κάθε υλικό ξεχωριστά εκτός από τη γεωμετρία του στοιχείου που προαναφέρθηκε. Αυτές, θα πρέπει είτε να υπολογιστούν σύμφωνα με το ISO 10456, είτε να παρθούν από πίνακες όπως αυτούς στο ISO 10456. Όσον αφορά στη θερμική αγωγιμότητα του εδάφους, αυτή μπορεί να ληφθεί ίση με 2,0 W/(mK) αν δεν είναι διαθέσιμες παραπάνω πληροφορίες για την κατάσταση του εδάφους (τέτοιου είδους πληροφορίες μπορούμε να πάρουμε από το ISO 13370). Ακόμα, είναι απαραίτητο να καθορίσουμε τις οριακές συνθήκες για τις διάφορες θερμοκρασίες και τις αντιστάσεις ως προς τη μεταφορά της θερμότητας.

Το standard EN ISO 10211 είναι καθοριστικό για τον υπολογισμό των θερμογεφυρών στον κατασκευαστικό τομέα. Οι υπολογισμοί για τις τιμές ψ και ο καθορισμός της ελάχιστης εσωτερικής θερμοκρασίας των επιφανειών μπορούν να προσδιοριστούν χρησιμοποιώντας το ίδιο μοντέλο, αλλά, όμως, θα πρέπει να οριστούν διαφορετικές οριακές συνθήκες σε κάθε περίπτωση.

6.2.1 Καθορισμός μετάδοσης θερμότητας

Η βασική αρχή για τον υπολογισμό της γραμμικής μετάδοσης θερμότητας παρουσιάζεται στη συνέχεια. Η τιμή ψ αναπαριστά έναν διορθωτικό συντελεστή, ο οποίος υπολογίζεται πάντα με μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων. Αρχικά, η ροή θερμότητας ή η αγωγιμότητα L_{2d} καθορίζεται δια μέσου μιας προσομοίωσης θερμικής ροής χάρη στο λογισμικό που χρησιμοποιούμε. Για τον καθορισμό της τιμής ψ, το L_0 προκύπτει από την αγωγιμότητα του θερμικά ανεπηρέαστου στοιχείου του κτιρίου. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό η γραμμική αναφορά να τηρείται παντού. Πιο συγκεκριμένα, εάν χρησιμοποιούνται εσωτερικές αναφορές στο πλαίσιο της ενεργειακής εξισορρόπησης πρέπει, επίσης να χρησιμοποιηθούν τιμές ψ με βάση τις εσωτερικές αυτές αναφορές. Παρ 'όλα αυτά, συνήθως χρησιμοποιούνται εξωτερικές διαστάσεις, αφού είναι πολύ πιο εύκολο αυτές να ληφθούν από σχέδια και μετρήσεις, όπως για παράδειγμα μέσω σχεδίων AutoCAD. Γι' αυτό το λόγο και οι εξωτερικές διαστάσεις χρησιμοποιούνται στο PHPP, το οποίο είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για τον σχεδιασμό ενός πλήρως λειτουργικού παθητικού κτιρίου.

- Διαφορά / Διαταραχή – θερμική ροή θερμότητας



Εικόνα 25- Παράδειγμα θερμογέφυρας- Πλάνο θερμοκρασίας(Πηγή: HTflux)

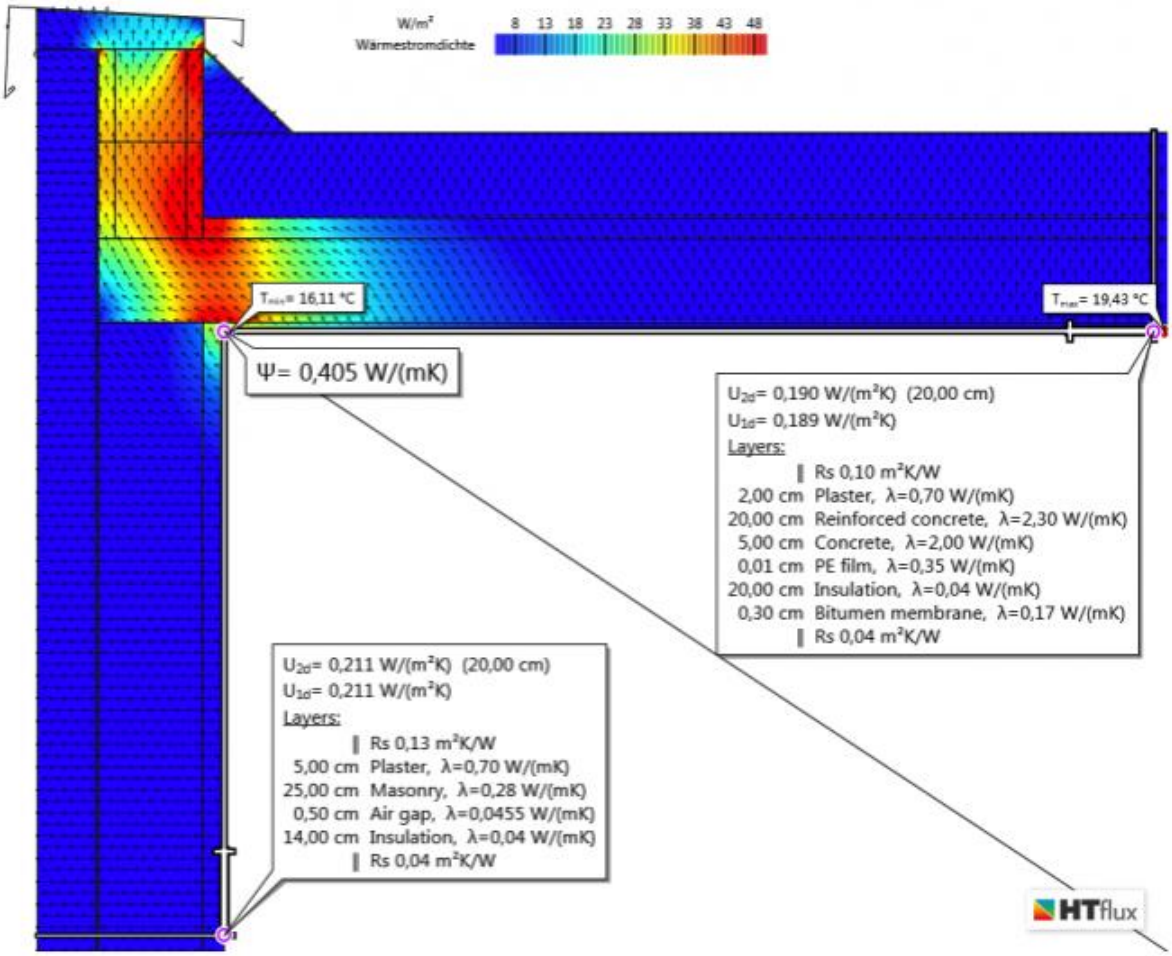
Όπου,

$$\Delta\Phi = \Phi_{2d} - \sum \Phi_i \qquad [\frac{W}{m}] \tag{6.5}$$

Και

$$\Psi = L_{2d} - L_0 = \frac{\Delta\Phi_{2d}}{\Delta T} \qquad \left[\frac{W}{mK}\right] \tag{6.6}$$

- Προσομοίωση θερμικής ροής (2d)



Εικόνα 26- Παράδειγμα θερμογέφυρας- Πλάνο θερμικών ροών 2d (Πηγή: HTflux)

Αντίστοιχα, θα έχουμε τη δυσδιάστατη ανά μέτρο θερμική ροή θερμότητας

$$\Phi_{2d}$$

Και τον συντελεστή θερμικής σύζευξης που λαμβάνεται απευθείας από το 2-D γεωμετρικό μοντέλο

$$L_{2d} = \frac{\Phi_{2d}}{\Delta T} \tag{6.7}$$

Ο οποίος διαιρεί την ανά μέτρο θερμική ροή θερμότητας Φ_i με τη διαφορά των δύο θερμοκρασιών αποδεσμεύοντας, έτσι, τον υπολογισμό των θερμογεφυρών από τις τιμές της θερμοκρασίας.

- Υπολογισμός τιμής U (1d)

Κατά τον υπολογισμό της μονοδιάστατης τιμής U αναφερόμαστε στη θερμική αγωγιμότητα, η οποία υπολογίζεται με βάση τις θερμικές αντιστάσεις των στρωμάτων του κτιρίου. Λαμβάνουμε, λοιπόν, τις τιμές U σύμφωνα με τη σχέση (3.4). Αντίστοιχα, με προηγουμένως λαμβάνουμε :

$$\sum \Phi_i = \sum(U_i \cdot l_i \cdot \Delta T) \tag{6.8}$$

Και

$$L_0 = \sum(U_i \cdot l_i) \tag{6.9}$$

Όπου,

l_i το μήκος μέσα στο δυσδιάστατο γεωμετρικό μοντέλο στο οποίο εφαρμόζεται η τιμή U_i.

Τελικά, προκύπτει αναλυτικά για τον υπολογισμό της τιμής του συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας ψ:

$$\Psi = L_{2d} - \sum(U_i \cdot l_i) \quad \left[\frac{W}{mk}\right] \tag{6.1.0}$$

Όπου,

L_{2d} ο συντελεστής θερμικής σύζευξης από το 2-D γεωμετρικό μοντέλο

U_i ο συντελεστής θερμοπερατότητας του τμήματος 1-D που χωρίζει τα εξεταζόμενα περιβάλλοντα

l_i το μήκος μέσα στο δυσδιάστατο γεωμετρικό μοντέλο στο οποίο εφαρμόζεται η τιμή U_i.

Για τον υπολογισμό της τιμής του συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας ψ είναι απαραίτητο να δηλωθεί ποιες διαστάσεις αφορούν οι υπολογισμοί(εσωτερικές ή εξωτερικές), διότι για συγκεκριμένους τύπους θερμογεφυρών η τιμή ψ εξαρτάται άμεσα από την επιλογή αυτή.

Στην περίπτωση που ο συντελεστής ψ προκύψει μηδενικός καταλαβαίνουμε πως λόγω θερμογεφυρών δεν υπάρχει ροή θερμότητας μέσω του δομικού στοιχείου.

Ειδικά σε μια κατασκευαστική θερμογέφυρα από το συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας ψ προκύπτει τόσο ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας ως:

$$\Psi \cdot l \tag{6.1.1}$$

Όπου,

l το συνολικό μήκος της θερμογέφυρας, ανάλογα, πάντα, με τις διαστάσεις που επιλέγονται

όσο και οι απώλειες θερμότητας λόγω θερμογεφυρών ως :

$$\Psi \cdot l \cdot \Delta\Theta \tag{6.1.2}$$

6.2.2 Οριακές Συνθήκες / Αντιστάσεις μετάδοσης

Ιδιαίτερα σημαντικό για να προχωρήσουμε τόσο στον αναλυτικό υπολογισμό όσο και στην προσομοίωση είναι να καθορίσουμε τις οριακές συνθήκες που επικρατούν. Πιο συγκεκριμένα αυτές αφορούν κυρίως στις θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον καθώς και στο έδαφος, στην περίπτωση που έχουμε κάποιου είδους πρόβλημα που περιλαμβάνει λεπτομέρεια με στοιχείο σε επαφή με έδαφος.

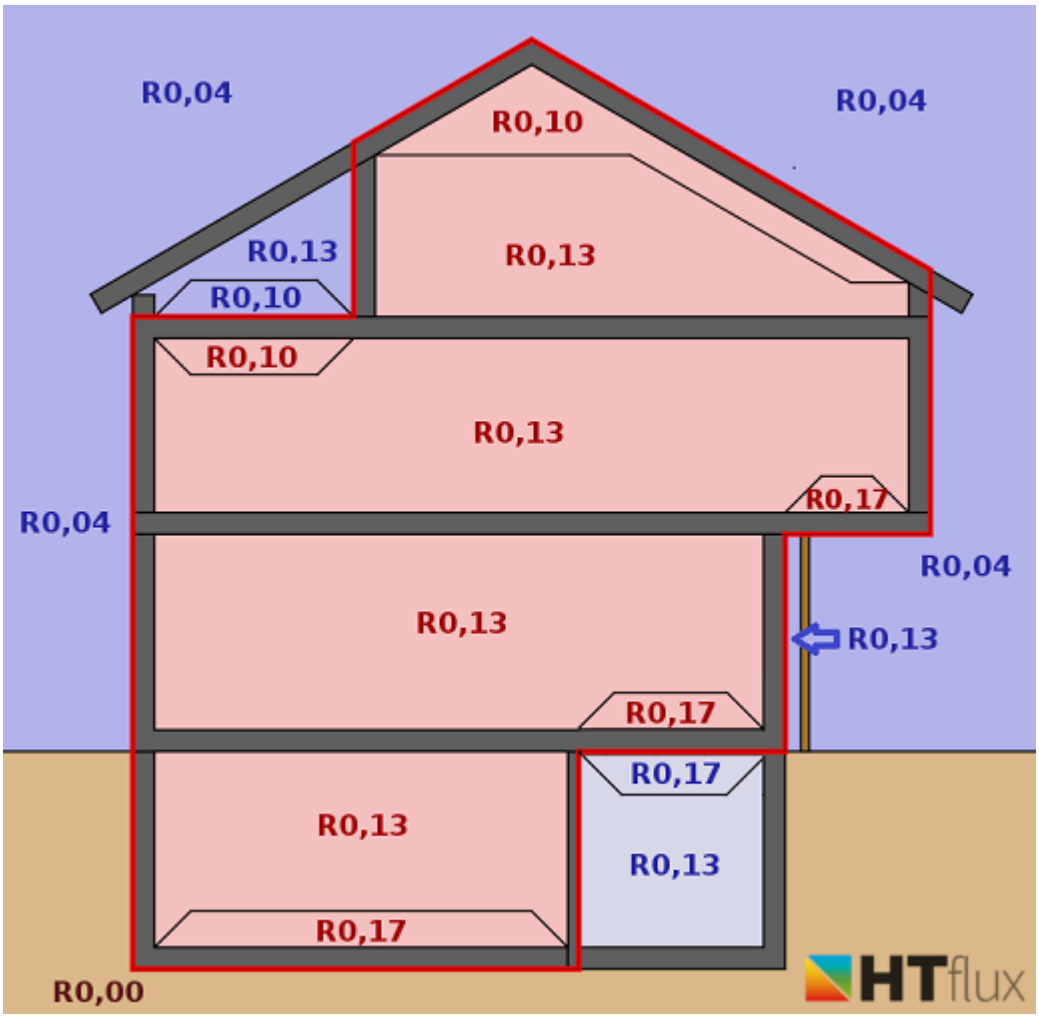
Επειδή οι αγωγιμότητες είναι ανεξάρτητες από τις ληφθείσες οριακές συνθήκες για τις θερμοκρασίες, δεν παίζει πρωταρχικό ρόλο ποιες θερμοκρασίες έχουν οριστεί για το εξωτερικό και το εσωτερικό, αρκεί να υπάρχει μια θερμοκρασιακή διαφοροποίηση λόγω της ύπαρξης του κτιρίου. Αν δούμε το πρόβλημα πιο πρακτικά, οι ίδιες οι θερμοκρασίες είναι και αυτές που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των ελαχίστων θερμοκρασιών των επιφανειών που χρησιμοποιούνται.

Οι θερμικές αντιστάσεις μεταφοράς θερμότητας που θα χρησιμοποιηθούν είναι πιο σημαντικές, αφού είναι ένα ένας τρόπος να μετρήσουμε τη συναλλαγή θερμότητας μεταξύ του κτιρίου και του περιβάλλοντος αέρα. Η επιρροή της συναλλαγής ακτινοβολίας, της θερμικής αγωγιμότητας και της συναγωγής συνδυάζεται σε αυτές, και, έτσι, εξαρτώνται από τις συνθήκες των επιφανειών (τραχύτητα, χρώμα και αερισμός) και από τη κατεύθυνση της σχετικής θερμικής ροής μέσα στο στοιχείο του κτιρίου. Έτσι, προκύπτει και η διαφοροποίηση μεταξύ της τιμής R_{si} για το εσωτερικό και της τιμής R_{se} για το εξωτερικό όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 5- Θερμικές αντιστάσεις

Θερμική Αντίσταση (m^2K)/W	**Κατεύθυνση Θερμικής Ροής**		
	Ανοδικά	Οριζόντια	Καθοδικά
R_{si}	0.10	0.13	0.17
R_{se}	0.04	0.04	0.04

Για να καταλάβουμε καλύτερα τις θέσεις που προκύπτουν οι παραπάνω τιμές σε ένα τυπικό κτίριο μας βοηθάει ιδιαίτερα η παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 27- Θερμικές αντιστάσεις σε ένα τυπικό κτίριο (Πηγή: HTflux)

6.2.2.1 Προσαρμοσμένες, ειδικές επιφανειακές αντιστάσεις

Σε ειδικές περιπτώσεις (π.χ. υψηλή θερμοκρασία ακτινοβολίας, επιφάνειες χαμηλής εκπομπής, υψηλές ταχύτητες ανέμου) είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές επιφανειακές αντιστάσεις. Αυτές, μπορούν, εύκολα, να υπολογιστούν με χρήση των μεθόδων που περιγράφονται στο παράρτημα Α του ISO 6946.

6.2.3 Οριακές συνθήκες για τις θερμοκρασίες

Εξίσου σημαντικός για την επίλυση ενός προβλήματος θερμογεφυρών είναι ο καθορισμός των θερμοκρασιών που επικρατούν τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, επειδή οι χρόνιες μεταβολές στις θερμοκρασίες και στις θερμικές ικανότητες των υλικών δεν λαμβάνονται υπόψη στις αντίστοιχες προσομοιώσεις μόνιμης κατάστασης, θα πρέπει να ληφθούν σταθερές οριακές συνθήκες για τις θερμοκρασίες που επικρατούν, έτσι ώστε να καταλήξουμε τελικά σε ένα στατικό πεδίο θερμοκρασίας στο κτίριο. Η ελάχιστη επιφανειακή θερμοκρασία θα μπορεί τότε να βρεθεί με την υποσημείωση ότι αυτή θα αναφέρεται στην αντίστοιχη θερμοκρασιακή διαφορά που θα έχει οριστεί ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον.

Το Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου χρησιμοποιεί τις ακόλουθες οριακές συνθήκες για τις θερμοκρασίες στο πλαίσιο των πιστοποιημένων παθητικών κτιρίων :

- $\theta_i = 20\ °C$ θερμοκρασία εσωτερικού αέρα
- $\theta_e = -10\ °C$ θερμοκρασία εξωτερικού αέρα

Μπορεί να γίνει, εύκολα, πλέον αντιληπτό πως οι ελάχιστες επιφανειακές θερμοκρασίες, οι οποίες διαπιστώνονται δεν έχουν καμία πληροφοριακή αξία. Οι παραπάνω οριακές συνθήκες για τις θερμοκρασίες είναι αξιόλογες παραδοχές και δεν μπορούν εύκολα να αναπαραστήσουν ρεαλιστικές θερμοκρασιακές διαφορές. Οι αβεβαιότητες αναφορικά με τις κλιματικά εξαρτώμενες εξωτερικές συνθήκες και τις πραγματικές θερμοκρασίες στο εσωτερικό είναι αρκετές. Εάν παραληφθούν οι δυναμικές προσομοιώσεις, τότε αυτό το ζήτημα τουλάχιστον μπορεί να παρακαμφθεί με τη βοήθεια του αδιάστατου παράγοντα θερμοκρασίας f_{Rsi} σύμφωνα με το πρότυπο DIN EN ISO 10211 (Παράγραφος 11).

Έτσι, ο παράγοντας αυτός που υπολογίζεται σύμφωνα με την προαναφερθείσα σχέση (5.3) καθιστά δυνατό τον υπολογισμό της θερμοκρασίας σε συγκεκριμένο σημείο με οποιαδήποτε θερμοκρασιακή διαφορά, χωρίς να είναι αναγκαίες παραπάνω προσομοιώσεις θερμικής ροής. Με τη βοήθεια του παράγοντα f_{Rsi} μπορούμε να αντλήσουμε συμπεράσματα για οποιαδήποτε πιθανή ανάπτυξη υγρασίας και δημιουργία μούχλας.

6.3 Ειδικές περιπτώσεις

Για να καταλάβουμε καλύτερα τα ιδιαίτερα προβλήματα που ίσως προκύψουν λόγω των θερμογεφυρών είναι αρκετά χρήσιμο να περιγράψουμε τις πιο ασύνηθες περιπτώσεις και να αναζητήσουμε κάποιες τεχνικές αποφυγής τους. Με χρήση του λογισμικού HTflux μπορέσαμε να υπολογίσουμε τις θερμικές ροές και τις τιμές των θερμογεφυρών σε διάφορα σημεία που μπορεί να εντοπιστούν σε ένα κτηριακό κέλυφος τα οποία θα παρουσιαστούν σε έναν κατάλογο με αυτές τις λεπτομέρειες στο Παράρτημα Α στο τέλος αυτής της διπλωματικής εργασίας.

6.3.1 Ψ_g τιμές – Επαφή με έδαφος

Παρακάτω, παρουσιάζεται και ο τρόπος υπολογισμού των λεγόμενων Ψ_g τιμών. Αυτές, χρησιμοποιούνται για τον ακριβή υπολογισμό της ενέργειας που χάνεται λόγω του εδάφους. Όπως πάντα θα πρέπει πρώτα να υπολογιστούν οι τιμές ψ, έτσι ώστε η απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού των τιμών U να γίνει αρκετά ακριβής. Είναι σημαντικό, λοιπόν, να μην παραλειφθούν αυτοί οι υπολογισμοί, διότι θα οδηγηθούμε σε λανθασμένους ενεργειακούς υπολογισμούς.

Οι θερμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του κτιρίου και του περιβάλλοντος είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες. Εκτός από το έδαφος αυτό καθαυτό, το σύστημά μας μπορεί να επηρεαστεί και από άλλους εξωγενείς παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, τέτοιοι μπορεί να είναι το χιόνι, ο σχηματισμός πάγου ή λιμνάζοντα νερά. Παρόλα αυτά μόνο τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους σχετίζονται με τον υπολογισμό των τιμών U και ψ των στοιχείων σε επαφή με το έδαφος, τα οποία δίνονται από :

- Τη θερμοκρασία θ του εδάφους
- Το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ του εδάφους
- Τη θερμοχωρητικότητα c του εδάφους

Η θερμική ροή ανάμεσα στα ξεχωριστά δομικά στοιχεία ενός κτιρίου καθορίζεται, όπως προαναφέρθηκε, από τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στον εσωτερικό και τον εξωτερικό χώρο. Στην περίπτωση που τα δομικά στοιχεία είναι σε επαφή με το έδαφος, η ροή θερμότητας εξαρτάται από το θερμοκρασιακό πεδίο που επικρατεί στο έδαφος. Παρόλο που αυτό εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος, επηρεάζεται και από την ανταλλαγή ακτινοβολίας της επιφάνειας του εδάφους. Στο AkkP 27 προτείνεται η θερμοκρασία που λαμβάνεται για το έδαφος να είναι περίπου ένα βαθμό Kelvin μεγαλύτερη από αυτή που έχει οριστεί για τον εξωτερικό αέρα. Διαφορετικός προσδιορισμός της θερμοκρασίας του εδάφους θα ήταν ιδιαίτερα δύσκολος, αφού η συνθήκες των επιφανειών που περιβάλλουν το εκάστοτε κτίριο δεν είναι επαρκώς καθορισμένες κατά την κατάστρωση των σχεδίων για την κατασκευή του κτιρίου.

Κατά τη διαδικασία των υπολογισμών συνήθως η θερμική αντίσταση ανάμεσα στο έδαφος και τον εξωτερικό αέρα παραλείπεται, αφού η θερμότητα ακολουθεί το μονοπάτι της λιγότερης αντίστασης. Για παράδειγμα 100 μέτρα εδάφους με μία θερμική αγωγιμότητα της τάξης του 2,0 W/(mK) έχει τιμή U μόνο 0,02 W/(m^2K) οπότε

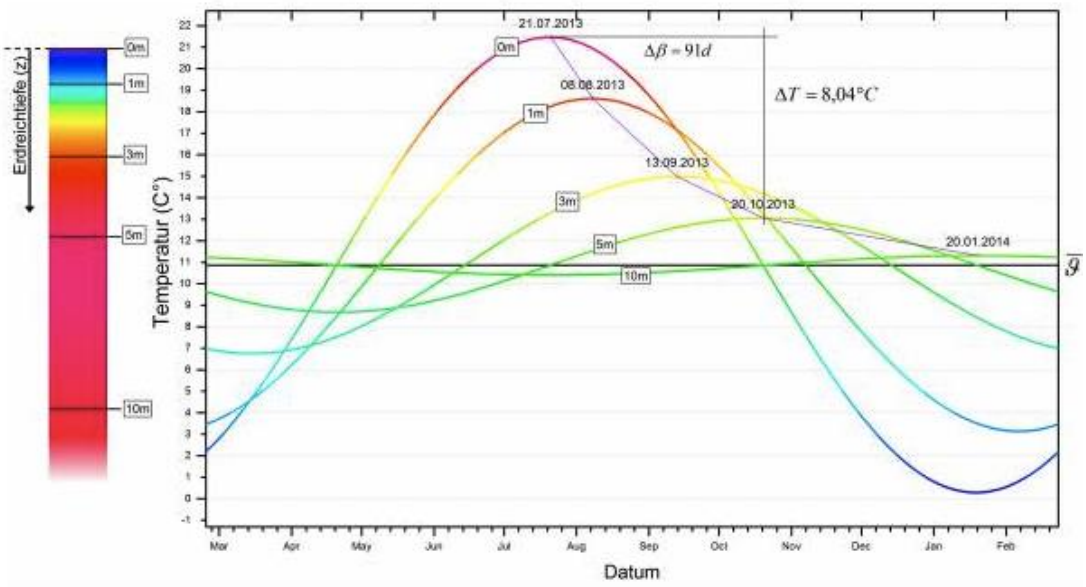
η σχετική εναλλαγή θερμότητας λαμβάνει χώρα μόνο προς τον εξωτερικό αέρα. Αντίστοιχα, η θερμική ροή που προκαλείται από τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος κινείται από το έδαφος προς την επιφάνεια και εντός του κτιριακού κελύφους, και, επομένως, θα πρέπει να θεωρείται ως ένα επιπλέον στρώμα του δομικού στοιχείου, η θερμική αγωγιμότητα του οποίου επηρεάζει την τιμή U του στοιχείου. Στην περίπτωση αυτή, όμως, ο υπολογισμός της θερμικής αντίστασης δεν μπορεί να γίνει σύμφωνα με τη σχέση (6.1), αφού το έδαφος δεν αποτελεί ένα ομογενές στρώμα του κτιρίου και, επομένως, η μονοδιάστατη θεώρηση δεν είναι πλέον επαρκής.

6.3.1.1 Θερμική χωρητικότητα του εδάφους

Όσον αφορά στη φυσική των κτιρίων, η θερμική χωρητικότητα ενός υλικού δίνεται από την ειδική θερμική χωρητικότητα c, η οποία ορίζει το ποσό της ενέργειας η οποία απαιτείται έτσι ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός χιλιόγραμμου ενός υλικού κατά ένα βαθμό Kelvin. Αυτό σημαίνει πως τα υλικά έχουν την ικανότητα να απορροφήσουν ένα ποσό θερμότητας και να το απελευθερώσουν έπειτα ανάλογα με τις αλλαγές στην θερμοκρασία που τους εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια του χρόνου. Για παράδειγμα, ένας εξωτερικός τοίχος που απορροφά θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας, την απελευθερώνει ξανά κατά τη διάρκεια ψυχρότερων θερμοκρασιών. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του τοίχου τόσο μεγαλύτερη σε διάρκεια θα είναι και αυτή η διαδικασία φόρτισης – αποφόρτισης.

Όλη αυτή η διαδικασία όπως και οι συνέπειες της εξαρτώνται και από το χρονικό διάστημα για το οποίο τη μελετάμε. Σαφέστερα, εάν λάβουμε μια χρονική περίοδο ενός μήνα οι λεγόμενες «θερμικές φορτίσεις» των τοίχων αντισταθμίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις αντίστοιχες «θερμικές αποφορτίσεις» και, επομένως οι συνέπειες είναι μηδαμινές και είναι αρκετά λογικό να ακολουθήσουμε μία λογική μόνιμης κατάστασης.

Στην περίπτωση που τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος τα πράγματα διαφοροποιούνται αρκετά. Το παρακάτω διάγραμμα μας προσφέρει πληροφορίες για τη θερμοκρασία του εδάφους σε συνάρτηση με την εξωτερική θερμοκρασία.



Εικόνα 28- Θερμοκρασία εδάφους σε συνάρτηση με εξωτερική θερμοκρασία(Πηγή: http://www.passipedia.org)

Όπως φαίνεται καθαρά στο παραπάνω διάγραμμα οι ημιτονοειδείς θερμοκρασιακές καμπύλες τείνουν να μικραίνουν ανάλογα με την αύξηση του βάθους του εδάφους. Παράλληλα παρατηρείται πως οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας φτάνουν τις βαθύτερες περιοχές αρκετά πιο αργά. Πιο συγκεκριμένα, η υψηλότερη θερμοκρασία που επιτεύχθηκε όπως φαίνεται στις 21/07 στο πείραμα επηρεάζει 91 ημέρες μετά σε ένα βάθος της τάξης των 5 μέτρων. Επομένως, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να λαμβάνουμε υπόψη την αποθηκευμένη ενέργεια στο έδαφος όταν κάνουμε τους υπολογισμούς για τις θερμικές απώλειες μέσω του εδάφους.

Είναι, επίσης, ιδιαίτερα σημαντικό να καταλάβουμε πως οι τιμές Ψ_g για την επαφή με έδαφος δεν περιγράφουν απλώς την επιπλέον απώλεια θερμότητας του δομικού στοιχείου, αλλά, ακόμα, χρησιμοποιούνται για να διορθώσουν το συνολικό λάθος που έχει προκύψει λόγω της χρήσης των απλοποιημένων υπολογισμών των U τιμών. Γι' αυτό και θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένα συγκεκριμένο πλάτος της επιδαπέδιας πλάκας θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση υπογείου ή ορόφου. Η τιμή Ψ_g θα είναι σωστή μόνο γι' αυτό το πλάτος.

6.3.1.2 Δομικό στοιχείο σε επαφή με το έδαφος σύμφωνα με το ISO 10211 και το ISO 13370

Σε αυτήν την περίπτωση εντάσσονται οι πλάκες δομικών στοιχείων οι οποίες είναι τοποθετημένες πάνω ή κοντά στο επίπεδο του εδάφους. Γενικά, αυτή η μέθοδος είναι καλό να χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου η απώλεια ενέργειας της λεπτομέρειας μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση μίας μόνο τιμής U για την τοιχοποιία και την τιμή U_g για το δάπεδο. Ο υπολογισμός της τιμής U_g θα πρέπει να γίνει σύμφωνα με τον τρόπο που περιγράφεται στο ISO 13370.

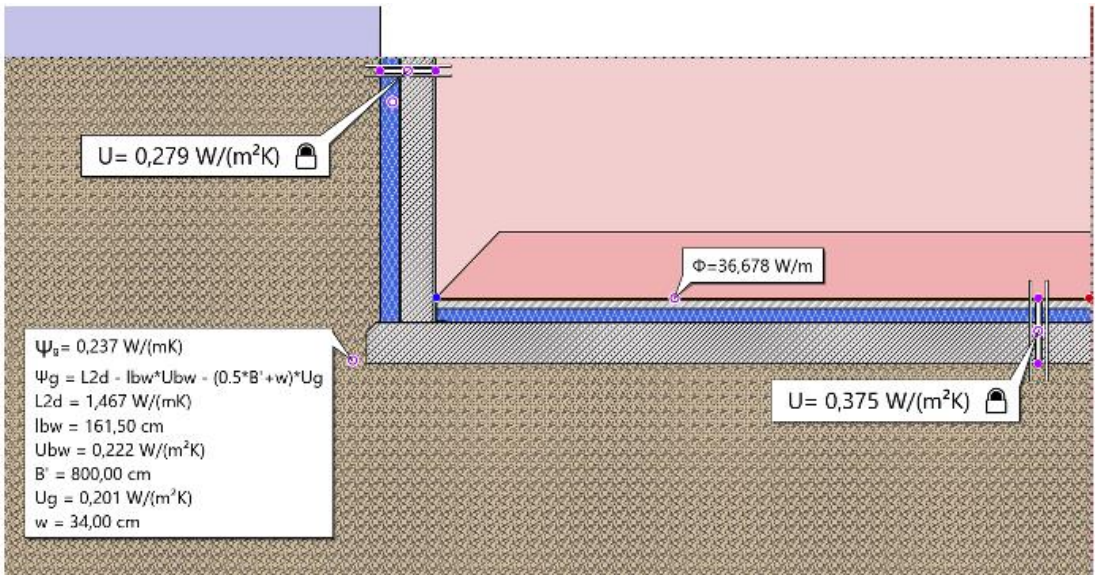
Η τιμή Ψ_g που υπολογίζεται με αυτή τη μέθοδο θα αντισταθμίσει την επαφή του τοίχου με το έδαφος και τη ροή θερμότητας μέσω της επιδαπέδιας πλάκας.

Ο υπολογισμός αυτής της τιμής, λοιπόν, θα γίνει μετρώντας τη ροή θερμότητας του μοντέλου και αφαιρώντας τις θερμικές ροές που περιγράφουν οι τιμές U_g. Επομένως, θα έχουμε :

$$\Psi_g = L_{2d} - l_w \cdot U_w - \frac{\acute{B}}{2} \cdot U_g \qquad (6.1.4)$$

Μπορούμε εύκολα να καταλάβουμε πως ο υπολογισμός δεν διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από τους κλασσικούς υπολογισμούς που προαναφέρθηκαν. Η ιδιαίτερα σημαντική διαφορά είναι πως θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η τιμή U_g για τη θερμική ροή στο δάπεδο και όχι η τιμή U του δαπέδου. Αυτή η προσαρμοσμένη τιμή είναι βασισμένη στη γνωστή τιμή U του δαπέδου, αλλά όμως περιέχει και τη θερμική αντίσταση του εδάφους. Εφόσον η τιμή U_g συμπεριλαμβάνει και τη μονωτική επίδραση του εδάφους θα πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας ότι μετά τους υπολογισμούς η τιμή που θα προκύψει θα πρέπει να είναι μικρότερη της τιμής U.

Επιπλέον, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να χρησιμοποιήσουμε την κατάλληλη τιμή για το πλάτος του μοντέλου, αφού η τιμή Ψ_g θα είναι έγκυρη μόνο γι' αυτό το πλάτος. Στο πρότυπο ISO όμως περιγράφεται ένας περιορισμός για της μεγαλύτερες πλάκες σύμφωνα με τον οποίο εάν οι υπολογισμοί για ένα μοντέλο γίνουν με την χαρακτηριστική διάσταση πλάκας (8m), η τελική τιμή Ψ_g που θα υπολογιστεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πλάκες μεγαλύτερων διαστάσεων.



Εικόνα 29- Παράδειγμα υπολογισμού Ψg για δομικό στοιχείο πάνω ή κοντά στο έδαφος(Πηγή: HTflux)

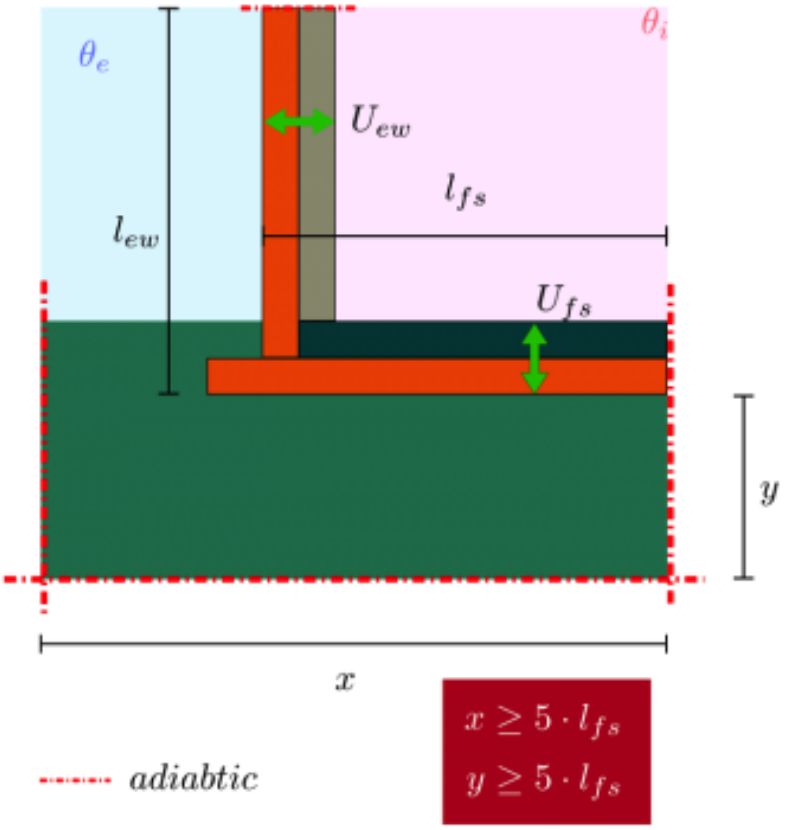
Για να είναι οι υπολογισμοί μας πετυχημένοι θα πρέπει να προσέξουμε ιδιαίτερα τα εξής :

- Το έδαφος θα πρέπει να αποτυπώνεται με το ίδιο στις κατευθύνσεις x και y στους υπολογισμούς με τουλάχιστον πέντε ή έξι φορές το μήκος της εδαφόπλακας

- Εφαρμόζονται οι εξωτερικές διαστάσεις αναφοράς για το μήκος της εδαφόπλακας. Αυτό, είναι προτεινόμενο για ένα μήκος της τάξης των τεσσάρων (4) μέτρων.

- Για τον υπολογισμό επιπλέον αγωγιμοτήτων, προτείνεται τα στοιχεία σε επαφή με το έδαφος να παρουσιάζονται με μια οριακή συνθήκη που αντιστοιχεί στη θερμική τους αντίσταση R=1/U

- Το κομμάτι του εδάφους θα πρέπει να παρουσιάζει αδιαβατικές οριακές συνθήκες.



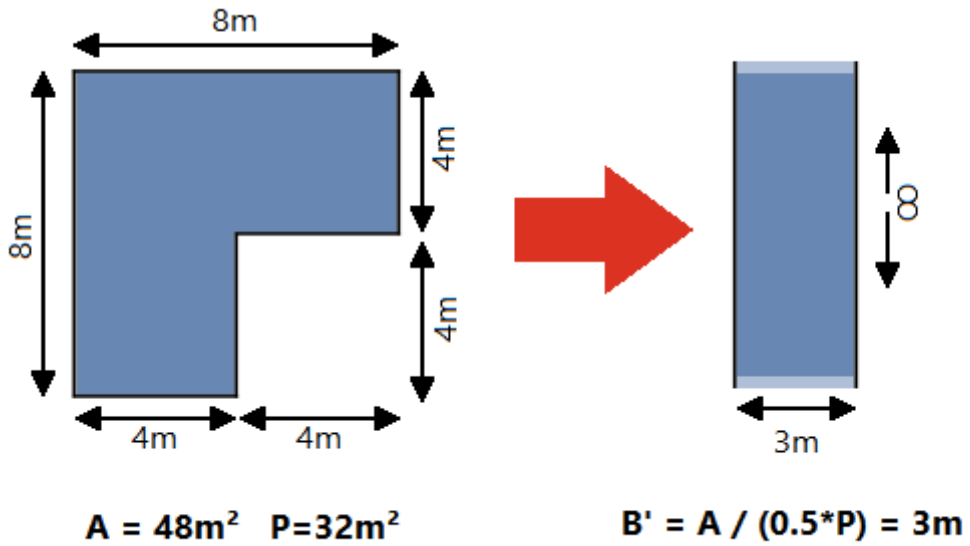
Εικόνα 30- Συνθήκες υπολογισμών(Πηγή: http://www.passipedia.org)

Χαρακτηριστική διάσταση B'

Η χαρακτηριστική αυτή διάσταση (B΄) είναι ένα αρκετά χρήσιμο εργαλείο, το οποίο ορίζεται στο πρότυπο ISO 13770. Για τον υπολογισμό της πραγματικής απώλειας θερμότητας της εδαφόπλακας θα χρειαζόταν μια τρισδιάστατη προσομοίωση. Με τη χρήση, όμως, της χαρακτηριστικής διάστασης καθίσταται δυνατόν να μετατρέψουμε αυτό το τρισδιάστατο πρόβλημα σε δυσδιάστατο, κάτι που απλοποιεί και επιταχύνει ιδιαίτερα την εργασία του μηχανικού.

Πριν προχωρήσουμε, λοιπόν, στους υπολογισμούς των τιμών για επαφή του δομικού στοιχείου με το έδαφος θα πρέπει να υπολογίσουμε αυτή τη διάσταση. Για να το κάνουμε αυτό, απλά θα πρέπει να διαιρέσουμε τη συνολική επιφάνεια της εδαφόπλακας με το μισό της περιμέτρου της πλάκας ως εξής :

$$B' = \frac{A}{0{,}5 \cdot P} \tag{6.1.5}$$



Εικόνα 31- Παράδειγμα υπολογισμού B'(Πηγή: HTflux)

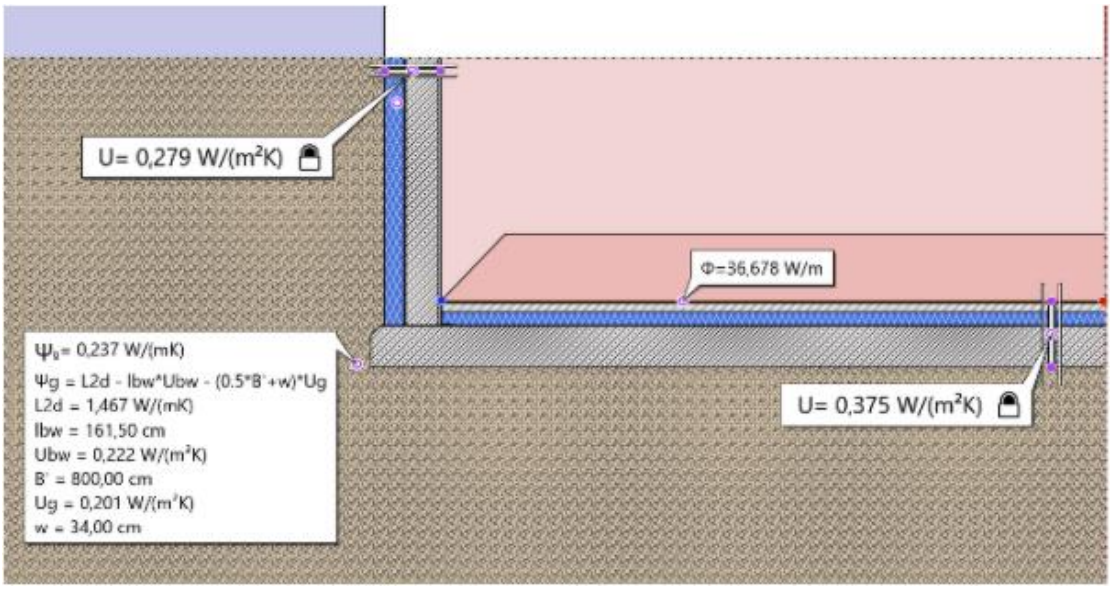
6.3.1.3 Δομικό στοιχείο με πλάκα κάτω από το έδαφος (ή θερμαινόμενο υπόγειο) σύμφωνα με το ISO 10211 και το ISO 13370

Αυτή η περίπτωση είναι παρόμοια με την προηγούμενη με μόνη διαφορά ότι ο τοίχος θα χωριστεί σε δύο κομμάτια. Πιο συγκεκριμένα, το ένα κομμάτι θα είναι πάνω από το επίπεδο του εδάφους και το άλλο κάτω. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να συνυπολογίσουμε διαφορετικά μήκη, καθώς και διαφορετικές τιμές U για το κάθε στοιχείο.

Σε αυτήν την περίπτωση η τιμή Ψ_g θα υπολογίζεται ως :

$$\Psi_g = L_{2d} - l_w \cdot U_w - l_{bw} \cdot U_{bw} - \left(\frac{B'}{2} + w\right) \cdot U_g \qquad (6.1.6)$$

Ο επιπλέον όρος σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση αναπαριστά το κομμάτι του τοίχου που βρίσκεται κάτω από το επίπεδο του εδάφους. Αντίστοιχα με την τιμή U_g, η τιμή U για το υπόγειο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας. Θα πρέπει να προσαρμοστεί στην τιμή U_{bw} έτσι ώστε να μπορέσει να συνυπολογιστεί και η θερμική ροή μέσω του εδάφους. Και αυτή η τιμή υπολογίζεται σύμφωνα με το ISO 13370.



Εικόνα 32- Παράδειγμα υπολογισμού Ψg για δομικό στοιχείο κάτω από έδαφος(Πηγή: HTflux)

6.3.1.3 Διαφανή δομικά στοιχεία

Τα διαφανή δομικά στοιχεία ενός κτιρίου συνήθως αποτελούν τα αδύναμα σημεία του κτιρίου ως προς τη θερμοπροστασία, αφού η μετάδοση θερμότητας σε αυτά τα στοιχεία είναι αρκετά πιο «φτωχή» από αυτή που χαρακτηρίζει τοίχους, δάπεδα και οροφές.

Για να γίνουμε πιο σαφείς, όταν αναφερόμαστε σε διαφανή δομικά στοιχεία ενός κτιρίου εννοούμε τα κουφώματα, τα οποία περιλαμβάνουν τόσο το πλαίσιο όσο και τον υαλοπίνακα.

Τα παράθυρα, λοιπόν, συχνά είναι η αιτία να μειωθεί η θερμική άνεση σε ένα κτίριο λόγω των υψηλών απωλειών θερμότητας ή ακόμα και να προκληθούν καταστροφές στο ίδιο το κτίριο. Από την άλλη πλευρά, είναι αναγκαία ώστε να λάβουμε την αναγκαία θερμική ζήτηση δια μέσω των θερμικών κερδών λόγω της ηλιακής ενέργειας. Ο σχεδιασμός των κουφωμάτων θα πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες και να προφυλαχθεί η θερμική άνεση εντός του κτιρίου.

Για να επιτευχθεί αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό να περιοριστεί η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της αισθητής εσωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας των επιμέρους επιφανειών εντός του χώρου. Όσο αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά παραμένει ανάμεσα στο επιθυμητό εύρος αποφεύγονται τυχόν αισθήσεις στέρησης θερμότητας. Σαφέστερα, ο Feist [5] αναφέρει, σε σχετική βιβλιογραφία, πως όσο η θερμοκρασία των επιμέρους επιφανειών ενός δωματίου δεν ξεπερνούν το όριο των 4,2 Kelvin κάτω από την θερμοκρασία που επικρατεί στο χώρο οι δυσάρεστες συνέπειες που προαναφέρθηκαν δεν είναι δυνατόν να προκληθούν.

Επομένως, θα πρέπει να ισχύει :

$$T_{si} \geq T_{op} - 4{,}2K \tag{6.1.7}$$

Είναι φανερό, λοιπόν, πως είναι απαραίτητη η σωστή επιλογή των κουφωμάτων έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα επίτευξης αυτής της διαφοράς. Στα παθητικά κτίρια συνιστάται να επιλέγονται είτε επάλληλα είτε ανοιγόμενα κουφώματα, έτσι ώστε να μην συναντήσουμε περιπτώσεις όπου θα πρέπει να διακοπεί η μόνωση στα δομικά στοιχεία (πιθανές θερμογέφυρες), καθώς και να φτάσουμε στην επιθυμητή αεροστεγανότητα του κτιρίου.

Εικόνα 33- 1.Επάλληλο κούφωμα 2. Ανοιγόμενο κούφωμα(Πηγή: http://www.exal.gr)

Στην Ελληνική περιοχή συναντώνται κουφώματα τα οποία είναι χωνευτά. Πρόκειται για κουφώματα τα οποία μπαίνουν στα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Τέτοια κουφώματα αναμένεται να καταργηθούν διότι αποτελούν ένα σημαντικό πρόβλημα για την αεροστεγανότητα του κτιρίου.

Εικόνα 34- Χωνευτό κούφωμα(Πηγή: http://www.kaptain.gr)

Για τους υπολογισμούς μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα το υλικό κατασκευής που θα επιλέξουμε για τα κουφώματα μας, καθώς και ο τύπος του υαλοπίνακα που θα εγκατασταθεί.

Ο μέγιστος συντελεστής μετάδοσης θερμότητας ενός δομικού στοιχείου ενός κτιρίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U \leq \frac{4,2}{R_{si} \cdot (T_{op} - T_a)} \quad (6.1.8)$$

Συνήθως η εσωτερική λειτουργική θερμοκρασία T_{op} λαμβάνεται ίση με 22°C και η εξωτερική θερμοκρασία -16°C, με μία εσωτερική θερμική αντίσταση της τάξης του 0,13 m^2K/W. Το αποτέλεσμα των ανωτέρω είναι γνωστό και ως κριτήριο θερμικής άνεσης Παθητικών Κτιρίων το οποίο ορίζεται και ως :

$$U_{w,installed} \leq 0,85 \frac{W}{(m^2K)} \quad (6.1.9)$$

Εάν δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί αυτή η τιμή θα πρέπει να εγκατασταθεί κάποια μονάδα παροχής θερμότητας κάτω από το παράθυρο, έτσι ώστε να φτάσουμε στην επιθυμητή θερμική άνεση του χώρου και να αποφύγουμε τυχόν διαταραχές της.

Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για το εγκατεστημένο παράθυρο ορίζεται βάση των τιμών U του υαλοπίνακα (Ug), του πλαισίου (U_f), καθώς και του συντελεστή απώλειας θερμογεφυρών Ψ_g και της ένωσης των επιμέρους δομικών στοιχείων Ψinstall και των αντίστοιχων μηκών ή επιφανειών ως εξής :

$$U_{w,installed} = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g + \Psi_{install} \cdot l_{install}}{A_g + A_f} \quad (6.2.0)$$

Όπου,

U_g Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα

A_g Η επιφάνεια του υαλοπίνακα

U_f Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου

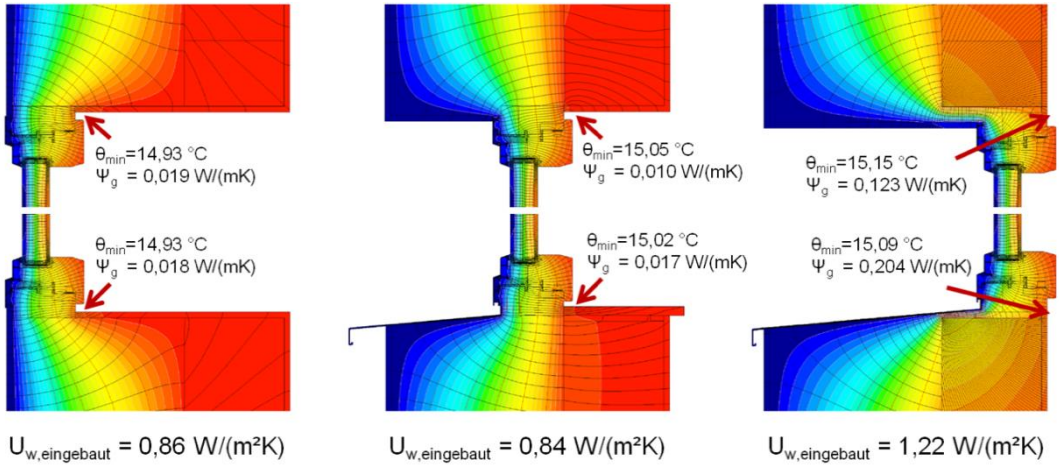
A_f Η επιφάνεια του πλαισίου

Ψ_g Η τιμή της γραμμικής θερμογέφυρας που σχηματίζεται μεταξύ υαλοπίνακα αποστάτη και πλαισίου

l_g Το μήκος της γραμμικής θερμογέφυρας.

Είναι εξαιρετικά σημαντικό, λοιπόν, να ελαχιστοποιήσουμε τις θερμογέφυρες κατά την εγκατάσταση των κουφωμάτων έτσι ώστε να επανορθώσουμε για μέτριας ποιότητας υλικά κατασκευής, συνήθως πλαίσια. Σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατόν να πετύχουμε και αρνητικές τιμές θερμογεφυρών επεκτείνοντας το εξωτερικό μονωτικό υλικό ώστε να καλύψει μεγάλο μέρος του πλαισίου. Αυτό βέβαια δεν θα ήταν καθόλου προσοδοφόρο στην περίπτωση που είχαμε κάποιο αλουμινένιο κούφωμα, αφού το αλουμίνιο σαν υλικό μειώνει τη θερμοκρασία του προφίλ σχεδόν στα επίπεδα της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα.

Κατά την εγκατάσταση των κουφωμάτων θα πρέπει να προσέξουμε ιδιαίτερα τη θέση της μόνωσης. Η τέλεια τοποθέτηση συναντάται όταν το κούφωμα τοποθετηθεί στο κέντρο της μόνωσης. Επίσης, όσον αφορά στη θέση του παραθύρου στην τοιχοποιία η βέλτιστη τοποθέτηση είναι το παράθυρο να εγκατασταθεί απευθείας μπροστά από την κατασκευή.



Εικόνα 35- Τοποθέτηση παραθύρου σε διάφορες θέσεις της τοιχοποιίας (Πηγή: http://www.passipedia.org)

Γενικά, εκτός από τις θερμικές απώλειες στα παράθυρα, αυτά που χρήζουν εξίσου σημαντικής προσοχής είναι τα ηλιακά κέρδη λόγω αυτών. Συγκεκριμένα, αυτά επηρεάζονται τόσο από τον προσανατολισμό και τη σκίαση των παραθύρων όσο και από τον παράγοντα μετάδοσης του υαλοπίνακα και του πλαισίου. Σε αυτό το πλαίσιο εντάσσεται και **ο συντελεστής g**.

Ο συντελεστής αυτός αναφέρεται στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτίριο δια μέσω ενός κουφώματος. Για να το επεξηγήσουμε λίγο καλύτερα αρκεί να αναφέρουμε ότι εάν η τιμή του συντελεστή g είναι της τάξης του 35% ή 0,35 αυτό σημαίνει πως το 35% της ηλιακής ακτινοβολίας διαπερνά το παράθυρο ενώ το υπόλοιπο 65% ανακλάται. Οι σύγχρονοι τριπλοί υαλοπίνακες έχουν τιμή συντελεστή g κοντά στο 50%.

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο για τα θερμικά κέρδη του κτιρίου από την ηλιακή ενέργεια συνιστά η επιλογή του υαλοπίνακα. Τα χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα, δηλαδή η τιμή U_g και ο συντελεστής g εξαρτώνται κυρίως από τα φυσικά χαρακτηριστικά του. Οι υαλοπίνακες διακρίνονται σε :

- Απλός μονός υαλοπίνακας

Η τιμή U είναι περίπου 5,5 W/(m^2K), ενώ οι συντελεστής g κυμαίνεται στο 0,87 και οι ετήσιες απώλειες θερμότητας από 1m^2 ενός τέτοιου παραθύρου ήταν αντίστοιχες σε δαπάνες ενέργειας 60 λίτρων πετρελαίου θέρμανσης. Λόγω της κακής του μόνωσης επίσης το κρύο μπορεί να φτάσει απευθείας τις εσωτερικές επιφάνειες και άρα να μειώσει την άνεση του χώρου. Είναι φανερό, λοιπόν, πως δεν εγκαθίστανται τέτοιου είδους υαλοπίνακες πλέον.

- Απλός διπλός υαλοπίνακας με αέρα ενδιάμεσα

Αποτελεί την εξέλιξη του απλού μονού υαλοπίνακα με ένα στρώμα μονωτικού αέρα ανάμεσα στα δύο τζάμια. Η τιμή U μειώνεται στα 2,8 W/(m^2K) και ο συντελεστής g στα 0,78 που σημαίνει ότι οι απώλειες είναι περίπου οι μισές από αυτές του μονού υαλοπίνακα. Οι εσωτερικές επιφάνειες σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να φτάσουν τους 7,5 °C, μία υποφερτή θερμοκρασία.

- Διπλός υαλοπίνακας με αέριο ενδιάμεσα

Γεμίζοντας το χώρο ανάμεσα στα τζάμια με αδρανή αέρια, συνήθως Αργό, τα οποία έχουν μικρότερη θερμική αγωγιμότητα από τον αέρα δημιουργήθηκαν τα λεγόμενα «θερμοπροστατευτικά τζάμια» τα οποία από το 1995 και μετά χρησιμοποιήθηκαν παντού σε νέες κατασκευές και αναδομήσεις. Ένα κανονικό παράθυρο με ξύλινο ή πλαστικό κούφωμα έχει τιμή U που κυμαίνεται ανάμεσα στο 1,1 και 1,7 W/(m^2K) περίπου, δηλαδή, η μισή από εκείνη του διπλού υαλοπίνακα με αέρα και ο συντελεστής g σε εύρος 0,62 έως 0,71. Η μέση εσωτερική θερμοκρασία των επιφανειών σε αυτήν την περίπτωση προκύπτει 13°C ακόμα και στις πιο παγωμένες μέρες (εξωτερική θερμοκρασία -15°C).

- Τριπλός υαλοπίνακας με αέριο ενδιάμεσα

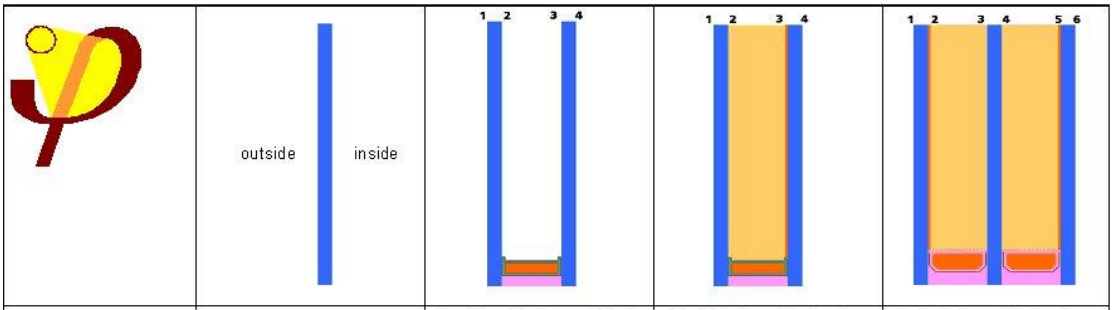
Αποτελεί μια καινοτόμο ιδέα στις κατασκευές και ειδικότερα στον τομέα των κουφωμάτων. Αποτελείται από τρία τζάμια των οποίων το κενό ενδιάμεσα γεμίζει με κάποιο αδρανές αέριο όπως και στην περίπτωση του διπλού υαλοπίνακα που προαναφέραμε. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τιμή U να φτάνει τα 0,5-0,8 W/(m^2K) και ο συντελεστής g τα 0,49-0,60. Για να πετύχουμε αυτό το επίπεδο ποιότητας θα πρέπει, επίσης, να χρησιμοποιήσουμε και ένα καλά μονωμένο κούφωμα. Το αποτέλεσμα είναι ένα παράθυρο Παθητικού Κτιρίου το οποίο καταφέρνει να μειώσει τις ετήσιες απώλειες θερμότητας σε αντιστοιχία με 7 λίτρα πετρελαίου θέρμανσης ανά τετραγωνικό μέτρο- λιγότερο από το 1/8 του αρχικού ποσού.

Ακόμα και σε ακραίες εξωτερικές θερμοκρασίες της τάξης των -15°C με τέτοιου είδους υαλοπίνακες οι εσωτερικές θερμοκρασίες δεν θα πέφτουν κάτω από τους 17 °C με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται καθόλου η άνεση του χώρου μας από τις εξωτερικές συνθήκες.

Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί πως το κόστος τέτοιων υαλοπινάκων είναι αρκετό, με μία ενδεικτική τιμή να είναι τα 75 ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο γεγονός που μας βοηθάει να καταλάβουμε γιατί συναντάται κυρίως σε κλίματα που είναι δυσμενέστερη η κατάσταση το χειμώνα με ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες.

- Τετραπλός υαλοπίνακας με αέριο ενδιάμεσα

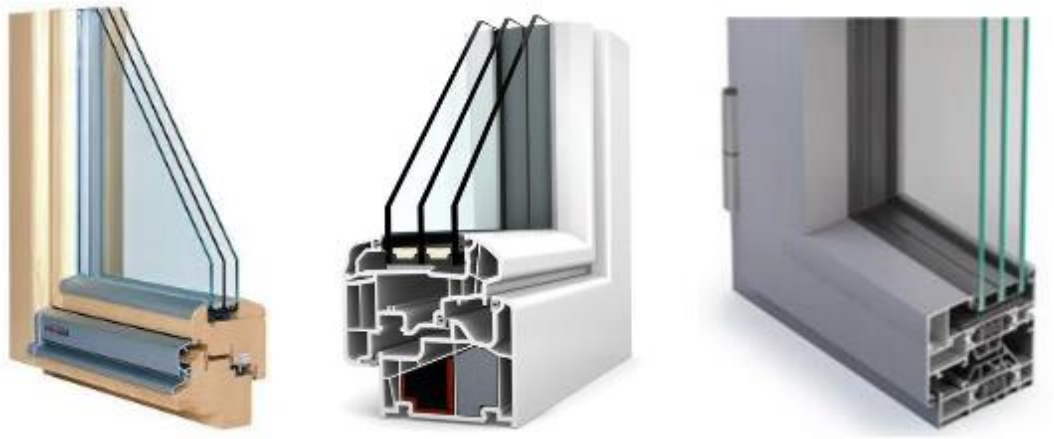
Είναι μια ιδιαίτερη περίπτωση υαλοπίνακα που συναντάται αρκετά σπάνια. Ο λόγος είναι τα ακραία καιρικά φαινόμενα που μπορεί να προκύψουν σε ορισμένες περιοχές. Η τιμή U ενός τετραπλού υαλοπίνακα μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 0,35 W/(m^{2}K) και ο συντελεστής g το 0,43. Ενδεικτικό κόστος τέτοιων υαλοπινάκων είναι περίπου 150 ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο.



glazing	single glazing	double glazing with air filling and aluminum spacers	double low-E glazing with noble gas filling and aluminum spacers	triple low-E glazing with noble gas filling and plastic spacers
glazing U-value U_g (W/(m²K))	5,6	2,8	1,0 ... 1,6	0,5 ... 0,8
surface temperature at: outside -10 °C inside: 20 °C	-1,8 °C	9,1 °C	15,3 °C	17,5 °C
total solar transmittance, g-value	0,85	0,76	0,5 ... 0,68	0,4 ... 0,6

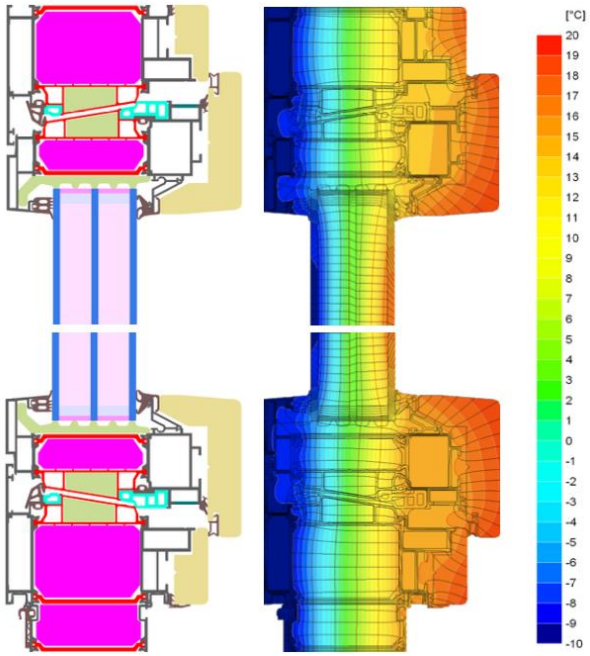
Εικόνα 36- Τύποι υαλοπινάκων (Πηγή : IPHA)

Τα κουφώματα που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα κτίριο χρήζουν, επίσης, διερεύνησης. Διακρίνονται κυρίως σε ξύλινα αλουμινίου και PVC.



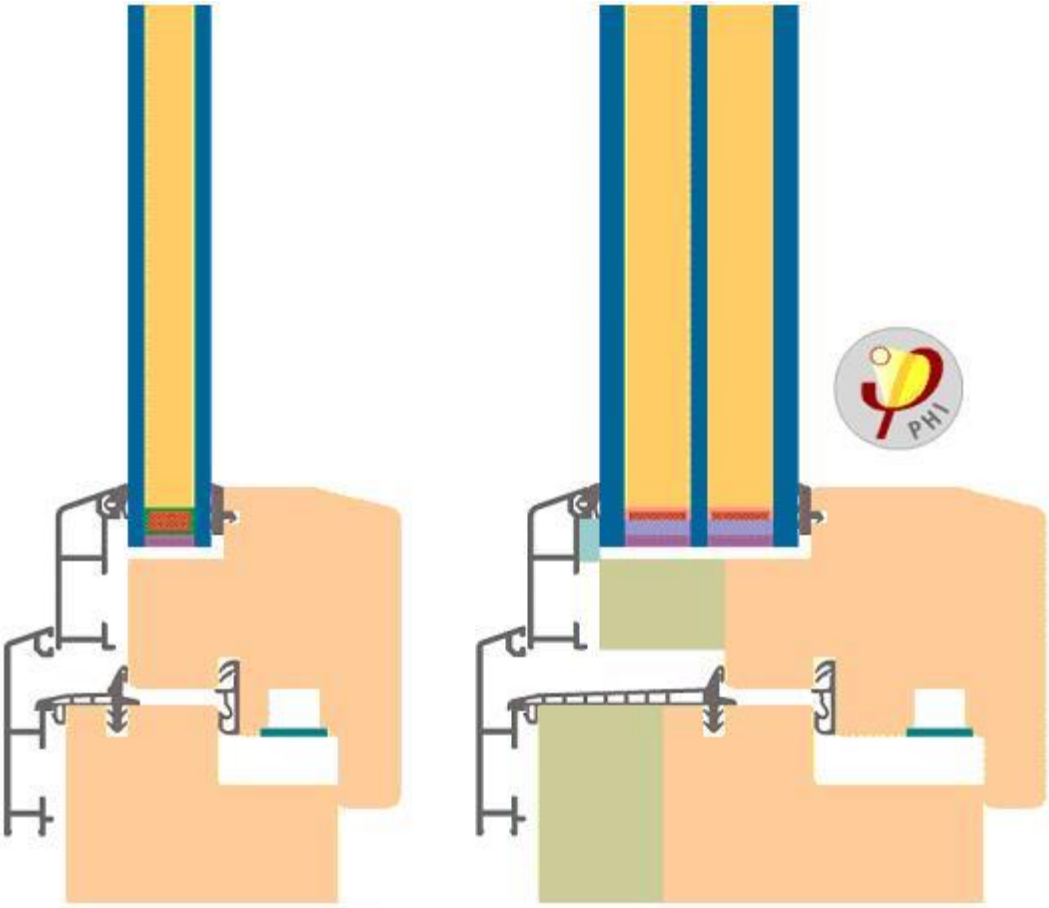
Εικόνα 37- Είδη κουφωμάτων(Πηγή: http://www.alumal.gr)

Πιο συγκεκριμένα ένα μεγάλο ποσό θερμότητας χάνεται μέσω των ξύλινων πλαισίων που χρησιμοποιούνται για το λόγο ότι πολλές φορές είναι αρκετά λεπτά. Για παράδειγμα, ένα ξύλινο πλαίσιο με βάθος 45mm έχει μία θερμική αγωγιμότητα της τάξης του 2,5 W/(m^2K). Εάν το βάθος είναι μεγαλύτερο, για παράδειγμα 68 mm, η τιμή U του πλαισίου βελτιώνεται στα 1,6 W/(m^2K) και για βάθος 100 mm βελτιώνεται στο 1,0 W/(m^2K). Αυτές οι τιμές μπορούν να βελτιωθούν ακόμα περισσότερο με τη χρήση μόνωσης είτε εξωτερικά από το πλαίσιο είτε ως ένα ξεχωριστό στρώμα στα υλικά του πλαισίου.



Εικόνα 38- Πλευρική εικόνα κουφώματος με θερμική ροή(Πηγή:PHI)

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται πως οι τιμές U των υαλοπινάκων είναι μικρότερες από αυτές των πλαισίων. Από μια θερμική οπτική, είναι προσοδοφόρο να χρησιμοποιήσουμε μικρά πλαίσια ειδικά αφού τα πλαίσια δεν επιτρέπουν τα ηλιακά κέρδη και εμποδίζουν το φως από το να εισέλθει στο κτίριο.



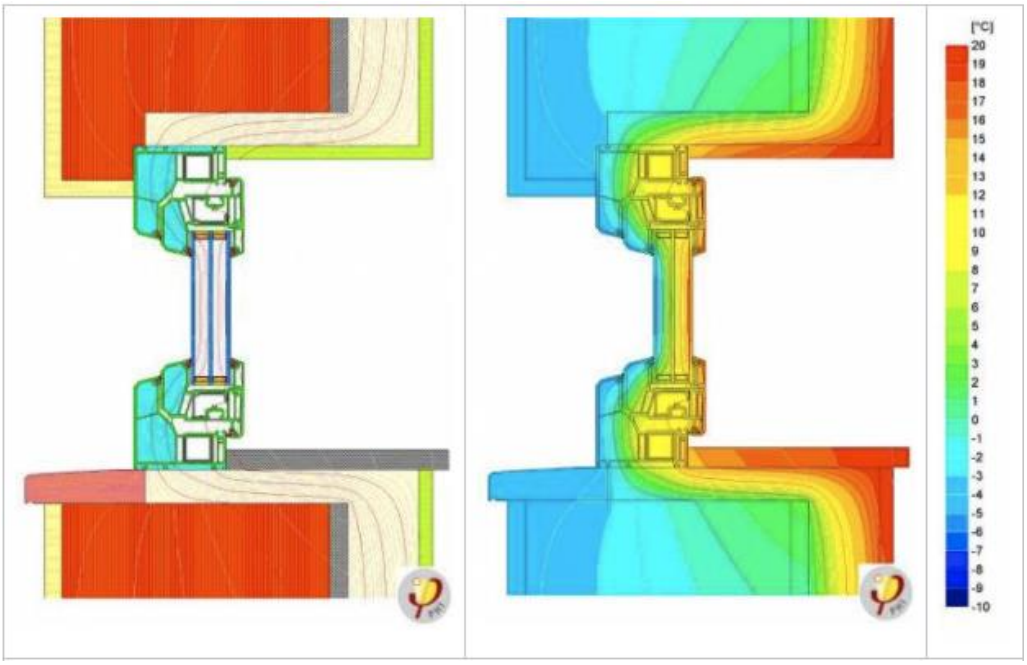
Εικόνα 39- Κούφωμα χωρίς μόνωση με Uf=1,4W/(m²K) (αριστερά) και κούφωμα με μόνωση Uf=0,8W/(m²K) (δεξιά)(Πηγή: PHI)

Παραδείγματα αναδόμησης κτιρίων σε παθητικά

- Sodastraße 40 – Ludwigshafen, Germany

Εικόνα 40- Το κτίριο πριν και μετά την αναδόμηση(Πηγή: http://www.passipedia.org)

Το παραπάνω ιστορικό κτίριο που χτίστηκε στη Γερμανία το 1892, αναδομήθηκε και μονώθηκε χρησιμοποιώντας εσωτερική μόνωση EPS 80mm. Το κτίριο αποτελούνταν από μια εκτεθειμένη οπτοπλινθοδομή χωρίς επίχρισμα. Η διατήρηση των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών ήταν εξαιρετικά σημαντική γι' αυτό το κτίριο. Τελικά, σύμφωνα με τα πρότυπα παθητικού κτιρίου εφαρμόστηκε η παρακάτω μέθοδος στα παράθυρα:

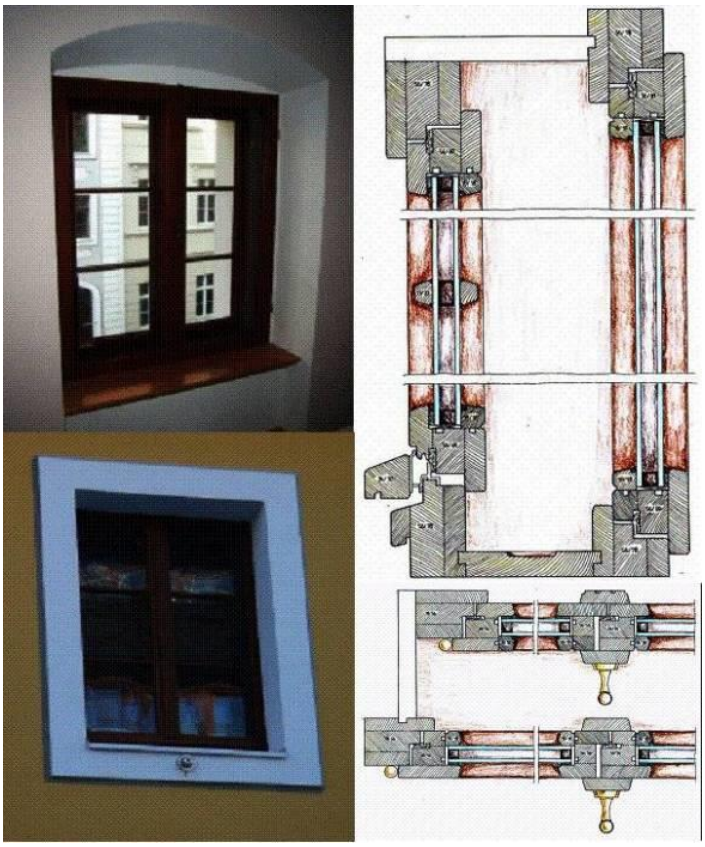


Εικόνα 41- Σύνδεση παραθύρου με μόνωση (Πηγή: Kaufmann, Peper 2005)

- Νέα διπλά παράθυρα με εξωτερική και εσωτερική μόνωση: ανακαίνιση ιστορικού μνημείου στο Görlitz

Εικόνα 42- Το κτίριο πριν και μετά την ανακαίνιση(Πηγή: Conrad et. al. 2008)

Το ιστορικό μνημείο στο Görlitz αναδομήθηκε σε ένα έργο χρηματοδοτούμενο από το Γερμανικό Περιβαλλοντολογικό Ίδρυμα (DBU). Στο κτίριο προσδόθηκε μόνωση στο εσωτερικό που αποτελούνταν από σανίδες πυριτικού ασβεστίου και εξωτερικά με μονωτικό επίχρισμα στην πρόσοψη του κτιρίου.



Εικόνα 43- Το διπλό παράθυρο εξωτερικά και εσωτερικά(Πηγή: Häupl et. Al. 2007)

Αφού, απαγορεύονταν για λόγους διατήρησης του χαρακτήρα του κτιρίου να εγκατασταθούν τριπλοί υαλοπίνακες, εγκαταστάθηκαν διπλοί με τιμή U 0,75 W/(m^2K). Το σχέδιο των παραθύρων έγινε με βάση τα παράθυρα που χρησιμοποιούνταν κατά κανόνα τον 19^{ο} αιώνα στη Γερμανία.

Κουφώματα με τριπλούς υαλοπίνακες εγκαταστάθηκαν στις λιγότερο εμφανείς περιοχές του κτιρίου, όμοια σχεδόν σε εμφάνιση με τα πρότυπα παράθυρα του ιστορικού κτιρίου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Εικόνα 44- Κουφώματα με τριπλούς υαλοπίνακες(Πηγή: Häupl et. Al. 2007)

- Ανακαίνιση της ‘Weisse Villa’ στα βουνά Erzgebirge στη Γερμανία

Εικόνα 45- Το κτίριο πριν και μετά την ανακαίνιση (Πηγή: http://www.energy-architects.com/)

Η Weisse Villa χτίστηκε στα βουνά Erzgebirge το 1882. Το κτίριο υπέστη φθορές λόγω της παραμέλησής του και εξαιτίας της παραμονής του για μεγάλο χρονικό διάστημα υπό την επίδραση ξηρής σήψης.

Κατά τον εκσυγχρονισμό του κτιρίου, οι εσωτερικοί τοίχοι χωρίστηκαν από τους εξωτερικούς και ένα νέο υποστηρικτικό κέλυφος χτίστηκε μπροστά σε απόσταση 25cm. Ο ενδιάμεσος χώρος γέμισε από μόνωση EPS (0,040 W/(mK)).

Τα παλιά παράθυρα αφαιρέθηκαν, αναδιαμορφώθηκαν και εγκαταστάθηκαν ξανά στις ίδιες θέσεις. Νέα ξύλινα κουφώματα με διπλούς υαλοπίνακες εγκαταστάθηκαν, τα οποία ήταν ελαφρώς μεγαλύτερα από τα παλιά έτσι ώστε τα παλιά να μπορούν να ανοίγουν από το εσωτερικό χωρίς δυσκολία.

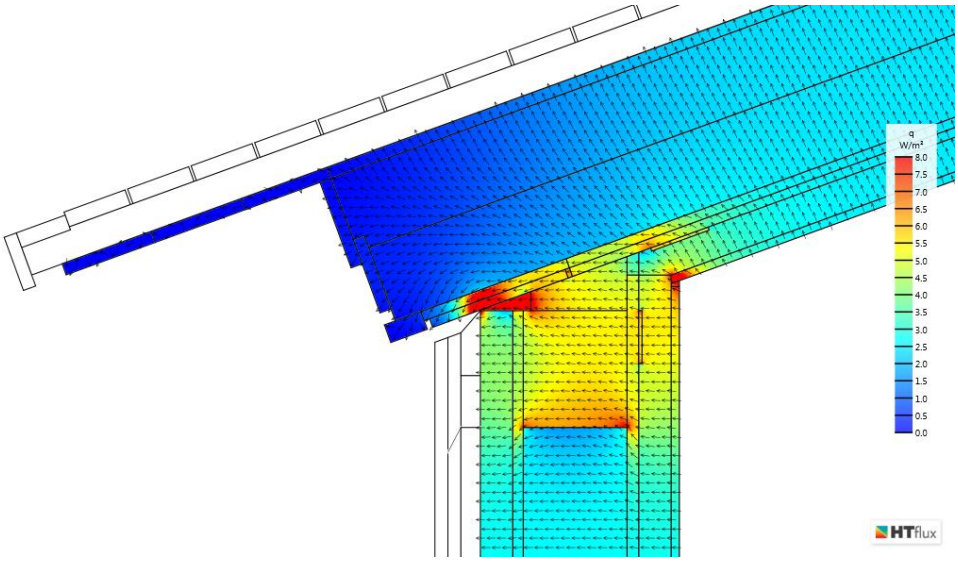
7. Λογισμικό επίλυσης θερμογεφυρών

Για να μπορέσουμε να επιλύσουμε το πρόβλημα του υπολογισμού των θερμογεφυρών σε ένα κτίριο είναι απαραίτητη η χρήση κάποιου λογισμικού, το οποίο θα μπορεί να λύνει αυτά τα δυσδιάστατα ή ακόμα και τρισδιάστατα προβλήματα. Για τους σκοπούς αυτή της εργασίας επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό HTflux, το οποίο είναι διαθέσιμο δωρεάν για φοιτητές αν επικοινωνήσουν με τους αρμόδιους.

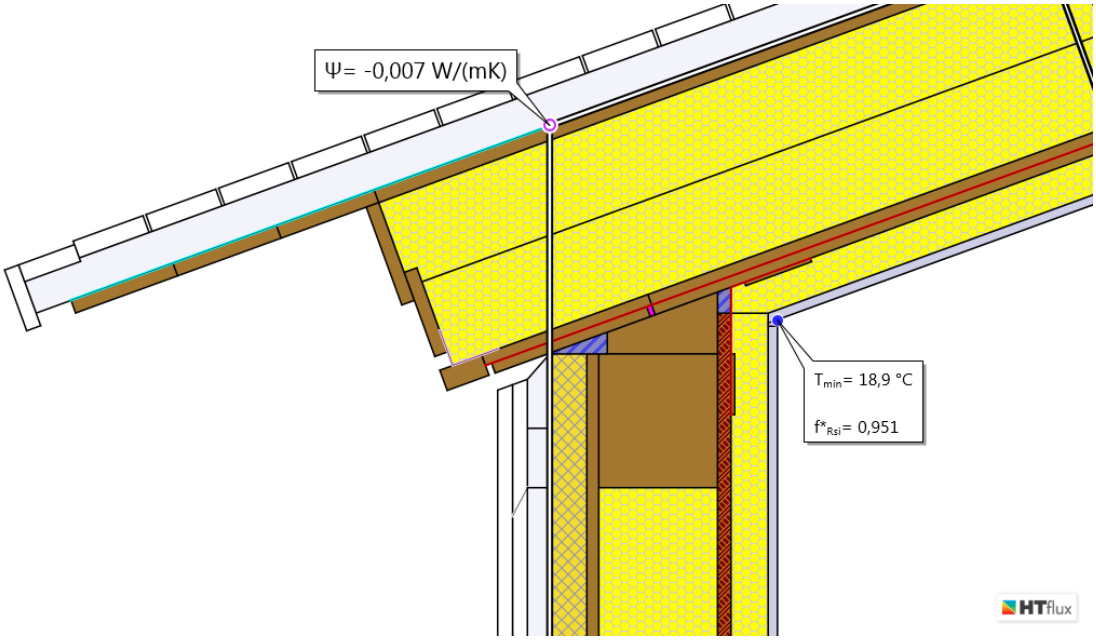
Εικόνα 46- HTflux logo(Πηγή: http://www.htflux.com)

Το HTflux είναι ένα ιδιαίτερα καινοτόμο λογισμικό για την δισδιάστατη προσομοίωση μεταφοράς θερμότητας. Η GLASER 2d, μια μοναδική μέθοδος που αναπτύχθηκε από το HTflux εφαρμόζει την γνωστή και αποδεδειγμένη μέθοδο GLASER σε δυσδιάστατες γεωμετρίες. Αυτό μας επιτρέπει να υπολογίζουμε τις ζώνες των σημείων δρόσου συμπεριλαμβανομένου των ποσοστών συμπύκνωσης και ατμοποίησης για τις δύο διαστάσεις. Επιπλέον, το HTflux προσπαθεί να κάνει τη ζωή του μηχανικού όσο πιο εύκολη γίνεται: μία εύκολη εφαρμογή, η έξυπνη εισαγωγή αρχείων CAD και η μέθοδος του DIRECT MAPPING μας επιτρέπουν να δημιουργήσουμε ακριβείς προσομοιώσεις στον λιγότερο δυνατό χρόνο.

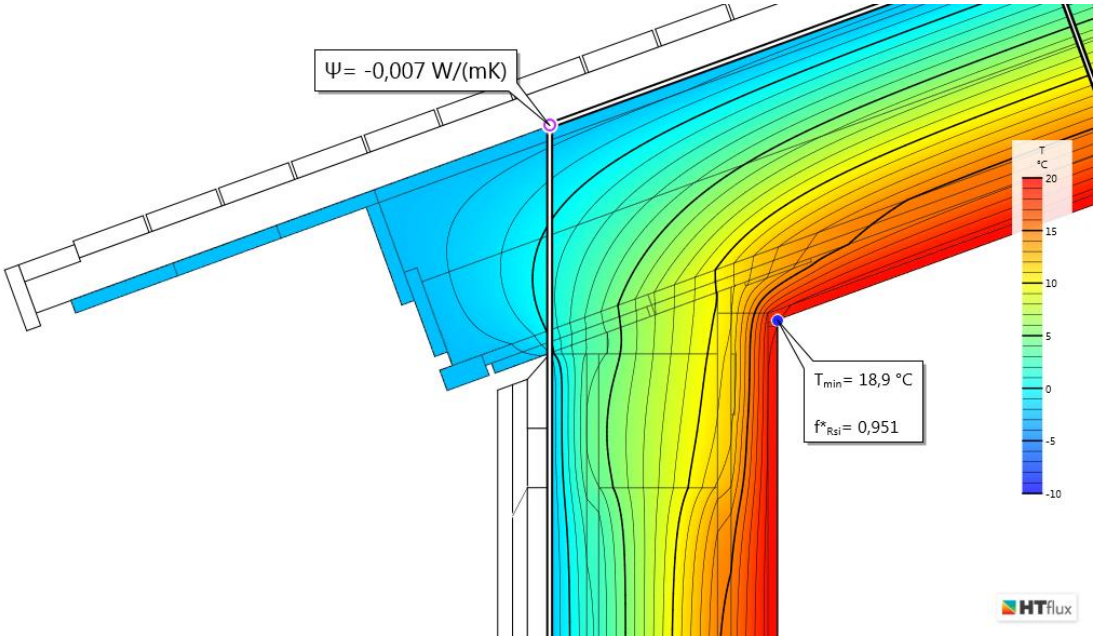
Προσφέρονται διάφορα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως για παράδειγμα η όψη της θερμικής ροής, των υλικών κατασκευής ή της θερμοκρασίας.



Εικόνα 47-Όψη θερμικής ροής(Πηγή: http://www.htflux.com)

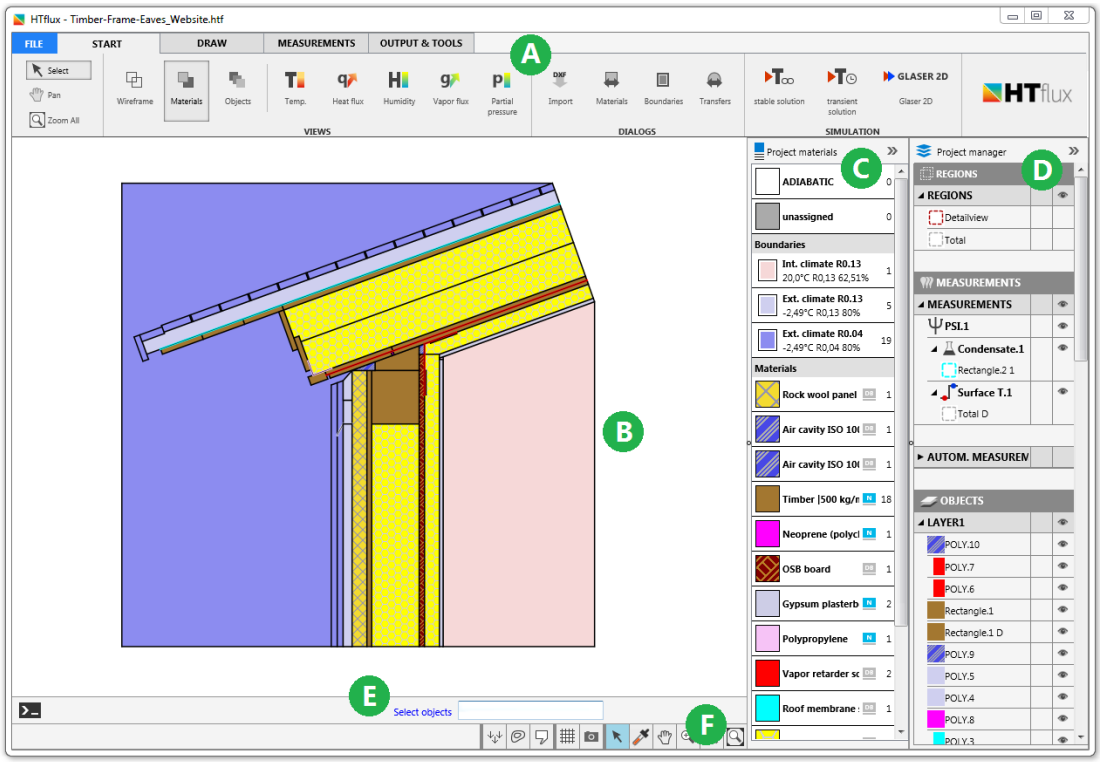


Εικόνα 48-Όψη υλικών κατασκευής(Πηγή: http://www.htflux.com)



Εικόνα 49-Όψη θερμοκρασίας(Πηγή: http://www.htflux.com)

Παρακάτω φαίνεται το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού με το οποίο αλληλοεπιδρά ο χρήστης.



Εικόνα 50-Γραφικό περιβάλλον(Πηγή: http://www.htflux.com)

Τα σημεία από A-F έχουν ως εξής:

A- Main Toolbar

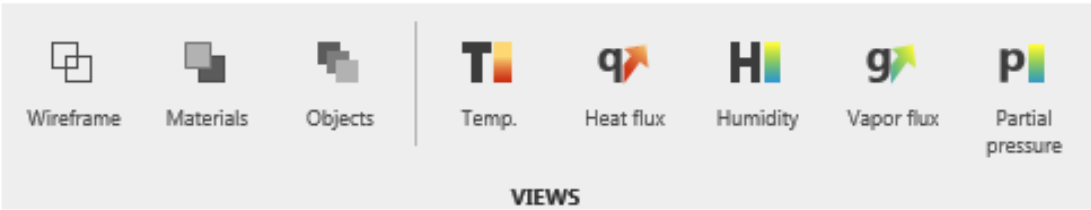
Στην πάνω μεριά του προγράμματος θα βρούμε την κύρια γραμμή εργαλείων. Αυτή μας δίνει πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες του προγράμματος. Για λόγους ευχρηστίας η γραμμή εργαλείων χωρίζεται σε πέντε βασικά μενού τα οποία επιλέγουμε με τα κουμπιά στην κορυφή.

- File: Μας δίνει πρόσβαση στις βασικές επιλογές για το αρχείο μας (Αποθήκευση, άνοιγμα, κλείσιμο…)
- Start: Περιλαμβάνει τις κύριες λειτουργίες για την διαδικασία προσομοίωσης
- Draw: Περιλαμβάνει τις λειτουργίες σχεδίασης και γεωμετρικής μορφοποίησης
- Measurements: Περιλαμβάνει τις λειτουργίες μετρήσεων
- Output & tools: Περιλαμβάνει αναφορές και πρόσθετες λειτουργίες

B – Graphics Window

Στο κέντρο του προγράμματος θα βρούμε το κύριο παράθυρο γραφικών στο οποίο θα φαίνεται η γραφική αναπαράσταση του μοντέλου ή των δεδομένων προσομοίωσης. Μπορούμε να αλλάξουμε οποιαδήποτε στιγμή τον τύπο της όψης χρησιμοποιώντας τα κουμπιά όψης στο κύριο μενού.

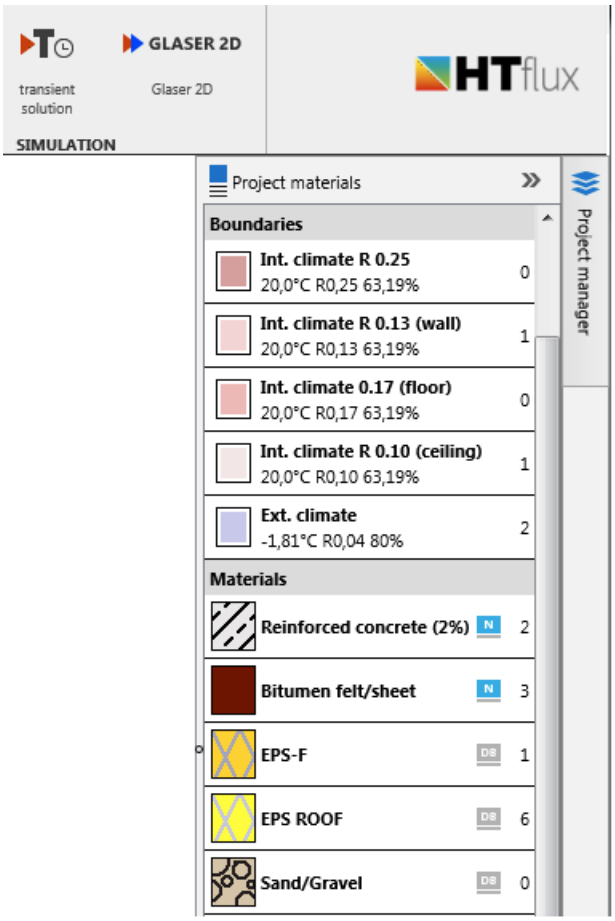
Υπάρχουν διάφορες όψεις που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ανάλογα με τι εξετάζουμε κάθε φορά. Υπάρχει η Wire-Frame όψη η οποία μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε ποικίλες περιπτώσεις και ιδιαίτερα κατά την επεξεργασία της γεωμετρίας της λεπτομέρειάς μας. Επιπλέον, υπάρχει η Materials όψη η οποία μας επιτρέπει να διακρίνουμε, αλλά και να καθορίσουμε τα υλικά κατασκευής του στοιχείου. Στη συνέχεια, υπάρχει η Objects όψη η οποία είναι μια όψη που δεν χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό, αλλά όμως μπορεί να φανεί χρήσιμη, αφού μπορούμε ελεύθερα να διαλέξουμε ένα συγκεκριμένο χρώμα για κάθε στοιχείο. Ακόμα, υπάρχουν οι Heat-Flux και Humidity όψεις οι οποίες μας δείχνουν την κατεύθυνση της θερμικής ροής και τα σημεία πιθανής συμπύκνωσης αντίστοιχα. Τέλος, υπάρχουν οι Vapor-flux και Partial pressure όψεις.



Εικόνα 51- Επιλογή όψεων HTflux(Πηγή: http://www.htflux.com)

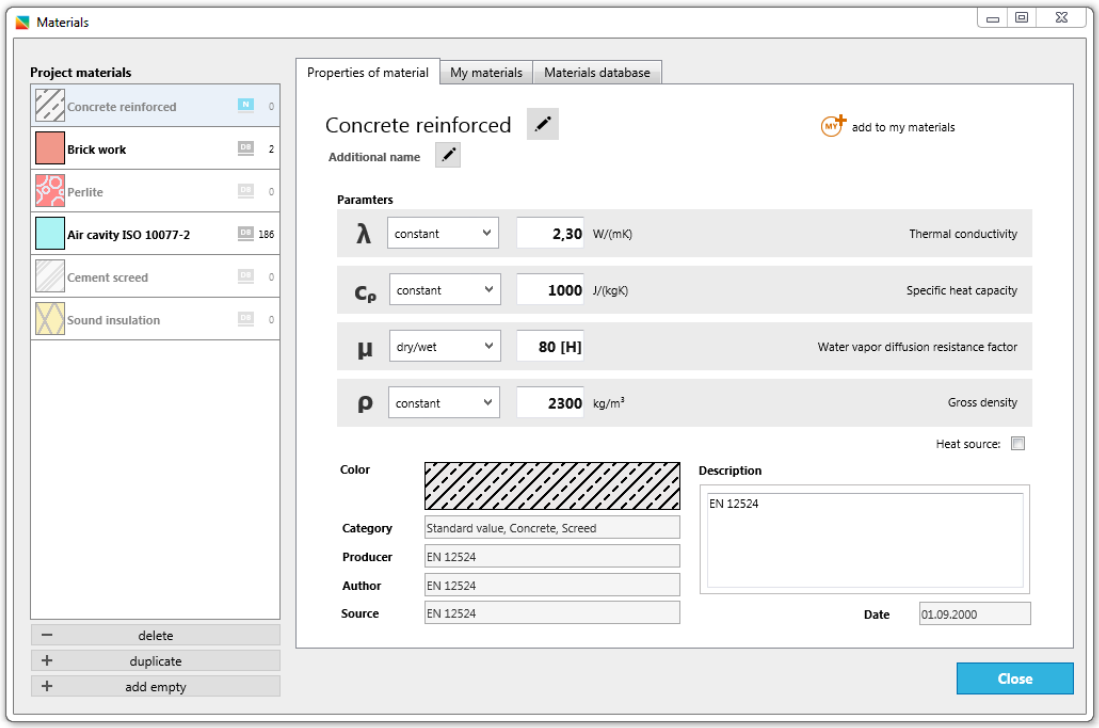
C- Project Materials List

Στην δεξιά πλευρά θα βρούμε τον κατάλογο των υλικών που έχουν «φορτωθεί» στο πρόγραμμα. Η λίστα περιλαμβάνει όλα τα υλικά και τις οριακές συνθήκες που χρησιμοποιούνται, καθώς και αχρησιμοποίητα υλικά που μπορεί να είναι χρήσιμα στη συνέχεια.



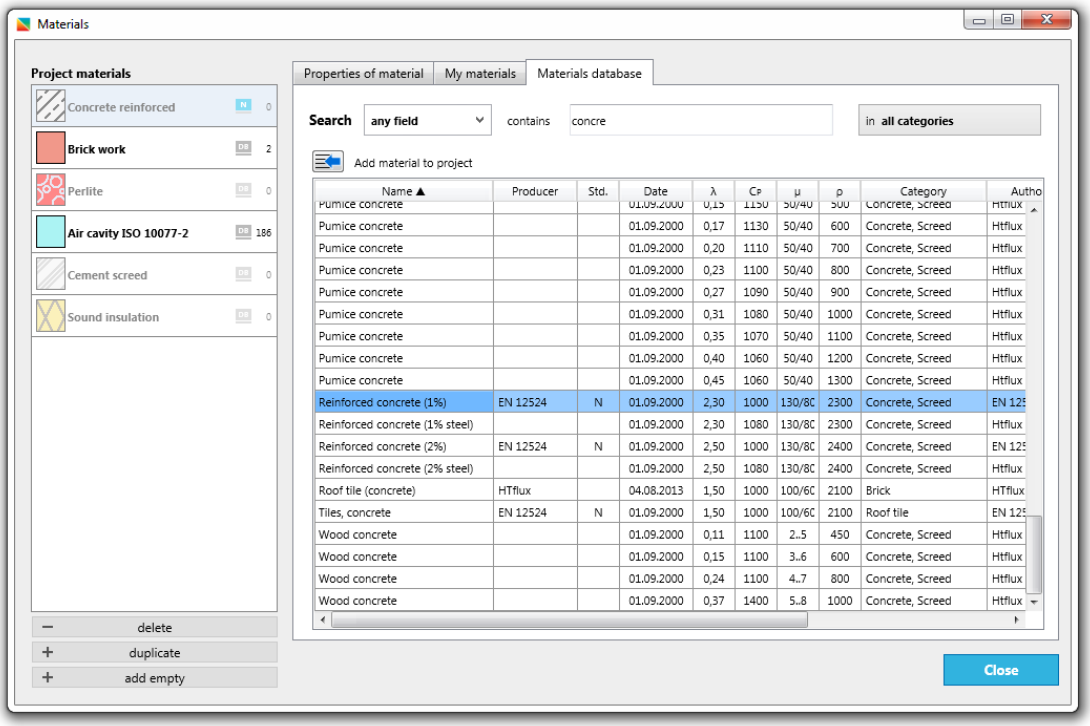
Εικόνα 52- Project Materials List HTflux(Πηγή: http://www.htflux.com)

Επίσης, μπορούμε να αλλάξουμε τις ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται και να τις προσαρμόσουμε όπως εμείς θέλουμε, καθώς και επίσης να προσθέσουμε νέα υλικά η να δημιουργήσουμε διπλότυπα των ήδη υπαρχόντων υλικών.



Εικόνα 53- Χαρακτηριστικά υλικών(Πηγή: http://www.htflux.com)

Για να προσθέσουμε υλικά μπορούμε είτε να τα δημιουργήσουμε μόνοι μας είτε να χρησιμοποιήσουμε τον κατάλογο υλικών που υπάρχει μέσα στο πρόγραμμα και περιέχει τα συνηθέστερα υλικά κατασκευής που θα συναντήσει ένας μηχανικός τα οποία στη συνέχεια επίσης μπορούμε να τα προσαρμόσουμε στα μέτρα του προβλήματος.



Εικόνα 54- Κατάλογος υλικών(Πηγή: http://www.htflux.com)

D- Project Manager

Στην δεξιά πλευρά του προγράμματος θα βρούμε το παράθυρο Project Manager. Πρόκειται για μια λίστα όλων των γεωμετρικών αντικειμένων, καθώς και επίσης όλες τις επιλογές μετρήσεων που είναι μέρος της εργασίας μας.

Το Project Manager χωρίζεται σε τρία ξεχωριστά τμήματα :

- Regions: Αναπαριστούν γεωμετρικά αντικείμενα τα οποία μας βοηθάνε να ορίσουμε συγκεκριμένες περιοχές στο έργο μας. Αυτές οι περιοχές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ορίσουμε την επιφάνεια προσομοίωσης ή για να περιορίσουμε μια λειτουργία μέτρησης σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια.

- Measurements: Είναι ένας κατάλογος από όλες τις λειτουργίες μετρήσεων που έχουν χρησιμοποιηθεί

- Objects: Περιλαμβάνει όλα τα γεωμετρικά αντικείμενα του έργου μας. Η σειρά που βρίσκονται από πάνω προς τα κάτω παίζει αρκετά σημαντικό ρόλο καθώς ορίζει το ποιο αντικείμενο καλύπτει κάποιο άλλο. Τα αντικείμενα που βρίσκονται πιο ψηλά στη λίστα καλύπτουν εκείνα που βρίσκονται πιο χαμηλά.

E- Command Line

Κάτω από το Graphics Window βρίσκεται η γραμμή εντολών. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα σημαντικό εργαλείο όταν εργαζόμαστε πάνω στον σχεδιασμό των λεπτομερειών, στην επεξεργασία ή στις λειτουργίες μετρήσεων. Πάντοτε θα αναφέρει την κατάσταση του εργαλείου που χρησιμοποιείται, καθώς και επίσης μια συμβουλή για τις πιθανές εισαγωγές μέσω του ποντικιού ή του πληκτρολογίου.

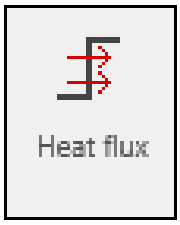
F- Quick- Toolbar

Στο πιο χαμηλό σημείο του προγράμματος θα βρούμε ένα μενού με μικρά κουμπιά το οποίο μας επιτρέπει να ανατρέξουμε σε συγκεκριμένες λειτουργίες ανά πάσα στιγμή. Το quick toolbar θα δείχνει διαφορετικές επιλογές ανάλογα με την όψη ή την εντολή που έχουμε επιλέξει.

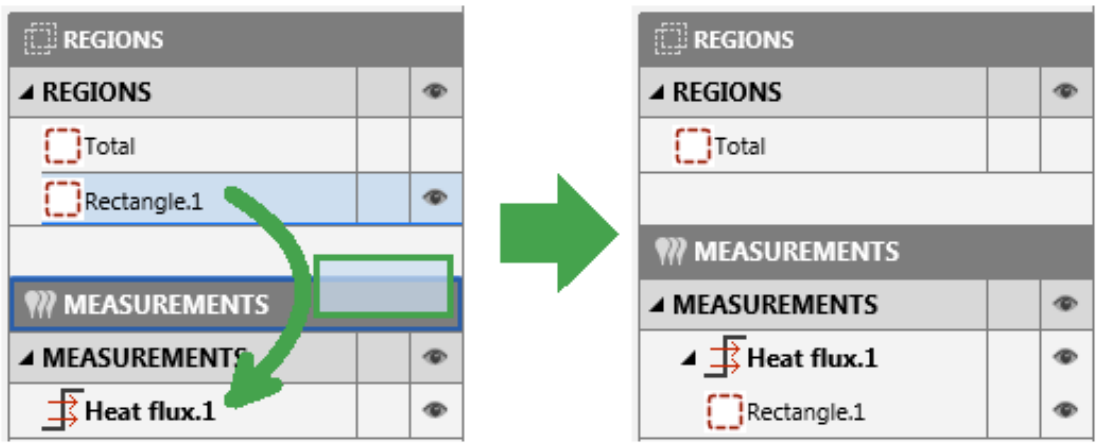
Εικόνα 55- Quick Toolbar HTflux(Πηγή: http://www.htflux.com)

7.1 Εργαλεία Υπολογισμών

- Εργαλείο μέτρησης θερμικών ροών

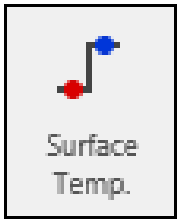


Αυτό το εργαλείο μας επιτρέπει την μέτρηση της συνολικής θερμικής ροής που εισέρχεται ή εξέρχεται από μία επιφάνεια μέσα στην καθορισμένη περιοχή.

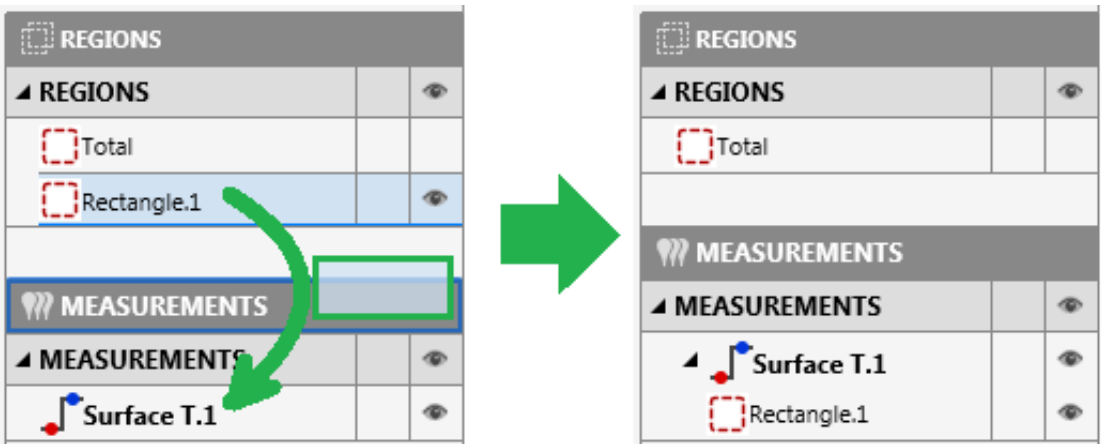


Εικόνα 56- Καθορισμός επιφάνειας για τον υπολογισμό θερμικής ροής(Πηγή: http://www.htflux.com)

- Εργαλείο θερμοκρασίας επιφάνειας

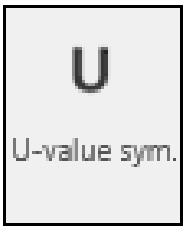


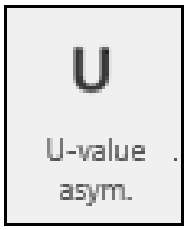
Αυτό το εργαλείο μας επιτρέπει να καθορίσουμε τη θέση και τη τιμή της ελάχιστης, μέγιστης ή μέσης θερμοκρασίας μιας επιφάνειας.



Εικόνα 57- Καθορισμός επιφάνειας για μέτρηση θερμοκρασιών(Πηγή: http://www.htflux.com)

- Εργαλείο μέτρησης τιμής U





Το εργαλείο αυτό μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την τιμή U για τα διάφορα δομικά στοιχεία της λεπτομέρειάς μας ανάλογα με το πως θα το χρησιμοποιήσουμε.

Μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για πολλαπλούς σκοπούς:

α) Καθορισμός των 1d τιμών U (= υπολογισμένες με βάσει τις τιμές R των στρωμάτων)

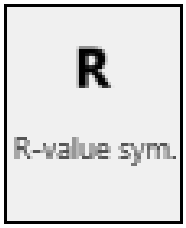
β) Καθορισμός των 2d τιμών U (= υπολογισμένες με βάσει τη μέτρηση της θερμικής ροής)

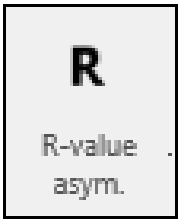
γ) Καθορισμός των δομικών στρωμάτων

δ) Εμφάνιση της τιμής R

ε) Εμφάνιση δυναμικών θερμικών στοιχείων (θερμική χωρητικότητα θερμική μάζα, μετατοπίσεις φάσης…)

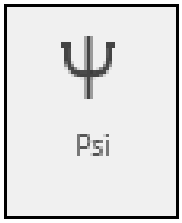
- Εργαλείο μέτρησης τιμής R





Το εργαλείο αυτό μας επιτρέπει να καθορίσουμε την τιμή R/ θερμική αντίσταση ενός δομικού στοιχείου. Μπορούμε επίσης να λάβουμε τη διαστρωματική οργάνωση ή τις δυναμικές θερμικής ιδιότητες των στοιχείων

- Εργαλείο υπολογισμού τιμής Ψ



Είναι ένα εξαιρετικά δυνατό εργαλείο που μας επιτρέπει να υπολογίσουμε αυτόματα την τιμή της γραμμικής θερμογέφυρας στο σημείο της λεπτομέρειας που θα ορίσουμε.

- Εργαλείο υπολογισμού συμπύκνωσης

Πρόκειται για ένα εργαλείο που μας δείχνει το ποσό ημερήσιας συμπύκνωσης της προσομοίωσης Glaser 2d σε μια καθορισμένη περιοχή.

8. Κατάλογος θερμογεφυρών

8.1 Σκοπός της μελέτης

Ο υπολογισμός μιας ενεργειακής ισορροπίας είναι απαραίτητος για όλα τα κτίρια στο σχέδιο των Παθητικών Κτιρίων. Για να υπολογιστούν οι θερμικές απώλειες στο κτιριακό κέλυφος, η τιμή U είναι ο πιο συνήθης τρόπος, αφού είναι μια άμεση και εύκολη μέθοδος. Οι συνέπειες των θερμογεφυρών, οι οποίες καθορίζονται από την τιμή Ψ, συμβαίνουν σε όλα τα κτίρια εξαιτίας των γεωμετριών του κτιρίου και των διαφόρων ενώσεων δομικών στοιχείων. Συμπερασματικά, αυτές οι θερμογέφυρες θα πρέπει να αποφεύγονται.

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας κατασκευάζεται ένας κατάλογος με τις συνηθέστερες θερμογέφυρες στην περιοχή της Μεσογείου, έτσι ώστε να βοηθηθούν οι μηχανικοί με τους διάφορους υπολογισμούς που θα πρέπει να γίνουν καθώς και με τα υλικά που θα επιλέξουν προκειμένου να κατασκευάσουν ένα κτίριο απαλλαγμένο από θερμογέφυρες.

8.2 Οδηγίες ανάγνωσης καταλόγου

Οι λεπτομέρειες που κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού HTflux κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Μπαλκόνι
- Επαφή με έδαφος
- Κουφώματα

Για κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες υπάρχουν διαφορετικές λεπτομέρειες. Για την ανάγνωση του καταλόγου είναι συνετό να δοθούν κάποιες οδηγίες, οι οποίες θα βοηθήσουν τον μηχανικό στην αμεσότερη κατανόησή του.

Αρχικά, στο πάνω μέρος της πρώτης σελίδας αναγράφεται ο τίτλος της λεπτομέρειας. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια Wire-Frame όψη της λεπτομέρειας και ο πίνακας που αποτυπώνει τις διάφορες τιμές Ψ για τις διάφορες τιμές U της τοιχοποιίας. Σε περίπτωση που υπάρχουν δύο τοίχοι στο πινακάκι θα πρέπει να γίνει και η αντιστοιχία των τιμών για τις τιμές U των δύο τοίχων, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα κυκλωμένη με κόκκινο χρώμα:

ΜΠΑΛΚΟΝΙ 1ος ΟΡΟΦΟΣ						
U-VALUE WALL 1 IN W/(m2K)	U-VALUE WALL-2 IN W/(m2K)				Ψ-VALUE IN W/(mK)	
	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
0,15	0,217	0,242	0,259	0,270	0,278	0,283
0,2	0,196	0,221	0,237	0,248	0,255	0,260
0,25	0,176	0,200	0,216	0,226	0,233	0,237
0,3	0,156	0,179	0,194	0,204	0,211	0,215
0,35	0,136	0,158	0,173	0,183	0,189	0,192
0,4	0,116	0,138	0,152	0,161	0,167	0,170

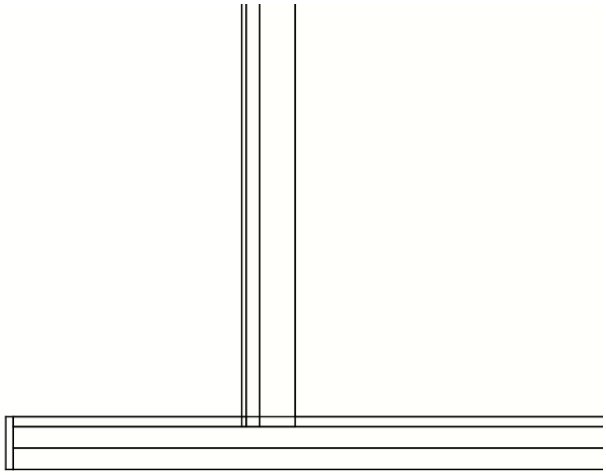
Έπειτα, ακολουθεί μια σελίδα με πίνακες που αναφέρουν τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν μαζί με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, τις οριακές συνθήκες του προβλήματος, καθώς και τις θερμικές αντιστάσεις που ελήφθησαν υπόψη.

Τέλος, παρουσιάζονται οι διαφορετικές όψεις της λεπτομέρειας με την εξής σειρά:

1. Όψη υλικών
2. Όψη θερμοκρασίας
3. Όψη θερμικής ροής

Σε αυτές τις όψεις αναγράφεται, επίσης, ο παράγοντας f_{Rsi} για την κάθε λεπτομέρεια και η ελάχιστη θερμοκρασία που μπορεί να δεχθεί.

8.3 Λεπτομέρεια 1 – Μπαλκόνι 1ουόροφου



Πίνακας 6- Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 1

ΜΠΑΛΚΟΝΙ 1ος ΟΡΟΦΟΣ						
U-VALUE WALL 1 IN W/(m2K)	U-VALUE WALL-2 IN W/(m2K)				Ψ-VALUE IN W/(mK)	
	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
0,15	0,217	0,242	0,259	0,270	0,278	0,283
0,2	0,196	0,221	0,237	0,248	0,255	0,260
0,25	0,176	0,200	0,216	0,226	0,233	0,237
0,3	0,156	0,179	0,194	0,204	0,211	0,215
0,35	0,136	0,158	0,173	0,183	0,189	0,192
0,4	0,116	0,138	0,152	0,161	0,167	0,170

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

USED MATERIALS

Material	λ W/(mK)	C J/(kgK)	ρ kg/m³	μ	Obj.	Comment
Concrete	2,50	1000	2400	Please select	2	EN 12524
Cement Screed	1,40	920	710	10	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Ext Plaster	0,87	1000	900	Please select	1	EN 12524
Grafit EPS 031	0,031	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
EPS 031	0,031	1030	120	60	3	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data

BOUNDARIES

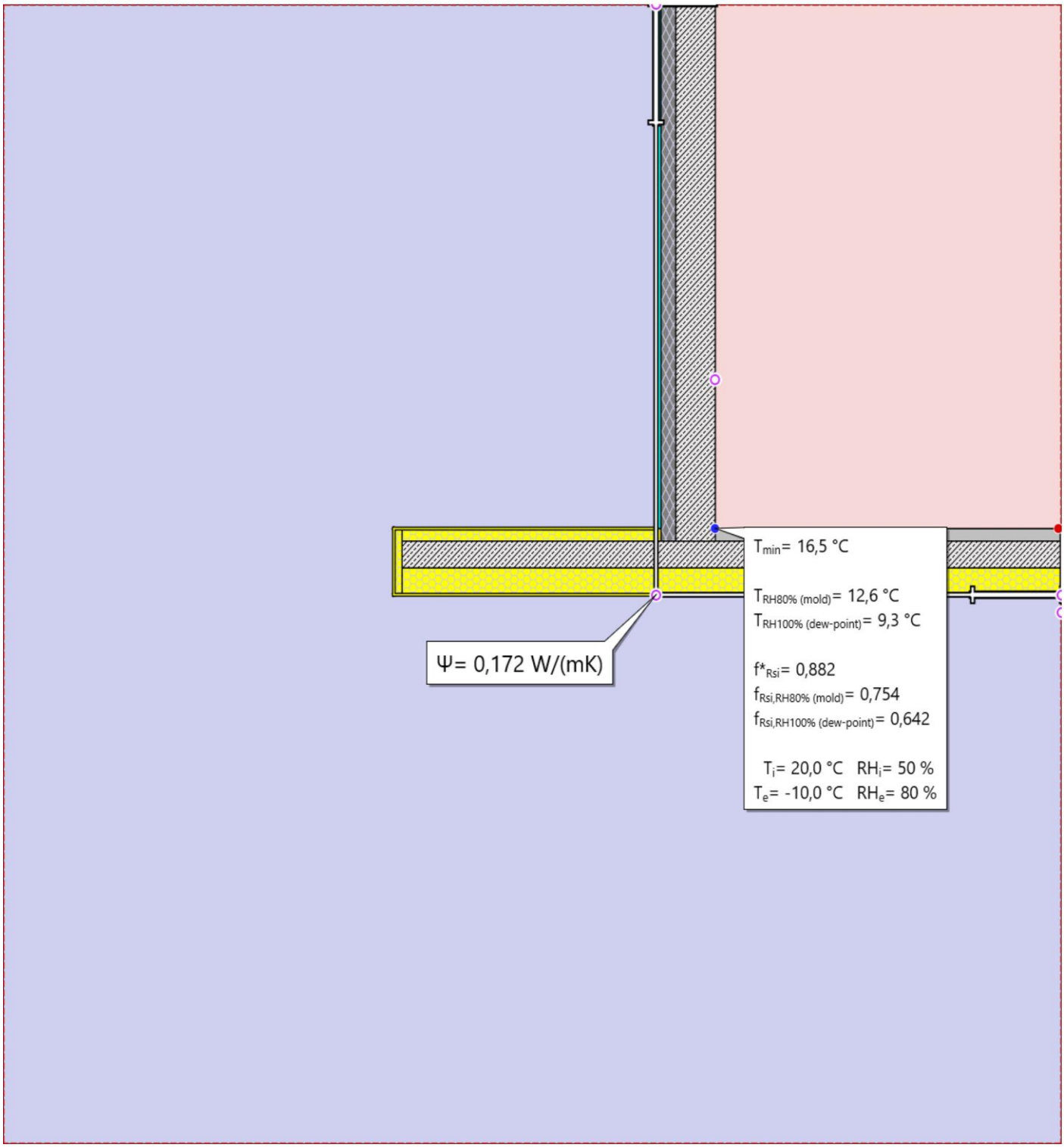
Boundary	T °C	RH (%)	Objects	Comment
Internal climate R 0.13	20,0	50	1	
External climate	-10,0	80	2	

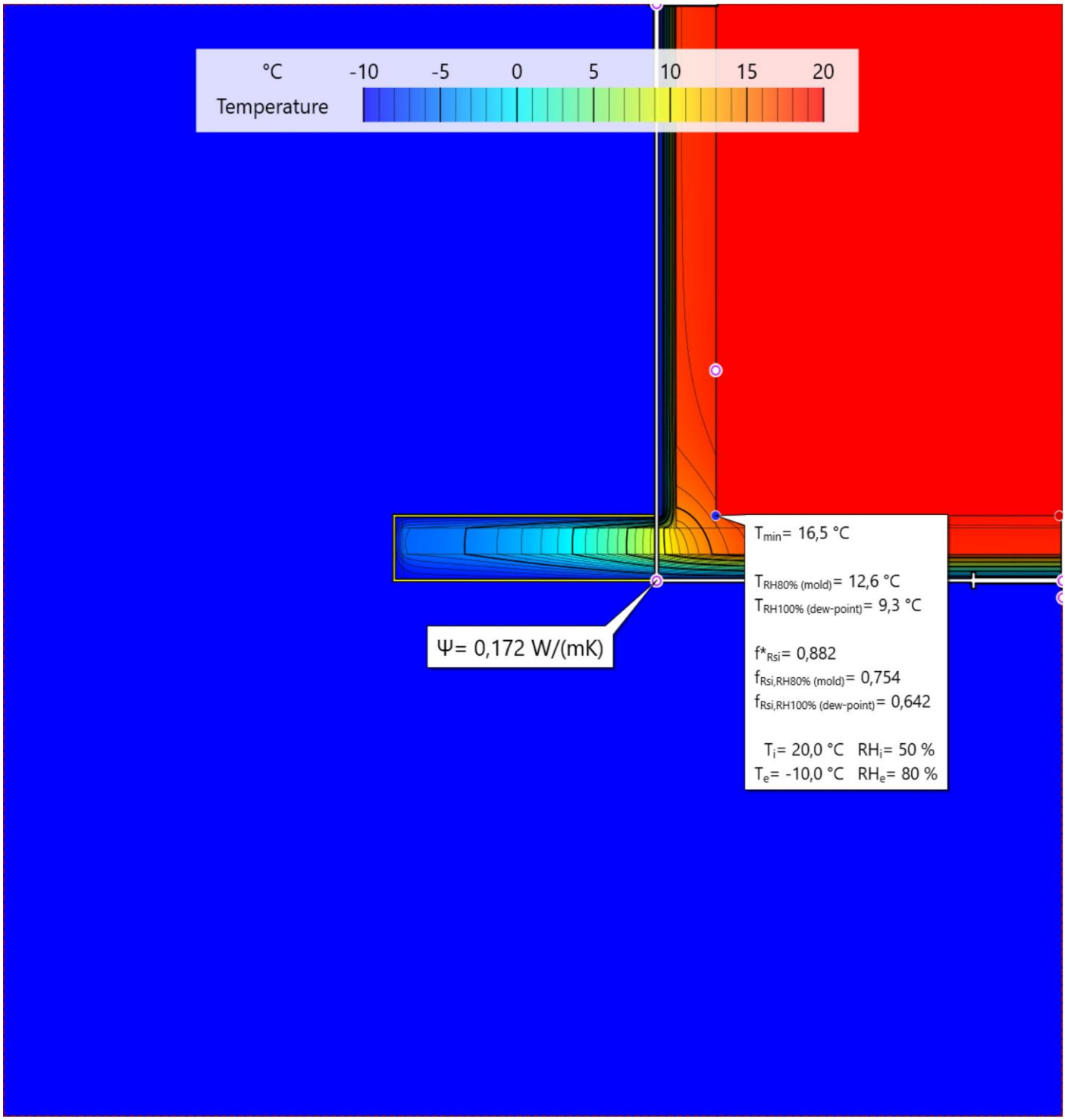
HEAT TRANSFER RESISTANCE

Name	R (m²K)/W	from material	to material
dyn1	0,13	ALL	Internal climate R 0.13
dyn2	0,17	ALL	Internal climate R 0.17
dyn3	0,10	ALL	Internal climate R 0.10
dyn4	0,04	ALL	External climate

ΥΛΙΚΑ

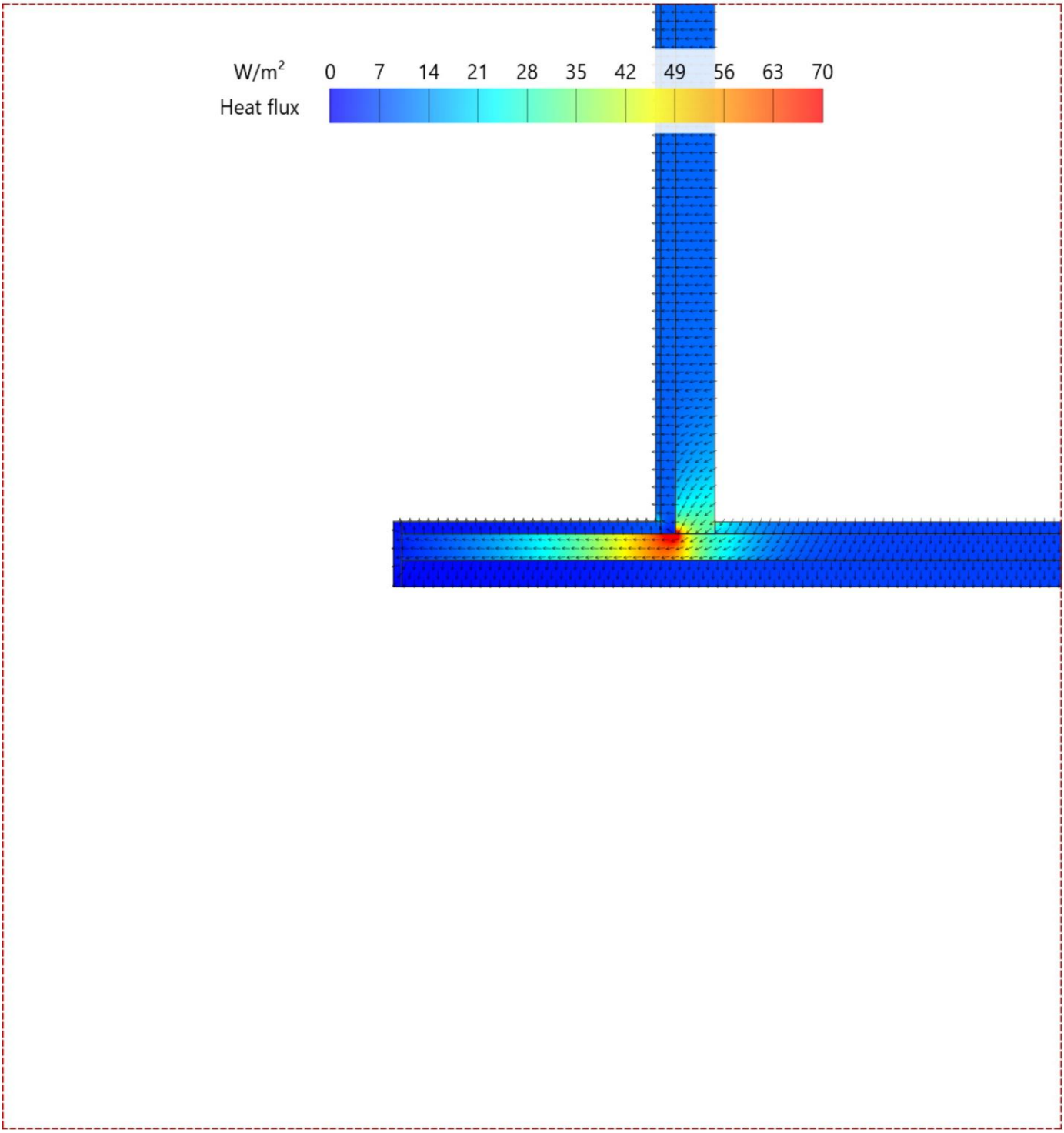
Internal climate R 0.13
External climate
Concrete
Cement Screed
Ext Plaster
Grafit EPS 031
EPS 031





Simulation resolution: 1,3 mm; Cell count: 1.509.018

ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΟΗ



Simulation resolution: 1,3 mm; Cell count: 1.509.018

8.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 1

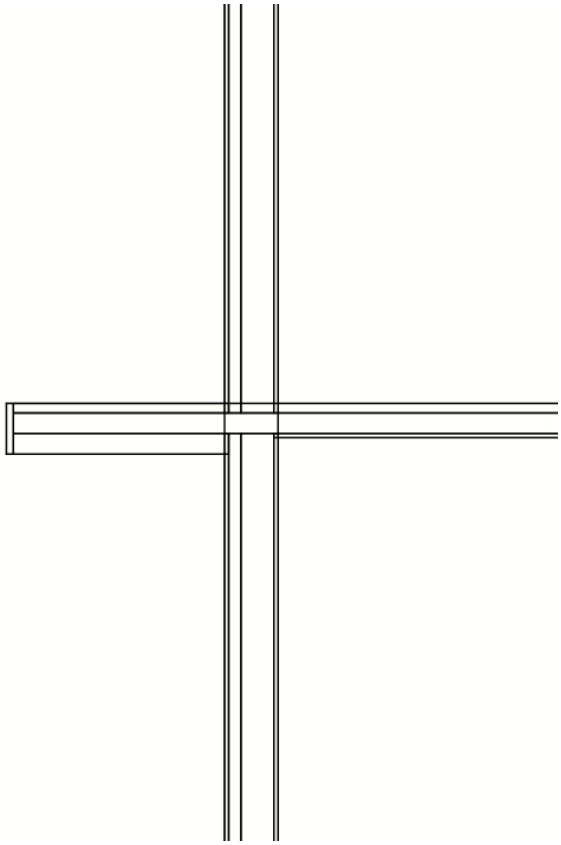
Στις παραπάνω εικόνες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα διάφορα τρεξίματα που έγιναν στο πρόγραμμα για την λεπτομέρεια του απλού μπαλκονιού του πρώτου ορόφου.

Αρχικά, παρουσιάζεται ο πίνακας των τιμών Ψ που προέκυψαν για τα διάφορα U τοιχοποιίας. Όπως είναι ξεκάθαρο από τον πίνακα οι τιμές είναι σχετικά υψηλές, αφού κυμαίνονται από 0,116 W/(mK) έως και 0,283 W/(mK). Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να αντιμετωπίσουμε με κάποιο τρόπο τις θερμογέφυρες που ίσως να δημιουργηθούν, είτε με κάποια επιπλέον μόνωση (συνήθως μονώνουμε γύρω γύρω το μπαλκόνι όταν αυτό είναι εφικτό), είτε με κάποια διαφοροποίηση ως προς την κατασκευή.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας με τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση, καθώς και τα χαρακτηριστικά αυτών (πυκνότητα, θερμοχωρητικότητα, λ). Στην συγκεκριμένη λεπτομέρεια χρησιμοποιήθηκαν οπλισμένο σκυρόδεμα, μόνωση grafite 80 EPS 031 και εξωτερικό επίχρισμα για την τοιχοποιία του εξωτερικού τοίχου και οπλισμένο σκυρόδεμα και μόνωση EPS 031 για το πάτωμα. Τα υλικά αυτά παρουσιάζονται και πιο πρακτικά στην επόμενη εικόνα, η οποία είναι και η όψη υλικών που προσφέρει το HTflux, όπου φαίνεται ξεκάθαρα η αντιστοιχία των παραπάνω υλικών στα δομικά μας στοιχεία.

Στις τελευταίες δύο εικόνες παρουσιάζεται η θερμοκρασία που επικρατεί στα δομικά μας στοιχεία και οι θερμικές ροές. Όπως καταλαβαίνουμε παρατηρώντας τις εν λόγω εικόνες η ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία που μπορούμε να συναντήσουμε είναι οι 16,5 ºC και αυτό μπορεί να συμβεί στην εσωτερική γωνία που έχουμε την ένωση του τοίχου με την μπαλκονόπλακα, στο σημείο που όπως φαίνεται και από την εικόνα των θερμικών ροών είναι το πιο επικίνδυνο για να εμφανιστεί υγροποίηση (μούχλα).

8.4 Λεπτομέρεια 2 – Μπαλκόνι 2ου ορόφου



Πίνακας 7-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 2

ΜΠΑΛΚΟΝΙ 2ος ΟΡΟΦΟΣ	
U-VALUE WALL IN W/(m2K)	Ψ-VALUE IN W/(mK)
0,15	0,291
0,2	0,272
0,25	0,254
0,3	0.235
0,35	0,218
0,4	0,200

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

USED MATERIALS

Material	λ W/(mK)	C J/(kgK)	ρ kg/m³	μ	Obj.	Comment
Concrete reinforced	2,30	1000	2300	80 [H]	3	EN 12524
Ext. rendering	0,87	1100	1800	30 [D]	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Plaster	0,87	1000	1400	6 [H]	3	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Cement screed	1,33	1080	2000	1 [15..37]	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
grafit 80 EPS 031	0,031	1450	20	60	2	
EPS 031 - neopor	0,031	1030	120	60	3	

BOUNDARIES

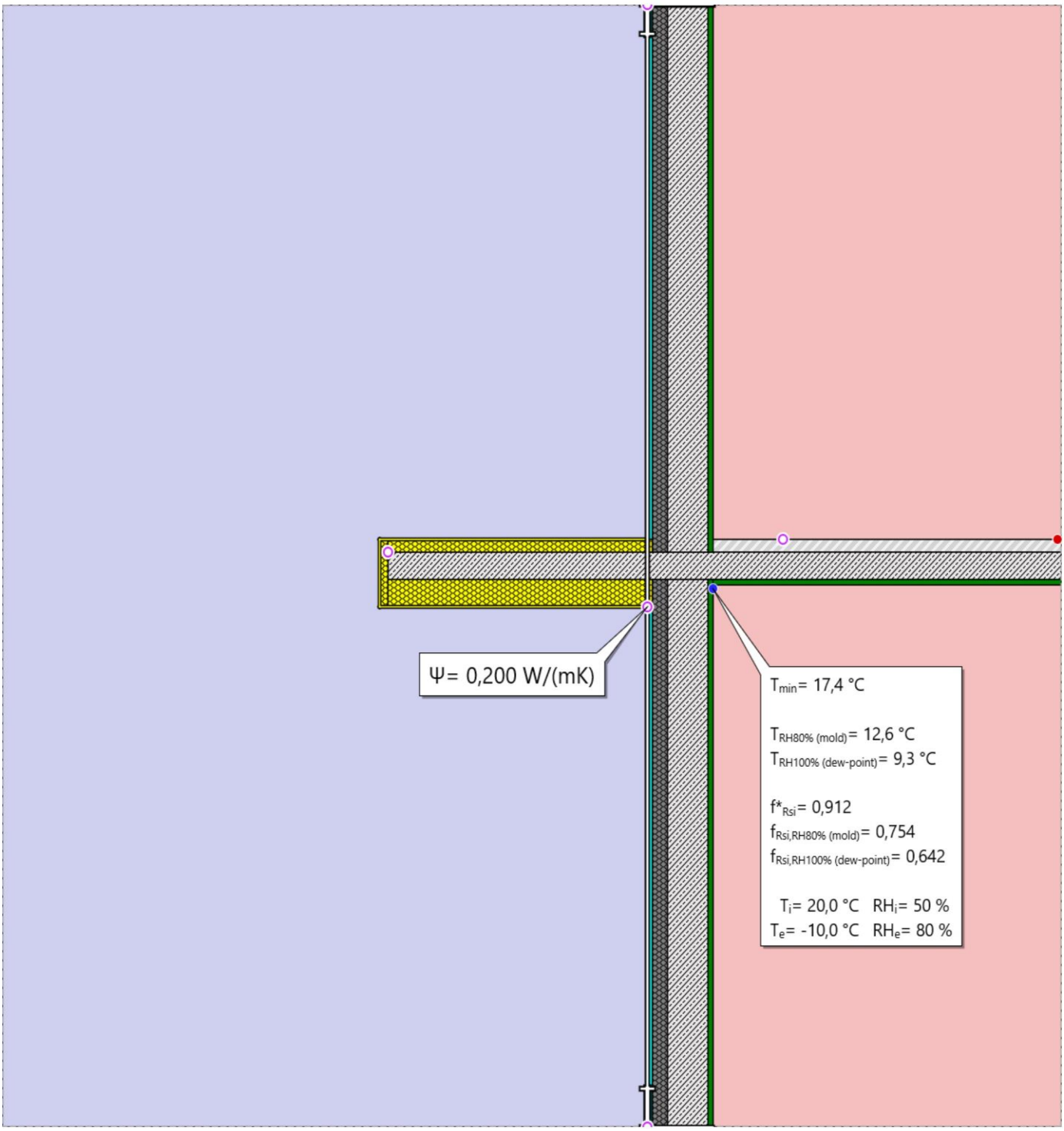
Boundary	T °C	RH (%)	Objects	Comment
Int. climate R0.17	20,0	50	1	
Ext. climate R0.13	-10,0	80	1	

HEAT TRANSFER RESISTANCE

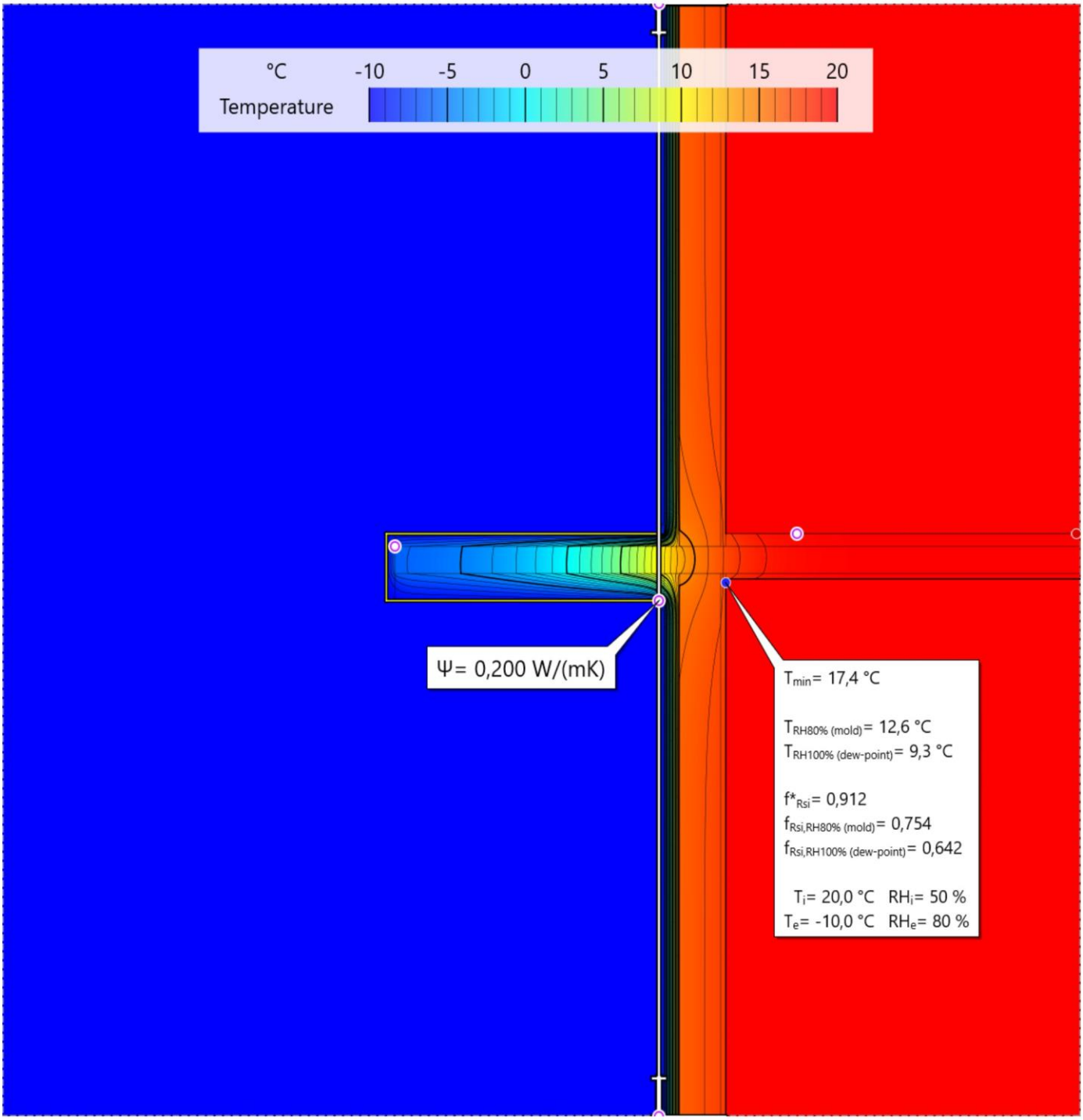
Name	R (m²K)/W	from material	to material
dyn1	0,25	ALL	Int. climate R0.25
dyn2	0,13	ALL	Int. climate R0.13
dyn3	0,17	ALL	Int. climate R0.17
dyn4	0,10	ALL	Int. climate R0.10
dyn5	0,04	ALL	Ext. climate R0.13
dyn6	0,25	ALL	Int. climate R0.25

ΥΛΙΚΑ

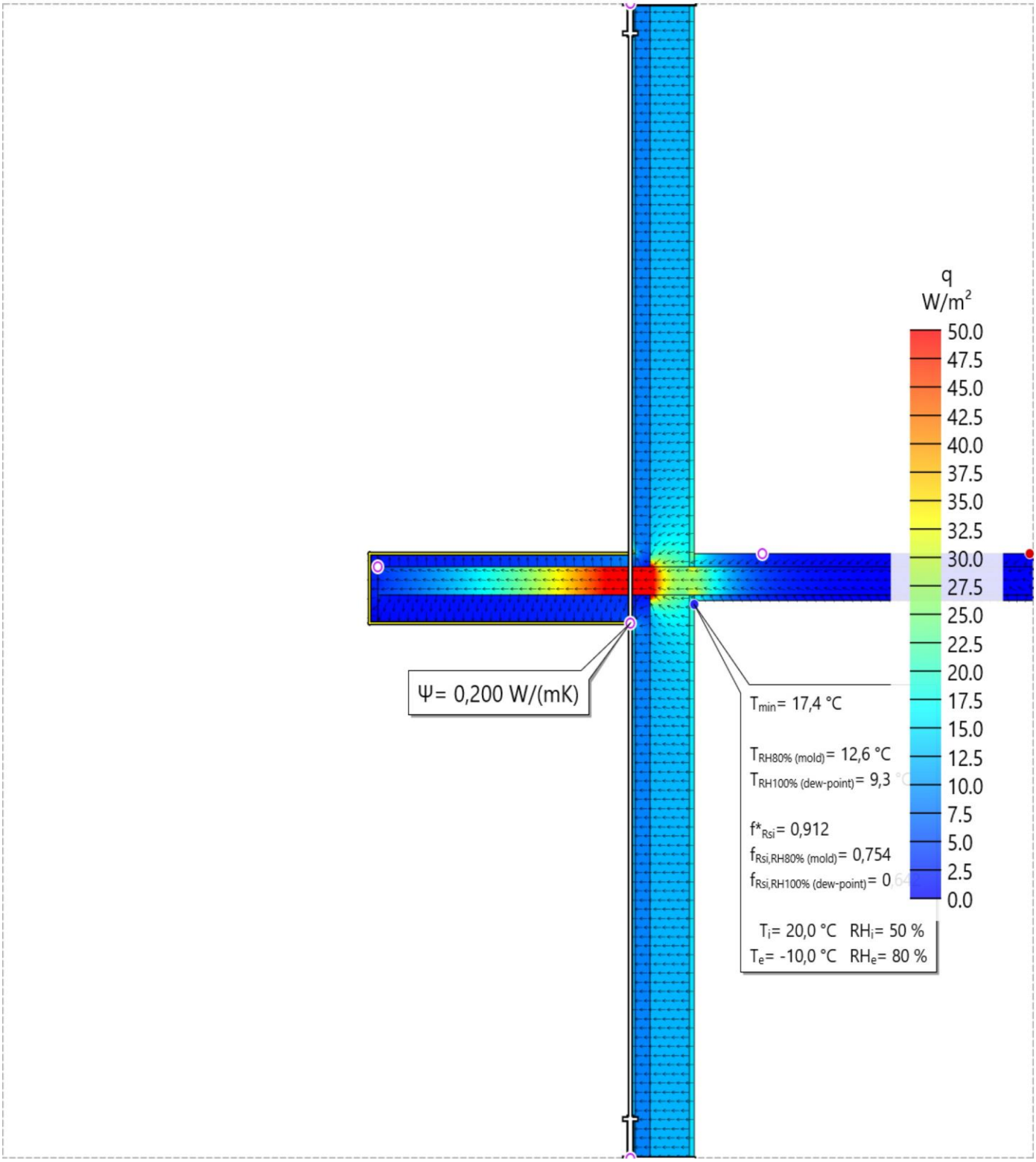
- Int. climate R0.17
- Ext. climate R0.13
- Concrete reinforced
- Ext. rendering
- Plaster
- Cement screed
- grafit 80 EPS 031
- EPS 031 - neopor



ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Simulation resolution: 2,0 mm; Cell count: 876.075



Simulation resolution: 2,0 mm; Cell count: 876.075

8.4.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 2

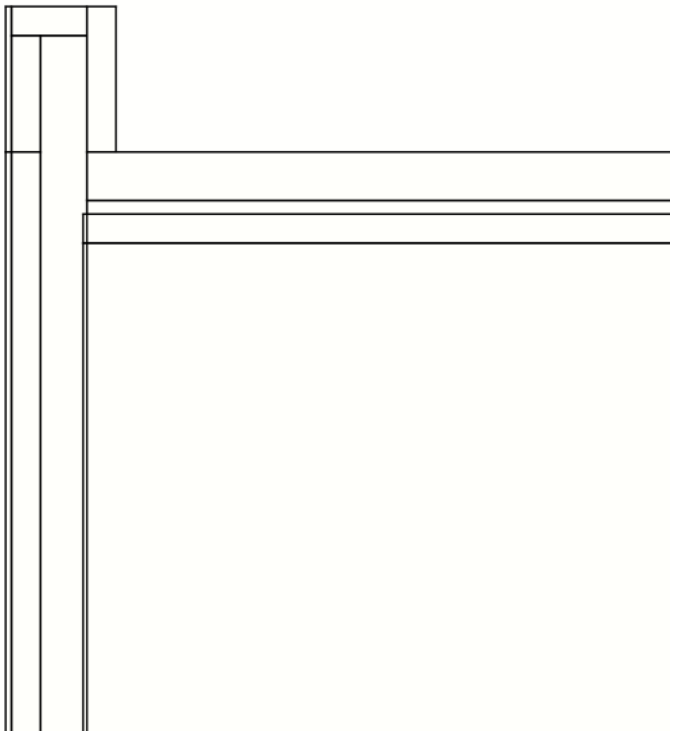
Στις παραπάνω εικόνες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα διάφορα τρεξίματα που έγιναν στο πρόγραμμα για την λεπτομέρεια του μπαλκονιού του δευτέρου ορόφου.

Αρχικά, παρουσιάζεται ο πίνακας των τιμών Ψ που προέκυψαν για τα διάφορα U τοιχοποιίας. Όπως είναι ξεκάθαρο από τον πίνακα οι τιμές είναι σχετικά υψηλές, αφού κυμαίνονται από 0,200W/(mK) έως και 0,291 W/(mK). Παρατηρούμε πως οι τιμές που προέκυψαν είναι σχετικά πιο υψηλές από ότι εκείνες της προηγούμενης λεπτομέρειας για το απλό μπαλκόνι. Αυτό συμβαίνει γιατί στην δεύτερη περίπτωση έχουμε δυο εσωτερικούς χώρους στους οποίους μπορεί να εμφανιστεί η υγρασία αντίστοιχα με πριν.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο πίνακας με τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση, καθώς και τα χαρακτηριστικά αυτών (πυκνότητα, θερμοχωρητικότητα, λ). Στην συγκεκριμένη λεπτομέρεια χρησιμοποιήθηκαν οπλισμένο σκυρόδεμα, μόνωση grafite 80 EPS 031 και εξωτερικό επίχρισμα για την τοιχοποιία του εξωτερικού τοίχου και οπλισμένο σκυρόδεμα και μόνωση EPS 031 για το πάτωμα. Τα υλικά αυτά παρουσιάζονται και πιο πρακτικά στην επόμενη εικόνα, η οποία είναι και η όψη υλικών που προσφέρει το HTflux, όπου φαίνεται ξεκάθαρα η αντιστοιχία των παραπάνω υλικών στα δομικά μας στοιχεία.

Στις τελευταίες δύο εικόνες παρουσιάζεται η θερμοκρασία που επικρατεί στα δομικά μας στοιχεία και οι θερμικές ροές. Όπως καταλαβαίνουμε παρατηρώντας τις εν λόγω εικόνες η ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία που μπορούμε να συναντήσουμε είναι οι 17,4 ºC και αυτό μπορεί να συμβεί στις δύο εσωτερικές γωνίες όπου έχουμε τις ενώσεις του εξωτερικού τοίχου με την μπαλκονόπλακα, αφού όπως μας δείχνουν και οι θερμικές ροές εκεί έγκειται και η μεγαλύτερη επικινδυνότητα.

8.5 Λεπτομέρεια 3 – Στηθαίο



Πίνακας 8-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 3

ΣΤΗΘΑΙΟ						
U-VALUE WALL 1 IN W/(m2K)	U-VALUE WALL-2 IN W/(m2K)				Ψ-VALUE IN W/(mK)	
	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
0,15	0,089	0,065	0,040	0,016	-0,009	-0,034
0,2	0,118	0,093	0,068	0,042	0,017	-0,008
0,25	0,140	0,114	0,088	0,062	0,037	0,011
0,3	0,156	0,129	0,103	0,077	0,051	0,024
0,35	0,167	0,140	0,114	0,087	0,060	0,034
0,4	0,174	0,147	0,120	0,093	0,066	0,039

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

USED MATERIALS

Material	λ W/(mK)	C J/(kgK)	ρ kg/m³	μ	Obj.	Comment
Concrete	2,30	1000	2300	80 [H]	2	EN 12524
Grafit EPS 031	0,031	1450	35	150	4	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Ext. rendering	0,87	1100	1800	30 [D]	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Cement screed	1,40	1080	2000	1 [15..37]	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Neopor EPS 200 030	0,03	1450	15	60 [D]	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data

BOUNDARIES

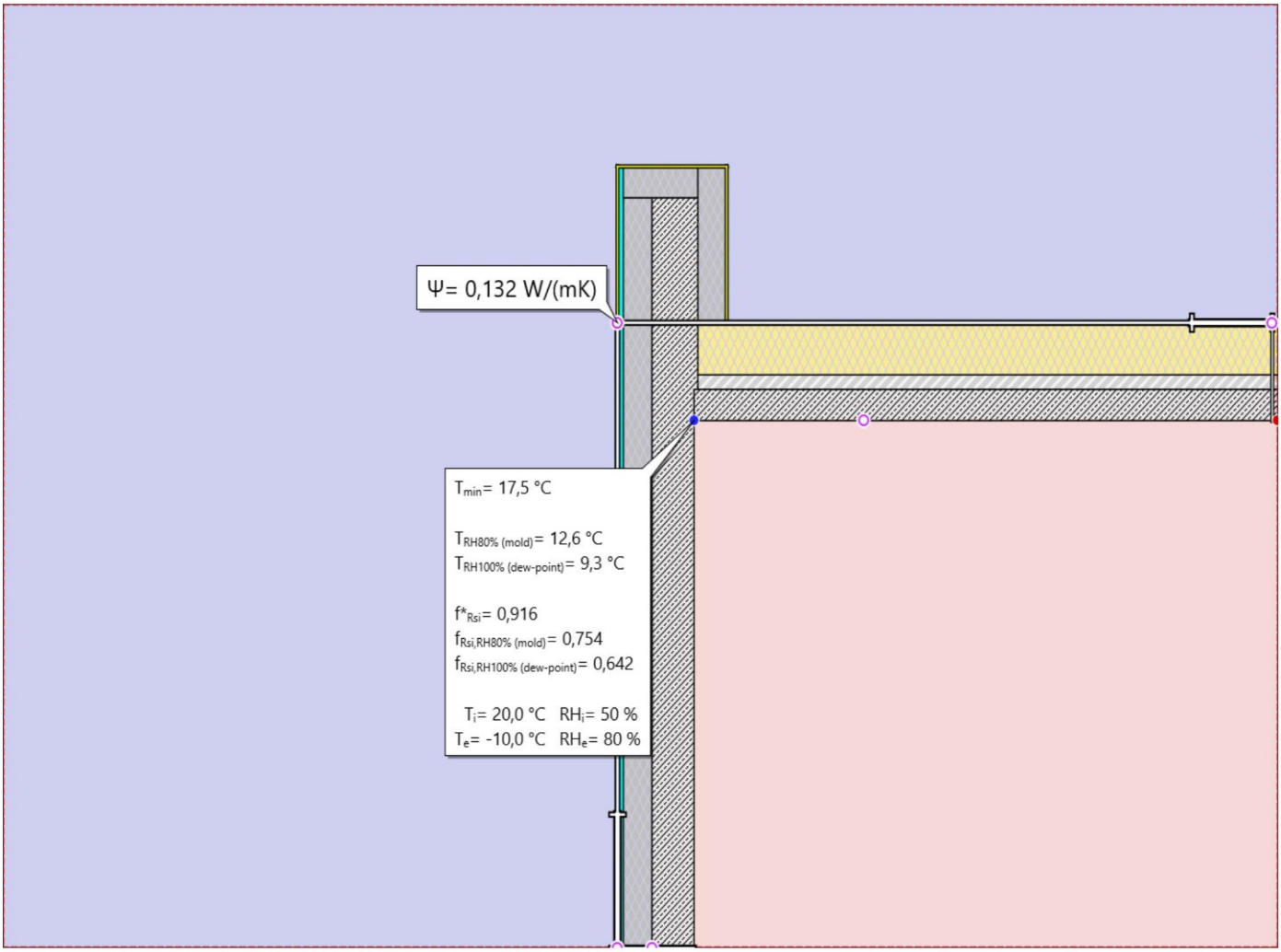
Boundary	T °C	RH (%)	Objects	Comment
Internal climate R 0.13	20,0	50	1	
External climate	-10,0	80	1	

HEAT TRANSFER RESISTANCE

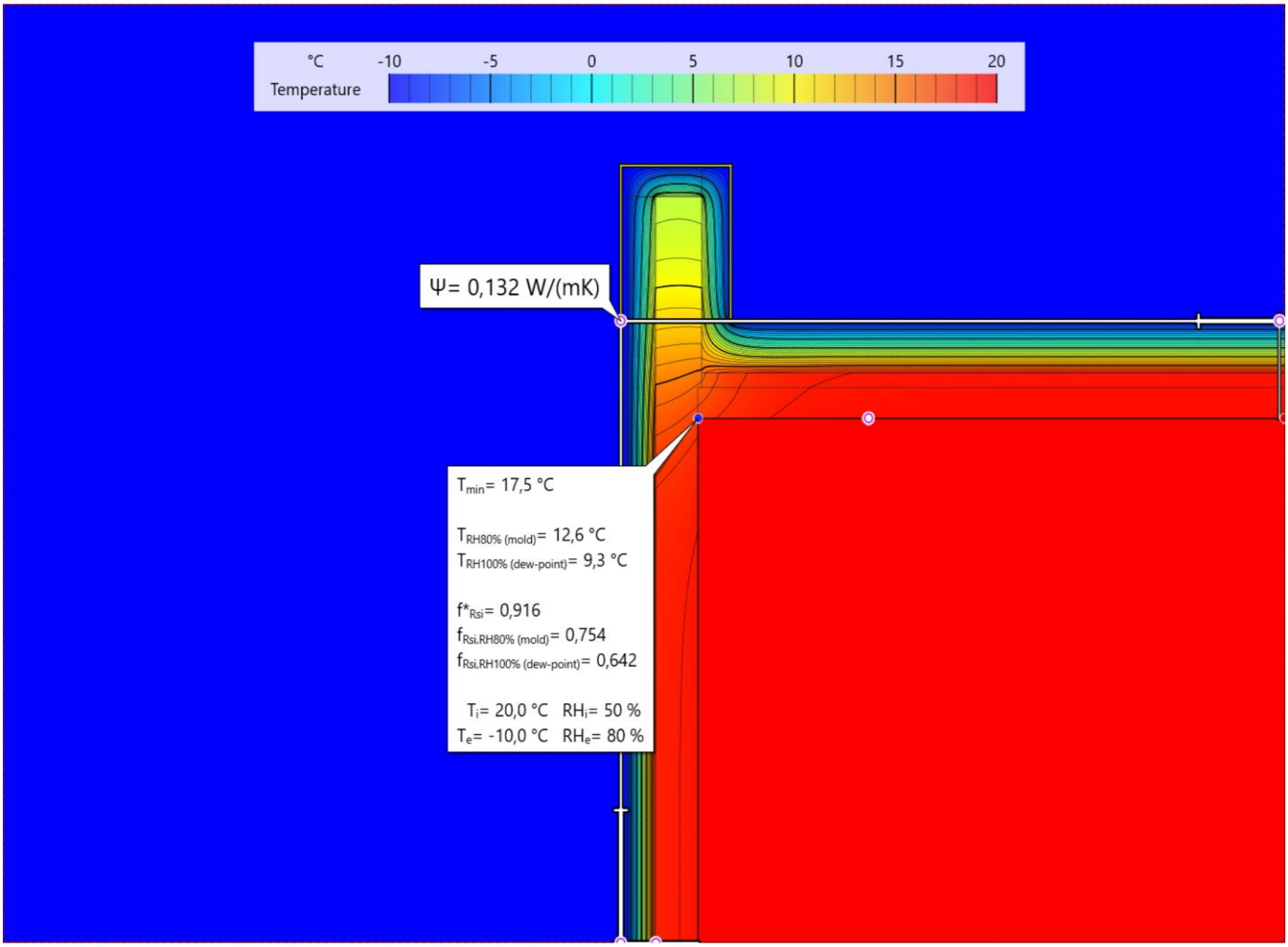
Name	R (m²K)/W	from material	to material
dyn1	0,25	ALL	Internal climate 0.25
dyn2	0,13	ALL	Internal climate R 0.13
dyn3	0,17	ALL	Internal climate R 0.17
dyn4	0,10	ALL	Internal climate R 0.10
dyn5	0,04	ALL	External climate

ΥΛΙΚΑ

- Internal climate R 0.13
- External climate
- Concrete
- Grafit EPS 031
- Ext. rendering
- Cement screed
- Neopor EPS 200 030

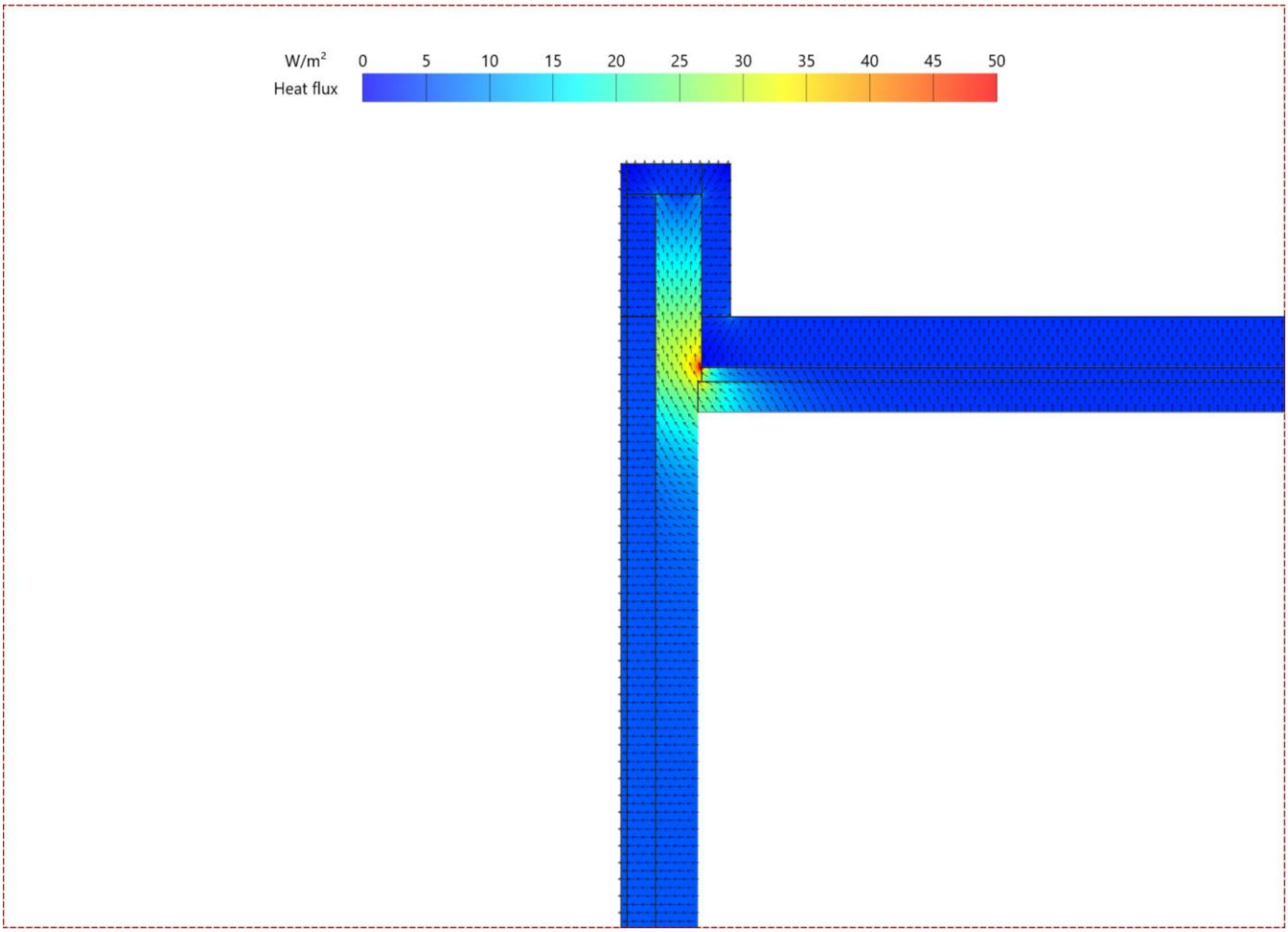


ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Simulation resolution: 1,3 mm; Cell count: 1.811.073

ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΟΗ



Simulation resolution: 1,3 mm; Cell count: 1.811.073

8.5.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 3

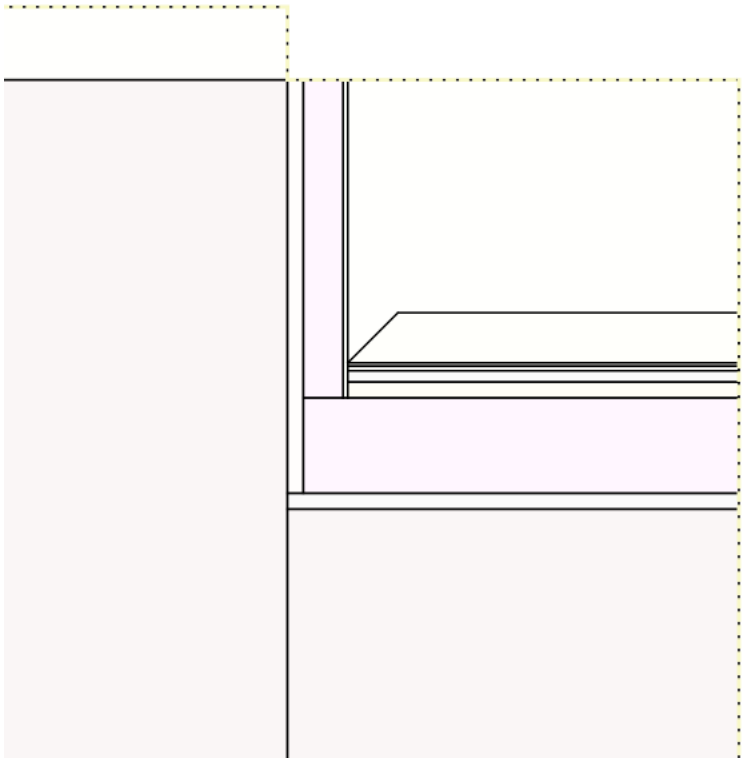
Στις παραπάνω εικόνες συναντάμε την περίπτωση που στην κατασκευή μας συναντήσουμε ένα στηθαίο, δηλαδή έναν συμπαγή τοίχο που συνήθως περικλείει το κτίριο ή τη βεράντα ή αλλιώς ένα χαμηλό περιφραγμένο τοίχωμα κατά μήκος της άκρης της οροφής ή του μπαλκονιού.

Αρχικά, όπως και προηγουμένως, παρουσιάζεται ο πίνακας με τις τιμές Ψ που προέκυψαν κατά τη μελέτη μας. Όπως παρατηρούμε, οι τιμές αυτές ποικίλουν, αφού συναντάμε τόσο τιμές που είναι σχετικά επικίνδυνες για το σχηματισμό υγρασίας π.χ. 0,174 όσο και τιμές κατά τις οποίες το κτίριό μας δεν διατρέχει κανέναν τέτοιο κίνδυνο, δηλαδή τις αρνητικές τιμές (ή τις τιμές πολύ κοντά στο μηδέν) π.χ. -0,034.

Για την προσομοίωση της κατασκευής του στηθαίου χρησιμοποιήθηκαν τα υλικά και οι οριακές συνθήκες που φαίνονται στην δεύτερη σελίδα που αφορά την λεπτομέρεια. Με ευκολία διαβάζουμε πως χρησιμοποιήθηκαν τσιμέντο, οπλισμένο σκυρόδεμα και μόνωση Neopor EPS 200 030 για την κατασκευή της οροφής, όπως και επίσης οπλισμένο σκυρόδεμα, μόνωση grafit EPS 031 και εξωτερικό επίχρισμα για τον εξωτερικό τοίχο. Οι αντιστοιχίες των υλικών αυτών στην κατασκευή μας και στα δομικά στοιχεία του κτιρίου φαίνονται και ευκρινέστερα στην όψη υλικών του HTflux, όπως παρουσιάζεται.

Στις τελευταίες δύο σελίδες που αφορούν στη λεπτομέρεια του στηθαίου παρουσιάζονται οι όψεις θερμοκρασίας και θερμικών ροών. Αναφορικά με την πρώτη, είναι φανερό από την εικόνα των αποτελεσμάτων πως η ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία που μπορεί να προκύψει θα είναι 17,5 ºC με τις θερμοκρασίες στο εξωτερικό περίβλημα να μην διαφοροποιούνται ιδιαίτερα. Σύμφωνα με την εικόνα των θερμικών ροών πως η επικινδυνότητα στην προκείμενη λεπτομέρεια είναι σχετικά μικρή και το μόνο σημείο που υπάρχει μια μικρή πιθανότητα εμφάνισης υγρασίας είναι η εσωτερική γωνία κάτω από το στηθαίο.

8.6 Λεπτομέρεια 4 – Επαφή με έδαφος



Πίνακας 9-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 4

ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΟ ΥΠΟΓΕΙΟ - ΞΥΛΙΝΟ ΔΑΠΕΔΟ						
Ubw-VALUE WALL BELOW SURFACE IN W/(m2K)	Ug-VALUE FLOOR SLAB IN W/(m2K)				Ψg-VALUE IN W/(mK)	
	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
0.15	0,281	0,229	0,18	0,137	0,1	0,075
0.2	0,24	0,174	0,126	0,089	0,053	0,031
0.25	0,209	0,148	0,088	0,054	0,019	-0,005
0.3	0,18	0,117	0,063	0,022	-0,014	-0,037
0.35	0,149	0,089	0,038	-0,014	-0,045	-0,071
0.4	0,125	0,069	0,012	-0,036	-0,082	-0,095

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

USED MATERIALS

Material	λ W/(mK)	C J/(kgK)	ρ kg/m³	μ	Obj.	Comment
PERIPOR	0,03	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
floor insulation	0,031	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
plaster	0,87	1290	500	Please select	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Sand/Gravel	3,50	1000	2000	1	2	ISO 13370
Reinforced concrete (2%)	2,50	1000	2400	Please select	2	EN 12524
screed	1,40	1080	2000	1 [15..37]	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
wooden floor	0,21	1600	700	Please select	1	EN 12524

BOUNDARIES

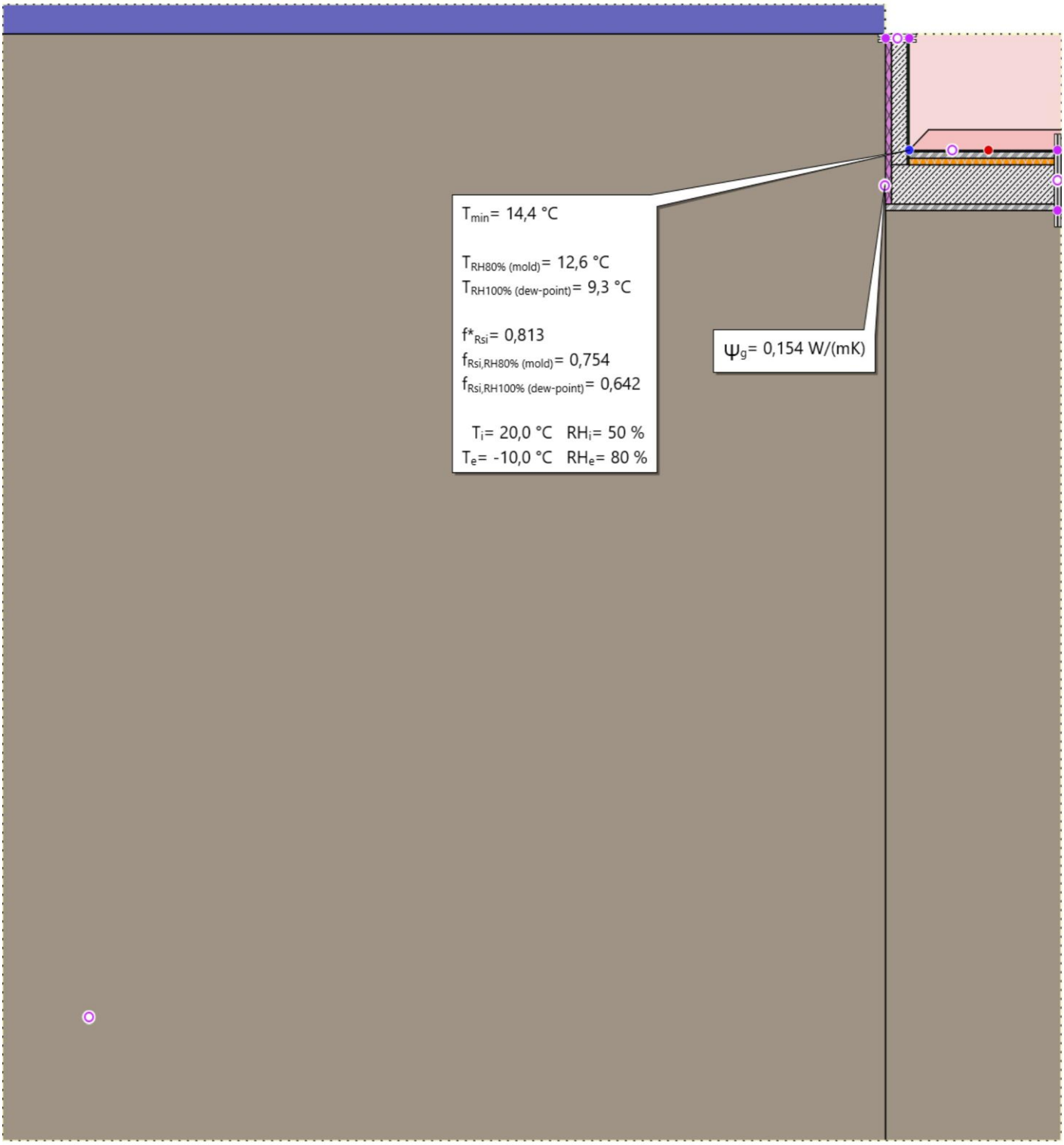
Boundary	T °C	RH (%)	Objects	Comment
Int. climate R0.13	20,0	50	1	
Int. climate R0.17	20,0	50	1	
Ext. climate R0.04	-10,0	80	1	

HEAT TRANSFER RESISTANCE

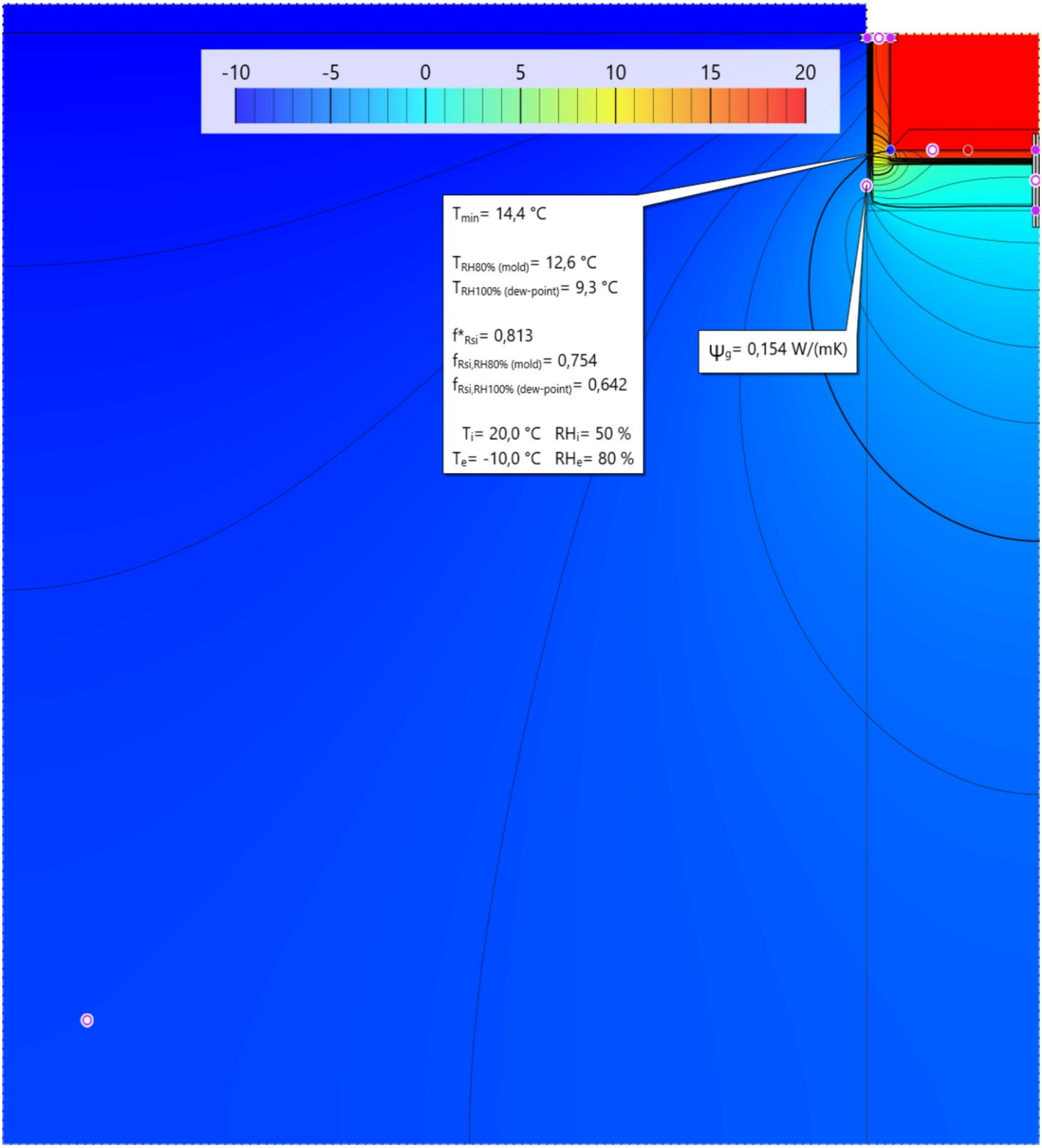
Name	R (m²K)/W	from material	to material
dyn1	0,13	ALL	Int. climate R0.13
dyn2	0,17	ALL	Int. climate R0.17
dyn3	0,10	ALL	Int. climate R0.10
dyn4	0,04	ALL	Ext. climate R0.04
dyn5	0,10	ALL	Ext. climate R0.10
dyn6	0,13	ALL	Ext. climate R0.13
dyn7	0,25	ALL	Int. climate R0.25
dyn8	0,0000	ALL	Ground

ΥΛΙΚΑ

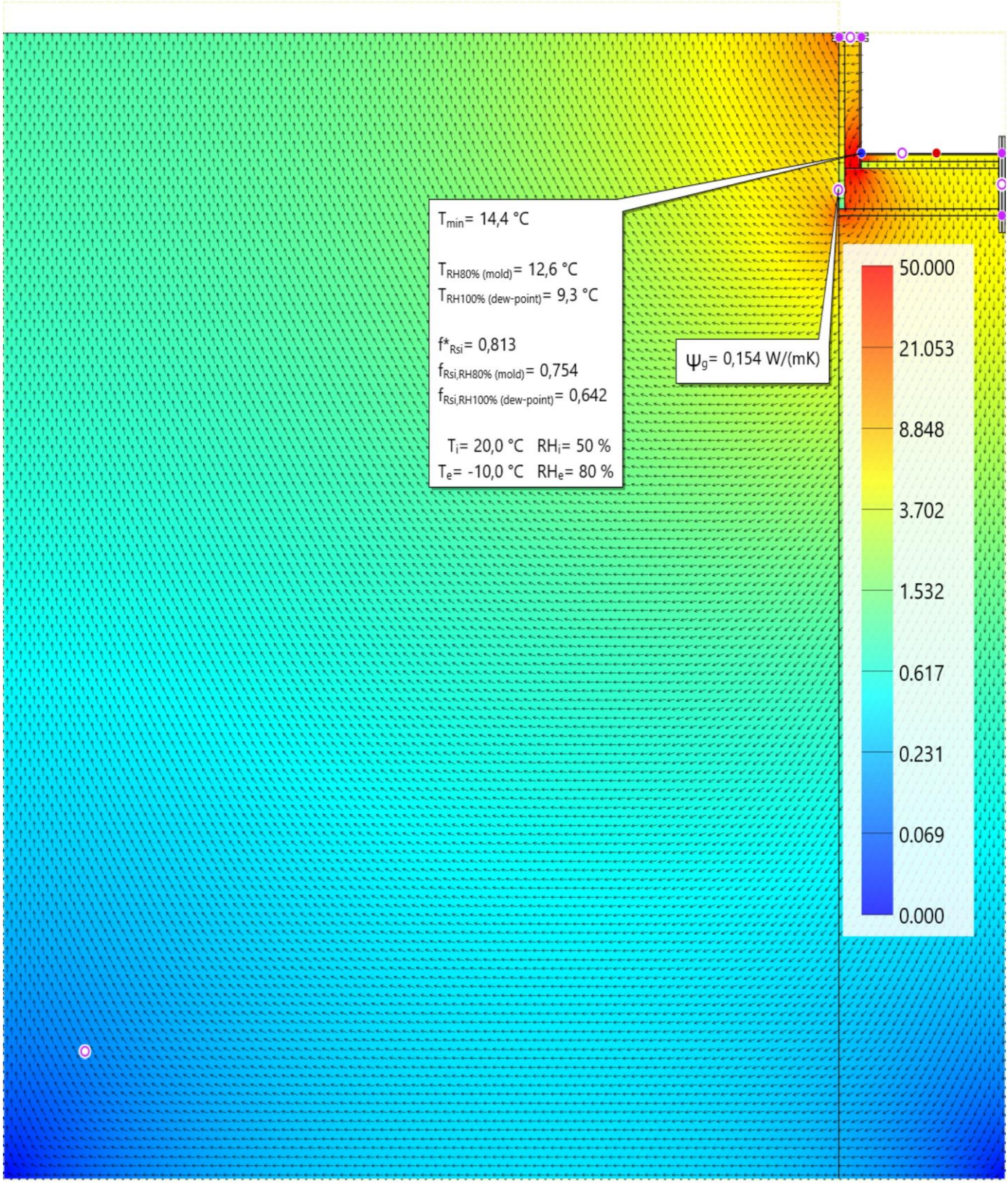
- Int. climate R0.13
- Int. climate R0.17
- Ext. climate R0.04
- PERIPOR
- floor insulation
- plaster
- Sand/Gravel
- Reinforced concrete (2%)
- screed
- wooden floor



ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Simulation resolution: 11,0 mm; Cell count: 2.349.150



Simulation resolution: 11,0 mm; Cell count: 2.349.150

8.6.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 4

Ξεφεύγοντας από τις προηγούμενες γενικές περιπτώσεις μπαλκονιών ο κατάλογος συνεχίζεται με μία πιο ιδιαίτερη λεπτομέρεια. Πιο συγκεκριμένα παραπάνω παρουσιάζεται μια λεπτομέρεια ενός χώρου όπου τόσο ο εξωτερικός τοίχος όσο και το πάτωμα βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος.

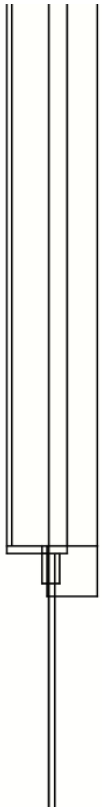
Ξεκινώντας και πάλι με τον πίνακα τιμών Ψ, παρατηρούμε πως πρόκειται και σε αυτή την περίπτωση για έναν πίνακα τιμών ο οποίος είναι συναρτήσει των δύο τιμών U τις τοιχοποιίας. Αυτό που αξίζει, όμως, να αναφέρουμε σε αυτήν την περίπτωση είναι πως η τιμές Ψ ξεκινούν σχετικά υψηλά για αντίστοιχα μικρά ζεύγη τιμών U (Ψ = 0,281 W/(mK) για U = 0,15 W/m^{2}K), ενώ μειώνονται αρκετά για μεγάλα ζεύγη τιμών U (Ψ = -0,095 W/(mK) για U = 0,4 W/m^{2}K).

Τα ξεχωριστά υλικά και οι οριακές συνθήκες που επιλέχθηκαν για την επίλυση του προβλήματος παρουσιάζονται και πάλι στη δεύτερη σελίδα της λεπτομέρειας. Για την τοιχοποιία επιλέχθηκε ενισχυμένο τσιμέντο (2%), μία μόνωση PERIPOR, καθώς και ένα απλό επίχρισμα, ενώ για το πάτωμα επιλέχθηκε να τοποθετηθεί ξύλινο πάτωμα στη συνέχεια του οποίου τοποθετείται οπλισμένο σκυρόδεμα, μόνωση πατώματος και ενισχυμένο τσιμέντο (2%) ακολουθώντας όλα τα πρότυπα κατασκευής χώρου σε επαφή με έδαφος. Τα εν λόγω υλικά μπορούμε να τα δούμε και πιο συγκεκριμένα στην όψη υλικών που βρίσκεται στην ακριβώς επόμενη σελίδα από τον κατάλογο υλικών, η οποία μας βοηθάει να καταλάβουμε τη σύνταξη των δομικών στοιχείων της λεπτομέρειας.

Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες είναι οι δύο τελευταίες σελίδες που προέκυψαν από την μελέτη της λεπτομέρειας αυτής, οι οποίες αφορούν στην όψη της θερμοκρασίας και σε αυτή των θερμικών ροών αντιστοίχως. Το έδαφος μπορεί να οδηγήσει σε ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία η οποία μπορεί να φτάσει και ως τους 14,4 ºC, η χαμηλότερη από αυτές που συναντήσαμε ως τώρα. Όπως καταλαβαίνουμε και από την όψη των θερμικών ροών κατά την επαφή με το έδαφος υπάρχει συναλλαγή θερμότητας κατά μήκος τόσο του τοίχου όσο και του πατώματος.

8.7 Λεπτομέρεια 5 – Κούφωμα (Λαμπάς με ρολό)

Υποσημείωση: Για τον υπολογισμό των σωστών τιμών Ψ της θερμογέφυρας έχει χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εξίσωση :



$$\Psi = \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T}$$

Δηλαδή αφαιρείται η ροή του κουφώματος, του εγκατεστημένου και του τοίχου.

Πίνακας 10-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 5

ΤΥΠΙΚΟ ΚΟΥΦΩΜΑ-ΛΑΜΠΑΣ				
U-VALUE WALL IN W/(m2K)	PVC	ALUMINIUM	Uglass = 1.1 W/(m2K)	
			Uframe= 1 W/(m2K)	
0,15	0,075	0,075		
0,2	0,072	0,072		
0,25	0,069	0,068		
0,3	0,065	0,065		
0,35	0,063	0,062		
0,4	0,059	0,059		

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

USED MATERIALS

Material	λ W/(mK)	C J/(kgK)	ρ kg/m³	μ	Obj.	Comment
EPS 80	0,0429	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
EPS 600	0,036	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Aluminium alloy	160,00	880	2800	100000000	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Brickwork	0,64	820	2000	Please select	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
window frame	0,0843	820	2000	Please select	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
glazing	0,78	820	2000	Please select	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
interior plaster	0,87	1100	1800	Please select	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
ROLL	0,1853	1000	100	1	1	

BOUNDARIES

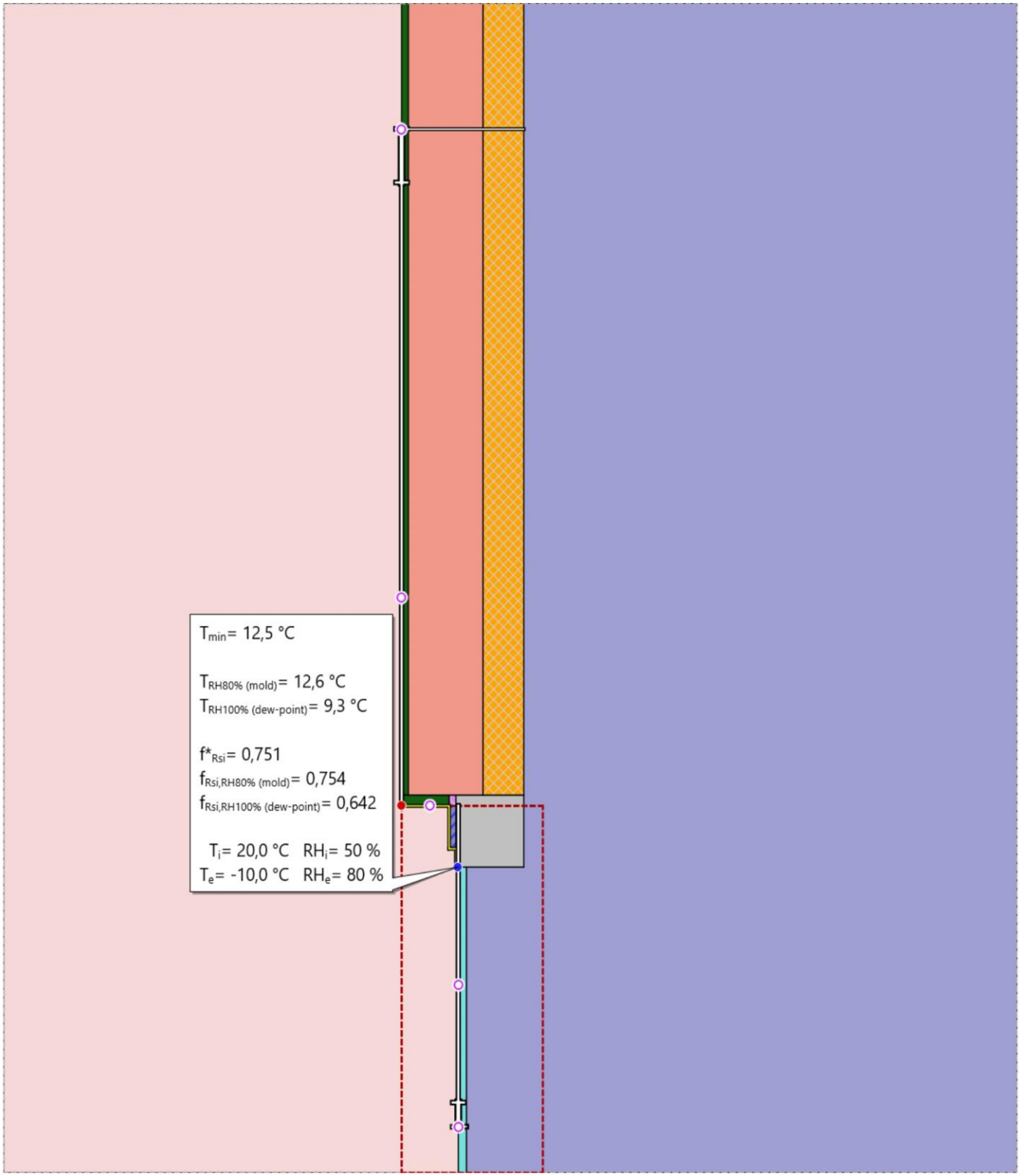
Boundary	T °C	RH (%)	Objects	Comment
Int. climate R0.13	20,0	50	1	
Ext. climate R0.04	-10,0	80	1	

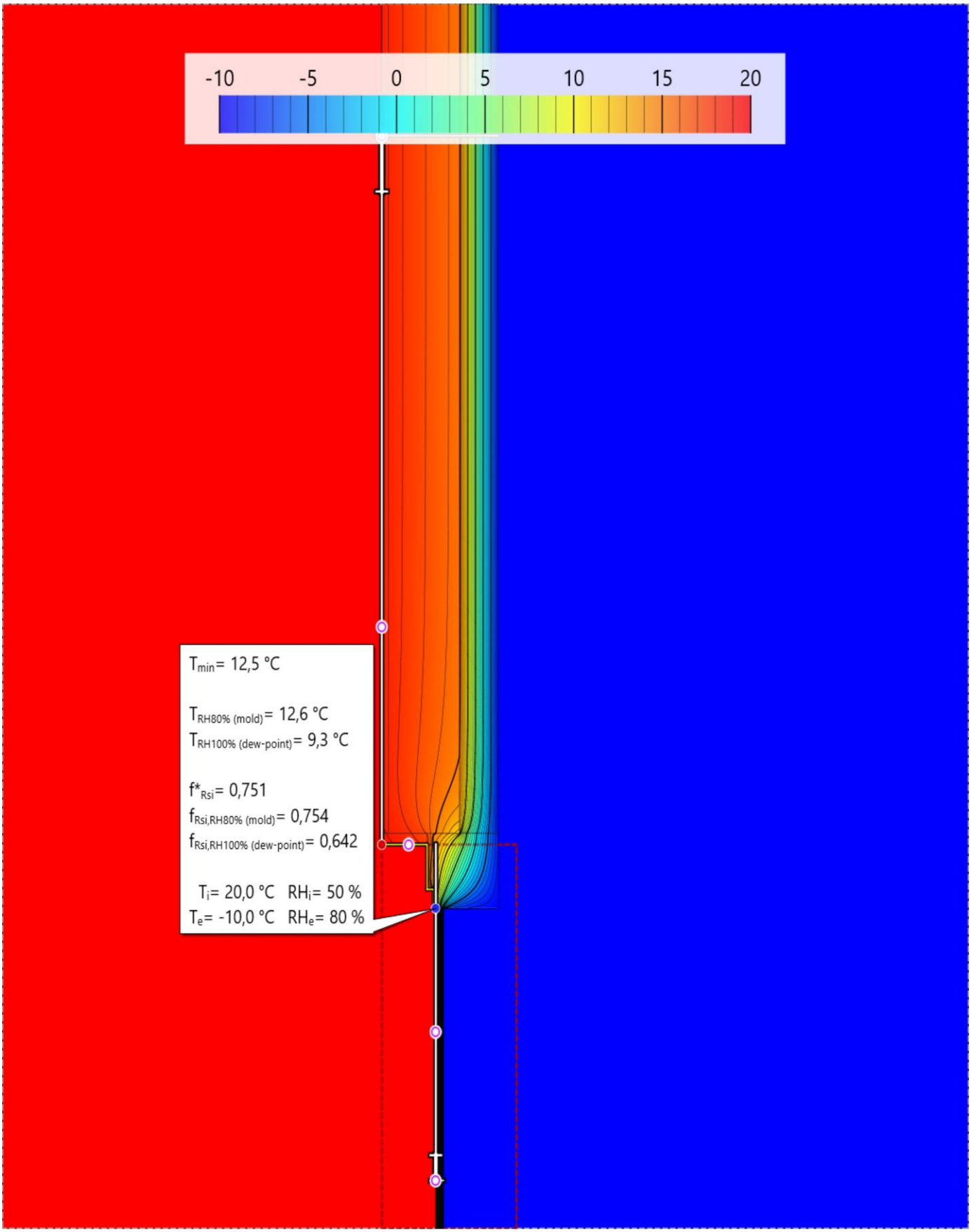
HEAT TRANSFER RESISTANCE

Name	R (m²K)/W	from material	to material
dyn1	0,13	ALL	Int. climate R0.13
dyn2	0,17	ALL	Int. climate R0.17
dyn3	0,10	ALL	Int. climate R0.10
dyn4	0,04	ALL	Ext. climate R0.04
dyn5	0,25	ALL	Int. climate R0.25

ΥΛΙΚΑ

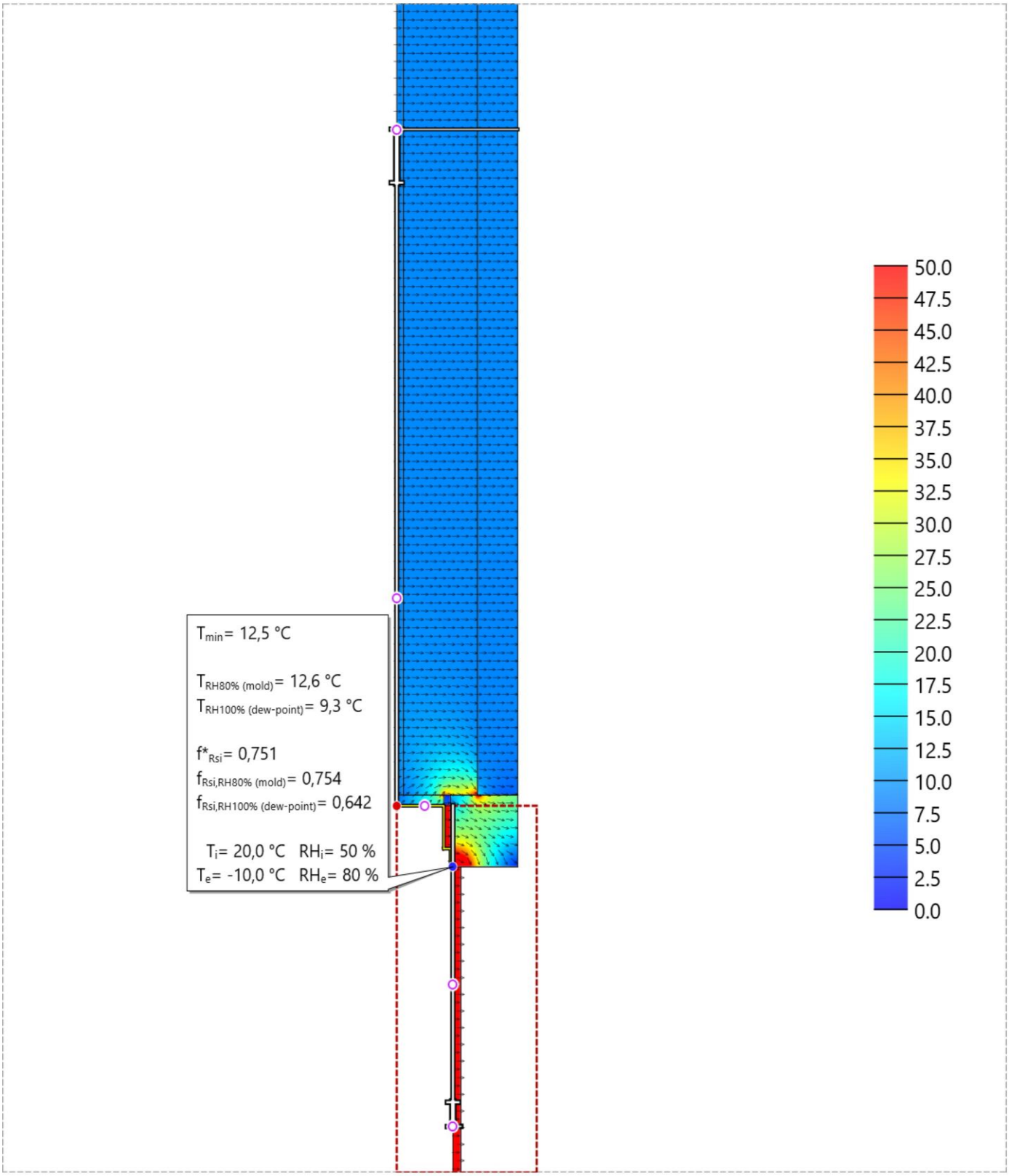
Int. climate R0.13	Ext. climate R0.04	EPS 80
EPS 600	Aluminium alloy	Brickwork
window frame	glazing	interior plaster
ROLL		





Simulation resolution: 1,5 mm; Cell count: 382.071

ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΟΗ



Simulation resolution: 1,5 mm; Cell count: 382.071

8.7.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 5

Στις παραπάνω σελίδες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τη λεπτομέρεια του τυπικού κουφώματος (λαμπάς) η οποία έγινε και με την τοποθέτηση εξωτερικού ρολό, καθώς και ενός υαλοπίνακα.

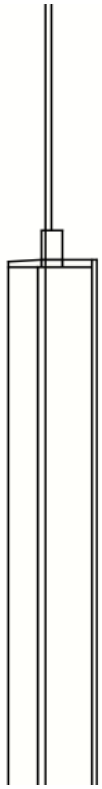
Αρχικά, παρουσιάζονται οι τιμές Ψ στον αντίστοιχο με τα προηγούμενα πίνακα. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις έχουν γίνει για τιμή U του υαλοπίνακα ίση με 1 W/(m^2K) και του πλαισίου 1,1 W/(m^2K). Επίσης, στην περίπτωση αυτή έγιναν δύο διαφορετικές μετρήσεις ανάλογα με το υλικό του κουφώματος για κάθε τιμή U τοιχοποιίας. Παρατηρούμε πως οι τιμές του αλουμινένιου με το PVC κούφωμα δεν διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό και κυμαίνονται από 0,059-0,075 W/(mK).

Όσον αφορά, λοιπόν, στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν αυτά μπορούν να βρεθούν εύκολα διαβάζοντας τον κατάλογο της σελίδας 102. Πιο συγκεκριμένα, η τοιχοποιία έχει επιλεγεί να αποτελείται από εσωτερικό επίχρισμα, οπτοπλινθοδομή και εξωτερική μόνωση EPS 80, ενώ για το κούφωμα χρησιμοποιήθηκε τόσο PVC όσο και αλουμίνιο. Η τοποθέτηση τους φαίνεται καλύτερα και στην όψη υλικών που παρουσιάζεται κατά τα γνωστά.

Παρατηρώντας τις δύο τελευταίες όψεις, είναι ξεκάθαρο πως οι μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας συναντώνται κατά μήκος του υαλοπίνακα, αλλά και στη γωνία της ένωσης του με το πλαίσιο. Η ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία που μπορεί να συναντήσουμε σε αυτά τα σημεία φτάνει τους 12,5 ºC, κάτι απολύτως λογικό αφού στην κατασκευή μας συμμετέχει ο υαλοπίνακας που είναι υπεύθυνος για αυξημένες θερμικές απώλειες.

8.8 Λεπτομέρεια 6 – Κούφωμα (Κατωκάσι τοποθέτηση 1η)

Η τοποθέτηση γίνεται κατά τα πρότυπα πάνω σε μόνωση.



Υποσημείωση: Για τον υπολογισμό των σωστών τιμών Ψ της θερμογέφυρας έχει χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εξίσωση :

$$\Psi = \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T}$$

Δηλαδή αφαιρείται η ροή του κουφώματος, του εγκατεστημένου και του τοίχου.

Πίνακας 11-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 6

ΤΥΠΙΚΟ ΚΟΥΦΩΜΑ - ΚΑΤΩΚΑΣΙ -ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ 1Η		
U-VALUE WALL IN W/(m2K)	Ψ-VALUE IN W/(mK)	Uglass = 1.1 W/(m2K) Uframe= 1 W/(m2K)
0,15	0,060	
0,2	0,058	
0,25	0,056	
0,3	0,054	
0,35	0,052	
0,4	0,050	

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

USED MATERIALS

Material	λ W/(mK)	C J/(kgK)	ρ kg/m³	μ	Obj.	Comment
Isopor 100 white	0,061	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
XPS	0,04	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
EPS 600	0,036	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Brickwork	0,64	820	2000	Please select	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
window frame	0,107	820	2000	Please select	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Steel	50,00	450	7800	1000000	1	EN 12524
glazing	0,78	820	2000	Please select	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
interior plaster	0,87	1100	1800	Please select	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data

BOUNDARIES

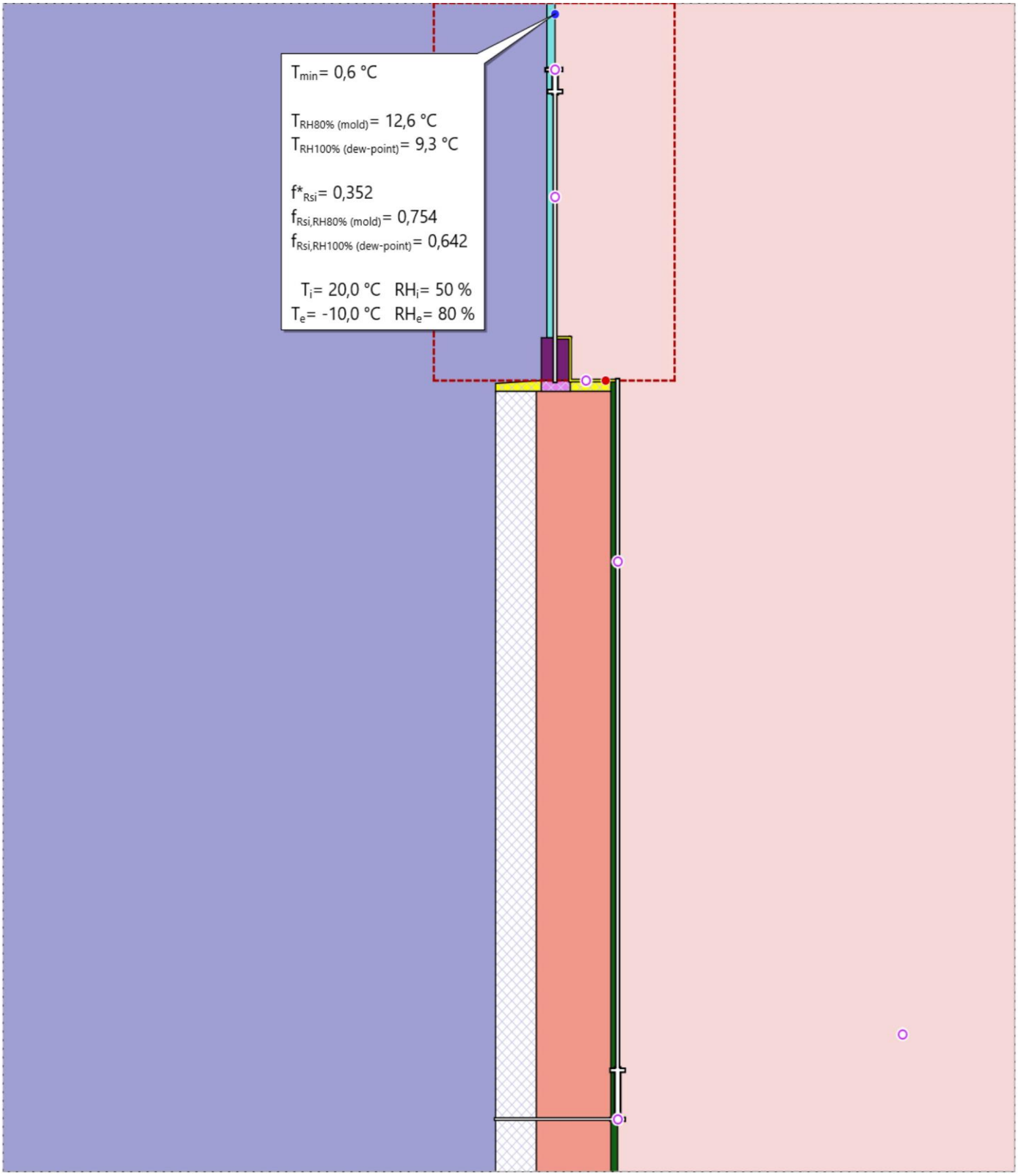
Boundary	T °C	RH (%)	Objects	Comment
Int. climate R0.13	20,0	50	2	
Ext. climate R0.04	-10,0	80	2	

HEAT TRANSFER RESISTANCE

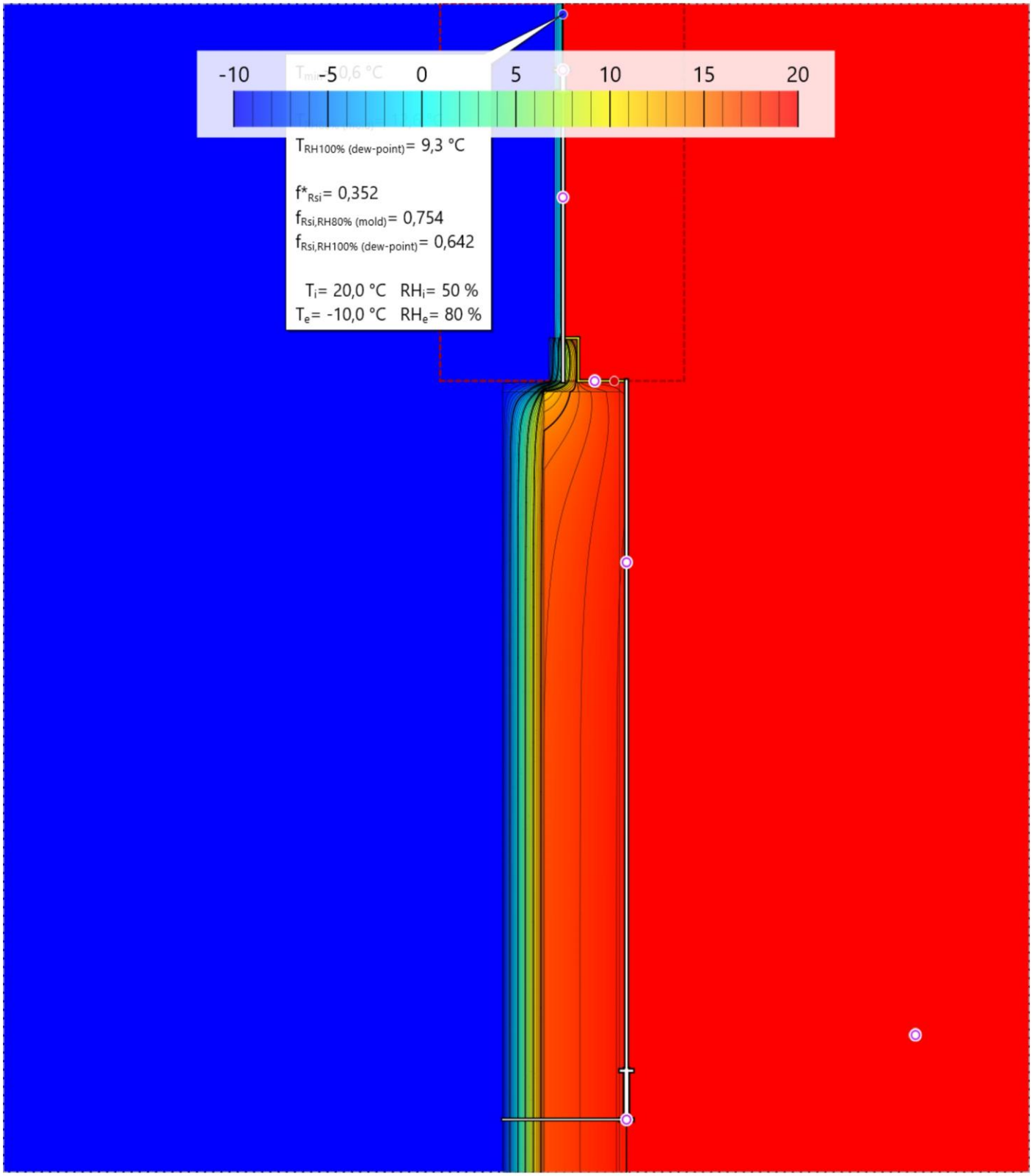
Name	R (m²K)/W	from material	to material
dyn1	0,13	ALL	Int. climate R0.13
dyn2	0,17	ALL	Int. climate R0.17
dyn3	0,10	ALL	Int. climate R0.10
dyn4	0,04	ALL	Ext. climate R0.04
dyn5	0,25	ALL	Int. climate R0.25

ΥΛΙΚΑ

Int. climate R0.13	Ext. climate R0.04	Isopor 100 white
XPS	EPS 600	Brickwork
window frame	Steel	glazing
interior plaster		

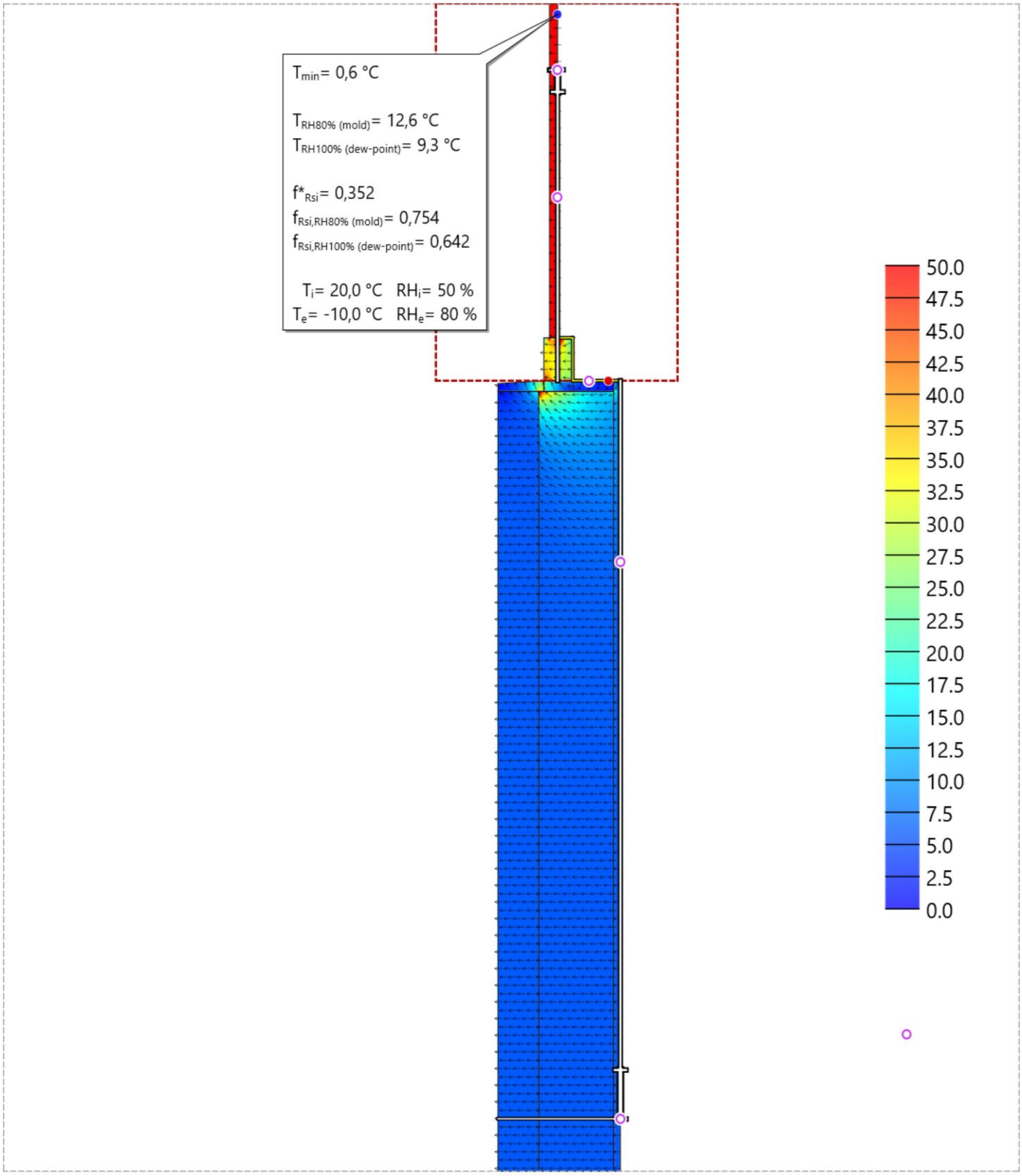


ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Simulation resolution: 1,5 mm; Cell count: 366.117

ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΟΗ



Simulation resolution: 1,5 mm; Cell count: 366.117

8.8.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 6

Οι παραπάνω εικόνες αφορούν στην λεπτομέρεια για την πρώτη εκ των τριών τοποθετήσεων για το κατωκάσι. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη είναι και η πιο συνήθης τοποθέτηση με το κούφωμα να τοποθετείται σχεδόν στο μέσον της τοιχοποιίας πάνω σε μόνωση EPS 600 κατά τα πρότυπα.

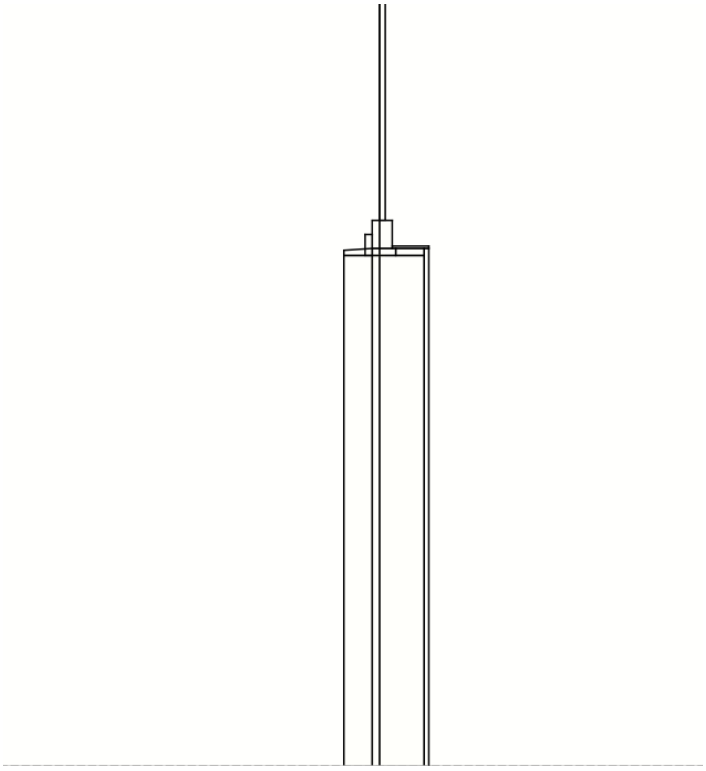
Και σε αυτήν την περίπτωση στην πρώτη σελίδα τοποθετείται ο πίνακας με τις τιμές για το Ψ που προέκυψαν κατά την μελέτη. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως για να προκύψουν οι σωστές τιμές Ψ έπρεπε να αφαιρέσουμε τη ροή του κουφώματος, του εγκατεστημένου και του τοίχου, όπως αναγράφεται και στην πρώτη σελίδα της λεπτομέρειας. Αναφορικά με τις τιμές που προέκυψαν είναι σε αποδεκτό επίπεδο, αφού κυμαίνονται από 0,050 - 0,060 W/(mK). Φυσικά, όπως θα δούμε και στη συνέχεια υπάρχουν τρόποι να βελτιώσουμε αυτές τις τιμές.

Προχωρώντας στην επόμενη σελίδα της λεπτομέρειας βρίσκουμε τον κατάλογο με τα υλικά και τις οριακές συνθήκες. Για την κατασκευή αυτής της λεπτομέρειας χρησιμοποιήθηκε εσωτερικό επίχρισμα, οπτοπλινθοδομή και εξωτερική μόνωση Isopor 100 White, καθώς και ένα στρώμα μόνωσης XPS για το επάνω μέρος της τοιχοποιίας και ένα κομμάτι μόνωσης EPS 600 πάνω στο οποίο γίνεται και η τοποθέτηση του κουφώματος. Τα εν λόγω υλικά παριστάνονται με μεγάλη ακρίβεια και στην επόμενη σελίδα με την όψη υλικών που μας παρέχει το HTflux.

Τέλος, όπως φαίνεται ξεκάθαρα στις δύο τελευταίες όψεις θερμοκρασίας και θερμικών ροών ο υαλοπίνακας είναι η κύρια πηγή προβλημάτων για την κατασκευή μας αφού ευθύνεται για τις μεγάλες απώλειες που εμφανίζονται. Η θερμογέφυρα είναι πιθανόν να εμφανιστεί στο σημείο ένωσης του πλαισίου του κουφώματος με την τοιχοποιία.

8.9 Λεπτομέρεια 7 – Κούφωμα (Κατωκάσι τοποθέτηση 2η)

Η τοποθέτηση γίνεται κατά τα πρότυπα με μόνωση να ανεβαίνει μέχρι και τα μισά του πλαισίου.



Υποσημείωση: Για τον υπολογισμό των σωστών τιμών Ψ της θερμογέφυρας έχει χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εξίσωση :

$$\Psi = \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T}$$

Δηλαδή αφαιρείται η ροή του κουφώματος, του εγκατεστημένου και του τοίχου.

Πίνακας 12-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 7

ΤΥΠΙΚΟ ΚΟΥΦΩΜΑ - ΚΑΤΩΚΑΣΙ -ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ 2Η			
U-VALUE WALL IN W/(m2K)	Ψ-VALUE IN W/(mK)	Uglass = 1.1 W/(m2K)	
		Uframe= 1 W/(m2K)	
0,15	0,02		
0,2	0,017		
0,25	0,012		
0,3	0,009		
0,35	0,007		
0,4	0,005		

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

USED MATERIALS

Material	λ W/(mK)	C J/(kgK)	ρ kg/m³	μ	Obj.	Comment
Isopor 100 white	0,02	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
XPS	0,04	1450	20	60	3	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
EPS 600	0,036	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Brickwork	0,64	820	2000	Please select	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
window frame	0,107	820	2000	Please select	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Steel	50,00	450	7800	1000000	1	EN 12524
glazing	0,029	820	2000	Please select	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
interior plaster	0,87	1100	1800	Please select	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data

BOUNDARIES

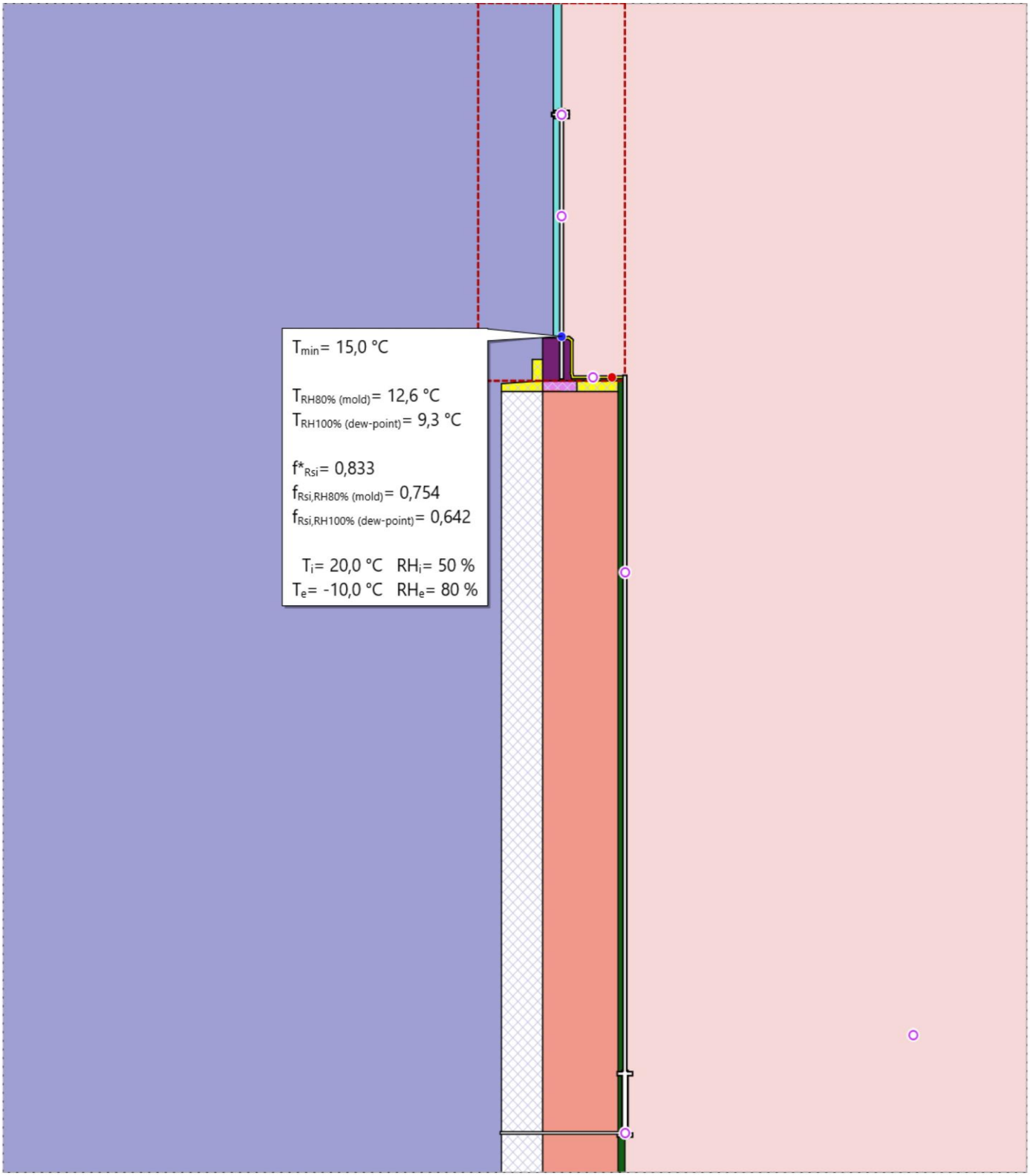
Boundary	T °C	RH (%)	Objects	Comment
Int. climate R0.13	20,0	50	2	
Ext. climate R0.04	-10,0	80	2	

HEAT TRANSFER RESISTANCE

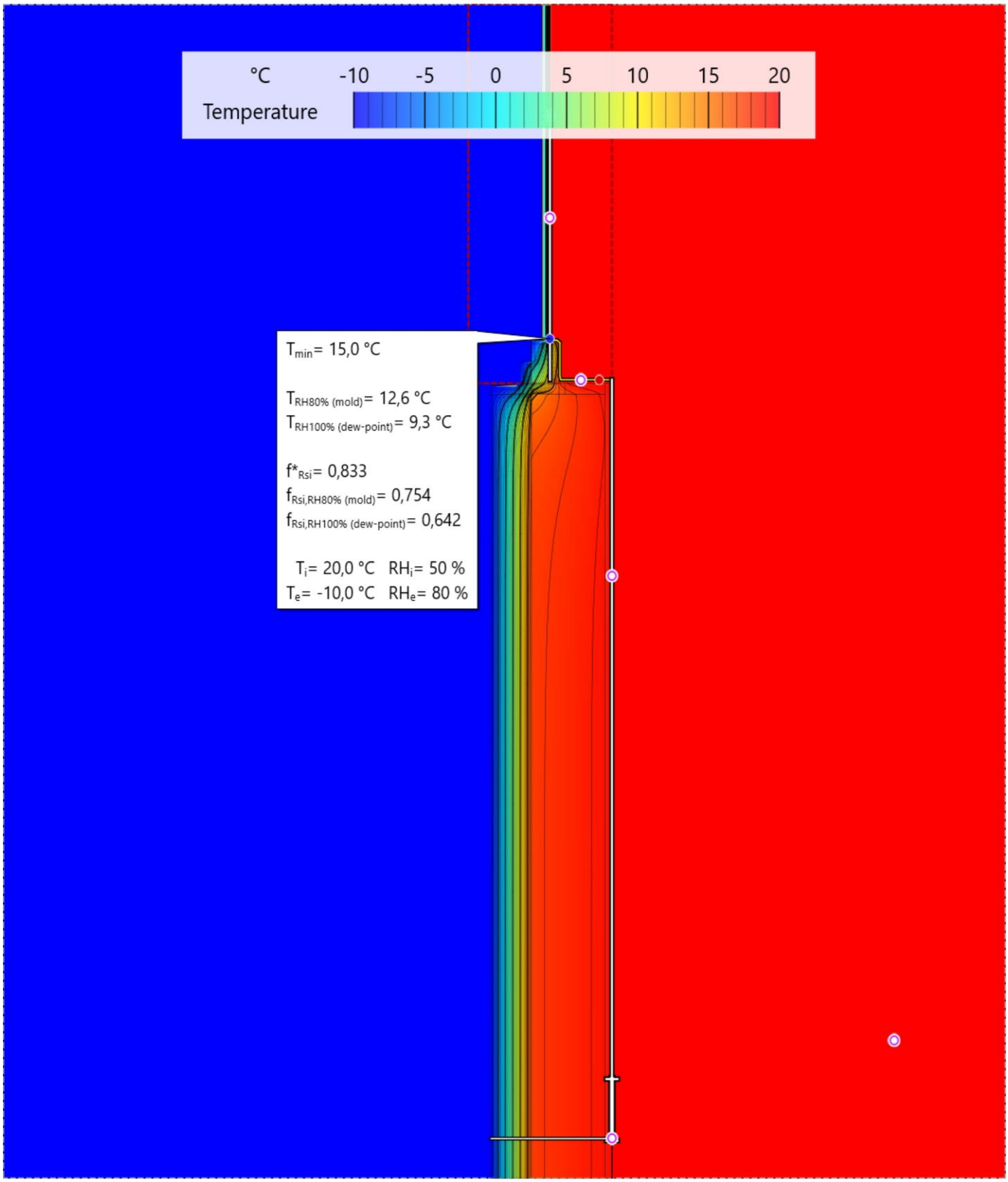
Name	R (m²K)/W	from material	to material
dyn1	0,13	ALL	Int. climate R0.13
dyn2	0,17	ALL	Int. climate R0.17
dyn3	0,10	ALL	Int. climate R0.10
dyn4	0,04	ALL	Ext. climate R0.04
dyn5	0,25	ALL	Int. climate R0.25

ΥΛΙΚΑ

Int. climate R0.13	Ext. climate R0.04	Isopor 100 white
XPS	EPS 600	Brickwork
window frame	Steel	glazing
interior plaster		

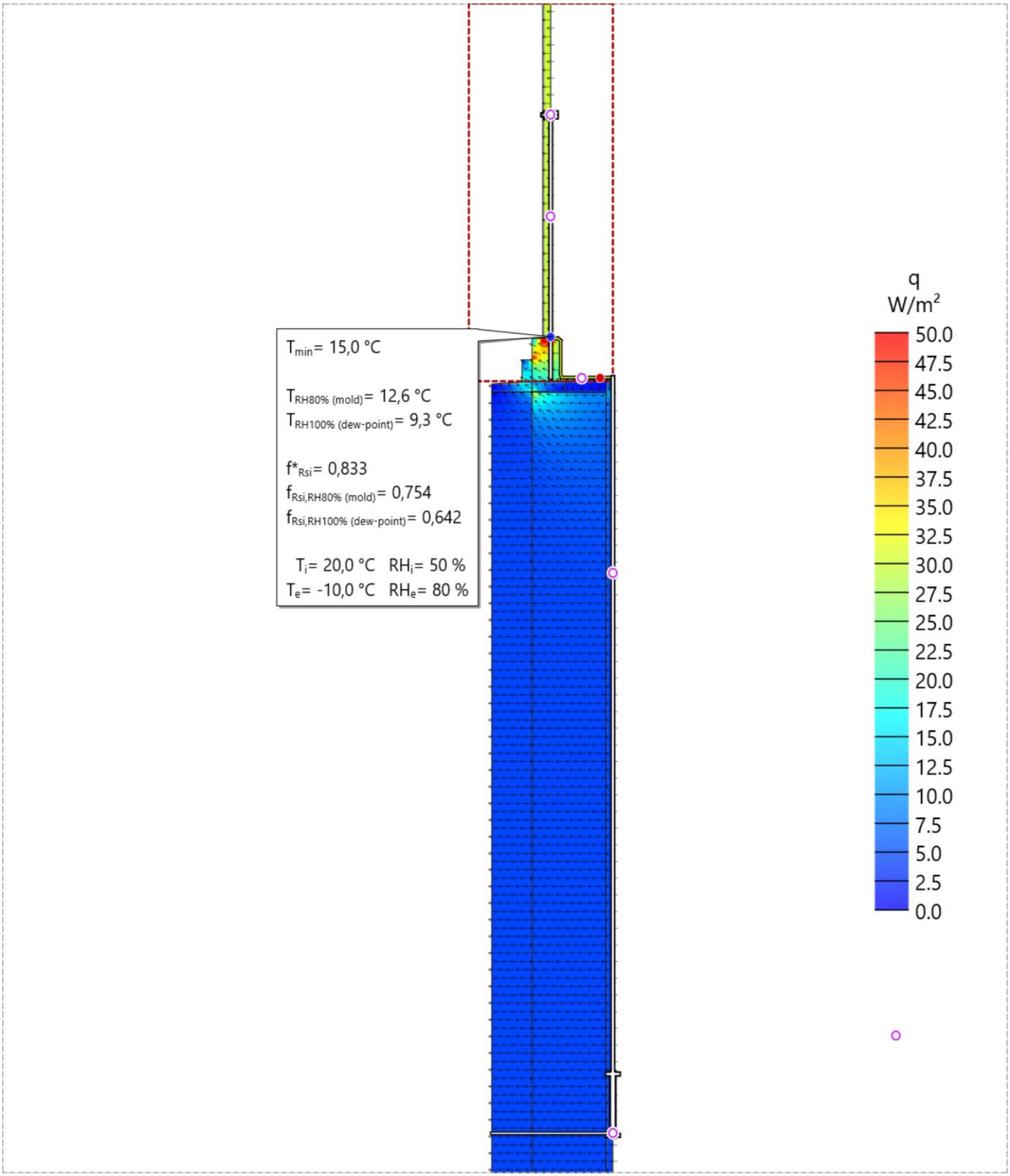


ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Simulation resolution: 11,5 mm; Cell count: 6.398

ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΟΗ



Simulation resolution: 11,5 mm; Cell count: 6.398

8.9.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 7

Συνεχίζουμε παρουσιάζοντας την δεύτερη τοποθέτηση για το κατωκάσι. Πιο συγκεκριμένα, το κούφωμα τοποθετείται στην ίδια θέση με την προηγούμενη τοποθέτηση με τη διαφορά πως για να μειώσουμε τον κίνδυνο υγροποίησης, ελέγχουμε την περίπτωση η μόνωση να γυρίζει μέχρι τη μέση του κουφώματος.

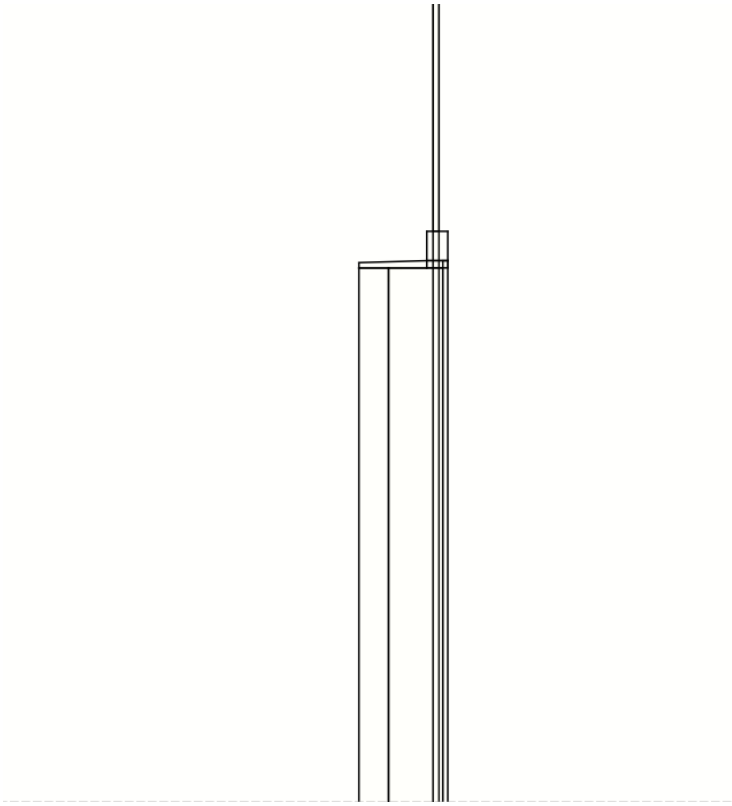
Το αν τελικά έχει νόημα αυτή η τοποθέτηση γίνεται εύκολα αντιληπτό από τον πίνακα με τις τιμές του Ψ για την λεπτομέρεια αυτήν που παρουσιάζονται στην πρώτη εκ των πέντε σελίδων που την αφορούν. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές εμφανίζονται εξαιρετικά μειωμένες με την χαμηλότερη να είναι σχεδόν μηδενική (Ψ = 0,005 W/(mK)) και την υψηλότερη να φτάνει τα 0,02 W/(mK). Αυτό σημαίνει πως με τέτοιου είδους τοποθετήσεις επιτυγχάνουμε ελάχιστη επικινδυνότητα όσον αφορά στον σχηματισμό μούχλας.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και οι οριακές συνθήκες του προβλήματος παραμένουν ίδια σε σχέση με την προηγούμενη λεπτομέρεια (και για λόγους συγκρίσεων), δηλαδή χρησιμοποιήθηκε εσωτερικό επίχρισμα, οπτοπλινθοδομή και εξωτερική μόνωση Isopor 100 White, καθώς και ένα στρώμα μόνωσης XPS για το επάνω μέρος της τοιχοποιίας και ένα κομμάτι μόνωσης EPS 600 πάνω στο οποίο γίνεται και η τοποθέτηση του κουφώματος. Στην τρίτη σελίδα που αφορά στην λεπτομέρεια παρουσιάζεται κατά τα γνωστά η όψη των υλικών για να είναι πιο εύκολο για μας να δούμε την αντιστοιχία αυτών που χρησιμοποιήθηκαν στα δομικά μας στοιχεία.

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι δύο τελευταίες όψεις θερμοκρασίας και θερμικών ροών, αφού συγκρίνοντας τες με τις προηγούμενες γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η θερμική άνεση είναι αρκετά ευκολότερο να επιτευχθεί σε αυτήν την περίπτωση.

8.10 Λεπτομέρεια 8 – Κούφωμα (Κατωκάσι τοποθέτηση 3η)

Η τοποθέτηση γίνεται πάνω σε μόνωση, αλλά το κούφωμα τοποθετείται περασιά με τον εσωτερικό τοίχο. Πρόκειται για μια τοποθέτηση που συνηθίζεται στην Ελλάδα.



Υποσημείωση: Για τον υπολογισμό των σωστών τιμών Ψ της θερμογέφυρας έχει χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εξίσωση :

$$\Psi = \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T}$$

Δηλαδή αφαιρείται η ροή του κουφώματος, του εγκατεστημένου και του τοίχου.

Πίνακας 13-Τιμές Ψ για διάφορα U τοιχοποιίας για τη λεπτομέρεια 8

ΤΥΠΙΚΟ ΚΟΥΦΩΜΑ - ΚΑΤΩΚΑΣΙ -ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ 3Η			
U-VALUE WALL IN W/(m2K)	Ψ-VALUE IN W/(mK)	Uglass = 1.1 W/(m2K)	
		Uframe= 1 W/(m2K)	
0,15	0,175		
0,2	0,169		
0,25	0,164		
0,3	0,156		
0,35	0,150		
0,4	0,144		

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

USED MATERIALS

Material	λ W/(mK)	C J/(kgK)	ρ kg/m³	μ	Obj.	Comment
Isopor 100 white	0,0269	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
XPS	0,04	1450	20	60	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
EPS 600	0,036	1450	20	60	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Brickwork	0,64	820	2000	Please select	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
window frame	0,107	820	2000	Please select	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
Steel	50,00	450	7800	1000000	1	EN 12524
glazing	0,78	820	2000	Please select	2	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data
interior plaster	0,87	1100	1800	Please select	1	HTflux Standard Materials, no warranty as to the completeness or accuracy of the data

BOUNDARIES

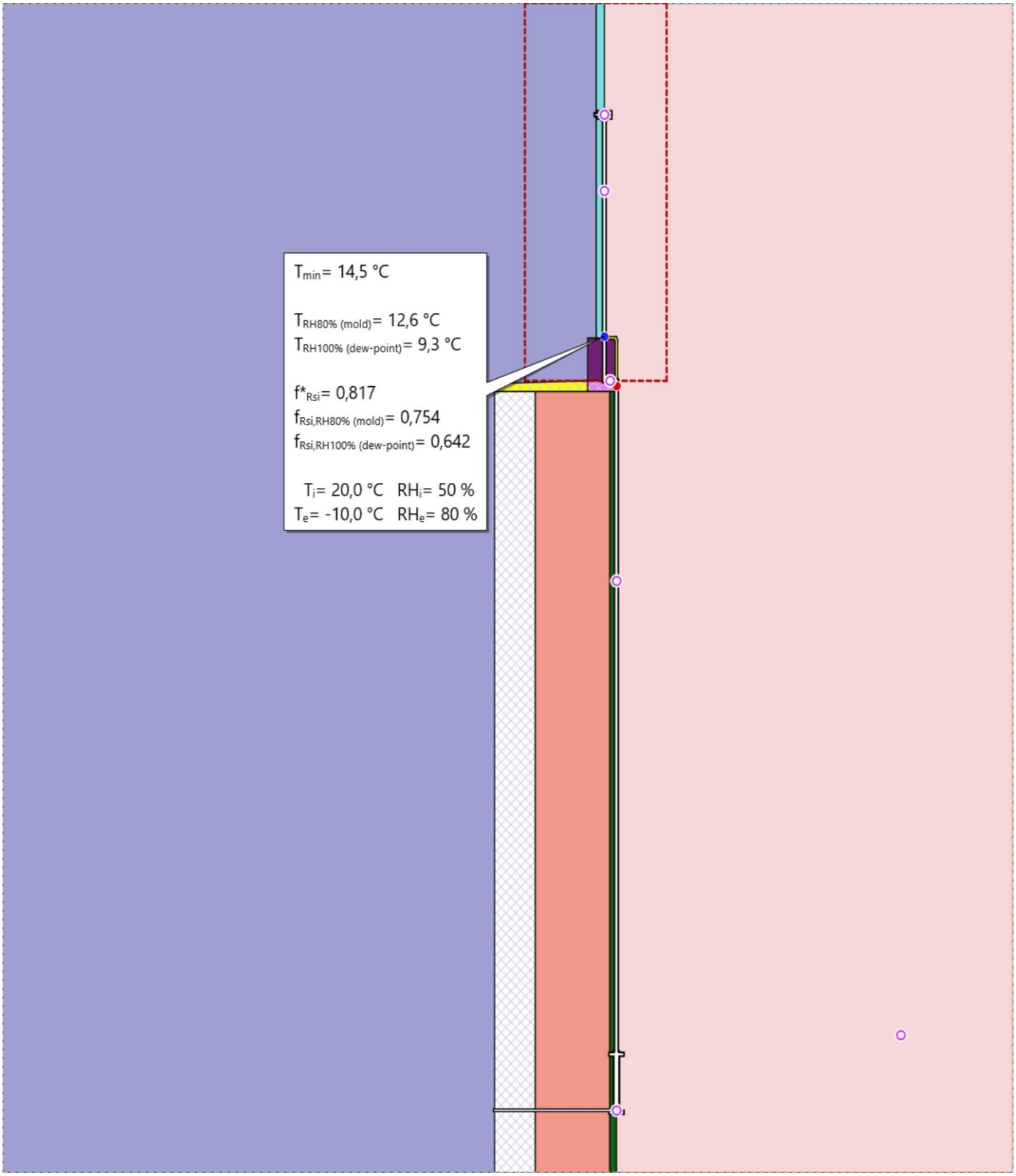
Boundary	T °C	RH (%)	Objects	Comment
Int. climate R0.13	20,0	50	2	
Ext. climate R0.04	-10,0	80	2	

HEAT TRANSFER RESISTANCE

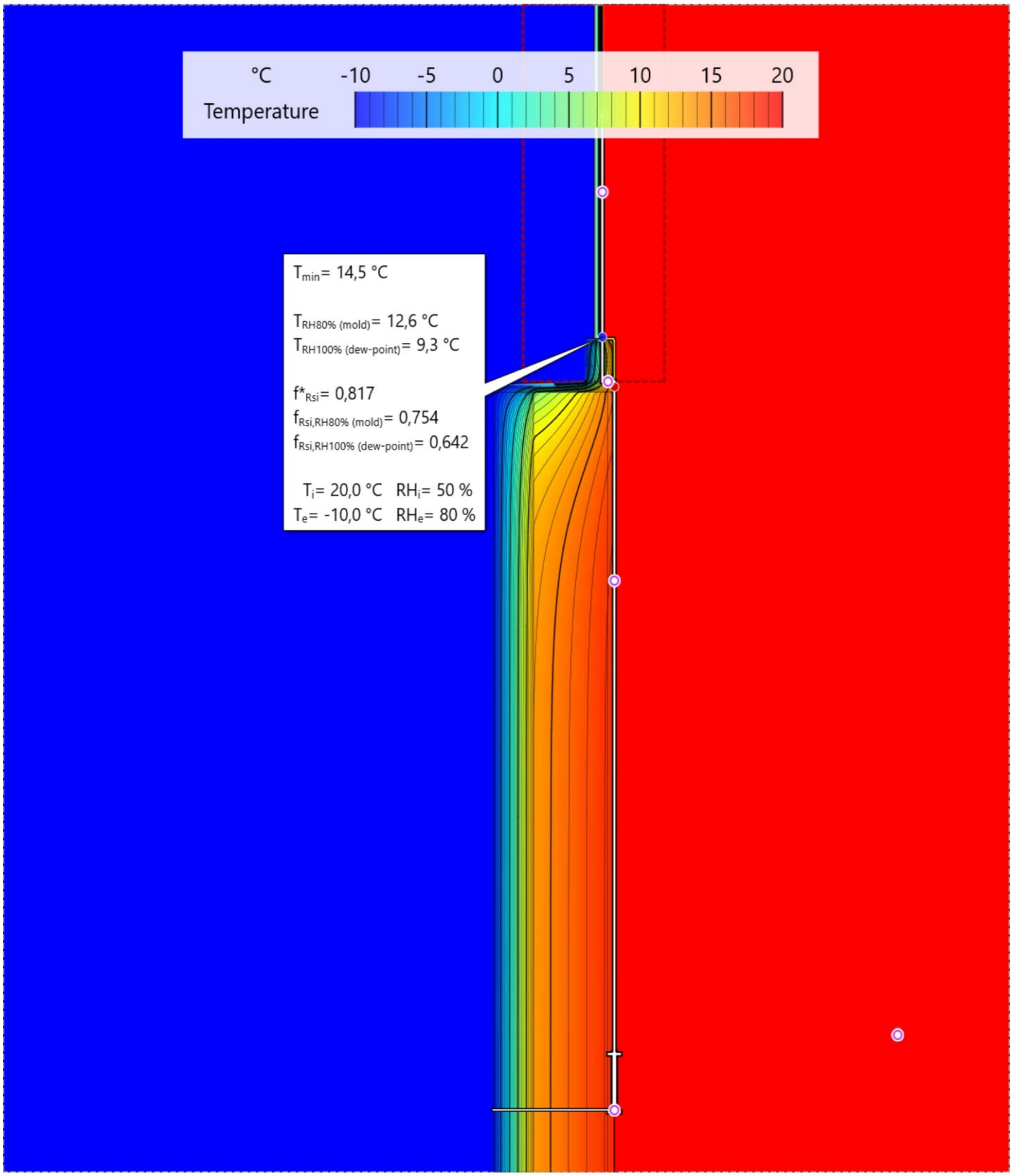
Name	R (m²K)/W	from material	to material
dyn1	0,13	ALL	Int. climate R0.13
dyn2	0,17	ALL	Int. climate R0.17
dyn3	0,10	ALL	Int. climate R0.10
dyn4	0,04	ALL	Ext. climate R0.04
dyn5	0,25	ALL	Int. climate R0.25

ΥΛΙΚΑ

- Int. climate R0.13
- Ext. climate R0.04
- Isopor 100 white
- XPS
- EPS 600
- Brickwork
- window frame
- Steel
- glazing
- interior plaster

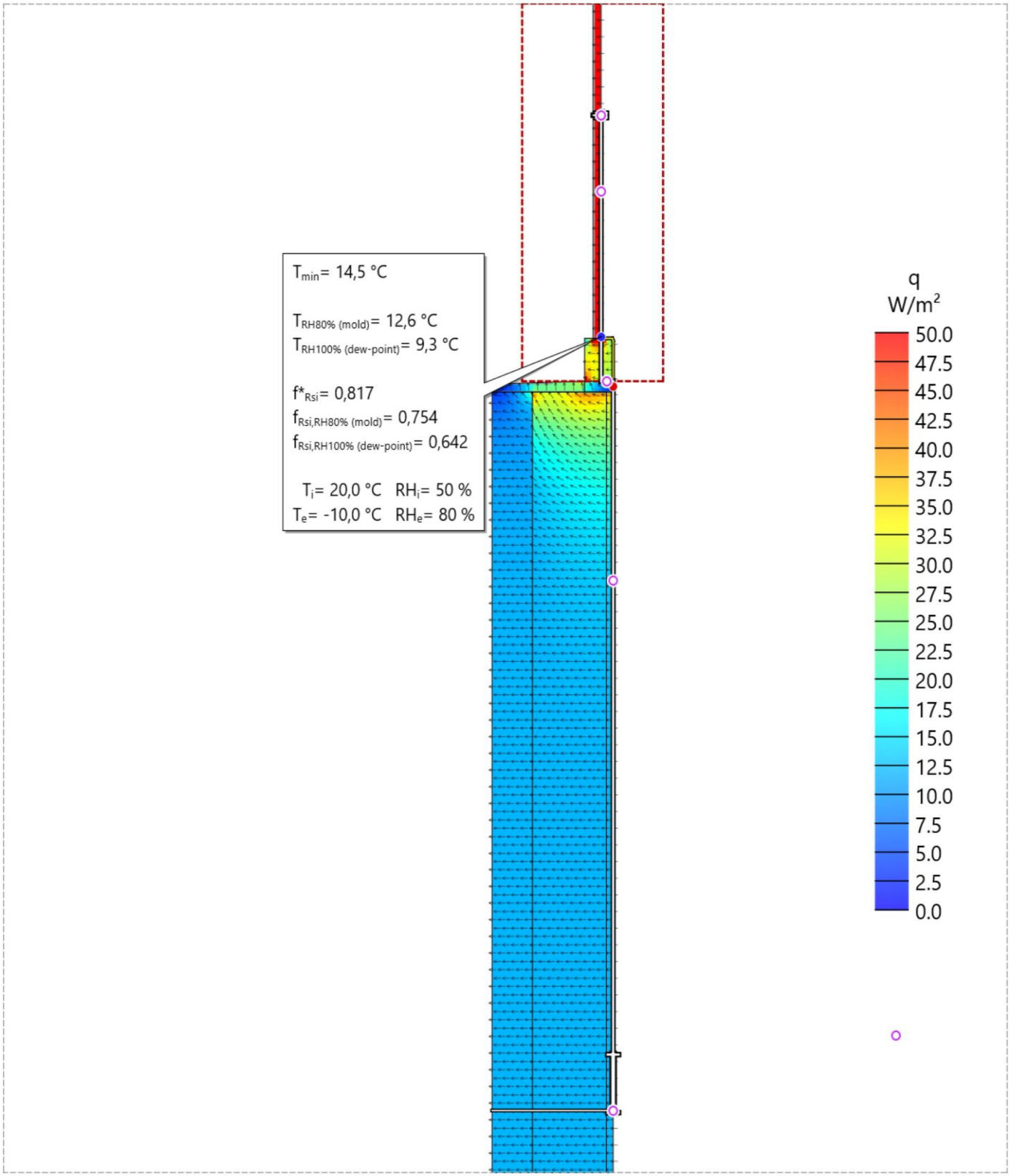


ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Simulation resolution: 11,5 mm; Cell count: 6.370

ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΟΗ



Simulation resolution: 11,5 mm; Cell count: 6.370

8.10.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Λεπτομέρεια 8

Τέλος, παρουσιάζεται η τρίτη λεπτομέρεια που αφορά στην τοποθέτηση για το κατωκάσι. Πρόκειται για μία συνήθη τοποθέτηση στην Ελλάδα που όπως θα δούμε και στην συνέχεια θα πρέπει να σταματήσει να γίνεται, αφού είναι αιτία πολλών προβλημάτων θερμογεφυρών. Πιο συγκεκριμένα το κούφωμα τοποθετείται περασιά με τον εσωτερικό τοίχο, πάνω σε κομμάτι μόνωσης EPS 600, όπως και πριν.

Αρχικά, παρουσιάζεται ο πίνακας των τιμών Ψ για την εν λόγω λεπτομέρεια από τον οποίο με μία ματιά μπορούμε να καταλάβουμε πως είναι μια σχετικά επικίνδυνη τοποθέτηση. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές του Ψ κυμαίνονται από 0,144-0,175 W/(mK) τιμές οι οποίες είναι αρκετά μεγαλύτερες και από τις δύο άλλες τοποθετήσεις.

Στη συνέχεια, ακολουθεί κατά τα γνωστά η σελίδα με τον κατάλογο των υλικών και των οριακών συνθηκών που χρησιμοποιήθηκαν. Αντίστοιχα, με τις προηγούμενες δύο περιπτώσεις για τα κουφώματα χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια υλικά, ώστε να είναι εύκολο να φανεί και η διαφοροποίηση στις τιμές που εξαγάγαμε. Οι αντιστοιχίες των υλικών με τα δομικά στοιχεία φαίνονται στην τρίτη σελίδα της λεπτομέρειας, στην όψη υλικών.

Τέλος, παρατηρώντας τα αποτελέσματα που λάβαμε για τις θερμοκρασίες και τις θερμικές ροές είναι αρκετά εύκολο να καταλάβουμε πως και οι δύο προηγούμενες τοποθετήσεις οδηγούν σε καλύτερα αποτελέσματα από την τελευταία.

9. Αναφορές

[1]: Hagentoft “Benchmarks for One-dimensional Cases of Combined Heat, Air and Moisture Transfer in Building components”, 2003.

[2]: Fanger, P. Ole, “Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering”, 1970.

[3]: Criteria and Algorithms for Certified Passive House Components: Opaque construction systems, Passive House Institute, 2015.

[4]: ASHRAE Standard 55, 2010.

[5] Feist “A Meta-Analysis of Personality in Scientific and Artistic Creativity”, 1998.

10. Βιβλιογραφία

1. Fanger, P.O., Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering, USA: New York 1972
2. Feist, W.; John, M.; Pfluger, R.: Building physics monitoring of the construction project Jean-Paul-Platz 4 in Nuremberg, on behalf of the wbg Nürnberg mbH, October 2002.
3. Feist (editor), Bastian, Ebel, Gollwitzer, Grove-Smith, Kaufmann, Kah, Krick, Pfluger Schnieders, Steiger, Theumer: „Passivhaus Projektierungs-Paket Version 8 (2013) "Passivhaus Institut, Darmstadt 2013
4. Feist, Wolfgang; Fenster: Main function of the Passive House concept, 14th Research Group for Cost-efficient Passive Houses, Passive House Institute Darmstadt; December 1998
5. Protocol Volume No. 24 of the Research Group for Cost-efficient Passive Houses Phase II: Passive House components in the modernization of old buildings, Passive House Institute Darmstadt; December 2003
6. Kaufmann, Paper: Optimized connection details for interior insulation – Thermal bridge reduction and airtightness, in [Feist (Publisher) 2005]
7. Krick, Benjamin, Feist, Wolfgang: „Certification criteria and calculation regulations for Certified Passive House Components: Glazing and Transparent Components", version 2.0, Passive House Darmstadt 2012
8. Bauphysik, 29th Volume, June 2007, Issue 3, ISSN 0171-5445, Publisher: Ernst & Sohn, Berlin, 2008
9. Conrad, Häupl, Petzold, Löber: Energy-efficient and structurally optimized modernization of a protected historical building in Görlitz in [Bauphysik 200, Issue 3].
10. Conrad, Häupl, Gruenewald, Petzold: Energy-efficient and structurally optimized modernization of a protected historical building; in [Feist (Publisher) 2008]
11. Conrad, Häupl, Gruenewald: Structural assessment of an energy-efficient optimized modernization of a protected baroque building and its practical implementation; in [Feist (Publisher) 2010]
12. Passive House on a historical foundation; [Feist (Publisher) 2006] [Endhardt 2010] Endhardt, Martin; Privatmitteilung, Dezember 2010 (Private information, December 2010))
13. Endhardt, Martin; Brewery Restaurant with Hotel; [Feist (Publisher) 2006]
14. Hauser, G.: Thermal bridges in existing buildings, by the specialists' association for energy marketing and applications (HEA) e.V. at VDEW, 1st edition, Frankfurt am Main, April 2001
15. Geyer, Ch.: Thermal protection of an exterior wall corner above a basement – Analysis and refurbishment of a case of building damage, Bauphysik 25, Issue 2, April 2003
16. Raisch, E.: Air permeability of building materials and structures, gi 30 (1928).

17. Sedlbauer, K.; Gabrio, Th.; Krus, M.: Mould fungus – risk to health and forecast; Gesundheits¬ingenieur 123(2002), Issue 6, S. 285ff
18. AkkP 21: Architectural Examples: Residential buildings; Protocol Volume No. 21 of the Research Group for Cost-effective Passive Houses Phase III; Passive House Institute; Darmstadt 2002.
19. AkkP 16: Thermal bridge free design; Protocol Volume No. 16 of the Research Group for Cost-effective Passive Houses Phase II; Passive House Institute; Darmstadt 1999
20. Bastian, Zeno: EnerPHit-Modernisierung von Nichtwohngebäuden, insbesondere der Einfluss innerer Wärmequellen, In: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, no. 48 „Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Modernisierung von Nichtwohngebäuden“, pp. 9-40, Passive House Institute (ed.), Darmstadt 2012.
21. Zaman: Modernizations of a protected historical housing complex using Passive House components, in [Feist (Publisher) 2010]
22. Ι. Τζουβαδάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ, «Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια- Παθητικά συστήματα», Αθήνα, Μάρτιος 2013
23. Πετούσης Ε., Τα παθητικά κτίρια και η συμβολή τους στη βελτιστοποίησητου ενεργειακού σχεδιασμού των ελληνικών κτιρίων, 2015
24. Θωμά Γ., Μέθοδος υπολογισμού συντελεστών θερμοπερατότητας καιαποτελεσματικής θερμοχωρητικότητας
25. Αραβαντινός Δ., Θερμογέφυρες & θερμομονωτική προστασία των κτιρίων, 2014
26. Αραβαντινός Αημήτρης, Κατασκευαστικές λύσεις για τη θερμομονωτική επάρκεια κτιριακών κατασκευών σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ, 2011
27. Λάσκος Κωνσταντίνος, Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης, 2014
28. Παθέας Παύλος, Τι γνωρίζετε για τα παθητικά κτίρια, 2016
29. EN ISO 10211:2007: Thermal bridges in building construction- Heat flows and surface temperatures- Detailed calculations
30. Passipedia. Διαθέσιμη στο www.passipedia.org
31. 2011 ASHRAE Annual Conference, Sustainability knows no borders, 2011 Montreal
32. ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2010
33. ΦΕΚ Α΄ 42 (ν. 3661/2008) «Μέτρα για τη μείωση της Ενεργειακής Κατανάλωσης των Κτιρίων και άλλες διατάξεις»
34. ΦΕΚ Α΄ 42 (ν.4122/2013) «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων- Εναρμόνιση με την οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου και λοιπές διατάξεις»
35. Ομάδα εργασίας σύνταξης Τεχνικών οδηγιών του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, «ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2- Θερμοφυσικές ιδιότητες Δομικών Υλικών και Έλεγχος της Θερμομονωτικής Επάρκειας των Κτιρίων», Α΄ έκδοση, ΤΕΕ, Αθήνα, Ιούλιος 2010.

36. Ομάδα εργασίας σύνταξης Τεχνικών οδηγιών του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, «ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3- Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών», Β΄ έκδοση, ΤΕΕ, Αθήνα, Απρίλιος 2012
37. Climate Action - European Commission. 2021. *International carbon market - Climate Action - European Commission*. [online] Available at: <https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/markets_en>
38. TEE. 2021. *TEE*. [online] Available at: <https://web.tee.gr>.
39. Passivistas.com. 2021. *www.passivistas.com – Το σπίτι του 2020 σήμερα!*. [online] Available at: <http://passivistas.com>
40. Solanova.org. 2021. - *Home*. [online] Available at: <http://www.solanova.org>