



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Διπλωματική Εργασία

Προσομοίωση Καινοτόμου Παθητικού Συστήματος Θέρμανσης



Ελένη Ζησοπούλου

Επιβλέπων Καθηγητής: Χρήστος Τζιβανίδης

Οκτώβριος 2016






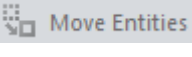

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Τζιβανίδη Χρήστο, για την εμπιστοσύνη του, την άριστη συνεργασία μας, την συνεχή καθοδήγησή του καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Μπέλλο Ευάγγελο για την συνεχή επίβλεψή του, την προθυμία του, την αμέριστη βοήθειά του και τη συνεργασία του σε όλα τα στάδια της διπλωματικής μου εργασίας.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	15
2	Μεθοδολογία.....	17
2.1	Κτίρια	17
2.2	Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης	19
2.2.1	Παθητική θέρμανση.....	20
2.2.2	Εφαρμογές παθητικών ηλιακών συστημάτων	29
2.3	Εισαγωγή στο SOLIDWORKS και παραδείγματα	34
2.3.1	Έναρξη του προγράμματος.....	35
2.3.2	Επιλογή “Part” 	36
2.3.3	Έναρξη σχεδίασης 	37
2.3.4	Βασικές Εντολές σχεδίασης.....	38
2.3.5	Εντολή Smart Dimension (διαστασιολόγηση) 	44
2.3.6	Εντολή Mirror Entities (Καθρέφτης) 	51
2.3.7	Εντολή Offset Entities 	52
2.3.8	Εντολή Move Entities 	53
2.3.9	Εντολή Trim Entities 	54
2.3.10	Εντολές παραγωγής στερεού σώματος	55
2.4	Δημιουργία των μοντέλων στο SOLIDWORKS	60
2.4.1	Μοντέλο με απλό τοίχο.....	60
2.4.2	Μοντέλο με τον τοίχο Trombe.....	69
2.4.3	Μοντέλο με τον καινοτόμο τοίχο Trombe.....	71
2.5	Προσομοίωση των μοντέλων στο SOLIDWORKS	75
2.5.1	Μοντέλο με απλό μονωμένο τοίχο	82

2.5.2	Μοντέλο με τον τοίχο Trombe.....	92
2.5.3	Μοντέλο με τον καινοτόμο τοίχο Trombe.....	92
3	Αποτελέσματα.....	93
3.1	Σύγκριση θερμοκρασιακών αποτελεσμάτων	93
3.2	Σύγκριση εσωτερικών θερμοκρασιών και νότιων τοίχων.....	96
3.3	Κατανομή θερμοκρασιών στο εσωτερικό των μοντέλων	99
3.4	Κλιματολογικά αποτελέσματα	110
4	Συμπεράσματα	117
5	Βιβλιογραφία	119

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Παθητικό κτίριο κατοικίας.....	18
Εικόνα 2: Σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους.....	21
Εικόνα 3: Τοίχος θερμικής αποθήκευσης.....	23
Εικόνα 4: Διακύμανση της ημερήσιας θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο και τον εσωτερικό χώρο.....	25
Εικόνα 5: Θερμική λειτουργία θερμοκηπίου, που συνδέεται με γυάλινη επιφάνεια (Α) ή τοίχο θερμικής αποθήκευσης (Β).....	27
Εικόνα 6: Θερμοκήπιο προσαρτημένο σε νότιο τοίχου.....	27
Εικόνα 7: Διαχωριστικός τοίχος θερμικής αποθήκευσης, ανάμεσα στο θερμοκήπιο και στο κτίριο (Trombe).....	28
Εικόνα 8: Σχηματική παράσταση των τριών βασικών συστημάτων.....	29
Εικόνα 9: Θερμική αποθήκευση σε τοίχο νερού.....	29
Εικόνα 10: Θερμική αποθήκευση σε σύστημα οροφής νερού.....	30
Εικόνα 11: Λειτουργία τοίχου Trombe.....	31
Εικόνα 12: Ανακυκλοφορία αέρα στον τοίχο Trombe.....	32
Εικόνα 13: Λειτουργία τοίχου Trombe για χειμώνα-καλοκαίρι, ημέρα και νύχτα.....	33
Εικόνα 14: Περιβάλλον του προγράμματος κατά την έναρξη.....	35
Εικόνα 15: Επιλογές για την έναρξη σχεδίασης.....	36
Εικόνα 16: Περιβάλλον επιλογής “Part”.....	36
Εικόνα 17: Επίπεδα σχεδιασμού.....	37
Εικόνα 18: Επιλογή επιπέδου σχεδιασμού.....	38
Εικόνα 19: Εντολές σχεδίασης.....	38
Εικόνα 20: Εντολή Line.....	40
Εικόνα 21: Εντολή Line.....	41
Εικόνα 22: Εντολή Line.....	41
Εικόνα 23: Εντολή Rectangle.....	42
Εικόνα 24: Εντολή Circle.....	42
Εικόνα 25: Εντολή Tangent Arc.....	43
Εικόνα 26: Εντολή Polygon.....	44
Εικόνα 27: Εντολή Smart Dimension.....	44
Εικόνα 28: Επιλογή μονάδων μέτρησης.....	45
Εικόνα 29: Μεταβολή μήκους ευθείας.....	46

Εικόνα 30: Μεταβολή μήκους ευθείας	46
Εικόνα 31: Μεταβολή μήκους ευθείας	47
Εικόνα 32: Εντολή Smart Dimension	48
Εικόνα 33: Εντολή Smart Dimension	48
Εικόνα 34: Εντολή Smart Dimension	48
Εικόνα 35: Εντολή Smart Dimension	49
Εικόνα 36: Εντολή Smart Dimension	49
Εικόνα 37: Εντολή Smart Dimension	49
Εικόνα 38: Εντολή Smart Dimension	50
Εικόνα 39: Εντολή Smart Dimension	50
Εικόνα 40: Εντολή Smart Dimension	50
Εικόνα 41: Mirror Entities	51
Εικόνα 42: Mirror Entities	51
Εικόνα 43: Εντολή Offset Entities	52
Εικόνα 44: Εντολή Offset Entities	53
Εικόνα 45: Εντολή Move Entities.....	53
Εικόνα 46: Εντολή Trim Entities	54
Εικόνα 47: Εντολή Trim Entities	54
Εικόνα 48: Εντολή Trim Entities	55
Εικόνα 49: Εντολή Exit Sketch.....	55
Εικόνα 50: Εξώθηση σχεδίου	56
Εικόνα 51: Εντολή Mid Plane.....	57
Εικόνα 52: Εντολή Filet.....	57
Εικόνα 53: Εντολή Filet.....	58
Εικόνα 54: Εντολή Swept Boss	58
Εικόνα 55: Εντολή Swept Boss	59
Εικόνα 56: Εντολή Swept Boss	59
Εικόνα 57: Κάτοψη του σχεδίου του μοντέλου απλού τοίχου	61
Εικόνα 58: Εξώθηση μοντέλου απλού τοίχου	62
Εικόνα 59: Εξώθηση μοντέλου απλού τοίχου	62
Εικόνα 60: Μορφή του μοντέλου απλού τοίχου μετά την εξώθηση	63
Εικόνα 61: Σχεδιασμός οροφής του μοντέλου απλού τοίχου	63
Εικόνα 62: Σχεδιασμός οροφής του μοντέλου απλού τοίχου	64

Εικόνα 63: Ολοκλήρωση οροφής του μοντέλου απλού τοίχου	64
Εικόνα 64: Σχεδιασμός υαλοπίνακα στο μοντέλο απλού τοίχου	65
Εικόνα 65: Σχεδιασμός υαλοπίνακα στο μοντέλο απλού τοίχου	65
Εικόνα 66: Σχεδιασμός υαλοπίνακα στο μοντέλο απλού τοίχου	66
Εικόνα 67: Επιλογή χρωμάτων των υλικών κατασκευής	67
Εικόνα 68: Επιλογή διαφάνειας των υαλοπινάκων	67
Εικόνα 69: Τελική μορφή μοντέλου του «απλού» τοίχου	68
Εικόνα 70: Τελική μορφή μοντέλου του «απλού» τοίχου	68
Εικόνα 71: Τελική μορφή μοντέλου του «απλού» τοίχου	68
Εικόνα 72: Κάτοψη μοντέλου τοίχου Trombe.....	69
Εικόνα 73: Μορφή του μοντέλου Trombe μετά την εξώθηση	70
Εικόνα 74: Τελική μορφή του μοντέλου κλασικού τοίχου Trombe	70
Εικόνα 75: Τελική μορφή του μοντέλου κλασικού τοίχου Trombe	71
Εικόνα 76: Τελική μορφή του μοντέλου κλασικού τοίχου Trombe	71
Εικόνα 77: Τελική μορφή του μοντέλου καινοτόμου τοίχου Trombe.....	73
Εικόνα 78: Τελική μορφή του μοντέλου καινοτόμου τοίχου Trombe.....	73
Εικόνα 79: Τελική μορφή του μοντέλου καινοτόμου τοίχου Trombe.....	74
Εικόνα 80: Τελική μορφή του μοντέλου καινοτόμου τοίχου Trombe.....	74
Εικόνα 81: Εντολή Create Lids.....	76
Εικόνα 82: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης	77
Εικόνα 83: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης	78
Εικόνα 84: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης	79
Εικόνα 85: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης	79
Εικόνα 86: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης	80
Εικόνα 87: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης	80
Εικόνα 88: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης	81
Εικόνα 89: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης	81
Εικόνα 90: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης	82
Εικόνα 91: Ορισμός πλέγματος	83
Εικόνα 92: Πλέγμα 50x50x50	83
Εικόνα 93: Ορισμός οριακών συνθηκών	84
Εικόνα 94: Ορισμός οριακών συνθηκών	85
Εικόνα 95: Ορισμός οριακών συνθηκών	86

Εικόνα 96: Ορισμός οριακών συνθηκών	86
Εικόνα 97: Ορισμός ιδιοτήτων υλικών	87
Εικόνα 98: Ορισμός ιδιοτήτων υλικών	88
Εικόνα 99: Ορισμός στόχων Global Goals	89
Εικόνα 100: Ορισμός στόχων Surface Goals.....	89
Εικόνα 101: Ορισμός στόχων Point Goals	90
Εικόνα 102: Ορισμός στόχων Point Goals	91
Εικόνα 103: Ορισμός στόχων Equation Goals	91
Εικόνα 104: Καρτέλα τελικών αποτελεσμάτων	92
Εικόνα 105: Κατανομή της εσωτερικής θερμοκρασίας στο μοντέλο με απλό μονωμένο τοίχο κατά την τυπική ημέρα του Ιανουάριου σε κάτοψη σε τομή στη μέση του κτιρίου	101
Εικόνα 106: Κατανομή της εσωτερικής θερμοκρασίας στο μοντέλο με τοίχο Trombe κατά την τυπική ημέρα του Ιανουάριου σε κάτοψη σε τομή στη μέση του κτιρίου	102
Εικόνα 107: Κατανομή της εσωτερικής θερμοκρασίας στο μοντέλο με καινοτόμο τοίχο Trombe κατά την τυπική ημέρα του Ιανουάριου σε κάτοψη σε τομή στη μέση του κτιρίου	103
Εικόνα 108: Κατανομή της θερμοκρασίας στην εξωτερική όψη του τοιχώματος του νότιου τοίχου στο μοντέλο με απλό μονωμένο τοίχο για το μήνα Ιανουάριο	105
Εικόνα 109: Κατανομή της θερμοκρασίας στην εξωτερική όψη του τοιχώματος του νότιου τοίχου στο μοντέλο με τοίχο Trombe για το μήνα Ιανουάριο.....	106
Εικόνα 110: Κατανομή της θερμοκρασίας στην εξωτερική όψη του τοιχώματος του νότιου τοίχου στο καινοτόμο μοντέλο με τοίχο Trombe για το μήνα Ιανουάριο	107
Εικόνα 111: Διαγράμματα κατανομής της θερμοκρασίας του νότιου τοίχου των τριών μοντέλων τον Ιανουάριο	108
Εικόνα 112: Σύγκριση της κατανομής της θερμοκρασίας του νότιου τοίχου των τριών μοντέλων τον Ιανουάριο	109
Εικόνα 113: Σύγκριση της κατανομής της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό των τριών μοντέλων τον Ιανουάριο	109

Λίστα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Σύγκριση των θερμοκρασιακών προφίλ του αέρα στο εσωτερικό των μοντέλων για τις 7 εξεταζόμενες ημέρες	94
Διάγραμμα 2: Σύγκριση των θερμοκρασιακών προφίλ του αέρα στο εσωτερικό των μοντέλων κατά την τυπική ημέρα.....	96
Διάγραμμα 3: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του περιβάλλοντος , του αέρα στο εσωτερικό των μοντέλων και του νότιου τοίχου για τον απλό μονωμένο τοίχο κατά την τυπική ημέρα.....	97
Διάγραμμα 4: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του περιβάλλοντος , του αέρα στο εσωτερικό των μοντέλων και του νότιου τοίχου για τον τοίχο Trombe κατά την τυπική ημέρα.....	98
Διάγραμμα 5: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του περιβάλλοντος , του αέρα στο εσωτερικό των μοντέλων και του νότιου τοίχου για τον καινοτόμο τοίχο Trombe κατά την τυπική ημέρα.....	99
Διάγραμμα 6: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του εσωτερικού αέρα του συνήθως μονωμένου μοντέλου κατά τις 7 εξεταζόμενες ημέρες για τον μήνα Ιανουάριο.....	111
Διάγραμμα 7: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του εσωτερικού αέρα του μοντέλου με τον τοίχο Trombe κατά τις 7 εξεταζόμενες ημέρες για τον μήνα Ιανουάριο	111
Διάγραμμα 8: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του εσωτερικού αέρα του μοντέλου με τον καινοτόμο τοίχο Trombe κατά τις 7 εξεταζόμενες ημέρες για τον μήνα Ιανουάριο	112
Διάγραμμα 9: Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο νότιο τοίχο κατά την τυπική ημέρα	113
Διάγραμμα 10: Προφίλ της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος κατά την τυπική ημέρα	113
Διάγραμμα 11: Διάρκεια ημέρας ανά μήνα	114
Διάγραμμα 12: Ανεξαρτησία πλέγματος	114
Διάγραμμα 13: Ανεξαρτησία χρόνου.....	115

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Θερμικές ιδιότητες των υλικών των μοντέλων	60
Πίνακας 2: Διαστάσεις των μοντέλων	75
Πίνακας 3: Συνθήκες λειτουργίας μοντέλων	76
Πίνακας 4: Θερμοκρασιακά αποτελέσματα μοντέλων κατά την 7 ^η εξεταζόμενη ημέρα	93
Πίνακας 5: Κλιματολογικά δεδομένα	110

Abstract

The sustainability of a temperature level at peoples' living and working space is accomplished through heating systems of buildings. They require a great amount of energy consumption with environmental impacts and financial investments including the capital and the operational costs. Solar energy either in direct or indirect form constitutes an inexpensive mean of heating. Passive solar systems utilizing the solar energy are one of these building heating systems that reduce at the same time both a great amount of the power consumption and operational expenses. Trombe wall in buildings is one of the most common passive solar heating applications. More in depth, Trombe wall as a passive solar heating system absorbs the incident solar radiation through the glazing which heats the air between the glazing and the outer side of the wall, and consequently the internal of the building propelling the heated air through vents. In this research a special Trombe wall model is being simulated with use of the design program Solidworks 2014, featuring an additional glazing to the building wall. This model is compared both to a model with the conventional Trombe wall and to a common insulated model for various temperature and thermal parameters. All three models are being examined for 7 days monthly, for a 6-months period, from November until April. All the simulated Trombe-walls are south oriented in order to maximize the incident solar radiation, unvented and the parameters are specifically selected to represent buildings in Athens, Greece. The final results showed an increase in the internal temperature, particularly during the afternoon and evening hours. Moreover, there is an approximately 3 hour time lag amid the heating in the interior of the models and the exterior of the south wall. In conclusion, the novel model of Trombe wall showed the higher temperature levels during the examined period while the common insulated model the lowest. Nevertheless the temperature declination between the two Trombe models was minimal.

Περίληψη

Η θέρμανση των κτιρίων απαιτεί όχι μόνο υπέρογκα ποσά ενέργειας, επιβαρύνοντας το περιβάλλον, αλλά αποτελεί ταυτόχρονα πηγή υψηλών εξόδων. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια χρήσης της ηλιακής ενέργειας, άμεσα ή έμμεσα, για την θέρμανση των κτιρίων, μειώνοντας σε πολύ μεγάλο βαθμό τα επίπεδα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοια συστήματα μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης και ταυτόχρονα του κόστους, αποτελούν τα παθητικά συστήματα θέρμανσης, στα οποία μεταξύ άλλων ανήκει ο τοίχος Trombe. Ο τοίχος Trombe απορροφά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία χρήσει υαλοπίνακα θερμαίνοντας τον αέρα μεταξύ του υαλοπίνακα και της εξωτερικής πλευράς του τοιχώματος και κατ' επέκταση το εσωτερικό του κτιρίου, προωθώντας τον θερμό αέρα μέσω «ανοιγμάτων». Στη παρούσα έρευνα, μελετάται ένα καινοτόμο μοντέλο τοίχου Trombe, το οποίο διαθέτει έναν επιπλέον υαλοπίνακα στον τοίχο του κτιρίου. Το μοντέλο αυτό συγκρίνεται με μοντέλο το οποίο διαθέτει συμβατικό τοίχο Trombe και με μοντέλο αποτελούμενο από συνήθη μονωμένα τοιχώματα, κατά τη διάρκεια των 6 χειμερινών μηνών (Νοέμβριος-Απρίλιος) για 7 ημέρες κάθε μήνα, ως προς τα θερμοκρασιακά και θερμικά τους αποτελέσματα. Ο σχεδιασμός και η προσομοίωση των μοντέλων στις συνθήκες περιβάλλοντος γίνεται χρησιμοποιώντας το σχεδιαστικό πρόγραμμα Solidworks 2014. Ο κάθε εξεταζόμενος τοίχος Trombe είναι νότια προσανατολισμένος, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, δεν διαθέτει «ανοίγματα» ενώ το κάθε κτίριο που μελετάται βρίσκεται στην Ελλάδα στην περιοχή της Αθήνας. Τα τελικά αποτελέσματα έδειξαν αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των μεσημεριανών και απογευματινών ωρών. Παρατηρήθηκε ακόμα ότι υπάρχει χρονική υστέρηση μεταξύ της θέρμανσης του αέρα στο εσωτερικό των μοντέλων και της θέρμανσης της εξωτερικής πλευράς του νότιου τοίχου ανά περίπτωση. Σε κάθε περίπτωση το εσωτερικό του μοντέλου θερμάνθηκε σχεδόν 3 ώρες αργότερα από την νότια εξωτερική πλευρά του τοίχου. Εν κατακλείδι, μεταξύ των τριών μοντέλων το καινοτόμο μοντέλο παρουσίασε τις υψηλότερες θερμοκρασίες καθόλη τη διάρκεια του χρόνου μελέτης τους, οι οποίες απείχαν ελάχιστα από αυτές του μοντέλου με τον συμβατικό τοίχο Trombe, ενώ το απλό μοντέλο παρουσίασε τις χαμηλότερες θερμοκρασίες.

1 Εισαγωγή

Η θέρμανση των κτιρίων και των κατοικιών όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και παγκοσμίως αποτελεί τον πιο σημαντικό τομέα κατανάλωσης ενέργειας. Η ευρωπαϊκή πολιτική στον τομέα της ενέργειας έχει πλέον επικεντρωθεί σε μεγάλο βαθμό στα θέματα εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια. Σύμφωνα με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ, όλα τα κτίρια τα οποία θα κατασκευάζονται από το 2021 θα είναι «Κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας», ενώ το ίδιο θα ισχύσει από το 2019 για όλα τα νέα κτίρια του δημοσίου [1]. Τα κτίρια στις πόλεις της Ευρώπης χρειάζονται, για την κάλυψη των αναγκών τους σε θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης, περίπου το 30% της παραγόμενης ενέργειας, ποσοστό που συμβάλλει στην παραγωγή του 40% του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα [2]. Αν ο ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων παραμείνει σε τόσο υψηλά επίπεδα, υπολογίζεται έως το 2050, εκτός από τη συνεχή αύξηση του επιπέδου της θερμοκρασίας, παγκόσμια, ο διπλασιασμός των εκπομπών λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου [3].

Η σύγκριση της ελληνικής ενεργειακής έντασης (ενεργειακός δείκτης που χρησιμοποιείται για την ενεργειακή κατάσταση χωρών και ορίζεται ως ο λόγος της εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας προς το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν - ΑΕΠ) με αυτές άλλων ευρωπαϊκών χωρών που χαρακτηρίζονται από παρόμοιες τάσεις στο βιοτικό επίπεδο, το κλίμα, την τεχνολογική υποδομή κλπ, δεν οδηγεί σε αισιόδοξα αποτελέσματα. Στην Ελλάδα μια διαχρονική αύξηση της τιμής της ενεργειακής έντασης μπορεί να οδηγήσει σε παράλληλη μείωση του βαθμού ενεργειακής απόδοσης ή σπατάλη ενέργειας εφόσον το ΑΕΠ αυξάνεται. Το γεγονός αυτό, παράλληλα με την ενεργειακή αύξηση που αντιμετωπίζει η χώρα από τις εισαγωγές κυρίως πετρελαίου, αποτελούν παραμέτρους που επιτάσσουν την ανάγκη για τη λήψη μέτρων, σε εθνικό επίπεδο, με στόχο τον περιορισμό των ενεργειακών καταναλώσεων, δηλαδή μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας και χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [1, 4].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση σχεδιάζει μέχρι το έτος 2030 την «βαθιά ανακαίνιση» των κτιρίων της Ευρώπης με κύριο σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας έως και 30% [5]. Τα σημερινά συστήματα θέρμανσης θα αντικατασταθούν από νέα συστήματα υψηλής απόδοσης ή από εναλλακτικά συστήματα τα οποία στηρίζονται πρωτίστως στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία για την ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου έχει η χρήση τεχνικών βιοκλιματικού σχεδιασμού. Με τον όρο αυτό περιγράφεται ο σχεδιασμός, με τον

οποίο, λαμβάνοντας υπόψη το τοπικό κλίμα, επιδιώκεται η επίτευξη των βέλτιστων συνθηκών εσωτερικής άνεσης, με την αξιοποίηση των διαθέσιμων φυσικών πηγών και την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Βασικές τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν η θερμική προστασία του κτιριακού κελύφους, τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης και δροσισμού και τα συστήματα φυσικού φωτισμού [6].

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

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των χώρων ενός κτιρίου. Διακρίνονται κυρίως σε συστήματα άμεσου και έμμεσου κέρδους, όπως τοίχοι θερμικής αποθήκευσης και θερμοκήπια [1, 7, 8].

Λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για νέα τεχνολογικά επιτεύγματα στον τομέα της θερμότητας και εξοικονόμησης ενέργειας, επιλέχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας η ανάπτυξη ενός καινοτόμου τοίχου θερμικής αποθήκευσης (Trombe) και η σύγκριση του-ως προς τη θερμική τους απόδοση- με τα ήδη ανεπτυγμένα μοντέλα του κλασικού τοίχου Trombe και ενός απλού μονωμένου τοίχου χρησιμοποιώντας το σχεδιαστικό πρόγραμμα Solidworks. Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται μια εκτενής ανάλυση των κτιρίων, ως πηγές ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και των παθητικών συστημάτων θέρμανσης, συμπεριλαμβανομένου και του τοίχου Trombe. Έπειτα εξηγείται το σχεδιαστικό πρόγραμμα και οι λειτουργίες του ενώ σε επόμενα κεφάλαια παρουσιάζεται η μεθοδολογία προετοιμασίας των μοντέλων, δηλαδή ο σχεδιασμός και η προσομοίωση τους στις συνθήκες περιβάλλοντος. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα μοντέλα προσομοιώθηκαν σε ρεαλιστικές μεταβαλλόμενες συνθήκες περιβάλλοντος, με τη χρήση του προγράμματος, για τους χειμερινούς μήνες του έτους, από Νοέμβριο έως και Απρίλιο. Τέλος, στα τελευταία δυο κεφάλαια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2 Μεθοδολογία

2.1 Κτίρια

Τα κτίρια αποτελούν ένα μεγάλο ενεργειακό καταναλωτή ο οποίος διαθέτει ταυτόχρονα υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και οικονομικών αποτελεσματικών τεχνολογιών είναι δυνατή η επίτευξη σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων με αντίστοιχα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη [8, 9]. Στην τελική κατανάλωση ενέργειας, τα κτίρια κατοικίας και γραφείων (οικιακός και τριτογενής τομέας) συμμετέχουν με ποσοστό 29.8% (1992) στο σύνολο της κατανάλωσης και εμφανίζεται μέση ετήσια αύξηση της τάξης του 4% (για την περίοδο 1977-1992). Το 1992 η τελική κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό και τριτογενή τομέα, ήταν 4,18 ΜΤΠΠ (Μεγατόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου), όπου το 60% οφείλεται στη χρήση υγρών καυσίμων και το 38.7% στον ηλεκτρισμό. Το μεγαλύτερο μέρος του ποσοστού αυτού ξοδεύεται για τις ανάγκες θέρμανσης των κτιρίων [1]. Αυτή η κατανάλωση είτε σε μορφή θερμότητας (με χρήση πετρελαίου) είτε ηλεκτρική ενέργεια συντελεί άμεσα στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και παράγεται σε μεγάλες ποσότητες από την κατανάλωση ενέργειας με συμβατικά μέσα [10].

Τα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία και ιδιαιτερότητες. Διαφέρουν ως προς την περιοχή που βρίσκονται (κλιματική ζώνη), ως προς τα μορφολογικά και αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά, αλλά και ως προς το σχήμα και μέγεθος, τη χρήση και λειτουργία, τη χρονολογία κατασκευής τους, τις διαφορετικές ανάγκες που καλύπτουν, του ωραρίου και του τρόπου λειτουργίας τους. Αυτές οι διαφορές έχουν άμεση σχέση με την κατανάλωση ενέργειας.

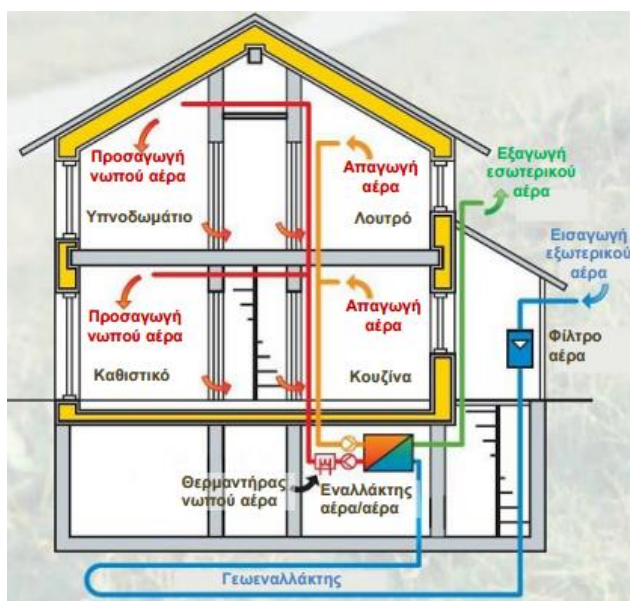
Μεγάλη σπατάλη ενέργειας παρατηρείται στα κτίρια του δημόσιου τομέα που ανήκουν και στεγάζουν υπηρεσίες, ακόμη και σε κτίρια που λόγω της χρήσης τους (κτίρια γραφείων) και του ωραρίου λειτουργίας τους δεν δικαιολογούν μεγάλες ενεργειακές καταναλώσεις.

Ο τομέας με τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας είναι αυτός της υγείας (νοσοκομεία) και στη συνέχεια ο τομέας των ξενοδοχειακών επιχειρήσεων, τα γραφεία, οι εμπορικές επιχειρήσεις και τα σχολικά κτίρια. Αυτό προκύπτει από μετρήσεις ενεργειακής κατανάλωσης που έχουν, κατά καιρούς, γίνει σε αντίστοιχα κτίρια. Παρόλα αυτά το κόστος παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποφυγή ενσωμάτωσης συστημάτων χαμηλής κατανάλωσης

ενέργειας. Τα λειτουργικά κόστη καθώς και τα κόστη εγκατάστασης για μόνωση, εξοπλισμό θέρμανσης, ηλιακούς συλλέκτες, αντλίες θερμικών συστημάτων, διπλά τζάμια, παντζούρια δρουν ως ανασταλτικός παράγοντας. Επιπλέον η κατασκευή κτιρίων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης απαιτεί ένα αρκετά μεγάλο κεφάλαιο εκκίνησης.

Σύμφωνα με τις νέες κατευθύνσεις, πρέπει να γίνουν τροποποιήσεις στις τρέχουσες κατασκευές κτιρίων με σκοπό την ενσωμάτωση ηλιακών συλλεκτών, φωτοβολταϊκών κελιών, ειδικών αγωγών αέρα, εναλλακτών θερμότητας κτλ., καθώς και τροποποιήσεις στα υλικά κατασκευής των κτιρίων [1].

Όπως προαναφέρθηκε, κεντρική επιδίωξη της ευρωπαϊκής πολιτικής, είναι η κατασκευή κτιρίων από το 2020 τα οποία θα είναι σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας και θα έχουν τις ελάχιστες δυνατές θερμικές απώλειες. Η πολιτική αυτή μπορεί να επιτευχθεί μόνο με συστήματα θέρμανσης κτιρίων με αέρα και όχι με τα συμβατικά θερμαντικά σώματα. Τέτοιου είδους κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας είναι τα παθητικά κτίρια τα οποία κατασκευάζονται με βάση το Γερμανικό πρότυπο «Passivhaus». Ένα παράδειγμα παθητικού κτιρίου κατοικίας παρουσιάζεται στην **Εικόνα 1**. Ο φρέσκος (νωπός) αέρας εισάγεται από το περιβάλλον και διέρχεται μέσω φίλτρου για καθαρισμό. Στη συνέχεια ο αεραγωγός εισέρχεται στο έδαφος και προθερμαίνεται κατά 1 έως 2 °C λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας του εδάφους κατά τον χειμώνα. Έπειτα ο νωπός αέρας εισέρχεται στο κτίριο και θερμαίνεται με θερμαντήρα αέρα, ο οποίος είναι συνήθως εναλλακτής αέρα νερού [5].



Εικόνα 1: Παθητικό κτίριο κατοικίας

Ο καλύτερος τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων εξασφαλίζεται με τη συλλογή και αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας από τα ίδια τα κτίρια, δηλαδή επιδιώκεται η άμεση εισχώρηση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στα κτίρια από τα παράθυρα και έμμεσα από τους τοίχους και την οροφή. Πιο αναλυτικά πρέπει [10]:

- Το κτίριο να ενεργεί σαν ηλιακός συλλέκτης, που θα επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να εισέρχεται μέσα σε αυτό, όταν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση και να την εμποδίζει, όταν δεν υπάρχει η ανάγκη αυτή. Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας τον κατάλληλο προσανατολισμό του κτιρίου, το σχήμα, το χρώμα του, την τοποθέτηση των παραθύρων, των μέσων σκίασης και γενικά με τον βέλτιστο σχεδιασμό του κτιρίου ώστε να μεγιστοποιείται η ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται από αυτό το χειμώνα και να ελαχιστοποιείται το καλοκαίρι.
- Το κτίριο να αποταμιεύει τη θερμότητα που συλλέγει ώστε να τη χρησιμοποιήσει τη νύχτα και κατά τα διαστήματα που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Στην επίτευξη αυτού του στόχου συμβάλλει η κατάλληλη επιλογή υλικών για την κατασκευή του κτιρίου (τούβλο, μπετό, πέτρα).
- Το κτίριο να εκμεταλλεύεται σωστά τη θερμότητα από την ηλιακή ενέργεια. Είναι απαραίτητο η θερμότητα να μη διαφεύγει προς το περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται ενισχύοντας το κτίριο με καλή μόνωση, στεγανά παράθυρα, διπλά τζάμια και κλείνοντας τις χαραμάδες γύρω από τα πλαίσια των κουφωμάτων.

Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια μπορεί να επιτευχθεί με απλές μεθόδους και τεχνικές χρησιμοποιώντας κατάλληλη σχεδίαση (βιοκλιματική αρχιτεκτονική) και «έξυπνα» ενεργειακά συστήματα όπως τα ηλιακά παθητικά συστήματα.

2.2 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Η κατασκευή των σπιτιών επηρεαζόταν ανέκαθεν από τις κλιματολογικές συνθήκες κάθε τόπου και ιδιαίτερα από τον ήλιο. Ήταν δηλαδή μια κατασκευή εναρμονισμένη προς το φυσικό περιβάλλον και προσέφερε στα άτομα μια συνεχή, ανεξάρτητη από το χρόνο, δυναμική ζωτική ενέργεια. Κάθε σπίτι μπορούσε να επωφεληθεί από τον ήλιο και το εξωτερικό περίβλημά του, μπορούσε να απορροφήσει θερμότητα και να τη μεταφέρει στο εσωτερικό του [11, 12]. Αργότερα οι άνθρωποι έμαθαν να εκμεταλλεύονται τον ήλιο για να βελτιώνουν τις εσωτερικές συνθήκες της κατοικίας τους, με την επιλογή των κατάλληλων υλικών κατασκευής και του κατάλληλου προσανατολισμού του σπιτιού τους. Η θέρμανση είναι η πιο καταφανής πλευρά της ηλιακής ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία μέσα από τα παράθυρα, τους τοίχους, τα υαλόφρακτα ανοίγματα και το δώμα δίνει τη

δυνατότητα δραστηκής ελάττωσης της ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων και την κάλυψη όλων σχεδόν των αναγκών τους που απαιτούν ενέργεια.

Όταν σε ένα κτίριο η ροή της θερμότητας γίνεται με φυσικούς τρόπους, όπως δια της αγωγής, της μεταφοράς και της ακτινοβολίας και η ηλιακή ενέργεια συνεισφέρει πάνω από το μισό της ολικής εξωτερικής ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση, το κτίριο θεωρείται σαν ηλιακή παθητική κατασκευή.

Από στατιστικά στοιχεία των τελευταίων χρόνων, αποδεικνύεται ότι η παθητική συλλογή ενέργειας δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, ως αναφορά τη θερμική άνεση και ιδιαίτερα την ελάττωση της δαπάνης καυσίμων. Το σύστημα αυτό είναι το πλέον οικονομικό για τη θέρμανση όπως και το δροσισμό των κτιρίων, γιατί δεν απαιτεί μηχανικά μέσα, όπως συλλέκτες, αντλίες, ανεμιστήρες κτλ [13]

Με τη χρήση κατάλληλων υλικών και της σχετικής τεχνολογίας αφήνεται στη φύση να εκτελέσει τα υπόλοιπα. Πράγματι, το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα κτίριο μέσα από τα μεσημβρινά παράθυρα μετατρέπεται σε θερμότητα, απορροφάται και αποταμιεύεται στα βαριά υλικά της κατασκευής, το μπετόν, την πέτρα και τα τούβλα για να χρησιμοποιηθεί αργότερα [12].

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες:

- Παθητικά συστήματα ηλιακής θέρμανσης
- Παθητικά συστήματα ψύξης και τεχνικές
- Συστήματα και τεχνικές για το φυσικό φωτισμό

2.2.1 Παθητική θέρμανση.

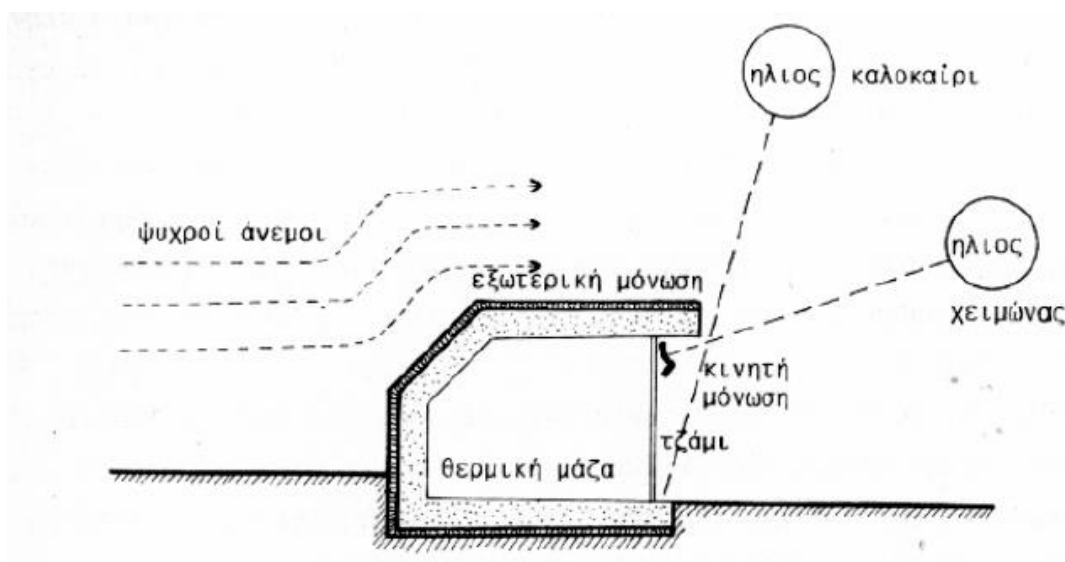
Η παθητική συλλογή ηλιακής ενέργειας γίνεται με τα εξής συστήματα:

2.2.1.1 Σύστημα «άμεσου ηλιακού κέρδους»

Το σύστημα αυτό είναι το απλούστερο, γιατί απαιτεί μόνο μία μεγάλη υαλόφρακτη επιφάνεια (παράθυρα με διπλά τζάμια), νότια προσανατολισμένη και μονωμένη εξωτερικά κατασκευή με σημαντική θερμική μάζα από το μπετόν, τα τούβλα ή τη πέτρα με τα οποία θα είναι κατασκευασμένα κυρίως το δάπεδο και οι τοίχοι (**Εικόνα 2**).

Τα νότια ανοίγματα συμμετέχουν στο θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου σχεδόν πάντα θετικά, ανεξάρτητα από το αν ο σχεδιασμός τους είναι συμβατικός ή βιοκλιματικός. Τα κτίρια της κατηγορίας αυτής συνεπώς θα πρέπει να είναι καλά μονωμένα με μια σχετικά μεγάλη νότια προσανατολισμένη επιφάνεια με τζάμι που θα δέχεται τις ακτίνες του χειμερινού ήλιου υπό μικρή γωνία πρόσπτωσης [14].

Τα συστήματα άμεσου κέρδους χρησιμοποιούν τους χώρους που καταλαμβάνει το κτίριο για τη συλλογή, την αποθήκευση και τη μεταφορά της ηλιακής θερμότητας και υπό τη προϋπόθεση ότι είναι σωστά σχεδιασμένα, μπορούν να αποτελέσουν μια πολύ αποτελεσματική και πρακτική λύση εξοικονόμησης ενέργειας. Το καλοκαίρι, το μεγάλο ύψος του ήλιου περιορίζει την ακτινοβολία που μεταδίδεται από τα τζάμια και ένα σκίαστρο μπορεί να αποκλείσει τελείως τον ήλιο [12].



Εικόνα 2: Σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους

Οι παράγοντες που καθορίζουν την λειτουργία του συστήματος με άμεσο ηλιακό κέρδος είναι τα εξής :

- Οι μεγάλες γυάλινες επιφάνειες στη νότια πρόσοψη
- Η λειτουργική διάρθρωση των εσωτερικών χώρων του κτιρίου, με κύρια οργάνωση προς το νότο
- Η μεγάλη θερμική μάζα στο εσωτερικό του κτιρίου ώστε να απορροφάται οποιαδήποτε απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας
- Η θερμική προστασία στην εξωτερική πλευρά του κελύφους

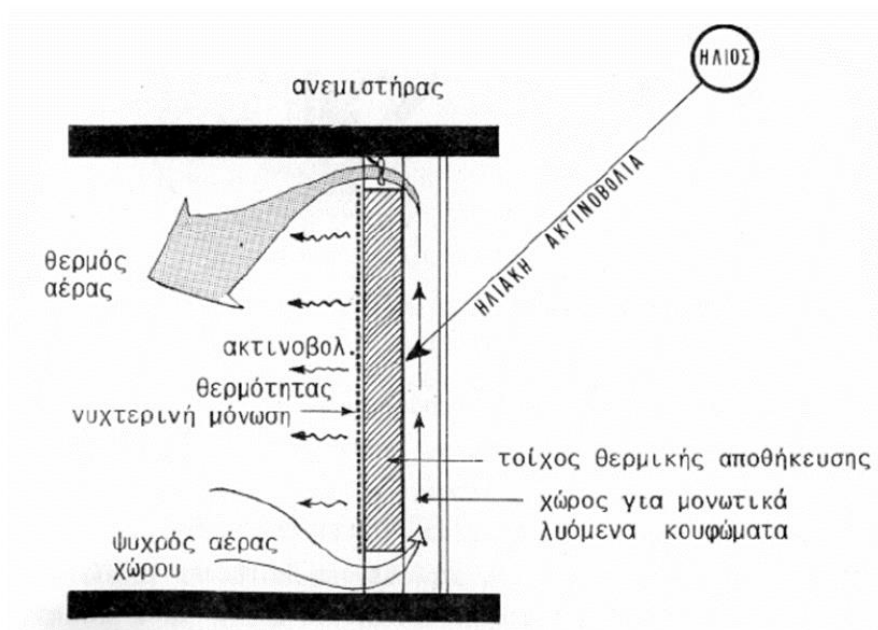
Το κτίριο χρειάζεται τη θερμική μάζα για να αποθηκεύσει θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και να την εκπέμψει τη νύχτα. Η τοποθέτηση θερμικής μάζας έχει δυο σκοπούς. Ο πρώτος είναι η εξομάλυνση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της κατοικίας, ακόμα και όταν οι εξωτερικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας είναι έντονες, και ο δεύτερος είναι να δημιουργήσει την απαραίτητη χρονική καθυστέρηση στην απόδοση της θερμότητας μέσα στην κατοικία, ώστε να επιτρέπεται η θέρμανση και μετά τη δύση του ηλίου.

Η θερμική μάζα είναι συνήθως υπό τη μορφή εξωτερικά μονωμένων χτισμένων τοίχων. Ο ήλιος ακτινοβολεί κατευθείαν στη θερμική μάζα και η ενέργεια αποθηκεύεται. Τα στοιχεία της θερμικής μάζας είναι κατασκευασμένα συνήθως από βαριά υλικά, δηλαδή υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, τα οποία έχουν την ικανότητα να απελευθερώνουν την αποθηκευμένη σε αυτά θερμότητα μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα το οποίο εξαρτάται από το είδος του υλικού [15].

Στην Ελλάδα τα κύρια δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται για τις θερμικές μάζες είναι το μπετόν, το τούβλο και η πέτρα. Με αυτόν τον τρόπο το σπίτι μπορεί να θερμαίνεται και όταν δεν υπάρχει ακτινοβολία από τον ήλιο, δηλαδή κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε περιόδους συννεφιάς. Η φυσική κίνηση του θερμού αέρα ζεσταίνει και τα άλλα δωμάτια της κατοικίας [12]. Το καλοκαίρι που ο ήλιος έχει μεγάλο ύψος, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι ελαττωμένη και ένα σκίαστρο μπορεί να την αποκλείσει τελείως. Εκτός από τη θερμική μάζα ουσιαστικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος έχει η κλίση και το είδος των υαλοπινάκων που θα χρησιμοποιηθούν για τα ανοίγματα. Το κατακόρυφο υαλοστάσιο είναι προτιμότερο γιατί δέχεται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα ενώ κατά το θέρος τα κέρδη από ένα κατακόρυφο υαλοστάσιο είναι μικρότερα από αυτά που εξασφαλίζονται αν το υαλοστάσιο ήταν υπό άλλες γωνίες, επειδή ο ήλιος είναι ψηλά στον ουρανό και η ηλιακή δέσμη έχει κατά συνέπεια υψηλή γωνία πρόσπτωσης. Κεκλιμένο υαλοστάσιο με μικρή γωνία ως προς τον ορίζοντα (π.χ. 30°) μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση το θέρος ενώ τα κέρδη είναι χαμηλά το χειμώνα. Ο μελετητής πρέπει να επιλέξει ποιο τύπο υαλοστασίου θα χρησιμοποιήσει, απλό τζάμι (μονό ή διπλό) ή τους καινούριους τύπους υαλοστασίων, οι οποίοι έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά. Ο δεύτερος υαλοπίνακας περιορίζει σε κάποιο μικρό βαθμό την εισρέουσα ακτινοβολία, το αποτέλεσμα του όμως, ως προς τη μόνωση, είναι σημαντικό. Τα παράθυρα πρέπει να διαθέτουν σταθερά ή κινητά σκέπαστρα, ώστε να εξασφαλίζεται αποτελεσματική σκίαση τους ζεστούς μήνες του καλοκαιριού, χωρίς να εμποδίζεται το χειμώνα η ηλιακή ακτινοβολία. Ολόκληρη η κατασκευή γίνεται ένας συλλέκτης ηλιακής ενέργειας μέσα στον οποίο κατοικούν οι άνθρωποι. Η μεσημβρινή υαλόφρακτη επιφάνεια δέχεται τη μέγιστη ποσότητα ηλιακής ενέργειας τους ψυχρούς χειμερινούς μήνες, κατά τη διάρκεια των οποίων ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά στον ουρανό, και την ελάχιστη ποσότητα το καλοκαίρι, όταν ο ήλιος βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος. Έτσι υπάρχει από τη φύση ο βασικός εποχικός έλεγχος του συστήματος [12, 15, 16].

2.2.1.2 Σύστημα «έμμεσου ηλιακού κέρδους»

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι τοίχοι-συλλέκτες θερμικής αποθήκευσης (τοίχος Trombe). Ένας τέτοιος τοίχος δεσμεύει την ηλιακή ενέργεια που διαπερνά το τζάμι και την αποταμιεύει. Η ενέργεια αυτή, ύστερα από ένα χρονικό διάστημα που εξαρτάται από το υλικό και το πάχος του τοίχου, εμφανίζεται στην εσωτερική του επιφάνεια και προκαλεί ανύψωση της θερμοκρασίας αέρα του εσωτερικού χώρου [17]. Ο τοίχος θερμικής αποταμιεύσεως κατασκευάζεται από μπετόν ή ενισχυμένα τούβλα ή ακόμη από δοχεία με νερό. Είναι βαμμένος σε μαύρο ή σκούρο χρώμα και τοποθετείται μερικά εκατοστά (10-15cm) πίσω από ένα διπλό τζάμι (**Εικόνα 3**). Όλες οι λειτουργίες του συστήματος αυτού, όπως: συλλογή, αποταμίευση, διανομή, έλεγχος και ρύθμιση, είναι τοποθετημένες στον τοίχο αποταμιεύσεως, μεσημβρινού προσανατολισμού και πρακτικά δε διαχωρίζονται. Μόνο η ενέργεια που μεταβιβάζεται στο χώρο με φυσική κυκλοφορία του αέρα μπορεί να διαχωριστεί από αυτή που μεταβιβάζεται με αγωγή μέσα από τον τοίχο.



Εικόνα 3: Τοίχος θερμικής αποθήκευσης

Ο κύριος μηχανισμός θέρμανσης του σπιτιού ενεργοποιείται με ακτινοβολία και συναγωγή από τη θερμική ενέργεια που μεταφέρεται με αργό ρυθμό μέσα από τον παχύ τοίχο προς την εσωτερική του επιφάνεια η οποία στη συνέχεια διαχέεται προς το εσωτερικό του σπιτιού. Ο χρόνος μεταβίβασης της θερμότητας από την εξωτερική στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου είναι 9-10 ώρες, για πάχος τοίχου 40cm περίπου και υλικό μπετόν.

Κατά τον σχεδιασμό τέτοιου είδους συστημάτων μια χρονική υστέρηση της τάξεως των 6-8 ωρών είναι αρκετή ώστε το κτίριο να επωφελείται από τη μέγιστη θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου στην αρχή της νύχτας.

Ο τοίχος ως συλλέκτης θερμικής αποθήκευσης, συμπεριφέρεται σαν μηχανισμός χρονικής μετάθεσης και αδρανοποίησης των κυμάτων της εξωτερικής θερμοκρασίας με αποτέλεσμα το εσωτερικό περιβάλλον να επωφελείται του θερμικού κέρδους όταν δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, παρατείνοντας αποτελεσματικά την ηλιοφάνεια για τη θέρμανση του χώρου χωρίς την χρήση συμπληρωματικών πηγών ενέργειας.

Η ταχύτητα διάδοσης της θερμότητας με αγωγή μέσα από τα συνήθη βαριά υλικά (μπετόν, τούβλα, πέτρα) είναι 3.7 ως $4 \frac{cm}{hr}$ και εξαρτάται, εκτός από την αγωγιμότητα του υλικού, και από το περιεχόμενό του σε υγρασία. Ως αναφορά το μπετόν, το τελικό του περιεχόμενο σε υγρασία επιτυγχάνεται ύστερα από μερικά χρόνια και κατά το χρόνο αυτό το μπετόν, όπως και τα άλλα υλικά δεν έχουν τα οριστικά τους θερμικά χαρακτηριστικά. Μέρος της ενέργειας που μεταβιβάζεται με αγωγή χρησιμοποιείται στην πραγματικότητα για να κινεί ελεύθερα τα μόρια του νερού μέσα από τους πόρους του υλικού. Το μειονέκτημα αυτό μετριάζεται με τη χρήση υλικών που δεν παρουσιάζουν το πρόβλημα της υγρασίας όπως βαριά τούβλα, πέτρες ή προκατασκευασμένα μπλοκ μπετόν στεγνωμένα σε φούρνο.

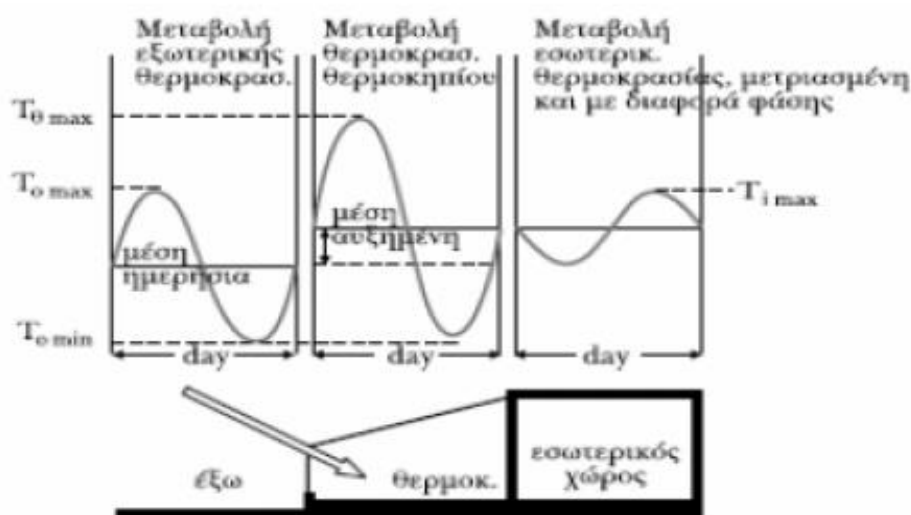
Το 30% περίπου της ενέργειας που αποταμιεύεται, μεταβιβάζεται με συναγωγή (φυσική κυκλοφορία) από ανοίγματα εφοδιασμένα με ντάμπερ. Τα ανοίγματα κατασκευάζονται στο επάνω και κάτω μέρος του τοίχου και μπορεί ακόμη να προστεθεί σε αυτά ένας μικρός ανεμιστήρας (εξαναγκασμένη συναγωγή). Η κυκλοφορία του αέρα μέσα από τα ανοίγματα μπορεί να προσθέσει ή να αφαιρέσει θερμότητα από το χώρο και ο ανεμιστήρας να ρυθμίσει τη θερμοκρασία. Η φυσική κυκλοφορία ξεκινάει μόλις η ηλιακή ενέργεια αρχίσει να θερμαίνει τον τοίχο και συνεχίζεται με απόδοση 2-3 ώρες μετά την απομάκρυνση του ήλιου, ανάλογα με την ποσότητα ενέργειας που αποταμιεύτηκε και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Ο ρυθμός κυκλοφορίας του αέρα αυξάνει και παίρνει μια μέγιστη τιμή, η οποία παραμένει περίπου σταθερή παρά τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της θερμοκρασίας της επιφάνειας απορρόφησης και της μέσης θερμοκρασίας του αέρα του χώρου. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας μπορεί να φθάσει, στο μέσο του ύψους του τοίχου, τους 30 - 35 °C. Η τοποθέτηση του τοίχου θερμικής αποταμιεύσης σε μεγάλη απόσταση από το τζάμι, για να είναι δυνατή η προσπέλαση στο χώρο μεταξύ του παραθύρου και του

τοίχου δε συνίσταται γιατί καταργείται το ρεύμα του αέρα μεταφοράς, καθώς ο αέρας δεν είναι αρκετά θερμός.

Σήμερα βρίσκεται υπό μελέτη τοίχος θερμικής αποταμίευσης, γυάλινος ημιδιαφανής, ο οποίος αποτελείται από δύο γυάλινες εξωτερικές επιφάνειες και φέρει στο εσωτερικό του ημιδιαφανές κρύσταλλο που τον χωρίζει σε δύο διαμερίσματα. Ο τοίχος είναι γεμάτος νερό και λεπτές διακινείς επιφάνειες εμποδίζουν τη δημιουργία ρευμάτων μεταφοράς. Η θερμότητα αποταμιεύεται κατευθείαν στη μάζα του τοίχου και ο χρόνος μεταβίβασής της στην εσωτερική του επιφάνεια είναι σχετικά μικρός. Με το σύστημα αυτό ο χώρος θερμαίνεται, αλλά και φωτίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία που διαχέεται [12, 16].

2.2.1.3 Θερμική συμπεριφορά θερμοκηπίου

Τρίτος τρόπος εφαρμογής των παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι η κατασκευή ενός θερμοκηπίου μπροστά από ένα νότιο εξωτερικό τοίχο του κτιρίου (τοίχος θερμικής αποταμίευσης). Το θερμοκήπιο την ημέρα, όταν υπάρχει ηλιοφάνεια, λειτουργεί ως διαφανής επιλεκτική επιφάνεια, επιτρέποντας να διέρχεται συνολικά η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από τις επιφάνειες και τη θερμική μάζα του θερμοκηπίου μειώνοντας τις απώλειες θερμότητας. Για το λόγο αυτό, κατά την ημέρα, το θερμικό ισοζύγιο του θερμοκηπίου είναι θετικό.



Εικόνα 4: Διακύμανση της ημερήσιας θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο και τον εσωτερικό χώρο

Με το σύστημα αυτό η ηλιακή ενέργεια παρέχει όλη τη θερμότητα που χρειάζεται το θερμοκήπιο και την ουσιαστική ενέργεια για τη θέρμανση του σπιτιού. Το θερμοκήπιο δρα ως κατευναστής, μειώνοντας τις απώλειες θερμότητας της κατοικίας το χειμώνα και την ηλιακή ενέργεια το καλοκαίρι και μετριάζοντας επιπρόσθετα τις διακυμάνσεις της

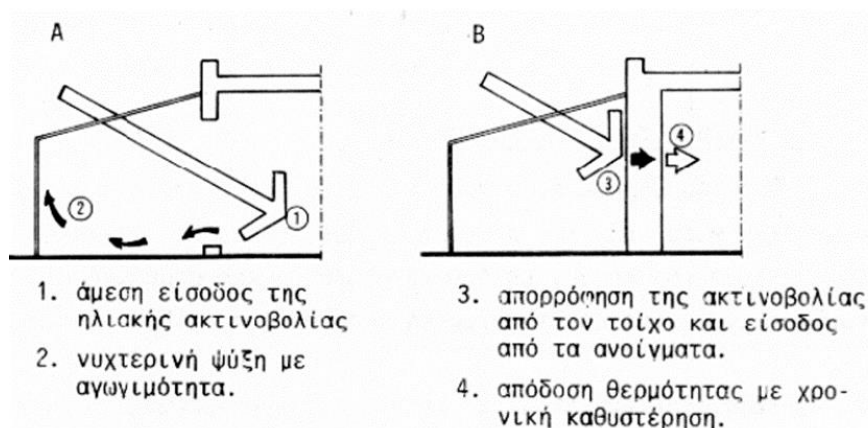
θερμοκρασίας μέσα στο σπίτι. Η θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο δε χρειάζεται ακριβή έλεγχο, αλλά πρέπει να είναι αρκετά υψηλή, ώστε να μην παγώνουν τα φυτά [12].

Ο θερμός αέρας του θερμοκηπίου μπορεί να διοχετευθεί μέσα στο σπίτι, ενώ θερμότητα αποταμιεύεται στον ενδιάμεσο τοίχο. Αν το ηλιακό θερμοκήπιο γίνει ένα είδος κλειστής βεράντας, τότε παρέχει το χειμώνα ευχάριστη διαμονή και αρκετή θερμότητα στο σπίτι. Τα προσαρτημένα θερμοκήπια στα κτίρια, αποτελούν συνήθως κλειστούς χώρους με μεγάλο ποσοστό γυάλινης επικάλυψης στη νότια πλευρά και τοίχο θερμικής αποθήκευσης ή άλλο μέσο αποθήκευσης θερμότητας για τη θέρμανση των χώρων του κυρίως κτιρίου από την ηλιακή ενέργεια [16].

Τη νύχτα το θερμοκήπιο αποβάλλει με ακτινοβολία προς την ατμόσφαιρα, όση θερμότητα συγκέντρωσε την ημέρα λόγω της μεγάλης γυάλινης επιφάνειας. Το θερμικό κέρδος χάνεται υπό τη μορφή θερμικών απωλειών και το θερμικό ισοζύγιο μετατρέπεται σε αρνητικό. Ακόμη ο αέρας που βρίσκεται μέσα στο θερμοκήπιο παρέχει μεγάλη ποσότητα υδρατμών λόγω της βλάστησης. Στη διάρκεια της νύχτας η εσωτερική επιφάνεια του τζαμιού ψύχεται και η θερμοκρασία του αέρα πέφτει προσεγγίζοντας το σημείο κορεσμού, οπότε οι υδρατμοί υγροποιούνται. Έτσι αποβάλλεται και η λανθάνουσα θερμότητα των υδρατμών που χάνεται με αγωγή και ακτινοβολία προς τα έξω [18].

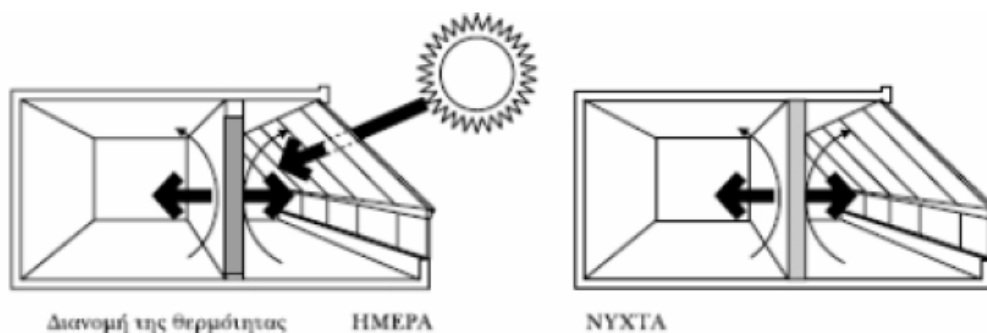
Το καλοκαίρι η θερμική συμπεριφορά του θερμοκηπίου αντιστρέφεται. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας την ημέρα είναι αυξημένη και το εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου περνά από συνθήκες υπερθέρμανσης σε μία νυχτερινή ανεπαρκή ψύξη. Η εφαρμογή του συστήματος θερμοκηπίου χωρίς καμιά άλλη ρύθμιση και προστασία δεν είναι συμφέρουσα. Ωστόσο με τις κατάλληλες ρυθμίσεις, τη θερμική προστασία το χειμώνα και την ηλιοπροστασία το καλοκαίρι τα μειονεκτήματα ελαχιστοποιούνται και διατηρούνται τα πλεονεκτήματα του θερμοκηπίου.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του προσαρτημένου στο κτίριο θερμοκηπίου είναι ο προσανατολισμός του, το μέγεθός του, η κλίση του υαλοστασίου, τα υλικά κατασκευής και η σύνδεσή του με στοιχεία θερμικής αποθήκευσης του κτιρίου. Το θερμοκήπιο που βρίσκεται στη νότια πλευρά του κτιρίου σε σχήμα επίμηκες κατά τον άξονα ανατολής - δύσης, αποτελεί την καλύτερη και πιο αποδοτική μορφή για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας το χειμώνα. Το μέγεθος του θερμοκηπίου προσδιορίζεται συναρτήσει του μεγέθους του εσωτερικού χώρου και των αναγκών σε θέρμανση.



Εικόνα 5: Θερμική λειτουργία θερμοκηπίου, που συνδέεται με γυάλινη επιφάνεια (A) ή τοίχο θερμικής αποθήκευσης (B)

Η κλίση του υαλοστασίου επηρεάζει την αποτελεσματικότητα του θερμοκηπίου, γιατί προσδιορίζει την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτει και δεσμεύεται. Η βέλτιστη κλίση του υαλοστασίου σχετίζεται με το γεωγραφικό πλάτος και με μικρή απόκλιση για εύκρατα κλίματα κυμαίνεται μεταξύ 30° και 65° σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Για βορειότερες περιοχές η κλίση μειώνεται στις 30°-40° ώστε να συλλέγεται μεγαλύτερο μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας [12, 19]. Τα υλικά κατασκευής του θερμοκηπίου πρέπει να είναι διαφανή, από γυαλί ή πλαστικό προκειμένου να δεσμεύεται το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα στοιχεία στήριξης κατασκευάζονται από ξύλο ή μέταλλο.

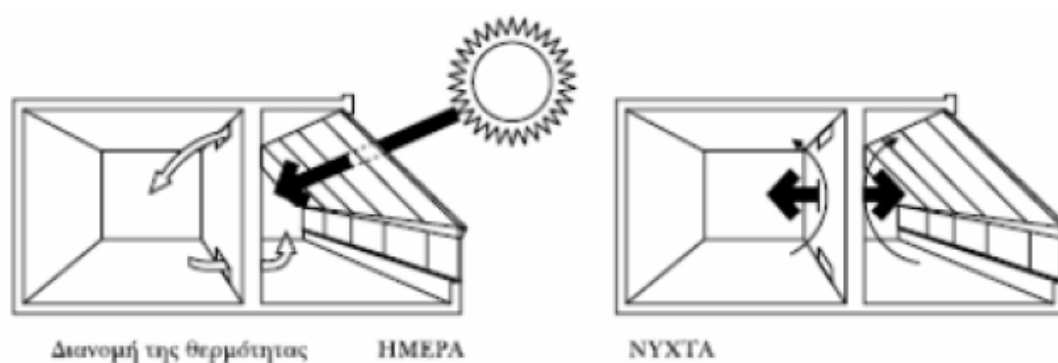


Εικόνα 6: Θερμοκήπιο προσαρτημένο σε νότιο τοίχου

Το προσαρτημένο στο κτίριο θερμοκήπιο λειτουργεί αποδοτικότερα όταν συνδεθεί με ένα σύστημα θερμικής αποθήκευσης όπου η καλύτερη λύση είναι ο διαχωρισμός του θερμοκηπίου από την κατοικία με τοίχο κατασκευασμένο με υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας. Αν είναι δυνατό, θα πρέπει το θερμοκήπιο να ενσωματώνεται στο κτίριο, έτσι ώστε

να περικλείεται ανατολικά και δυτικά από τοίχους και να αυξάνεται η αποτελεσματικότητά του, λόγω της μείωσης των θερμικών απωλειών και της αύξησης της θερμικής μάζας.

Η λειτουργία του συστήματος θερμοκηπίου-σπιτιού είναι παρόμοια με αυτή των τοίχων συλλεκτών θερμικής αποθήκευσης που προαναφέρθηκαν, με τη διαφορά ότι η γυάλινη επιφάνεια δεν βρίσκεται σε απόσταση 4cm από τον τοίχο, αλλά δημιουργείται ένας μεγάλος χώρος που μπορεί και να κατοικηθεί [16]. Εάν για μεγαλύτερη και πιο γρήγορη θερμική απόδοση, ο συνδετικός τοίχος συνδυαστεί με την κίνηση του θερμού αέρα, προβλέποντας θυρίδες στο πάνω και κάτω τμήμα του, τότε έχουμε τον τοίχο Trombe (**Εικόνα 7**).



Εικόνα 7: Διαχωριστικός τοίχος θερμικής αποθήκευσης, ανάμεσα στο θερμοκήπιο και στο κτίριο (Trombe)

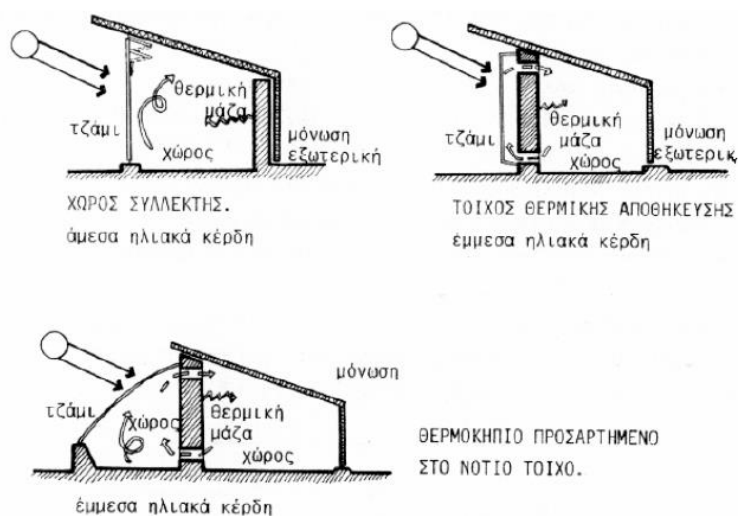
Η αποτελεσματικότητα του συστήματος μπορεί να αυξηθεί, αυξάνοντας τη μάζα θερμικής αποθήκευσης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση βαρέων υλικών στην κατασκευή του δαπέδου του θερμοκηπίου ή τοποθετώντας δοχεία νερού μπροστά στον τοίχο.

2.2.1.4 Ηλιακή λίμνη

Στο σύστημα αυτό η θερμική αποταμίευση γίνεται στο δώμα του κτιρίου και επειδή πρόκειται για οριζόντιο σύστημα η επιφάνεια της λίμνης δέχεται τη μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας το καλοκαίρι και τη μικρότερη το χειμώνα. Το σύστημα αυτό απαιτεί τη χρήση κινητού μονωτικού καλύμματος το οποίο κατά το χειμώνα χρησιμοποιείται τη νύχτα, για να διατηρήσει τη θερμότητα που αποταμιεύθηκε, ενώ το καλοκαίρι την ημέρα, για να αποτρέψει την ηλιακή ακτινοβολία. Το σύστημα προσφέρεται πολύ περισσότερο για ψύξη το καλοκαίρι και εργάζεται πολύ ικανοποιητικά σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη και σε μικρά σπίτια [16]. Η λίμνη έχει μικρό βάθος, περίπου 5cm, και το νερό βρίσκεται μέσα σε πλαστικούς σάκους. Το δώμα πάνω στο οποίο κατασκευάζεται η λίμνη πρέπει να είναι πολύ αγωγίμο.

Η θερμότητα που αποταμιεύεται το χειμώνα ακτινοβολείται κατευθείαν στους κάτω από τη λίμνη χώρους, ενώ το καλοκαίρι το νερό της λίμνης απορροφά τη νύχτα τη θερμότητα από τους χώρους και την ακτινοβολεί στο περιβάλλον, όταν αφαιρεθεί το κάλυμμα. Η διαστρωμάτωση του νερού μέσα στη λίμνη είναι μειονεκτική το χειμώνα, γιατί το ζεστό νερό βρίσκεται στην επιφάνεια της λίμνης και οι απώλειες θερμότητας είναι αυξημένες, αλλά το καλοκαίρι βοηθάει την ψύξη, επειδή το ψυχρό νερό βρίσκεται προς την οροφή του σπιτιού [12, 20].

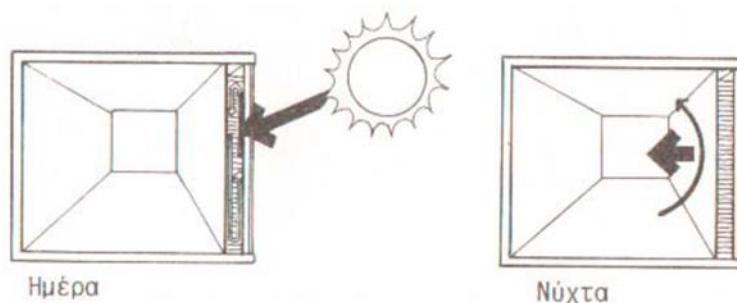
Στην **Εικόνα 8** παρουσιάζεται σχηματική απεικόνιση των συστημάτων που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.



Εικόνα 8: Σχηματική παράσταση των τριών βασικών συστημάτων

2.2.2 Εφαρμογές παθητικών ηλιακών συστημάτων

2.2.2.1 Τοίχος νερού

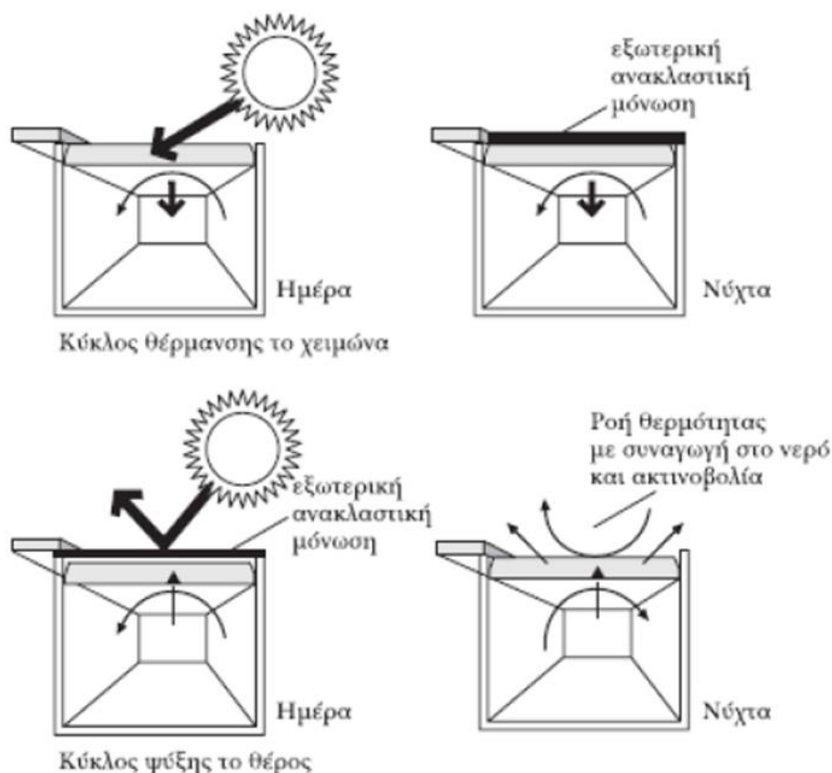


Εικόνα 9: Θερμική αποθήκευση σε τοίχο νερού

Προωθώντας την έρευνα του τοίχου θερμικής αποθήκευσης, κυρίως Αμερικάνοι ερευνητές, μελέτησαν μια άλλη μορφή τοίχου, τον τοίχο νερού, πίσω από μία γυάλινη επιφάνεια, με νότιο προσανατολισμό. Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στη μεγάλη θερμοχωρητική ικανότητα του νερού, που αποθηκεύει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας σε σχέση

με οποιοδήποτε άλλο υλικό και έχει σημαντική θερμική απόδοση. Ο τοίχος αυτός συνήθως είναι βαμμένος σε σκούρο χρώμα ώστε να αυξηθεί η ηλιακή απορρόφηση από τον τοίχο, όταν αυτός εκτίθεται άμεσα στην ακτινοβολία του ηλίου [16].

Το πλεονέκτημα που παρουσιάζουν οι τοίχοι αυτού του είδους είναι ότι απαιτούνται μικρότερες επιφάνειες τοίχου, σε σχέση με τους άλλους τοίχους θερμικής αποθήκευσης, από μπετόν, πέτρα, τούβλο κτλ. Ως μειονέκτημα μπορεί να θεωρηθεί το γεγονός ότι όπως θερμαίνεται ομοιόμορφα παρουσιάζει την ίδια θερμοκρασία τόσο στην εξωτερική, όσο και στην εσωτερική του επιφάνεια, και κατά συνέπεια η ακτινοβολία θερμότητας το βράδυ, συμβαίνει και προς τις δυο κατευθύνσεις, μέσα και έξω. Αυτή η αδυναμία μπορεί να αντιμετωπιστεί με νυχτερινή θερμική μόνωση στην εξωτερική πλευρά. Παραλλαγή του συστήματος θερμικής αποθήκευσης στη μάζα του νερού, αποτελεί η οροφή νερού, όπου πλαστικοί σάκοι, γεμάτοι νερό, τοποθετούνται πάνω από την πλάκα του κτιρίου.



Εικόνα 10: Θερμική αποθήκευση σε σύστημα οροφής νερού

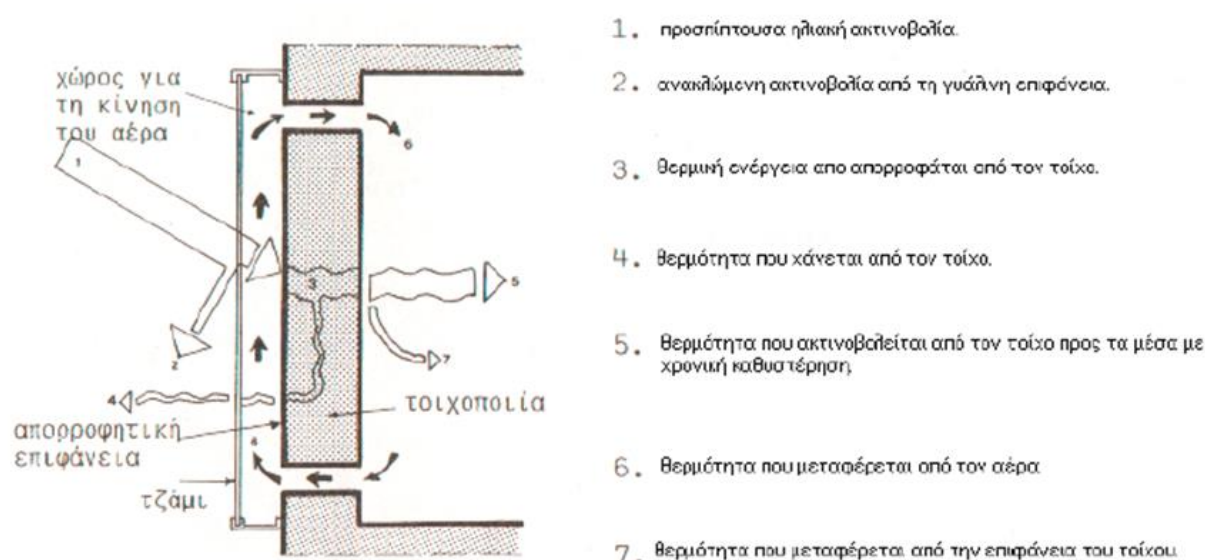
Η ηλιακή θερμότητα συσσωρεύεται μέσα στη μάζα του νερού στη διάρκεια της ημέρας και αποδίδεται σταδιακά στον εσωτερικό χώρο τη νύχτα. Προϋπόθεση για να λειτουργήσει το σύστημα αποτελεσματικά είναι η νυχτερινή προστασία με εξωτερική μόνωση. Το σύστημα θερμικής αποθήκευσης στην οροφή νερού προσαρμόζεται τόσο το χειμώνα για

τη θέρμανση, όσο και το καλοκαίρι για τη φυσική ψύξη του κτιρίου. Το μεγάλο μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι το αυξημένο κόστος της κατασκευής και οι πρόσθετες στατικές επιβαρύνσεις του κτιρίου [12].

2.2.2.2 Τοίχος Trombe

Ο τοίχος Trombe (**Εικόνα 11**) ή αλλιώς Trombe –Michel αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα τοίχου θερμικής αποθήκευσης. Ο αρχικός μελετητής και εφευρέτης αυτού του νέου είδους τοίχου ήταν ο αμερικανός μηχανικός Edward Morse, ο οποίος σχεδίασε και «πατεντάρισε» το σχέδιο του το 1881 [21]. Μελετήθηκε έπειτα στην Γαλλία από τον καθηγητή F.Trombe και τον αρχιτέκτονα J. Michel του ερευνητικού κέντρου Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S) και εφαρμόστηκε στα πρώτα ηλιακά σπίτια στην Γαλλία το 1967 [22].

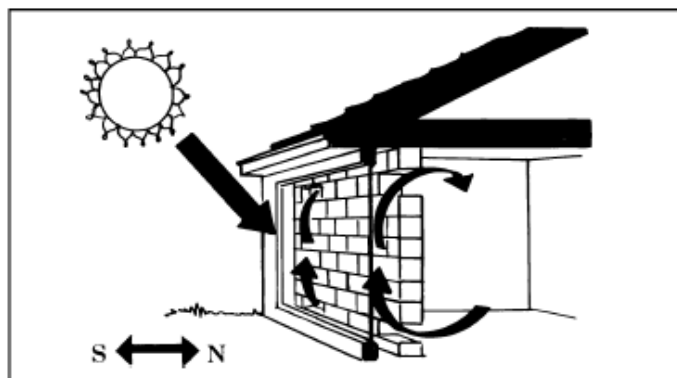
Το σύστημα του τοίχου Trombe αποτελεί έναν τοίχο θερμικής αποθήκευσης ο οποίος τοποθετείται συνήθως στη νότια πλευρά του κτιρίου. Αποτελείται από συμπαγή τοίχο μεγάλης θερμοχωρητικότητας από σκυρόδεμα, πάχους 30 - 40cm, βαμμένο σε σκούρο χρώμα, συνήθως μαύρο, στην εξωτερική του πλευρά. Σε απόσταση 3 cm υπάρχει γυάλινη επιφάνεια. Με το τρόπο αυτό αποφεύγονται οι μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μέσα στο χώρο. Στο πάνω και κάτω μέρος του τοίχου υπάρχουν θυρίδες που διευκολύνουν την κίνηση του αέρα, ενώ θυρίδα υπάρχει και στο πάνω μέρος του υαλοστασίου.



Εικόνα 11: Λειτουργία τοίχου Trombe

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοσιφονισμού και πραγματοποιείται με την κυκλοφορία του αέρα στο χώρο ανάμεσα στη γυάλινη επιφάνεια και

τον τοίχο και μέσα από τις θυρίδες λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, όταν ο ήλιος προσπίπτει στο γυαλί, ο αέρας που εισάγεται στο χώρο μεταξύ του τοίχου και της γυάλινης επιφάνειας θερμαίνεται και επιστρέφει μέσα στο χώρο από ανοίγματα που υπάρχουν πάνω στον τοίχο μάζας όπως φαίνεται στην **Εικόνα 12**.



Εικόνα 12: Ανακυκλοφορία αέρα στον τοίχο Trombe

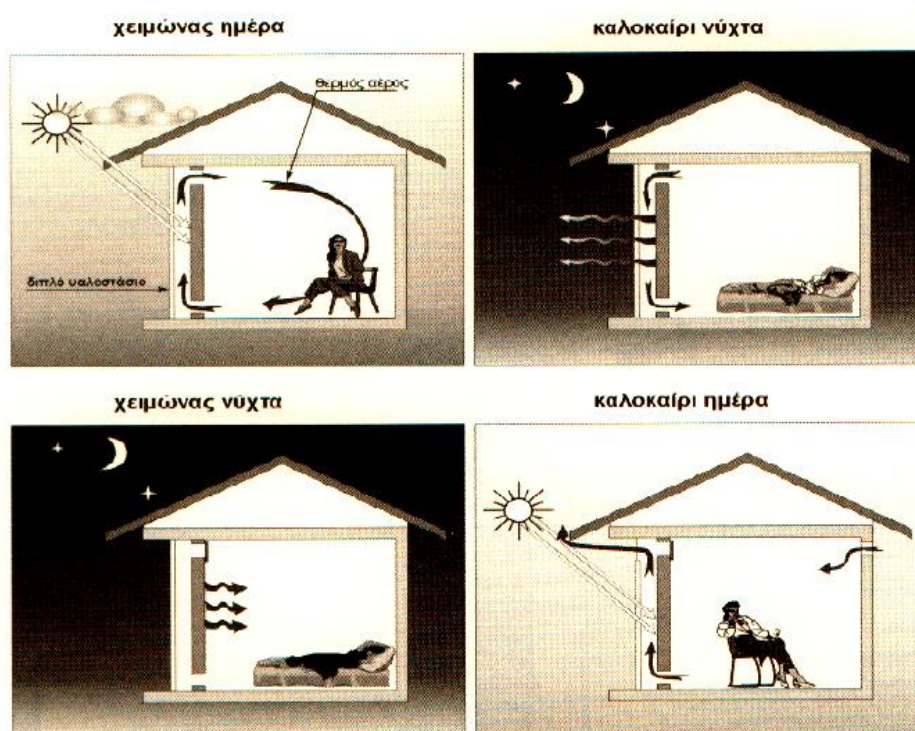
Ο θερμός αέρας κινείται προς τα πάνω και μέσα από τη θυρίδα εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο. Ταυτόχρονα ο ψυχρότερος αέρας από τον εσωτερικό χώρο, εξέρχεται από την κάτω θυρίδα και αντικαθιστά το κενό που δημιουργήθηκε. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η λειτουργία προφανώς αντιστρέφεται. Οι δύο θυρίδες, πάνω και κάτω, κλείνουν και η θέρμανση του χώρου επιτυγχάνεται με την ακτινοβολία της αποθηκευμένης θερμότητας στον τοίχο [23].

Το καλοκαίρι η λειτουργία του τοίχου Trombe αντιστρέφεται. Η επάνω θυρίδα κλείνει ενώ ταυτόχρονα ανοίγει ένα τμήμα του υαλοστασίου στο επάνω μέρος (φεγγίτης) έτσι ώστε να απομακρύνεται ο ζεστός αέρας προς τα έξω. Επίσης με συστήματα ηλιοπροστασίας, μιας και πρόκειται για τοίχο με νότιο προσανατολισμό, μπορεί να αποκλειστεί εντελώς η άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η σημασία και η αναγκαιότητα της ύπαρξης των θυρίδων φαίνεται από το γεγονός ότι ένας εσωτερικός χώρος μετρίων διαστάσεων, χωρίς θυρίδες, θα ικανοποιούσε το 70% των θερμικών του αναγκών, ενώ με την εφαρμογή του τοίχου Trombe το ποσοστό αυξάνεται κατά 10%.

Το σύστημα του τοίχου θερμικής αποθήκευσης παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα λόγω του απλού τρόπου κατασκευής, του χαμηλού κόστους και της σημαντικής ενεργειακής του απόδοσης. Το γεγονός ότι αποδίδει άμεσο ηλιακό θερμικό κέρδος στον εσωτερικό χώρο, ιδιαίτερα κατά τις πρωινές ώρες, κατά τις οποίες παρατηρούνται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες, τον καθιστά πολύ αποτελεσματικό. Το μειονέκτημα του είναι ότι μπορεί

να δημιουργηθούν συνθήκες υπερθέρμανσης στον εσωτερικό χώρο, κυρίως όταν η επιφάνεια του είναι πολύ μεγάλη. Ακόμα, σε περίπτωση που η ηλιακή ενέργεια, η οποία προσπίπτει στον τοίχο, μειωθεί, είτε κατά τη διάρκεια της νύχτας είτε σε περιόδους ελάχιστης ηλιοφάνειας, ένα μέρος της ροής θερμότητας μεταφέρεται από το εσωτερικό του χώρου στο εξωτερικό του κτιρίου προκαλώντας σημαντικές απώλειες θερμότητας. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται κυρίως σε περιοχές με ψυχρό κλίμα ή μεγάλο υψόμετρο [24].



Εικόνα 13: Λειτουργία τοίχου Trombe για χειμώνα-καλοκαίρι, ημέρα και νύχτα

Η υψηλή θερμοκρασία μέσα στο χώρο μπορεί να μειωθεί ελέγχοντας την παροχή του αέρα με τη χρήση των θυρίδων που κλείνουν περισσότερο ή λιγότερο. Η γυάλινη επιφάνεια πάνω στο τοίχο καλύπτεται συνήθως από μόνωση τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια και τα ανοίγματα στον τοίχο κλείνουν για να μειώσουν την απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον. Η θερμότητα που μεταφέρεται λόγω αγωγής μέσω του τοίχου μεταφέρεται στον χώρο με ακτινοβολία και συναγωγή συνεχώς.

Συνήθως τέτοιου είδους τοίχοι χρειάζονται ορισμένο χρόνο για να είναι λειτουργικοί, να απορροφήσουν δηλαδή θερμότητα η οποία θα εκλυθεί αργότερα. Έτσι δεν αποδίδουν θερμότητα τόσο γρήγορα όσο επιτρέπουν τα παράθυρα με την διάχυση του φωτός. Ούτε τροφοδοτούν τον χώρο με το ίδιο πόσο θερμότητας.

Το μεγάλο κέρδος των συστημάτων τοίχου Trombe είναι ότι οι απώλειες θερμότητας είναι πολύ μικρότερες από εκείνες των απλών υαλοπινάκων. Συνεπώς το κέρδος είναι πολύ μεγαλύτερο. Είναι φυσικό, ο σωστός σχεδιασμός τέτοιων συστημάτων να αυξάνει ακόμα περισσότερο το θερμικό κέρδος [12].

Τα τελευταία χρόνια πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με εναλλακτικές μορφές του τοίχου Trombe. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η έρευνα των Guobing Zhou και Mengmeng Pang για τη θερμική συμπεριφορά του τοίχου Trombe με χρήση υλικών αλλαγής φάσης (PCM) στην εξωτερική πλευρά του τοίχου διακένου [25]. Οι Mehran Rabani, Vali Kalantar, Ali A. Dehghan και Ahmadsreza K. Faghieh μελέτησαν τη θερμική συμπεριφορά τοίχου Trombe ο οποίος δέχεται ηλιακή ακτινοβολία από 3 διαφορετικές κατευθύνσεις, νότια, ανατολικά και δυτικά. Επιπλέον στην κορυφή του τοίχου Trombe έχει τοποθετηθεί ηλιακή καμινάδα που βοηθά στον παθητικό δροσισμό του χώρου [26]. Αξιοσημείωτη είναι και η έρευνα των Xiaoqiang Hong, Wei He, Zhongting Hu, Chenchen Wang και Jie Ji οι οποίοι κατασκεύασαν και προσομοίωσαν ένα μοντέλο τοίχου Trombe με ενσωματωμένες περσίδες ενδιάμεσα στη γυάλινη επιφάνεια και τον τοίχο του μοντέλου [27].

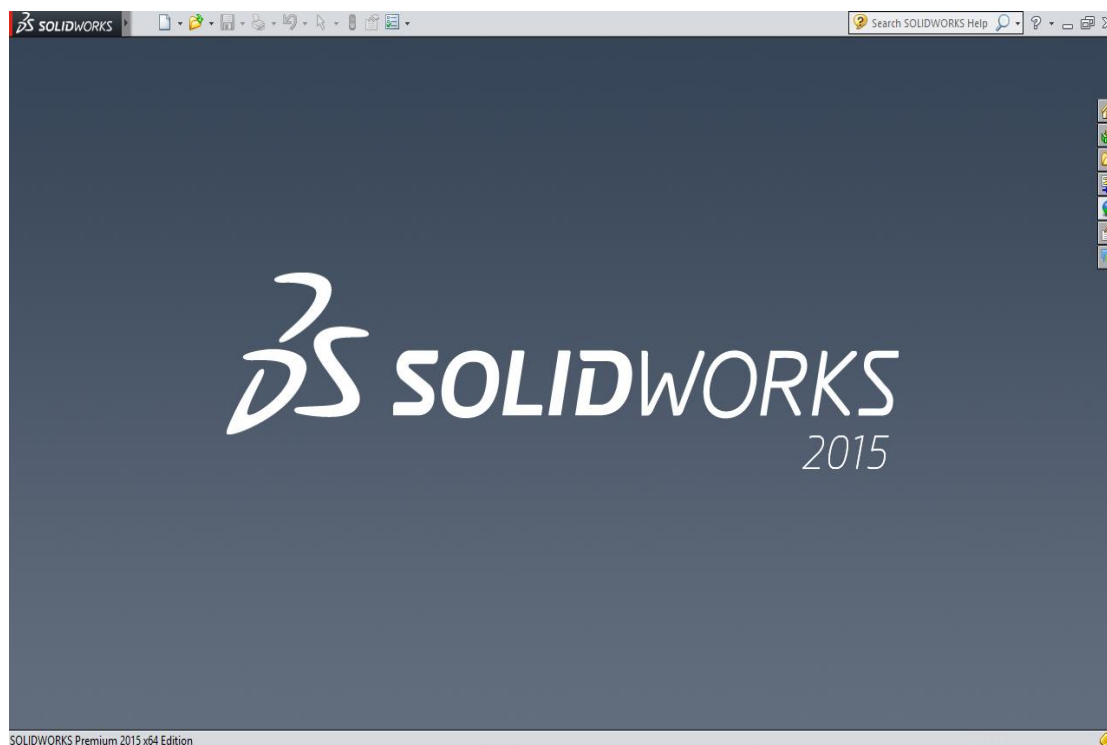
2.3 Εισαγωγή στο SOLIDWORKS και παραδείγματα

Το σχεδιαστικό πρόγραμμα Solidworks ανήκει στην εταιρία Dassault Systems από το 1995. Αποτελεί εργαλείο σχεδίασης και προσομοίωσης τόσο για σχεδιαστές όσο και για μηχανικούς αφού επιτρέπει τη σχεδίαση αντικειμένων στις 2 διαστάσεις καθώς και την μοντελοποίηση τους στις 3 διαστάσεις. Είναι ιδανικό για χρήση στη βιομηχανία και τη μοντελοποίηση νέων προϊόντων αλλά και στον τομέα της εκπαίδευσης όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αντίστοιχες εκδόσεις (educational) για την κατάρτιση νέων μηχανικών και σχεδιαστών στο τομέα του σχεδιασμού προϊόντων. Η εταιρία Dassault Systems διαθέτει περισσότερες από μία διαφορετικές εκδόσεις του συγκεκριμένου προγράμματος λόγω χάριν (simulation, visualization, electrical design) ώστε να καλύψει ένα μεγάλο εύρος αναγκών σχεδίασης για μηχανικούς και σχεδιαστές διαφορετικών ειδικοτήτων [28]. Επιπλέον με το λογισμικό αυτό μπορεί να πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις για τη μηχανική αντοχή και θερμική συμπεριφορά αντικειμένων καθώς και να προσομοιωθεί η ροή διαφόρων εργαζόμενων μέσων παραδείγματος χάριν αέρας, νερό και άλλα.


Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί λεπτομερώς η λειτουργία του σχεδιαστικού προγράμματος Solidworks και θα δοθούν επεξηγηματικά παραδείγματα σχεδίων.






2.3.1 Έναρξη του προγράμματος

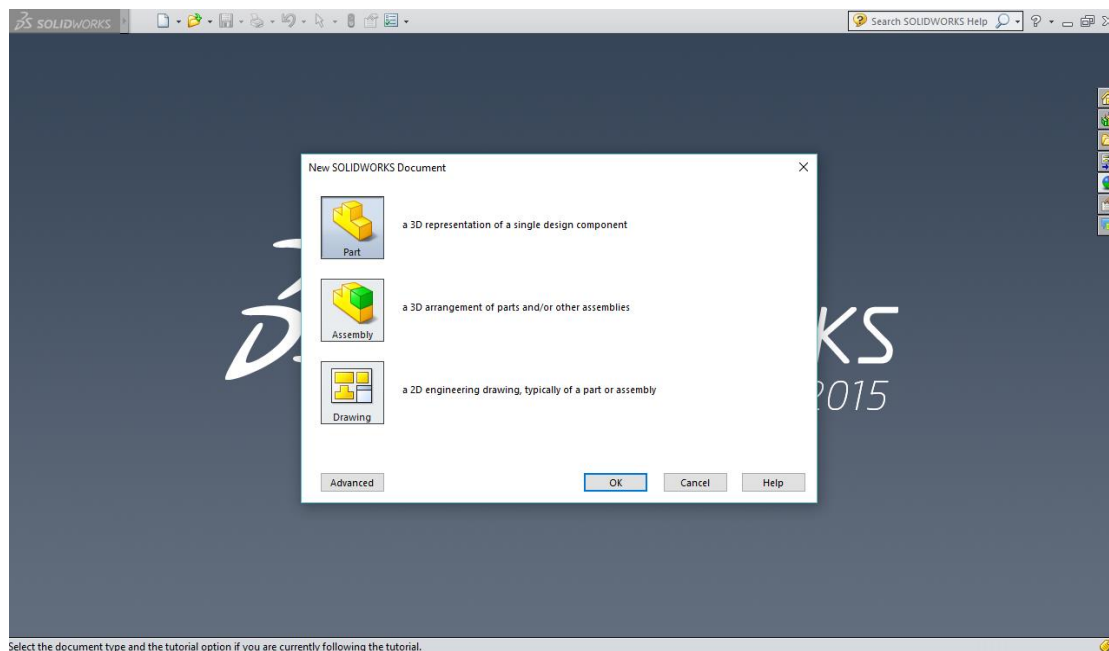
Αφού ο χρήστης «ανοίξει» το πρόγραμμα μεταφέρεται στο περιβάλλον του προγράμματος όπως φαίνεται στην **Εικόνα 14**.



Εικόνα 14: Περιβάλλον του προγράμματος κατά την έναρξη

Πατώντας το πρώτο εικονίδιο  (New), που βρίσκεται αριστερά στη μπάρα εντολών και δεξιά από το λογότυπο του προγράμματος, εμφανίζεται το παράθυρο με τις επιλογές part, assembly και drawing όπως φαίνεται στην **Εικόνα 15**.

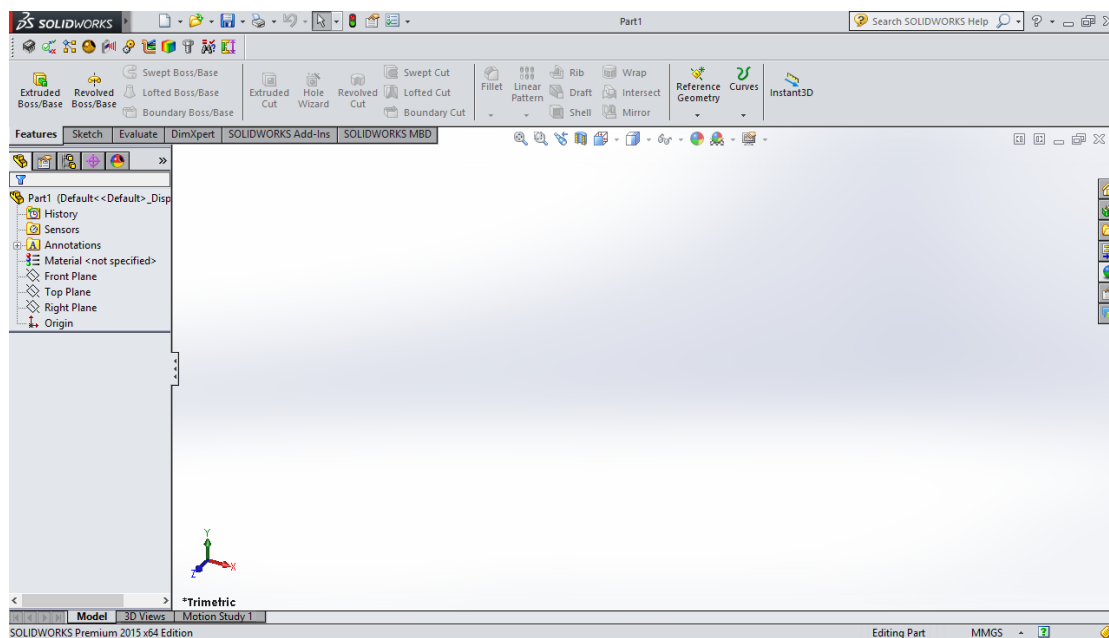
Η επιλογή Part  επιλέγεται για τη δημιουργία ενός μεμονωμένου αντικειμένου, η επιλογή assembly  για τη σύνθεση επιμέρους αντικειμένων ενώ η επιλογή drawing  για το σχεδιασμό κατασκευαστικού σχεδίου ή σύνθετου αντικειμένου στις 2 διαστάσεις. Δίπλα από το εικονίδιο  (New) υπάρχει το εικονίδιο  με τις επιλογές Open και Browse Recent Documents, με τις οποίες ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ανοίξει κατευθείαν αρχεία αποθηκευμένα σε κάποιο φάκελο στον υπολογιστή ή να επιλέξει από μια λίστα με τα πιο πρόσφατα αρχεία που έχει επεξεργαστεί στο συγκεκριμένο πρόγραμμα αντίστοιχα.



Εικόνα 15: Επιλογές για την έναρξη σχεδίασης

2.3.2 Επιλογή “Part”

Επιλέγοντας το Part από το παράθυρο που εμφανίζεται μετά την έναρξη του προγράμματος, ο χρήστης μεταφέρεται σε ένα διαφορετικό περιβάλλον όπως φαίνεται στην **Εικόνα 16**.



Εικόνα 16: Περιβάλλον επιλογής “Part”

Στο περιβάλλον αυτό περιλαμβάνονται δυο βασικές μπάρες, η μπάρα εντολών (Ribbon bar) και η μπάρα με τις καρτέλες (Tabs). Η μπάρα εντολών αλλάζει ουσιαστικά κάθε φορά


που ο χρήστης επιλέγει μια διαφορετική καρτέλα (Tab) παρέχοντας του τα κατάλληλα εργαλεία και επιλογές για την εκάστοτε επεξεργασία που επιθυμεί να πραγματοποιήσει.

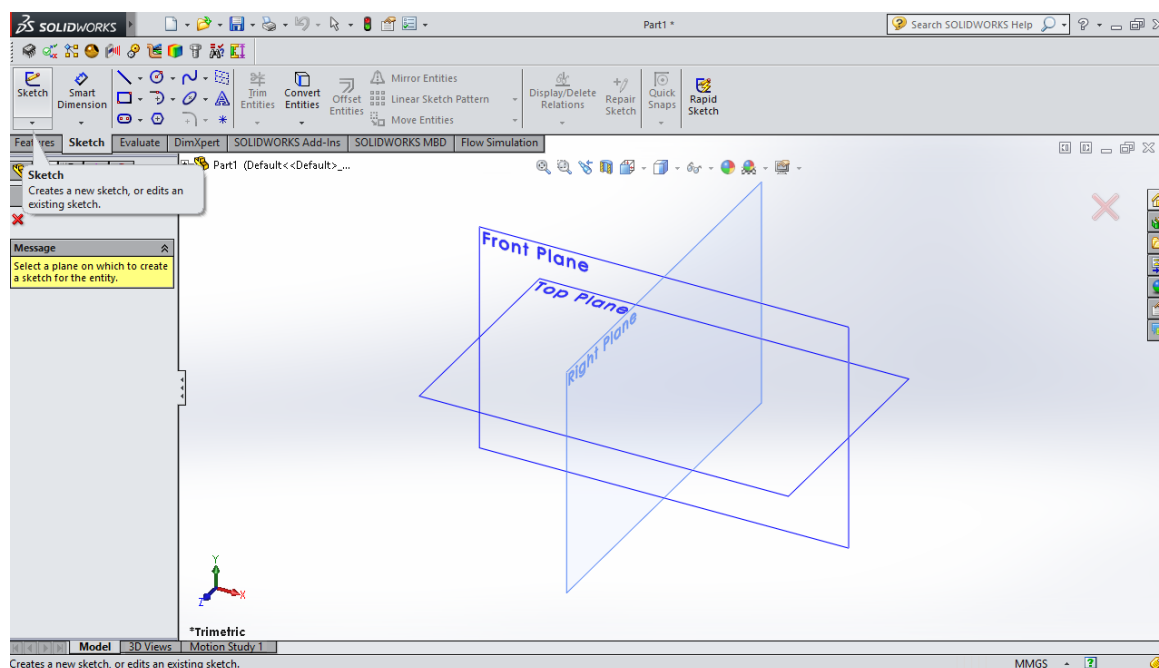
2.3.3 Έναρξη σχεδίασης




Για να ξεκινήσει ο χρήστης να σχεδιάζει πρέπει αρχικά να επιλέξει τη δεύτερη καρτέλα από τα αριστερά στα Tabs με την ονομασία Sketch. Έπειτα για να συνεχίσει μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε δυο διαφορετικούς τρόπους που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

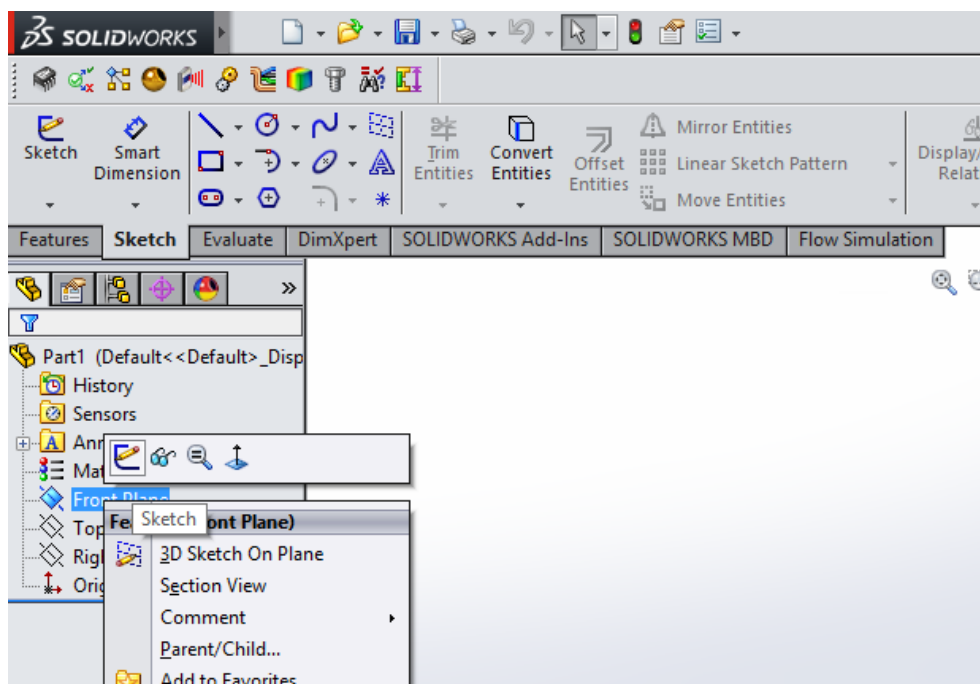
Ως πρώτη επιλογή, ο χρήστης μπορεί να πατήσει, με ένα αριστερό «κλικ» στο ποντίκι του

υπολογιστή, πάνω στο εικονίδιο με την ονομασία Sketch . Αμέσως μετά την επιλογή αυτή θα εμφανιστεί η εικόνα 3 επιπέδων (top, front και right plane) ώστε να επιλέξει με τον κέρσορα το επίπεδο που επιθυμεί να σχεδιάσει. Η ενέργεια αυτή φαίνεται και σχηματικά στην **Εικόνα 17**.



Εικόνα 17: Επίπεδα σχεδίασμού

Εναλλακτική και πιο γρήγορη λύση αποτελεί η απευθείας επιλογή του επιπέδου που επιθυμεί ο χρήστης από το δέντρο ενεργειών, πατώντας αυτή τη φορά το δεξί κουμπί του ποντικιού και επιλέγοντας το πρώτο εικονίδιο με τη μορφή  που εμφανίζεται. Αναλυτικά παρουσιάζεται η διαδικασία στην **Εικόνα 18**.

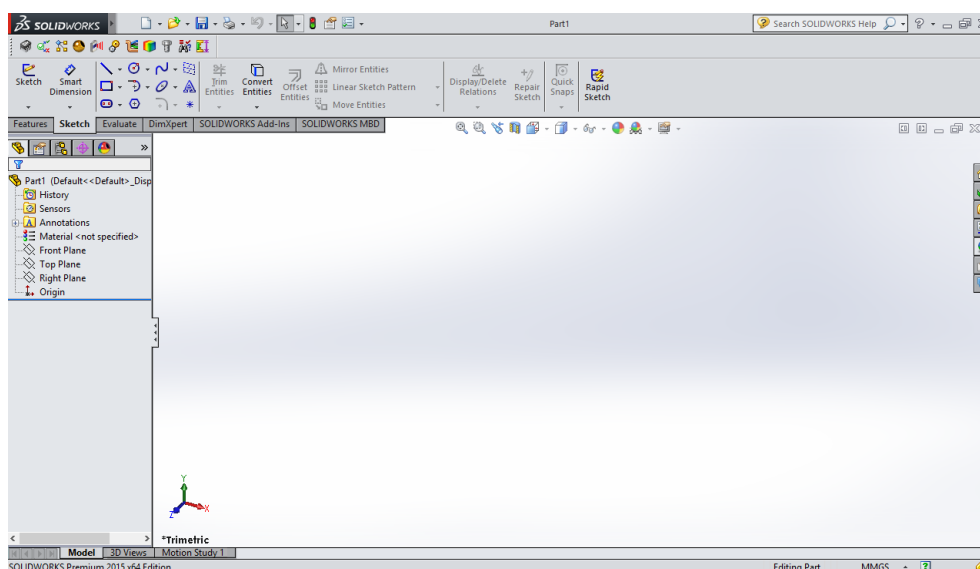


Εικόνα 18: Επιλογή επιπέδου σχεδιασμού

2.3.4 Βασικές Εντολές σχεδίασης

Το συγκεκριμένο λογισμικό σχεδιασμού διαθέτει μια πληθώρα εντολών σχεδίασης γεωμετρικών σχημάτων, οι οποίες διευκολύνουν το χρήστη να σχεδιάσει λεπτομερώς το αντικείμενο που επιθυμεί. Επιλέγοντας ο χρήστης μία από τις τρεις επιλογές που αναφέρθηκαν στη προηγούμενη παράγραφο, εμφανίζεται στα Tabs η καρτέλα Sketch.







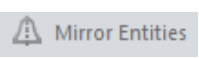

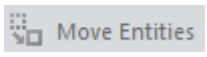

Η επιλογή της συγκεκριμένης καρτέλας εμφανίζει στο χρήστη όλα τα σχεδιαστικά εργαλεία που διατίθενται όπως παρουσιάζεται στην **Εικόνα 19**.



Εικόνα 19: Εντολές σχεδίασης

Κάτω και αριστερά από την μπάρα των καρτελών βρίσκεται το δέντρο ενεργειών όπου καταγράφεται οποιαδήποτε σχεδιαστική ενέργεια και εντολή του χρήστη κατά τη σχεδίαση.


Ορισμένες από τις εντολές σχεδίασης του προγράμματος, φαίνονται στην **Εικόνα 19** και παρατίθενται παρακάτω.


- Εντολή Line (ευθεία γραμμή)  : σχεδιασμός ευθείας γραμμής
- Εντολή Rectangle (ορθογώνιο παραλληλόγραμμο)  : σχεδιασμός ορθογώνιου ή απλού παραλληλογράμμου
- Εντολή Circle (κύκλος)  : σχεδιασμός κύκλου
- Εντολή Tangent Arc (τόξο εφαπτομένης)  : σχεδιασμός εφαπτομένης σε κυκλικό τόξο
- Εντολή Polygon (πολύγωνο)  : σχεδιασμός πολυγώνου
- Εντολή Smart Dimension  : διαστασιολόγηση ενός ή περισσότερων επιλεγμένων τμημάτων
- Εντολή Mirror Entities  : αντιγραφή επιλεγμένου τμήματος ή τμημάτων ως προς συγκεκριμένο άξονα συμμετρίας
- Εντολή Offset Entities  : σχεδιασμός του ίδιου επιλεγμένου τμήματος σε συγκεκριμένη απόσταση από το αρχικό
- Εντολή Move Entities  : μετακίνηση σχεδίου σε απόσταση που επιθυμεί ο χρήστης
- Εντολή Trim Entities  : αφαίρεση τμήματος μεταξύ δύο σημείων στο σχέδιο

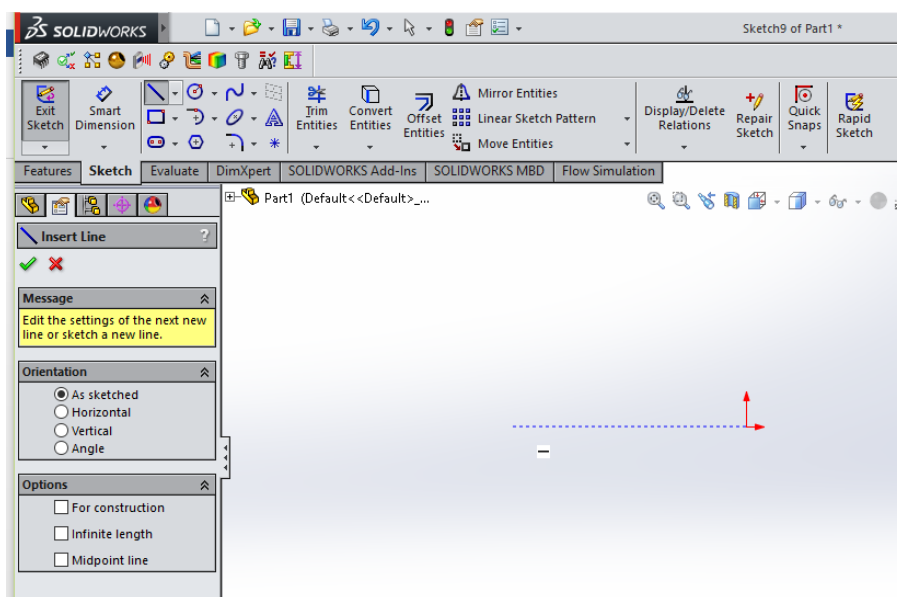
2.3.4.1 Εντολή Line (ευθεία γραμμή)

Ο χρήστης πατώντας το εικονίδιο της ευθείας γραμμής και επιλέγοντας το πεδίο που επιθυμεί να σχεδιάσει, μπορεί να ξεκινήσει το σχεδιασμό χρησιμοποιώντας πάντα το αριστερό κουμπί του ποντικιού. Αμέσως μόλις αρχίσει τη διαδικασία του σχεδιασμού, εμφανίζονται αριστερά στο «παράθυρο» του προγράμματος οι επιλογές:

- **As sketched**- ελεύθερος σχεδιασμός της ευθείας
- **Horizontal**- οριζόντια ευθεία
- **Vertical**- κάθετη ευθεία

- **Angle**- ευθεία με κλίση, που ορίζει ο χρήστης, από το αρχικό σημείο σχεδίασης. Προτού ο χρήστης ξεκινήσει να σχεδιάζει, έχοντας επιλέξει τη μορφή της ευθείας που χρειάζεται, έχει τη δυνατότητα περιφέροντας τον κέρσορα περιμετρικά της αρχής των αξόνων  να σχεδιάσει εύκολα οριζόντιες ή κάθετες στο επίπεδο ευθείες, καθώς εμφανίζεται μια διακεκομμένη ευθεία - βοηθός ανάμεσα στην αρχή των αξόνων –η οποία αποτελεί θεωρητικά το αρχικό σημείο σχεδίασης- και το σημείο που βρίσκεται ο κέρσορας όπως φαίνεται στην **Εικόνα 20**.

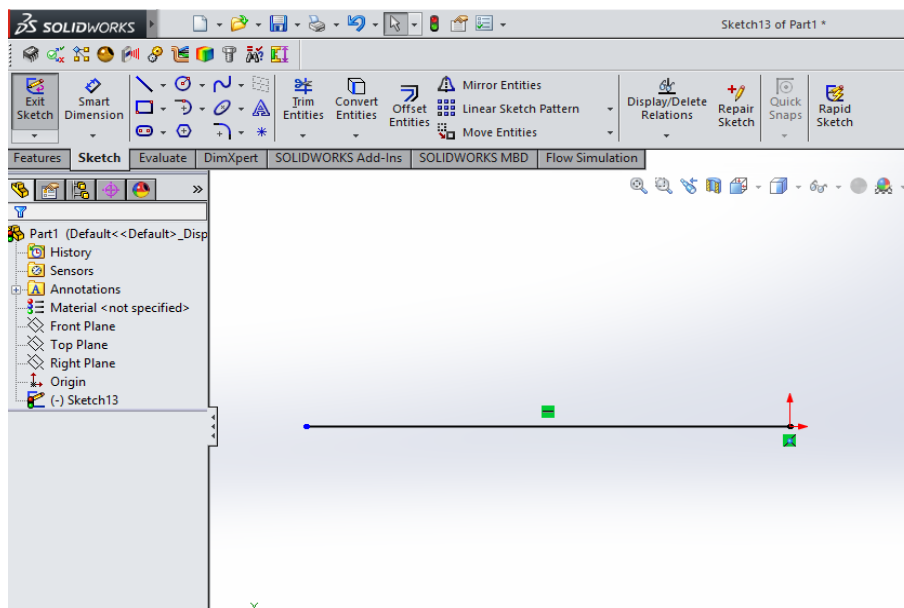
Επιπρόσθετα, πατώντας ο χρήστης το μαύρο βέλος που βρίσκεται δίπλα στο εικονίδιο της ευθείας  έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ανάμεσα σε τρεις μορφές ευθείας γραμμής, τη συνεχή, τη διακεκομμένη και την ευθεία που έχει ως αρχικό σημείο σχεδιασμού το μέσο της. Όλες οι μορφές ευθείας χρησιμοποιούνται με τον τρόπο που αναλύθηκε στην παράγραφο αυτή.



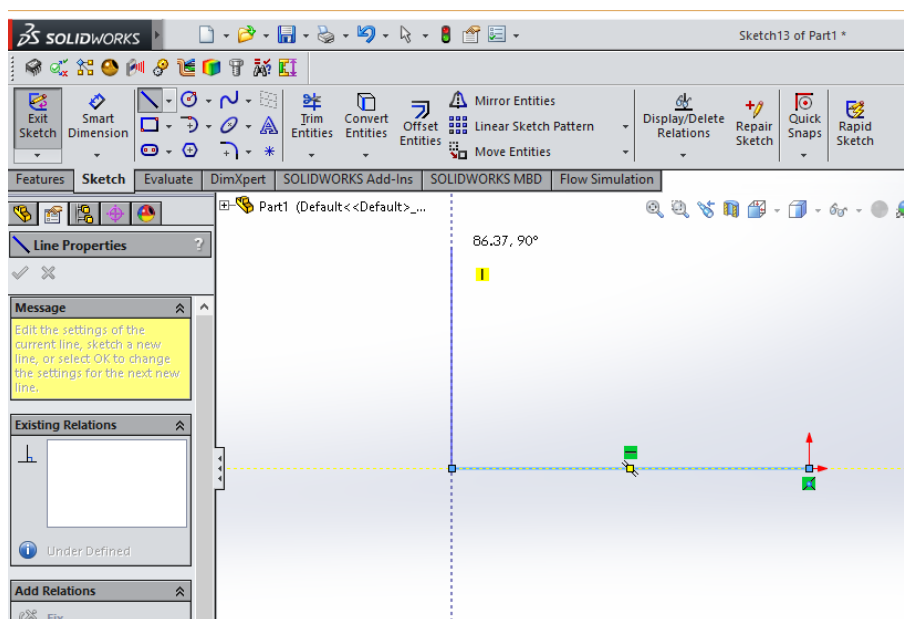
Εικόνα 20: Εντολή Line

Στην ευθεία, όπως και κάθε γεωμετρικό σχήμα του προγράμματος αυτού, για να οριστεί το τελικό σημείο σχεδίασης, ο χρήστης πατάει το αριστερό κουμπί του ποντικιού και σε περίπτωση που δεν επιθυμεί να συνεχίσει τον σχεδιασμό με ευθεία προς άλλη κατεύθυνση, πατάει επιπλέον το πλήκτρο Escape (ESC) στο πληκτρολόγιο. Σε αντίθετη περίπτωση δεν πατάει το Escape και συνεχίζει τη σχεδίαση.

Αντίστοιχα παραδείγματα των δυο περιπτώσεων εμφανίζονται στην **Εικόνα 21** και **Εικόνα 22** αντίστοιχα.



Εικόνα 21: Εντολή Line

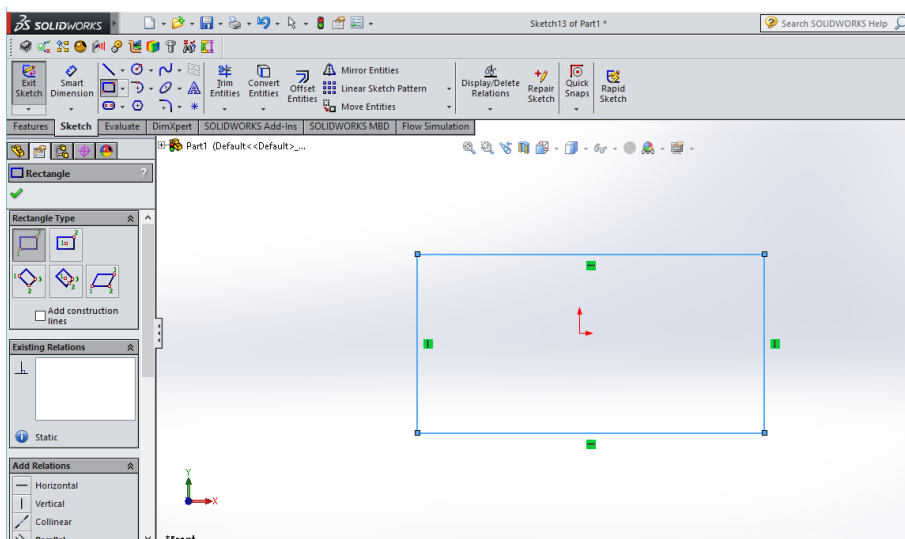


Εικόνα 22: Εντολή Line

2.3.4.2 Εντολή Rectangle (ορθογώνιο παραλληλόγραμμο)

Με παρόμοια λογική με αυτή της ευθείας, σχεδιάζεται και το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο. Όταν ο χρήστης πατά το εικονίδιο του παραλληλογράμμου, εμφανίζονται αριστερά επιλογές σχεδίασης για το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο βάσει των σημείων σχεδιασμού του. Οι επιλογές για το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο είναι ο σχεδιασμός του ξεκινώντας με σημείο σχεδίασης από την μια γωνία και κλείνοντας το σχήμα αντιδιαμετρικά, ορίζοντας από την αρχή τις τρεις γωνίες του ορθογωνίου και ορίζοντας το κέντρο

και τη μία γωνία του ως σημείο εκκίνησης σχεδιασμού. Σχετικό παράδειγμα εμφανίζεται στην **Εικόνα 23**.

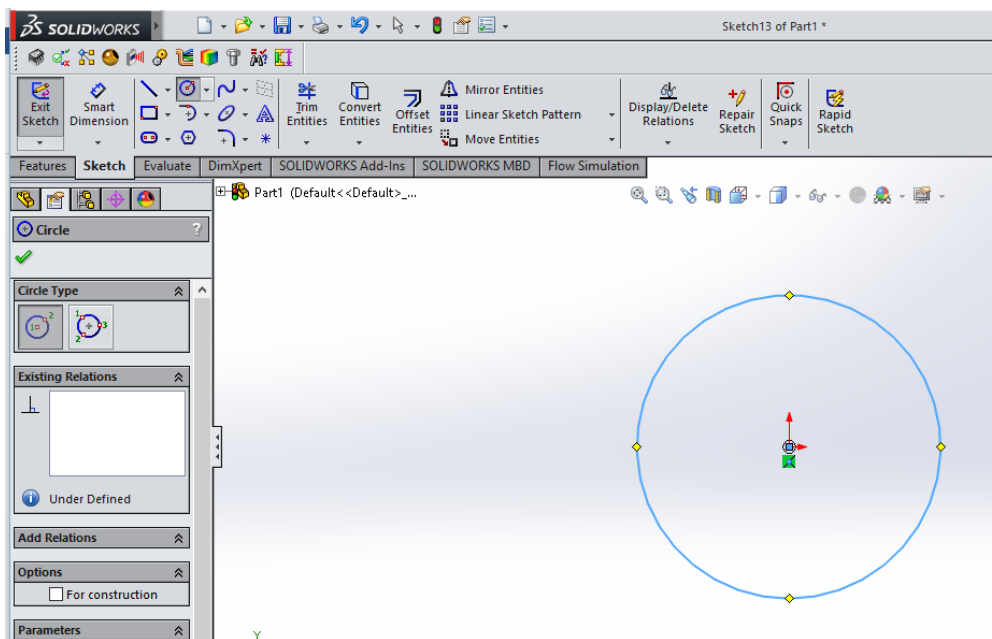


Εικόνα 23: Εντολή Rectangle

2.3.4.3 Εντολή Circle (κύκλος)



Ακολουθώντας παρόμοια βήματα με τα δυο προηγούμενα γεωμετρικά σχήματα είναι δυνατή και η σχεδίαση του κύκλου. Όπως και στη σχεδίαση του ορθογωνίου υπάρχουν δυο επιλογές βάσει του σημείου σχεδίασης. Η πρώτη επιλογή αφορά τη σχεδίαση του κύκλου ξεκινώντας από την ακτίνα του ενώ η δεύτερη αφορά τη σχεδίαση του κύκλου ξεκινώντας από ένα σημείο της περιμέτρου του (**Εικόνα 24**).

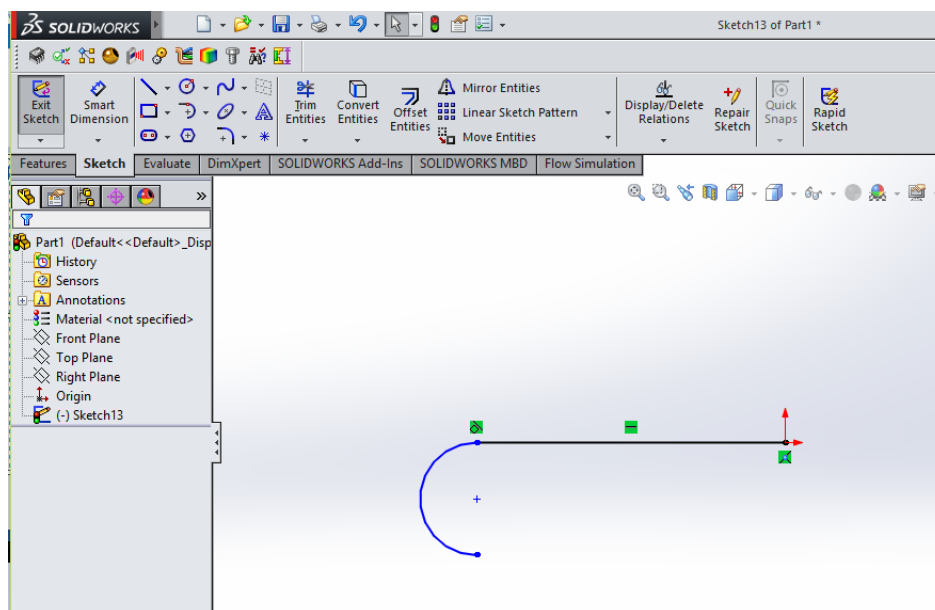


Εικόνα 24: Εντολή Circle

2.3.4.4 Εντολή Tangent Arc (τόξο εφαπτομένης)



Με την εντολή αυτή είναι δυνατή η σχεδίαση κυκλικού τμήματος εφαπτόμενο σε ευθεία. Είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι η εντολή αυτή χρησιμοποιείται πάντα με τη προϋπόθεση ότι έχει σχεδιαστεί ήδη ένα ευθύγραμμο τμήμα διαφορετικά δεν μπορεί να λειτουργήσει. Ο σχεδιασμός του κυκλικού τμήματος πραγματοποιείται ακολουθώντας τη γνωστή μέθοδο σχεδίασης του κύκλου όπως αναφέρθηκε (**Εικόνα 25**).

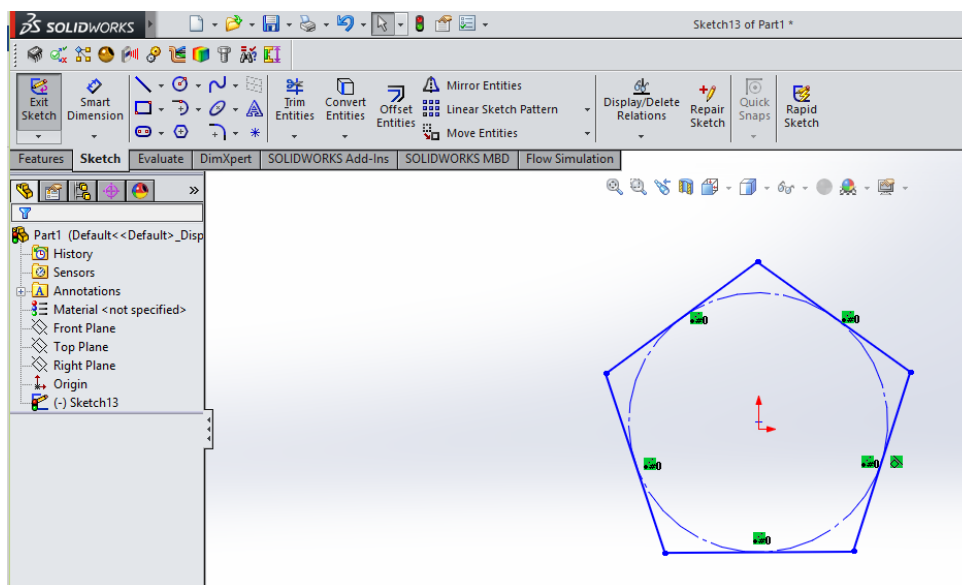


Εικόνα 25: Εντολή Tangent Arc

2.3.4.5 Εντολή Polygon (πολύγωνο)



Αποτελεί μια από τις πιο απλές εντολές καθώς κατά την εφαρμογή της ο χρήστης ξεκινά τη σχεδίαση από το σημείο που επιθυμεί το οποίο είναι και το κέντρο του πολυγώνου. Στα αριστερά της οθόνης εμφανίζεται η δυνατότητα, να επιλέξει ο χρήστης τον αριθμό των γωνιών του πολυγώνου καθώς και τις διαστάσεις του (**Εικόνα 26**).

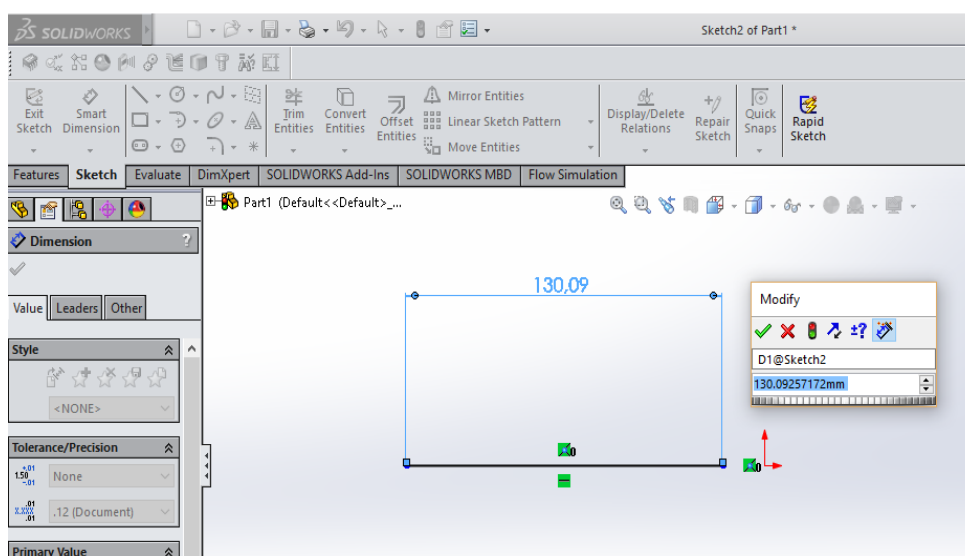


Εικόνα 26: Εντολή Polygon

2.3.5 Εντολή Smart Dimension (διαστασιολόγηση)

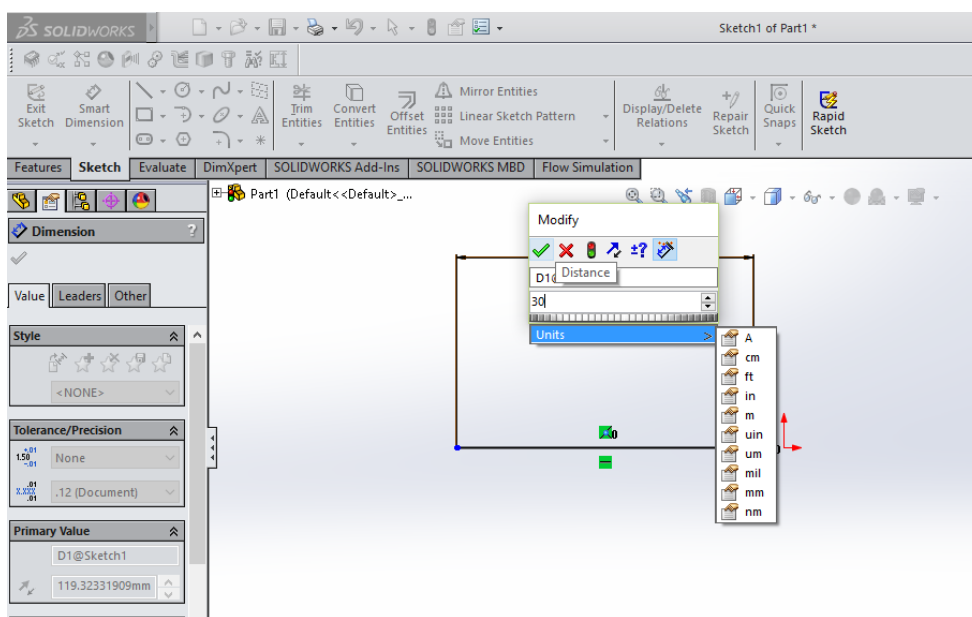


Σημείουσα σημασία κατέχει η δυνατότητα διαστασιολόγησης των σχεδίων του χρήστη. Η διαστασιολόγηση υλοποιείται είτε μέσω της εντολής Smart Dimension είτε επιλέγοντας το ήδη υπάρχον ευθύγραμμο τμήμα. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιώντας την εντολή Smart Dimension, ο χρήστης αφού επιλέξει το αντίστοιχο εικονίδιο πρέπει να επιλέξει το αντίστοιχο ευθύγραμμο τμήμα που επιθυμεί ως προς διαστασιολόγηση. Αμέσως θα εμφανιστεί ένα παράθυρο με την ονομασία Modify όπου ο χρήστης θα πληκτρολογήσει το μήκος που επιθυμεί όπως φαίνεται στην **Εικόνα 27**.



Εικόνα 27: Εντολή Smart Dimension

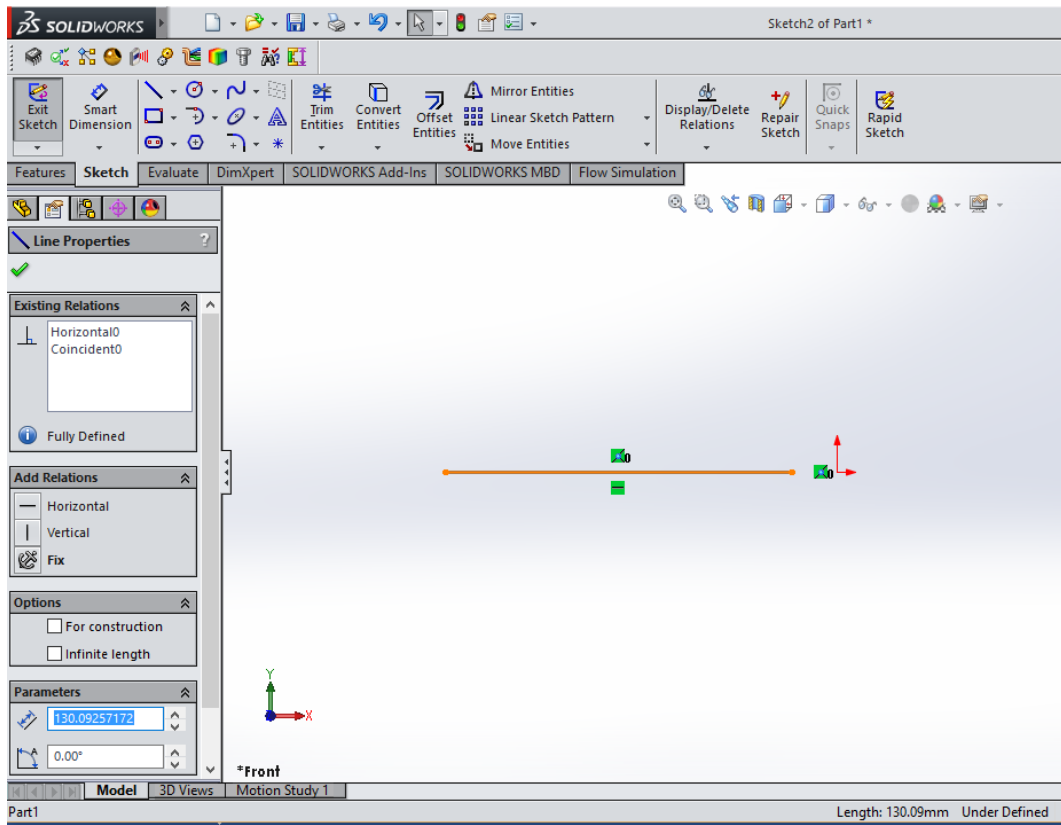
Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η διαστασιολόγηση στο παρόν λογισμικό γίνεται σε χιλιοστά. Αν ο χρήστης επιθυμεί να αλλάξει τις μονάδες μέτρησης τότε στο παράθυρο διαστασιολόγησης της εντολής Smart Dimension, όταν πληκτρολογήσει την καινούρια διάσταση, εμφανίζεται η επιλογή με το όνομα Units απ' όπου μπορεί να επιλέξει την καινούρια μονάδα μέτρησης, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 28**.



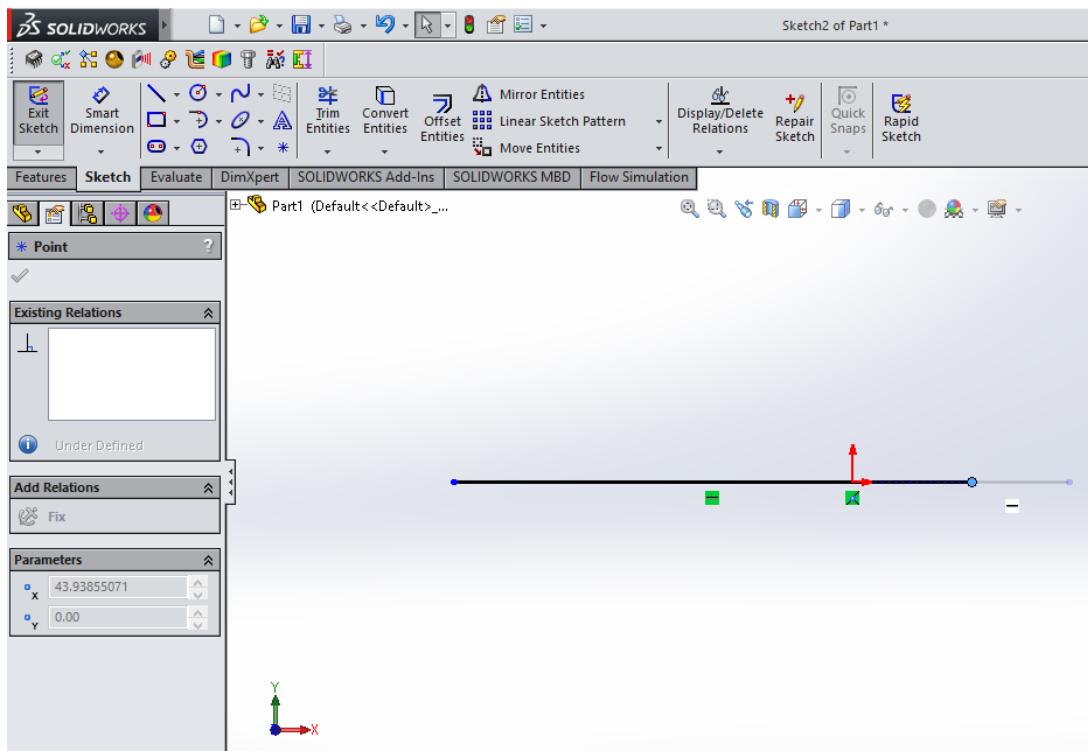
Εικόνα 28: Επιλογή μονάδων μέτρησης

Επιπλέον, η διαστασιολόγηση μπορεί να επιτευχθεί και χωρίς την εντολή Smart Dimension. Ο χρήστης επιλέγοντας το ευθύγραμμο τμήμα έχει τη δυνατότητα να μεταβάλει το μήκος του πληκτρολογώντας το στην ενότητα Parameters (παράμετροι) όπως φαίνεται στην **Εικόνα 29**.

Μια άλλη επιλογή διαστασιολόγησης αποτελεί η μεταβολή του μήκους ενός ευθύγραμμου τμήματος επιλέγοντας το ένα άκρο του και «σύροντάς» το όσο επιθυμεί ο χρήστης (**Εικόνα 30**).

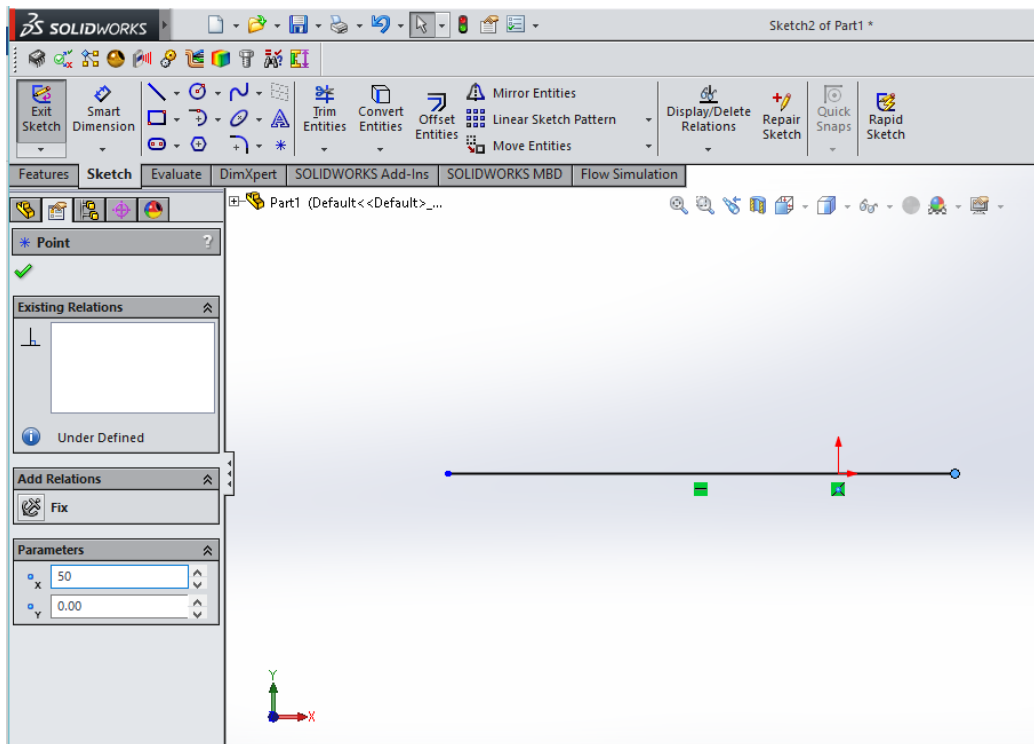


Εικόνα 29: Μεταβολή μήκους ευθείας



Εικόνα 30: Μεταβολή μήκους ευθείας

Αφού μεταβάλει το μήκος του μετακινώντας το άκρο του ευθύγραμμου τμήματος, μπορεί να πληκτρολογήσει το επιθυμητό μήκος στην ενότητα Parameters κατά τον άξονα x ή y της μεταβολής του τμήματος (**Εικόνα 31**).

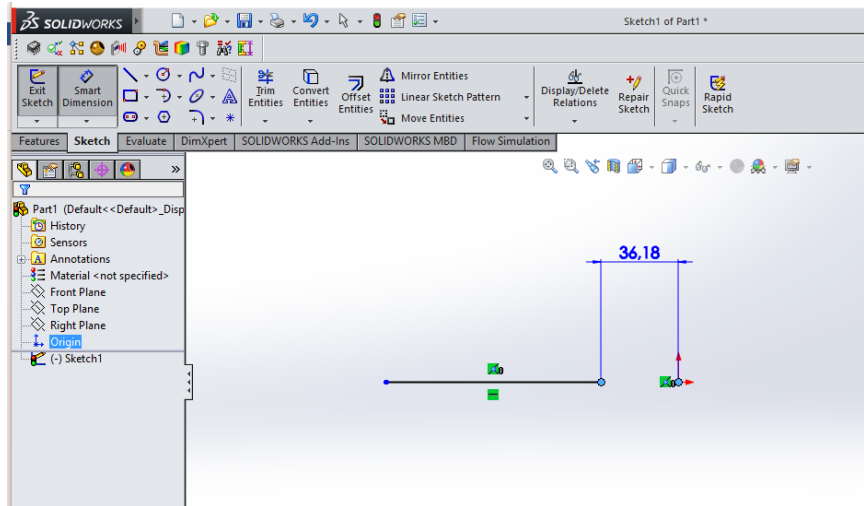


Εικόνα 31: Μεταβολή μήκους ευθείας

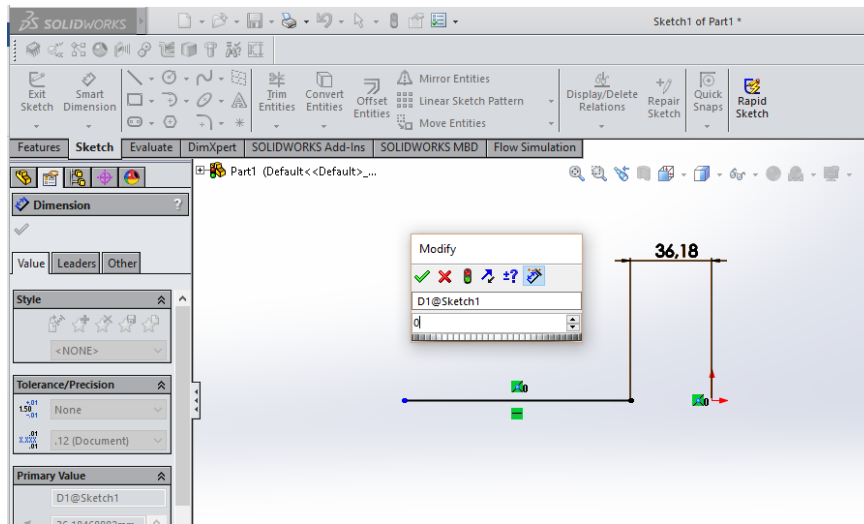
Κατά γενική ομολογία η διαστασιολόγηση είναι καλό να πραγματοποιείται επιλέγοντας την εντολή Smart Dimension, καθώς καθιστά αμετάβλητο το μήκος του τμήματος που έχει οριστεί σε οποιαδήποτε μεταβολή της ευθείας στο επίπεδο.

Μία εναλλακτική χρήση της εντολής Smart Dimension αποτελεί η μετακίνηση των άκρων του ευθύγραμμου τμήματος ώστε να συμπέσει με άλλο σημείο κάποιου σχήματος ή ευθύγραμμου τμήματος είτε την αρχή των αξόνων. Επιλέγοντας το άκρο του ευθύγραμμου τμήματος και του σημείου που επιθυμεί ο χρήστης, αφού έχει ήδη ενεργοποιήσει την εντολή Smart Dimension, διαστασιολογείται η μεταξύ τους απόσταση. Για να συμπίσουν τα δύο σημεία ο χρήστης πρέπει να μηδενίσει την απόσταση αυτή, σύμφωνα με τα παραπάνω.

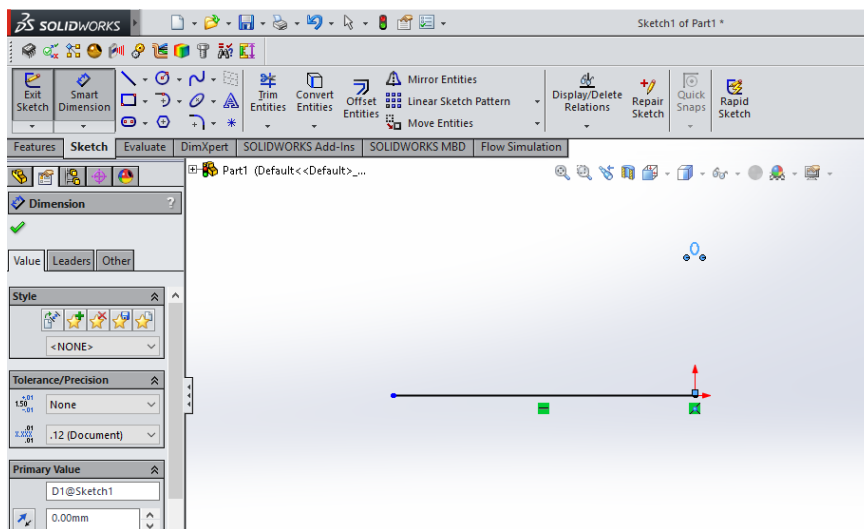
Άξιο αναφοράς αποτελεί το γεγονός ότι τα εφαπτόμενα σημεία μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικά γεωμετρικά σχήματα τα οποία όμως είναι απαραίτητο να βρίσκονται στο ίδιο σχεδιαστικό επίπεδο. Στη συνέχεια παρατίθενται αντίστοιχα παραδείγματα μέσω των **εικόνων 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40**.



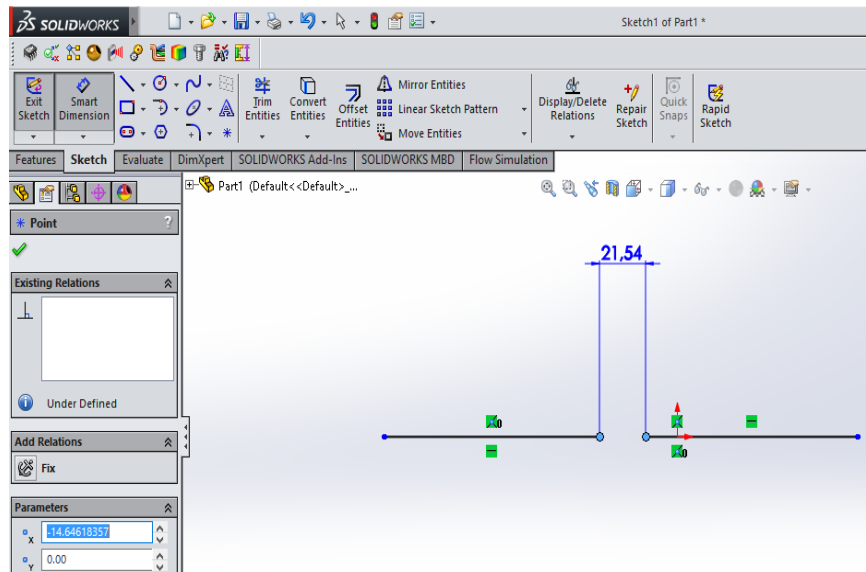
Εικόνα 32: Εντολή Smart Dimension



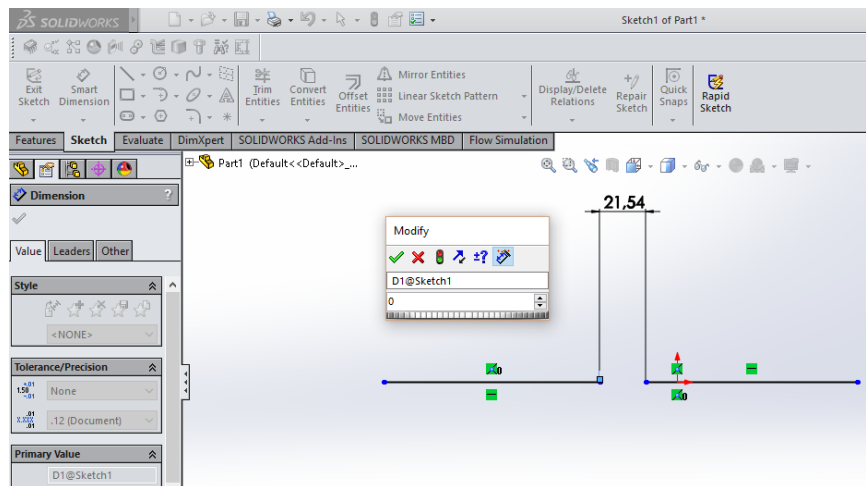
Εικόνα 33: Εντολή Smart Dimension



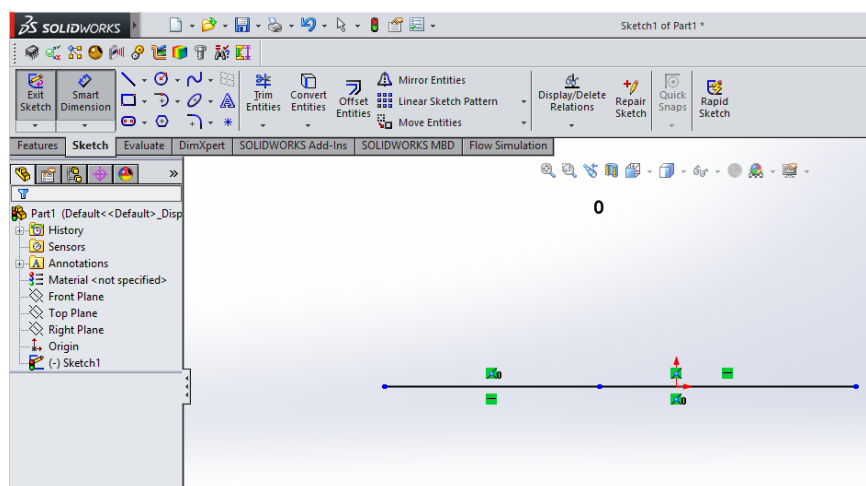
Εικόνα 34: Εντολή Smart Dimension



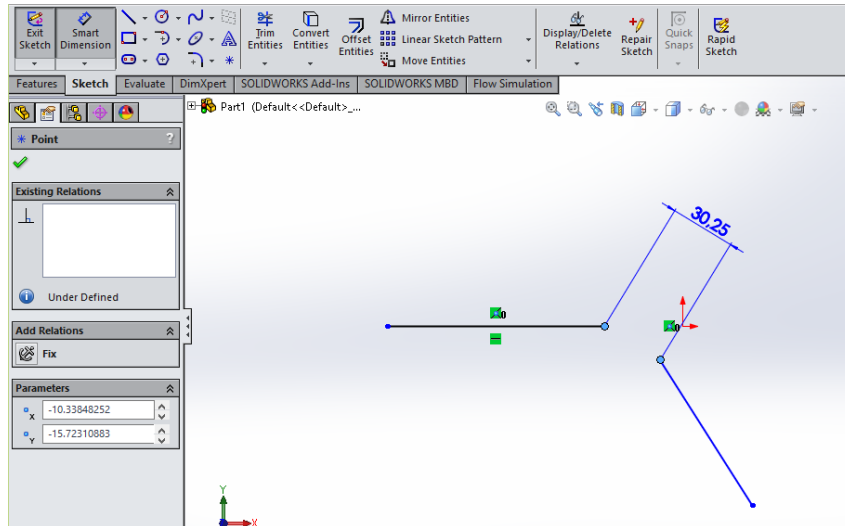
Εικόνα 35: Εντολή Smart Dimension



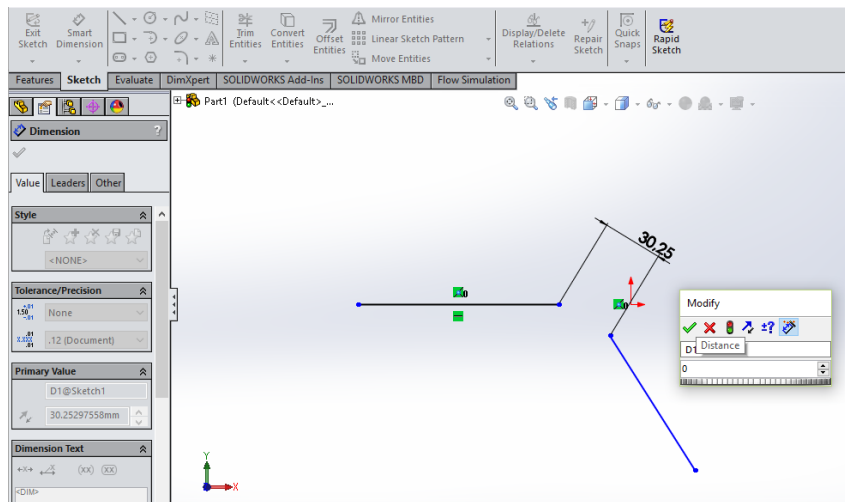
Εικόνα 36: Εντολή Smart Dimension



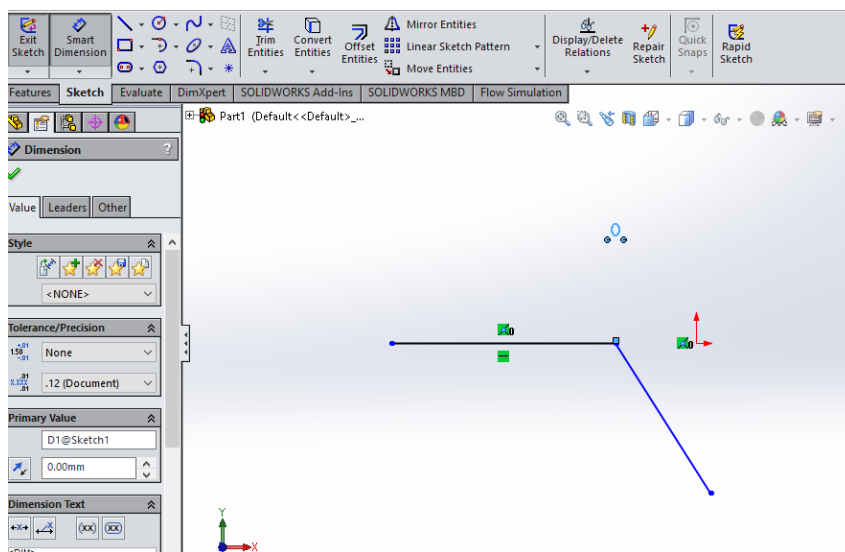
Εικόνα 37: Εντολή Smart Dimension



Εικόνα 38: Εντολή Smart Dimension



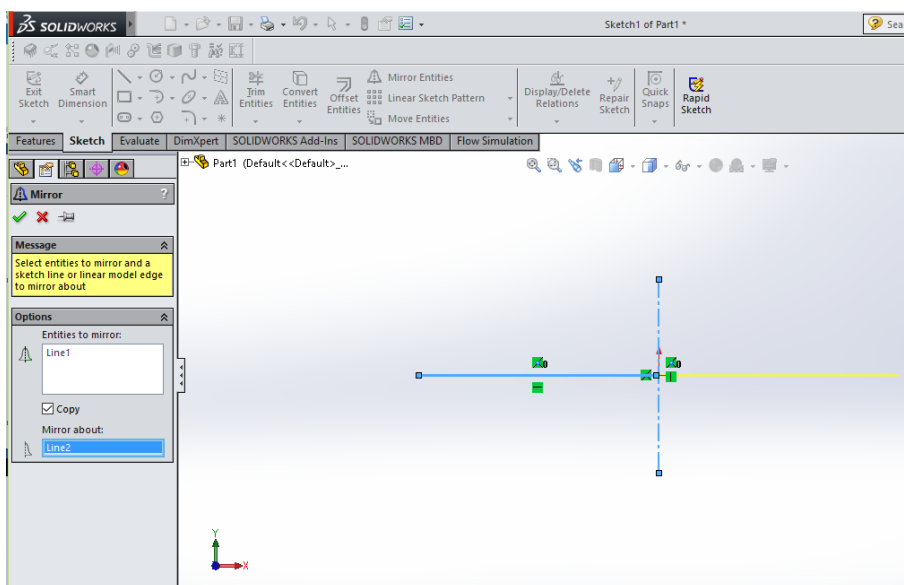
Εικόνα 39: Εντολή Smart Dimension



Εικόνα 40: Εντολή Smart Dimension

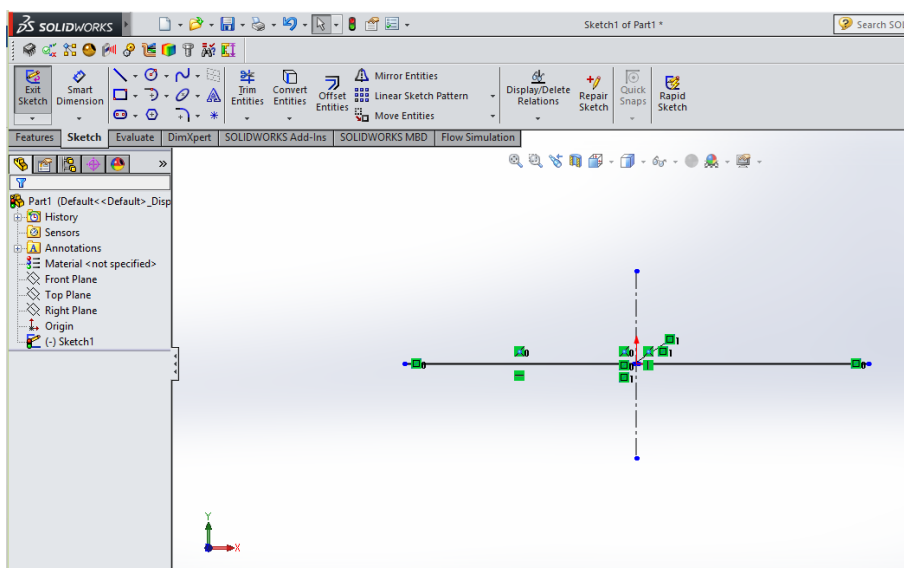
2.3.6 Εντολή Mirror Entities (Καθρέφτης)

Η εντολή αυτή επιτρέπει την αντιγραφή ενός σχήματος ως προς κάποιον άξονα συμμετρίας, ο οποίος θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος με τη μορφή ευθείας. Αφού σχεδιαστούν τα απαραίτητα τμήματα που αναφέρθηκαν, ο χρήστης επιλέγει τη συγκεκριμένη εντολή. Κατά την επιλογή της εμφανίζονται αριστερά στην οθόνη δυο ενότητες, η Entities to Mirror και η Mirror About.



Εικόνα 41: Mirror Entities

Στην πρώτη ενότητα ο χρήστης δηλώνει τα τμήματα τα οποία επιθυμεί να αντιγράψει ενώ στην δεύτερη τον άξονα συμμετρίας ως προς τον οποίο θα γίνει η αντιγραφή των τμημάτων (Εικόνα 42).



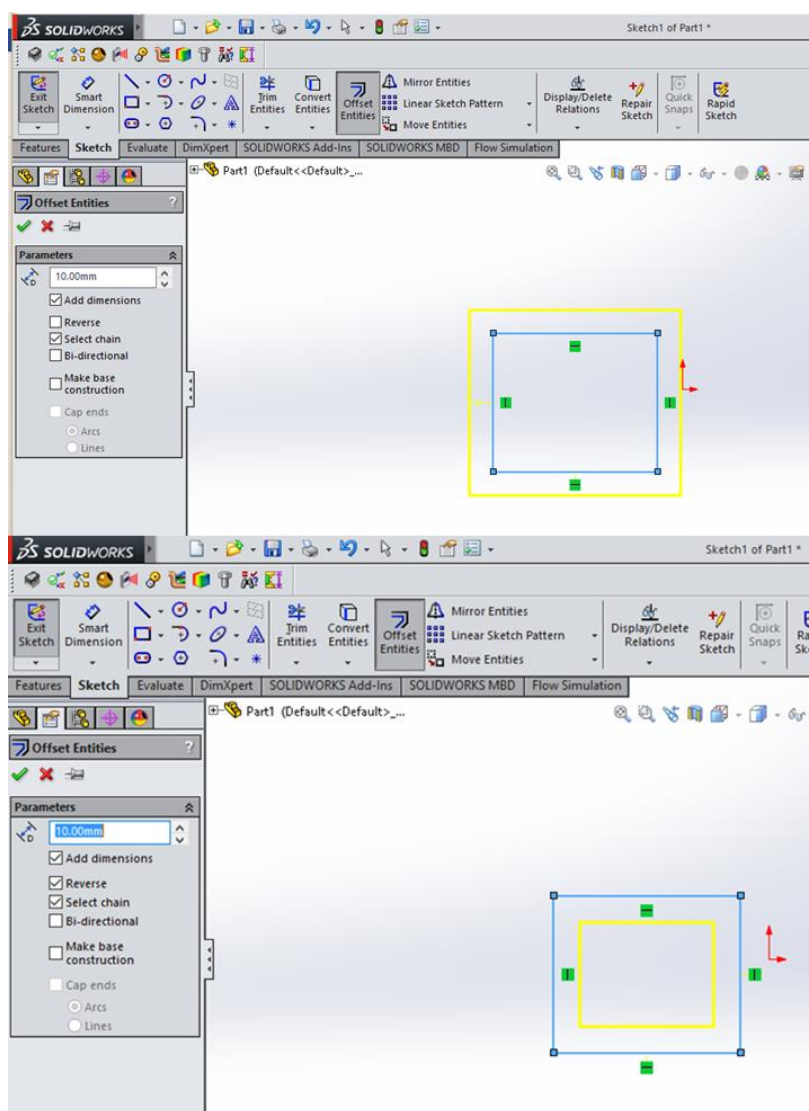
Εικόνα 42: Mirror Entities

Μετά τη διαδικασία αυτή ο άξονας συμμετρίας μπορεί να διαγραφεί αν το επιθυμεί ο χρήστης. Ο άξονας συμμετρίας είναι αναγκαίος μόνο για την ολοκλήρωση της εν λόγω εντολής.

2.3.7 Εντολή Offset Entities

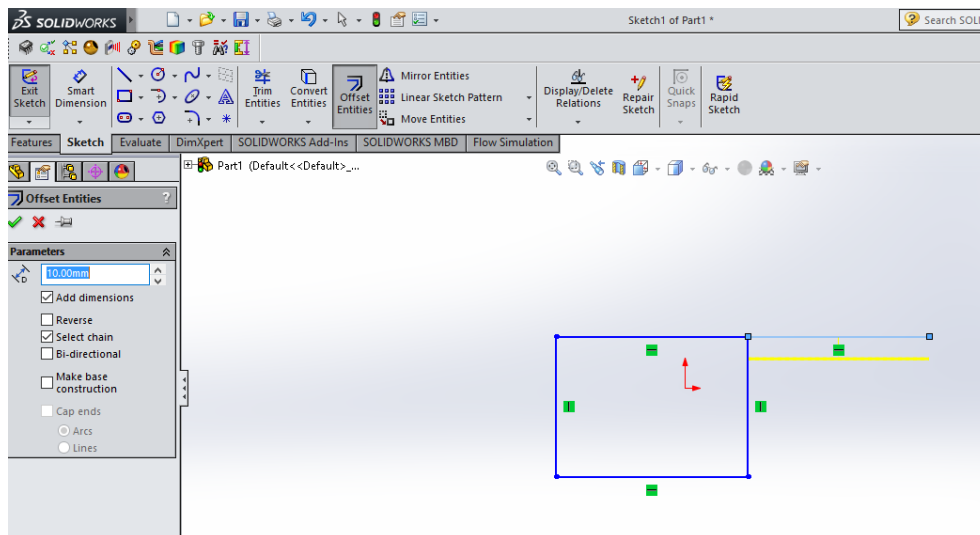


Κατά την εντολή αυτή πραγματοποιείται η αντιγραφή ενός τμήματος ή ενός σχεδίου αλλά όχι ως προς κάποιο άξονα συμμετρίας όπως απαιτεί η εντολή Mirror Entities. Η αντιγραφή πραγματοποιείται είτε στην εσωτερική είτε στην εξωτερική πλευρά του αρχικού σχεδίου. Η προκαθορισμένη θέση από το πρόγραμμα είναι η εξωτερική πλευρά. Για την επιλογή της εσωτερικής πλευράς πρέπει να επιλεγθεί η επιλογή Reverse. Η απόσταση και η θέση (εσωτερική/ εξωτερική πλευρά) του νέου σχεδίου από το παλιό ορίζεται από τον χρήστη στην ενότητα Parameters όπως φαίνεται στην **Εικόνα 43**.



Εικόνα 43: Εντολή Offset Entities

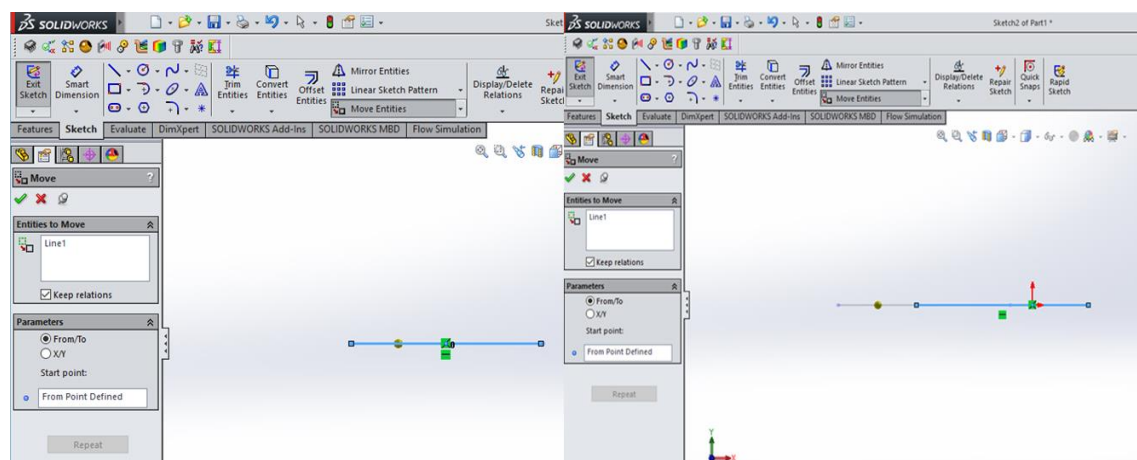
Σε περίπτωση που το σχέδιο αποτελείται από παραπάνω από ένα τμήματα τα οποία δεν δημιουργούν ένα κλειστό σχήμα, όπως φαίνεται παραπάνω, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μόνο το τμήμα που επιθυμεί προς αντιγραφή και όχι ολόκληρο το σχέδιο, όπως στην **Εικόνα 44**.



Εικόνα 44: Εντολή Offset Entities

2.3.8 Εντολή Move Entities

Η εν λόγω εντολή χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ενός σημείου ή τμήματος σχεδίου, όπως ακριβώς γίνεται και με την εντολή Smart Dimension όπως αναφέρθηκε. Η επιλογή του τμήματος ή του σημείου γίνεται στην ενότητα Entities to Move. Στην παρούσα εντολή ορίζεται και το σημείο από το οποίο θα ξεκινάει η μεταφορά του σημείου/ τμήματος (Start Point), ενώ το νέο σημείο σταθεροποιείται πατώντας ο χρήστης αρχικά το αριστερό και έπειτα το δεξί πλήκτρο του ποντικιού. Αντίστοιχο παράδειγμα με ευθύγραμμο τμήμα φαίνεται στην **Εικόνα 45**.

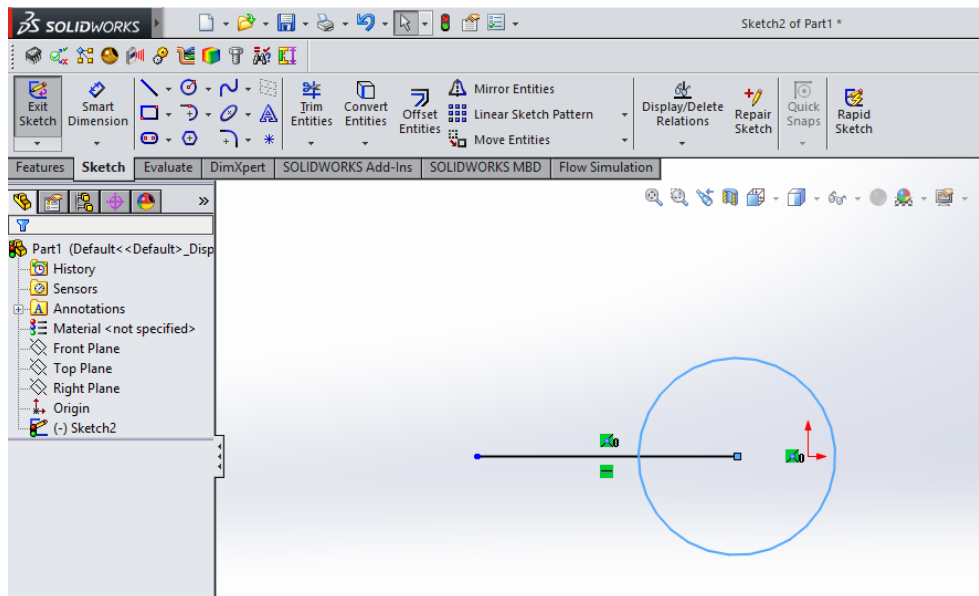


Εικόνα 45: Εντολή Move Entities

2.3.9 Εντολή Trim Entities

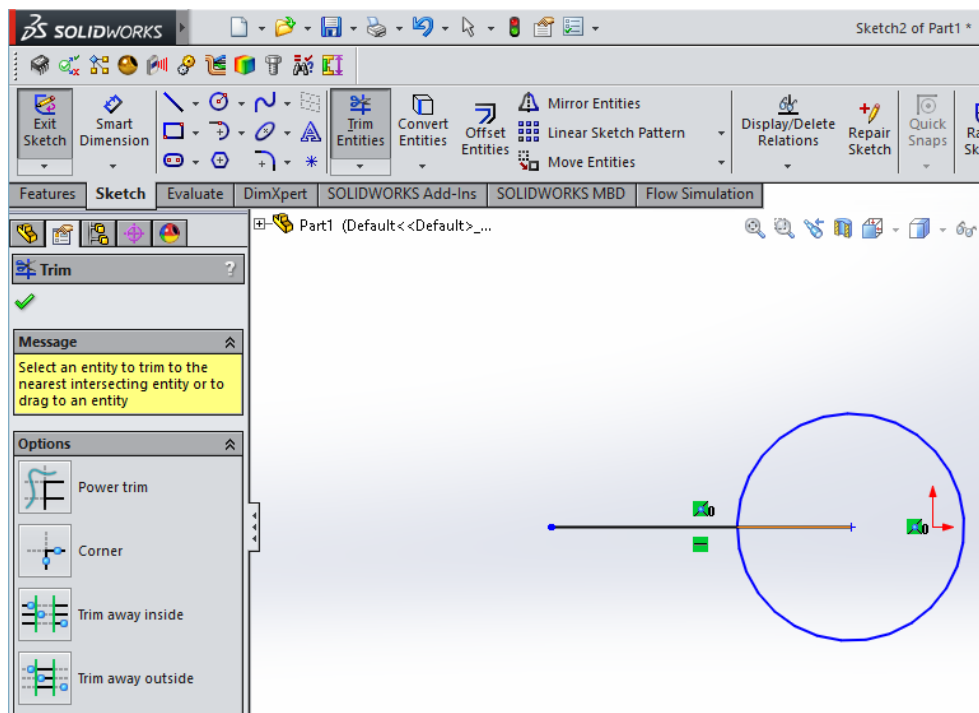


Με την παρούσα εντολή δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να αφαιρέσει κάποιο τμήμα είτε ευθύγραμμο είτε καμπύλη από το σχέδιο του (Εικόνα 46).



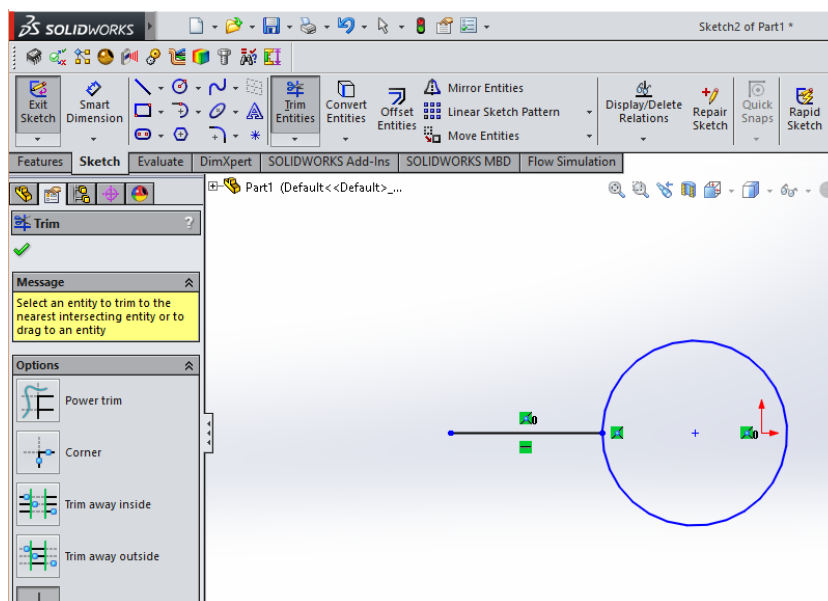
Εικόνα 46: Εντολή Trim Entities

Ο χρήστης επιλέγει την εντολή αυτή και έπειτα το αντίστοιχο τμήμα που επιθυμεί προς αφαίρεση (Εικόνα 47).



Εικόνα 47: Εντολή Trim Entities

Στη συνέχεια πατώντας το αριστερό πλήκτρο του ποντικού αφαιρείται το ανεπιθύμητο τμήμα (Εικόνα 48).



Εικόνα 48: Εντολή Trim Entities

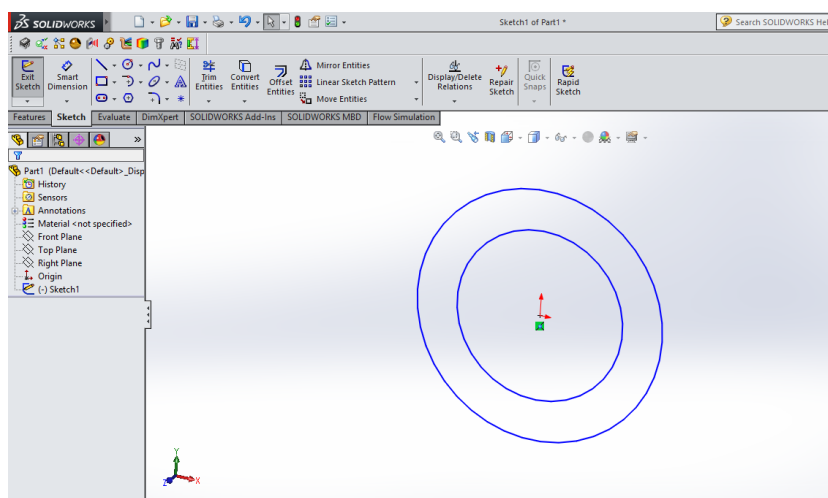
2.3.10 Εντολές παραγωγής στερεού σώματος

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν οι εντολές και οι αντίστοιχες διαδικασίες τους για την τρισδιάστατη μετατροπή του σχεδίου καθώς και οι εντολές επεξεργασίας του.

2.3.10.1 Έξοδος από τη σχεδίαση



Μετά την ολοκλήρωση του σχεδίου ο χρήστης πρέπει να επιλέξει το εικονίδιο εξόδου ώστε να μεταφερθεί έξω από το τμήμα σχεδίασης. Έπειτα στα Tabs επιλέγει στην καρτέλα Features οποιαδήποτε εντολή επιθυμεί για την εξώθηση του σχεδίου (Εικόνα 49).



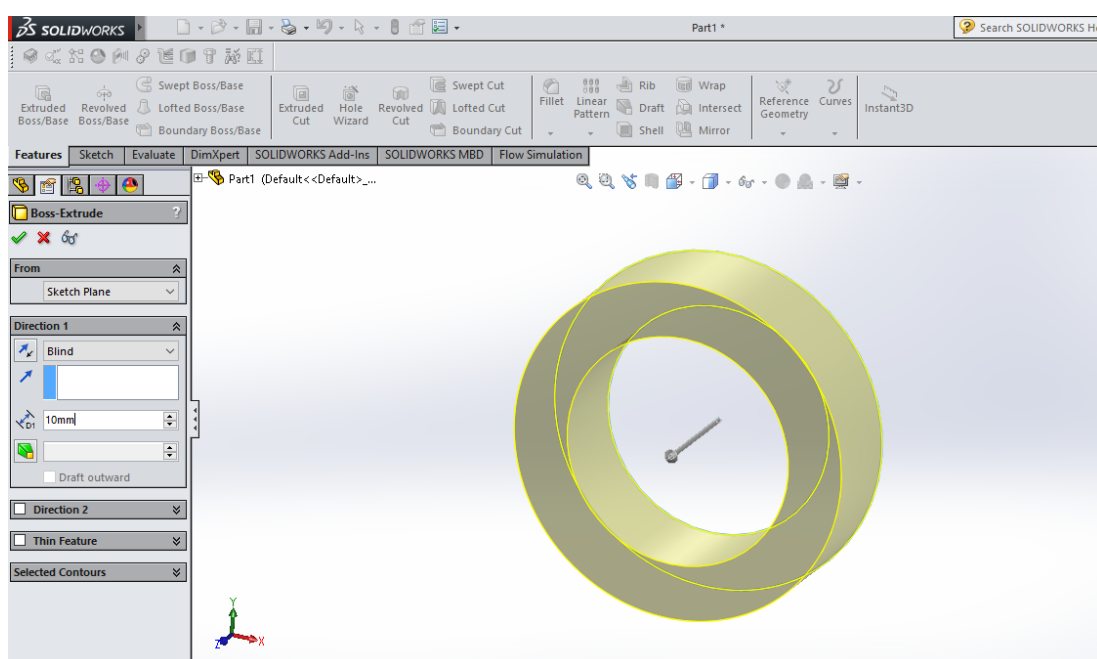
Εικόνα 49: Εντολή Exit Sketch

2.3.10.2 Εντολή Boss Extrude/ Base (εξώθηση)





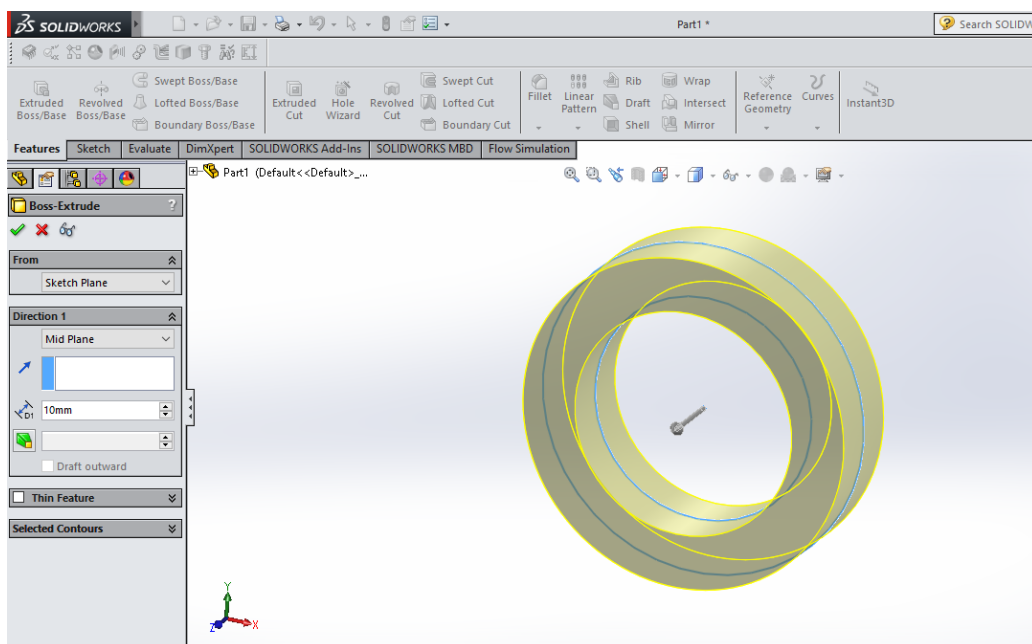
Η εντολή Boss Extrude αποτελεί το βασικό εργαλείο εξώθησης σχεδίων. Η εξώθηση του σχεδίου που επιλέγεται μπορεί να γίνει προς δύο κατευθύνσεις. Στην **Εικόνα 50** παρουσιάζεται η διαδικασία εξώθησης ενός κυκλικού δακτυλίου.

Ο χρήστης επιλέγει το προς εξώθηση σχέδιο που επιθυμεί και έπειτα επιλέγει την εντολή Boss Extrude. Το σχέδιο αμέσως παίρνει τρισδιάστατη μορφή και στη καρτέλα αριστερά εμφανίζονται επιλογές για την επεξεργασία του, όπως για παράδειγμα το βάθος της εξώθησης του στερεού και η κατεύθυνσή της.



Εικόνα 50: Εξώθηση σχεδίου

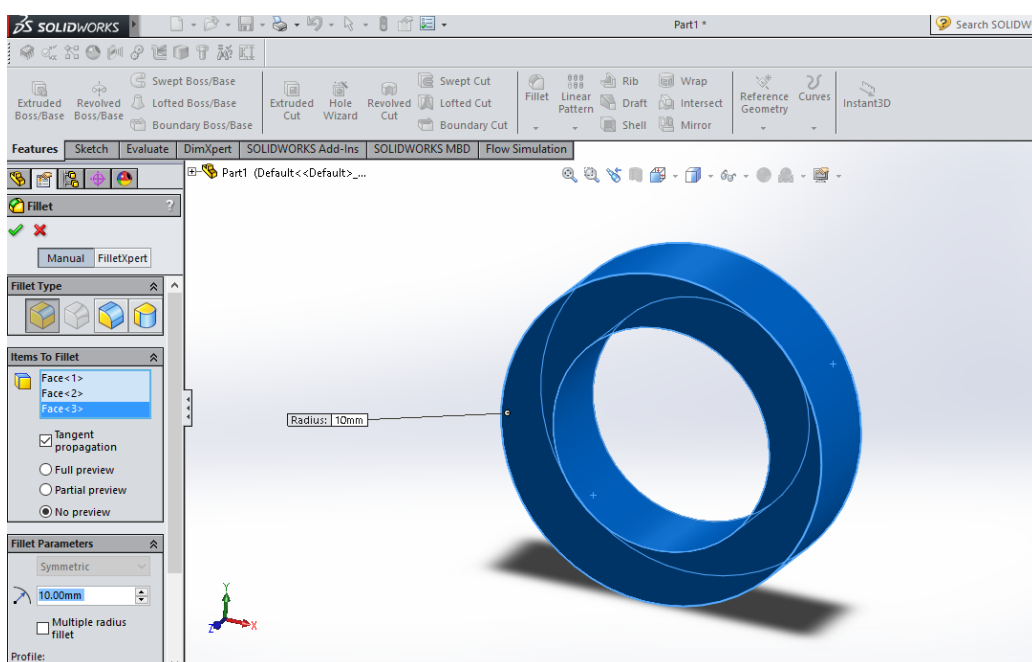
Στην ενότητα Direction 1 ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το βάθος της εξώθησης πληκτρολογώντας τη διάσταση που επιθυμεί στο κελί με το εικονίδιο . Η εξώθηση γίνεται κατά τον θετικό άξονα z. Εάν ο χρήστης επιθυμεί την εξώθηση προς την αντίθετη πλευρά τότε πρέπει να επιλέξει το εικονίδιο  και την επιλογή Blind. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα της επιλογής Mid Plane, αντί για την εντολή Blind, με την οποία η εξώθηση ισομοιράζεται και στις δυο κατευθύνσεις (**Εικόνα 51**).



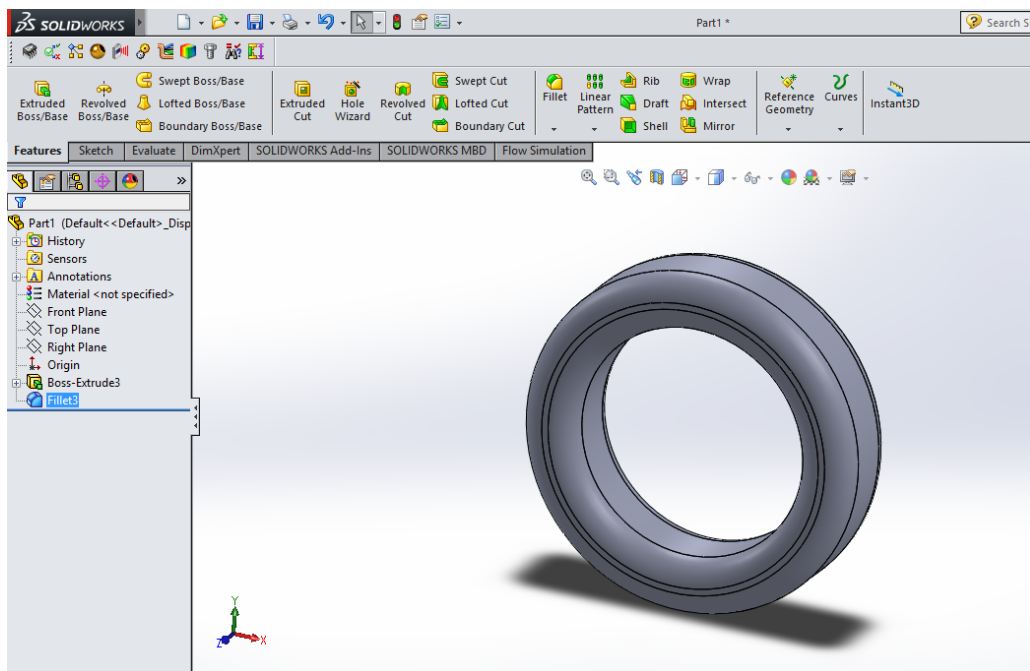
Εικόνα 51: Εντολή Mid Plane

2.3.10.3 Εντολή Fillet

Η εντολή αυτή προσδίδει καμυλότητα εσωτερικά ή εξωτερικά σε μία ή περισσότερες επιφάνειες του τρισδιάστατου αντικειμένου. Ο χρήστης επιλέγει τις επιφάνειες οι οποίες «μαρκάρονται» με μπλε χρώμα και μπορεί να επιλέξει την ακτίνα της καμυλότητας στην ενότητα Fillet Parameters όπως φαίνεται στην **Εικόνα 52**. Το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην **Εικόνα 53**.



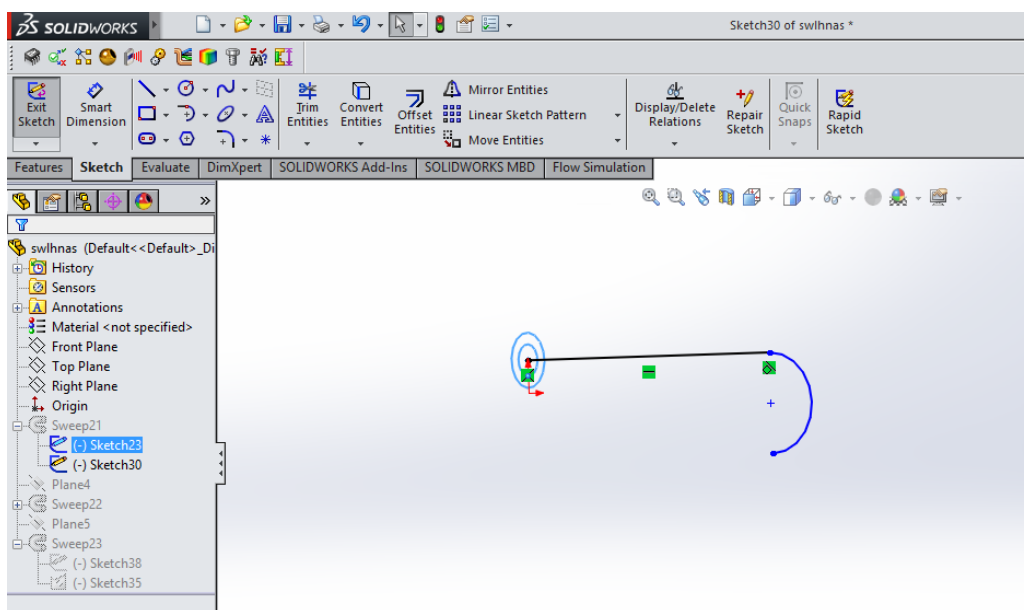
Εικόνα 52: Εντολή Fillet



Εικόνα 53: Εντολή Fillet

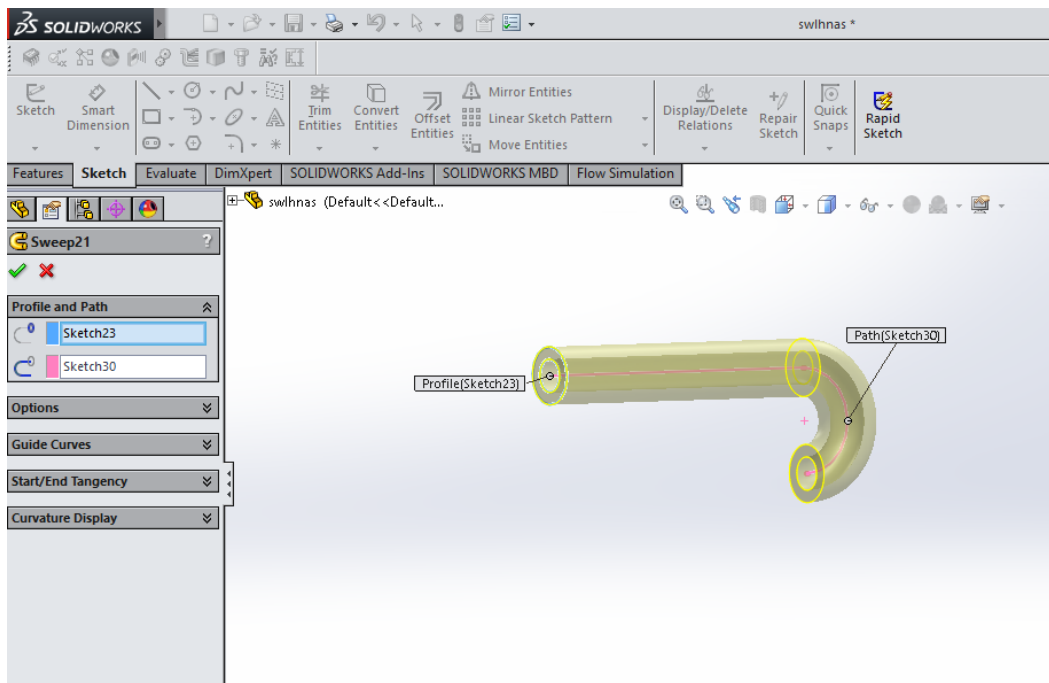
2.3.10.4 Εντολή Swept Boss/ Base  Swept Boss/Base

Η εντολή αυτή δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να σχεδιάσει στις 3 διαστάσεις καμπύλα τμήματα σε μορφή spline. Ο χρήστης πρέπει αρχικά να σχεδιάσει έναν κυκλικό δακτύλιο και στο κάθετο επίπεδο μια ευθεία και εφαπτόμενο κυκλικό τόξο όπως φαίνεται στην Εικόνα 54.



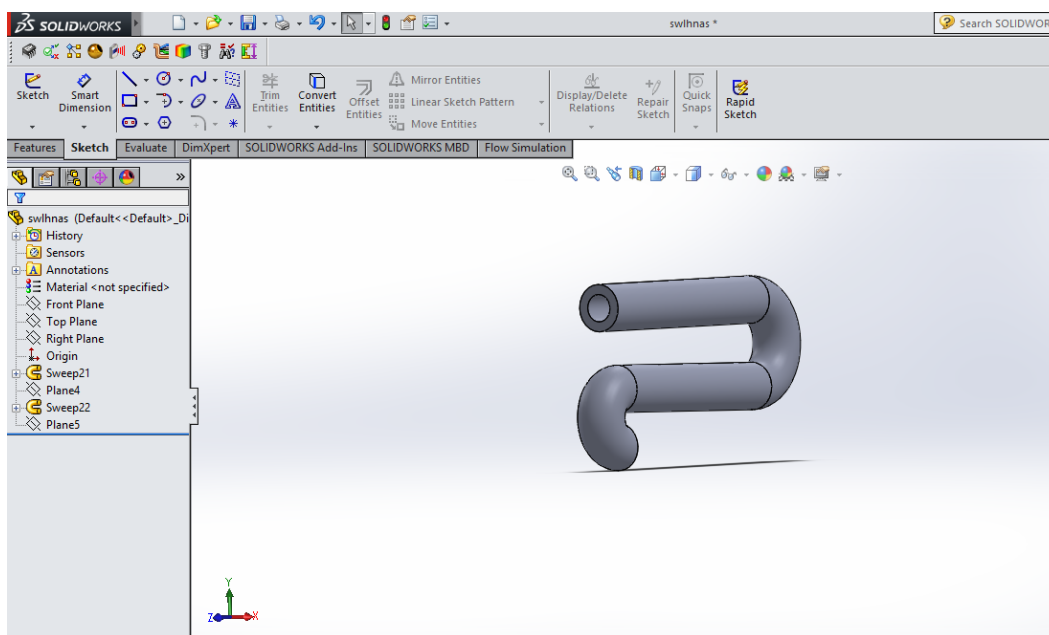
Εικόνα 54: Εντολή Swept Boss

Στη συνέχεια ακολουθώντας την ίδια λογική σχεδιάζει όσα ίδια τμήματα του είναι απαραίτητα. Πατώντας την εντολή Sweep Boss στα αριστερά, στην καρτέλα, πρέπει να επιλέξει στο πρώτο εικονίδιο τον κυκλικό δίσκο που αποτελεί την αρχή του σχεδίου και στο δεύτερο το ευθύγραμμο τμήμα με το κυκλικό τόξο όπως φαίνεται στην **Εικόνα 55**.



Εικόνα 55: Εντολή Sweep Boss

Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην **Εικόνα 56**.



Εικόνα 56: Εντολή Sweep Boss

2.4 Δημιουργία των μοντέλων στο SOLIDWORKS

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία των μοντέλων στο πρόγραμμα. Σε κάθε μοντέλο τα υλικά έχουν αποδοθεί με συγκεκριμένο χρώμα. Το χρώμα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε υλικού παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Υλικό	Χρώμα	$k \left(\frac{W}{mk}\right)$	$\rho \left(\frac{kg}{m^3}\right)$	$c_p \left(\frac{J}{kgK}\right)$
Τούβλο (Brick)	Κόκκινο	0.62	1700	800
Υαλοβάμβακας (Glasswool)	Κίτρινο	0.04	200	670
Σκυρόδεμα (Heavyweight)	Μπορντό	1.13	2000	1000
Ελαφροσκυρόδεμα (Lightweight)	Γκρι	0.38	1200	1000
Γυαλί (Glass)	Διάφανο	1.05	2600	670

Πίνακας 1: Θερμικές ιδιότητες των υλικών των μοντέλων

2.4.1 Μοντέλο με απλό τοίχο

2.4.1.1 Διαστάσεις του μοντέλου

Πρόκειται για το σχεδιασμό απλής μορφής οικήματος που αποτελείται από το κλασικό κτιριακό κέλυφος με 4 τοίχους, οροφή και δάπεδο. Οι τοίχοι αποτελούνται από μια επιφάνεια 7cm με τούβλα, ενδιάμεσα μια επιφάνεια από υαλοβάμβακα 6cm και άλλη μια επιφάνεια 7 cm. Η οροφή, συνολικής επιφάνειας 5m x 5m ,αποτελείται από μια επιφάνεια ελαφριού σκυροδέματος 7cm, μια επιφάνεια με υαλοβάμβακα 6cm και μια επιφάνεια από τούβλα 7cm από την εξωτερική προς την εσωτερική πλευρά με τη σειρά που αναφέρθηκαν. Αντίθετα το δάπεδο αποτελείται μόνο από μια στρώση σκυροδέματος πάχους 40cm. Ο κάθε τοίχος έχει μήκος 5m και ύψος 3m. Επιπλέον στην «ένωση» των τοίχων στις τέσσερις γωνίες του σπιτιού καθ' όλο το ύψος έχουν τοποθετηθεί κολώνες από σκυρόδεμα πάχους 20cm. Στον ανατολικό και δυτικό τοίχο του σπιτιού έχουν σχεδιαστεί από ένα παράθυρο μήκους 2m και ύψους 1,5m.

2.4.1.2 Σχεδίαση του μοντέλου

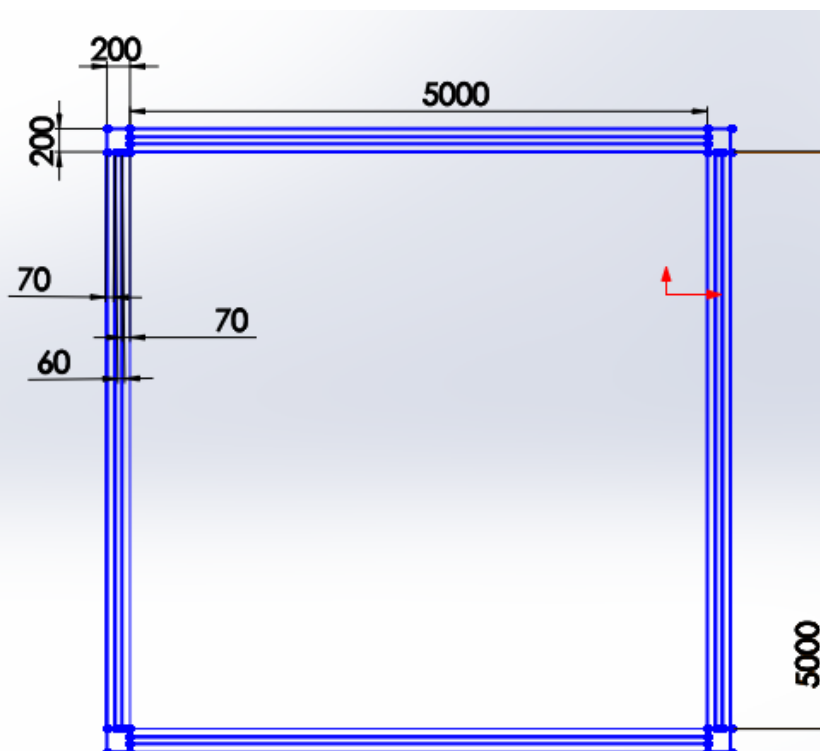
Το μοντέλο σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας τις εντολές Rectangle και Line που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Για τη δημιουργία του μοντέλου στο σχεδιαστικό τμήμα του προγράμματος, σχεδιάστηκε η κάτοψη του σπιτιού χωρίς να υπολογίζεται η οροφή και το δάπεδο όπως φαίνεται στην **Εικόνα 57**.

Το επίπεδο που επιλέχθηκε για το σχεδιασμό του σπιτιού είναι το Top Plane. Η σχεδίαση κατά βήμα ξεκίνησε αρχικά σχεδιάζοντας ένα παραλληλόγραμμο μήκους 5m και πλάτους 20cm με την εντολή Rectangle. Έπειτα για τον σχεδιασμό των στρωμάτων των διαφορετικών υλικών, χρησιμοποιώντας την εντολή Line, έγινε ο διαχωρισμός του ορθογωνίου σε τρία τμήματα πάχους 7cm, 6cm και 7cm αντίστοιχα.

Έπειτα σχεδιάστηκε στο δεξί άκρο του ορθογωνίου ένα τετράγωνο διαστάσεων 20x20cm, η εσωτερική ακμή του οποίου εφάπτεται στην εξωτερική ακμή του ορθογωνίου, το οποίο απεικονίζει τη μία από τις κολώνες στις γωνίες του σπιτιού.

Ακολουθώντας τα ίδια βήματα για τους υπόλοιπους τοίχους δημιουργήθηκε η τελική μορφή της κάτοψης.

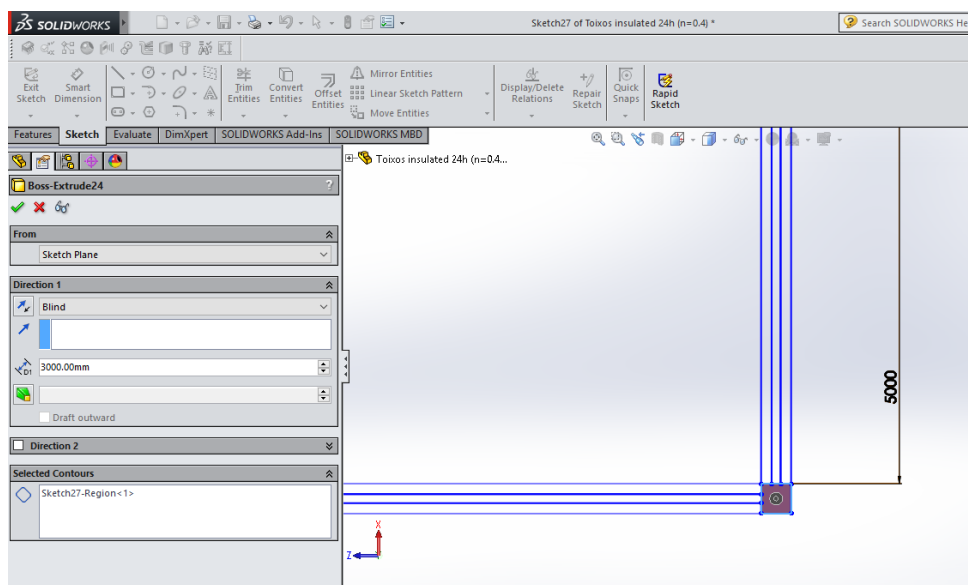


Εικόνα 57: Κάτοψη του σχεδίου του μοντέλου απλού τοίχου

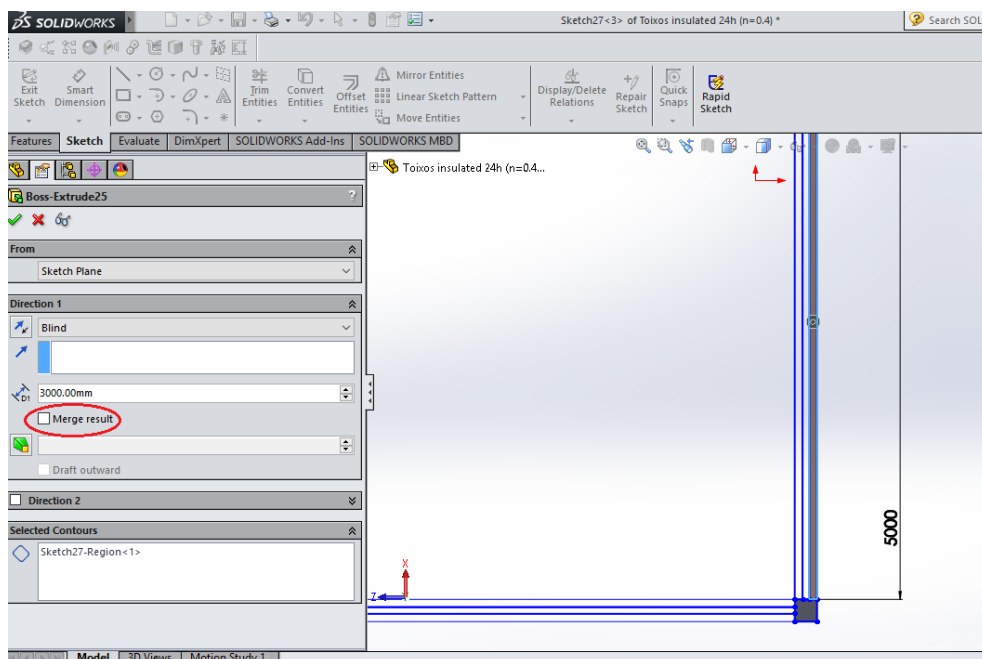
2.4.1.3 Παραγωγή στερεού σώματος του μοντέλου

Για την παραγωγή και εξώθηση του μοντέλου στις 3 διαστάσεις επιλέχθηκε η κάθε κλειστή επιφάνεια ξεχωριστά και έπειτα η εντολή Boss Extrude. Η κάθε εξώθηση έγινε για βάθος 3m, όσο δηλαδή είναι το ύψος του τοίχου (**Εικόνα 58, Εικόνα 59**).

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι κατά τη διαδικασία της εξώθησης κάθε επιφάνειας πρέπει να μην επιλεγεί η εντολή Merge, ώστε να διακρίνεται η κάθε επιφάνεια ως ξεχωριστό σώμα.

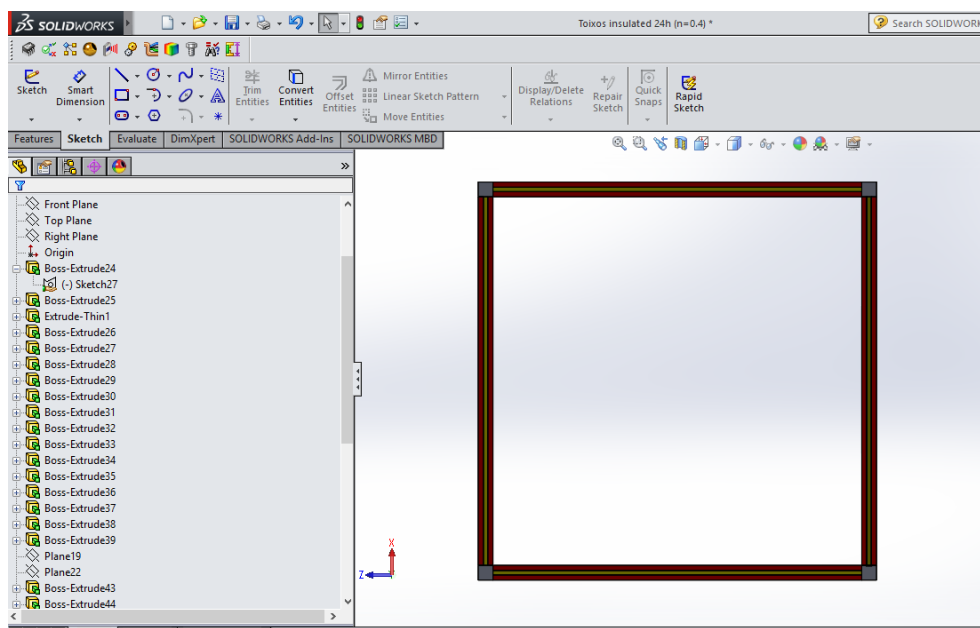


Εικόνα 58: Εξώθηση μοντέλου απλού τοίχου



Εικόνα 59: Εξώθηση μοντέλου απλού τοίχου

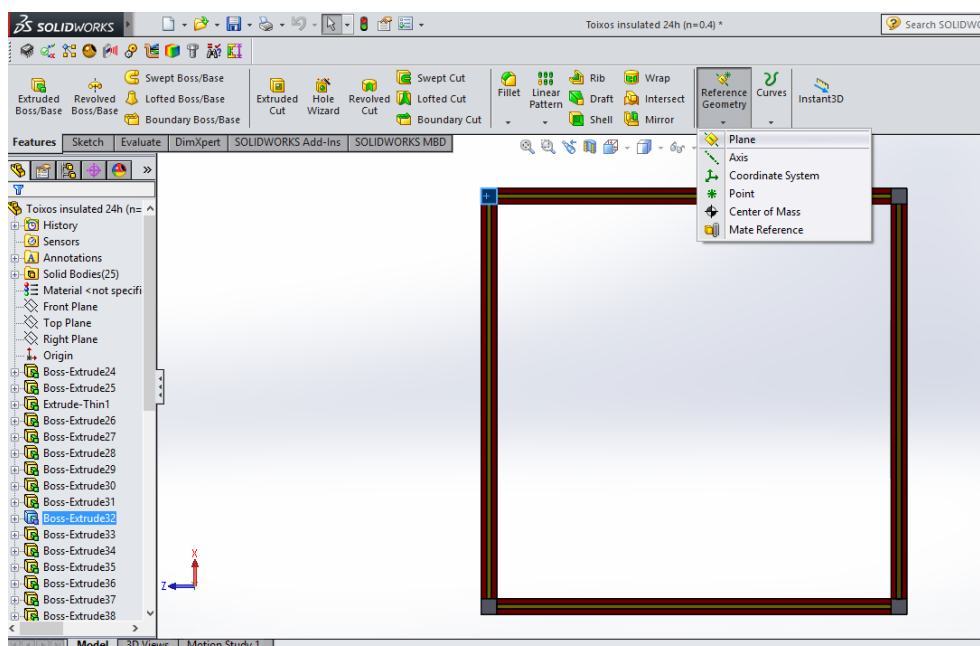
Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για όλες τις επιφάνειες το τελικό αποτέλεσμα της κάτοψης παρουσιάζεται στην **Εικόνα 60**.



Εικόνα 60: Μορφή του μοντέλου απλού τοίχου μετά την εξώθηση

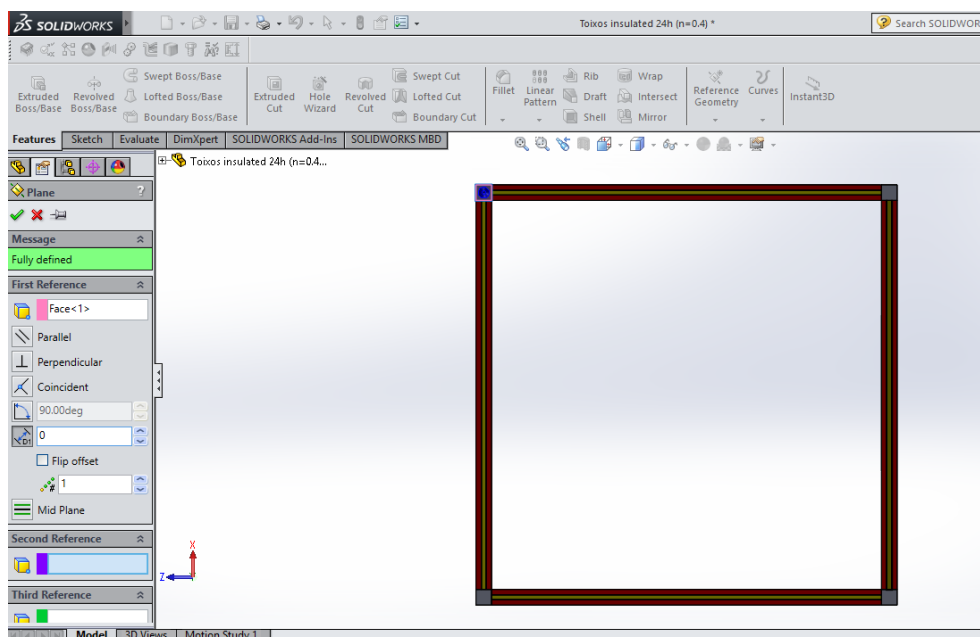
Για τη δημιουργία της οροφής και του δαπέδου ο σχεδιασμός πρέπει να γίνει σε νέο επίπεδο το οποίο θα εφάπτεται στην άνω πλευρά την κάτοψης και στην κάτω πλευρά της κάτοψης αντίστοιχα.

Για την επιλογή του επιπέδου για τη σχεδίαση της οροφής επιλέγεται μια επιφάνεια του μοντέλου στην οποία θα εφάπτεται το πεδίο όπως φαίνεται στην **Εικόνα 61**.



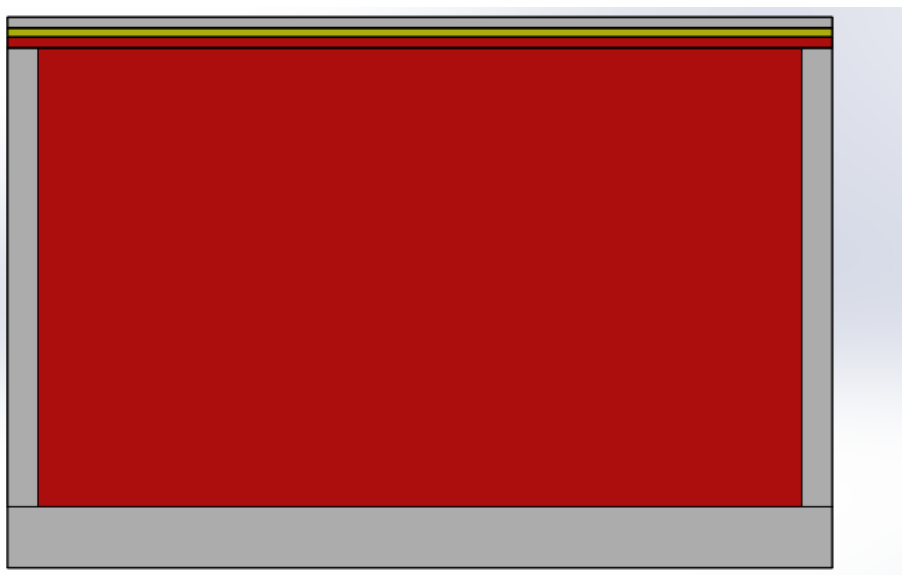
Εικόνα 61: Σχεδιασμός οροφής του μοντέλου απλού τοίχου

Για να εφάρπτεται το νέο επίπεδο στο υπάρχον μοντέλο πρέπει η απόσταση D1 να μηδενιστεί όπως φαίνεται στην **Εικόνα 62**.



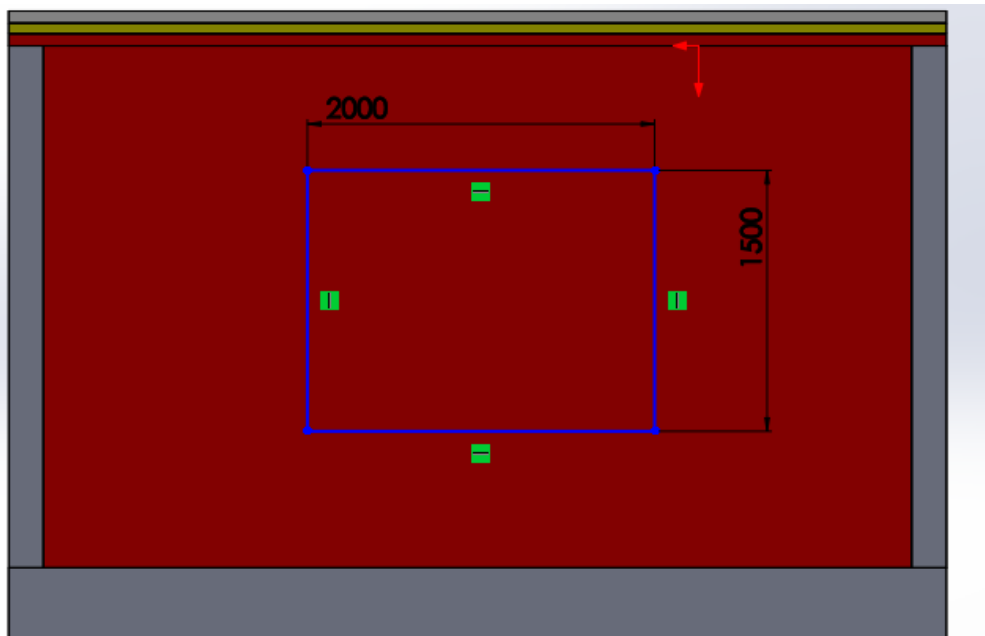
Εικόνα 62: Σχεδιασμός οροφής του μοντέλου απλού τοίχου

Έχοντας ορίσει το καινούριο επίπεδο σχεδιάστηκε με την εντολή Rectangle ένα τετράγωνο ίδιας επιφάνειας με το μοντέλο. Μετά το σχεδιασμό πραγματοποιείται η εξώθηση του σχεδίου και ολοκληρώνεται η δημιουργία της πρώτης επιφάνειας της οροφής. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο επιλέγοντας ξανά νέο επίπεδο δημιουργείται η δεύτερη επιφάνεια κ.ο.κ. Παρόμοια δημιουργείται και το δάπεδο του μοντέλου. Το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην **Εικόνα 63**.




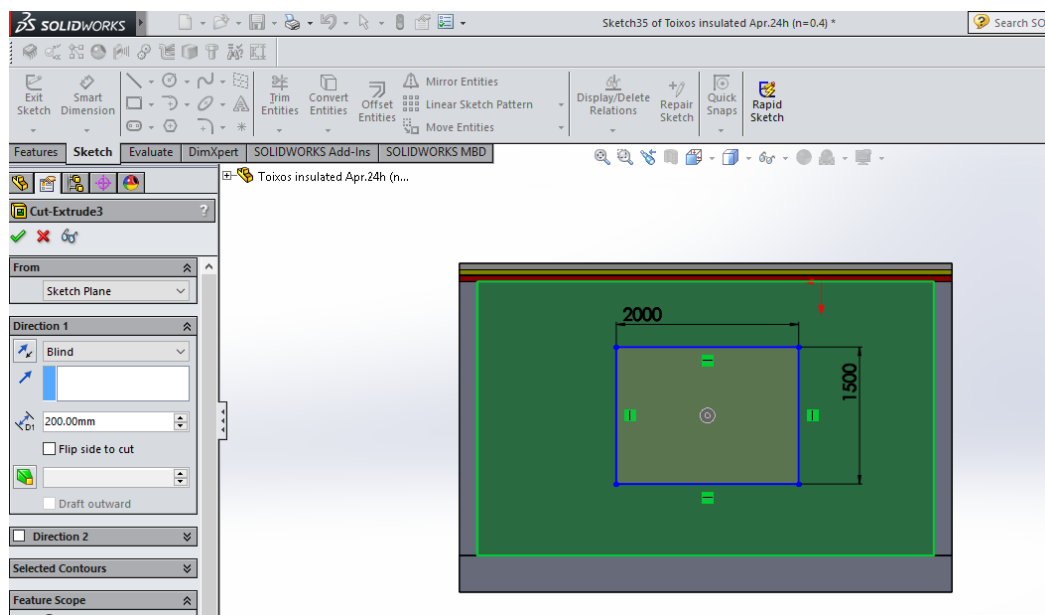
Εικόνα 63: Ολοκλήρωση οροφής του μοντέλου απλού τοίχου

Για την ολοκλήρωση του μοντέλου απομένει ο σχεδιασμός των παραθύρων του μοντέλου. Επιλέγοντας ένα νέο επίπεδο, με τον τρόπο που παρουσιάστηκε παραπάνω, σχεδιάζεται στον ανατολικό και με την ίδια διαδικασία στον δυτικό τοίχο του μοντέλου ένα ορθογώνιο στη μέση του τοίχου όπως φαίνεται στην **Εικόνα 64**.



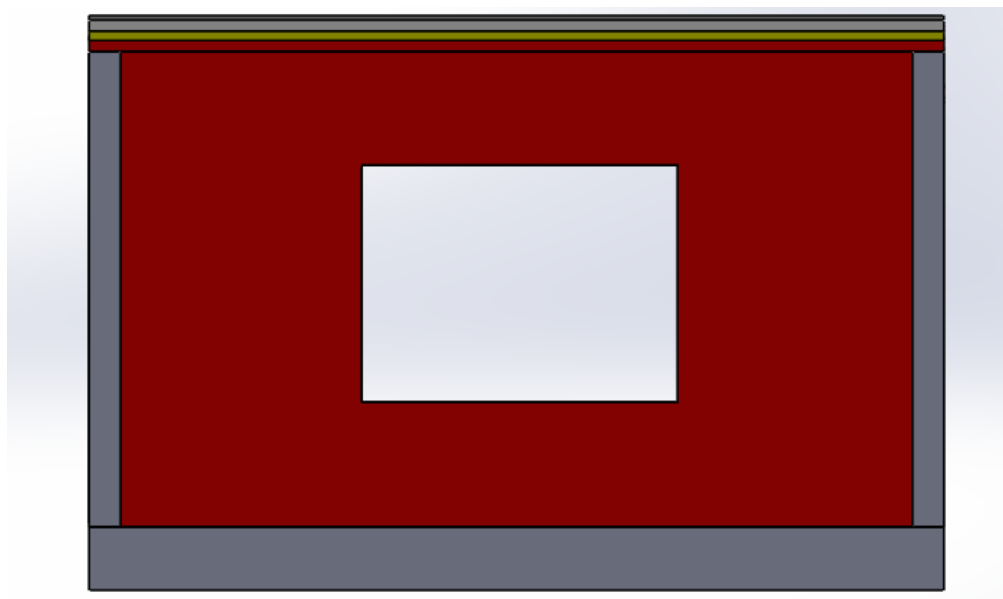
Εικόνα 64: Σχεδιασμός ναλοπίνακα στο μοντέλο απλού τοίχου

Επιλέγοντας το ορθογώνιο χρησιμοποιείται η εντολή Extruded Cut . Η συγκεκριμένη εντολή χρησιμοποιείται με τον ίδιο τρόπο με την εντολή Extruded Boss με τη διαφορά ότι αφαιρείται στερεό σώμα του σχήματος που επιλέχθηκε (**Εικόνα 65**).



Εικόνα 65: Σχεδιασμός ναλοπίνακα στο μοντέλο απλού τοίχου


Μετά τη διαδικασία αυτή και στους δυο τοίχους του μοντέλου, το μοντέλο παίρνει τη μορφή που παρουσιάζεται στην **Εικόνα 66**.

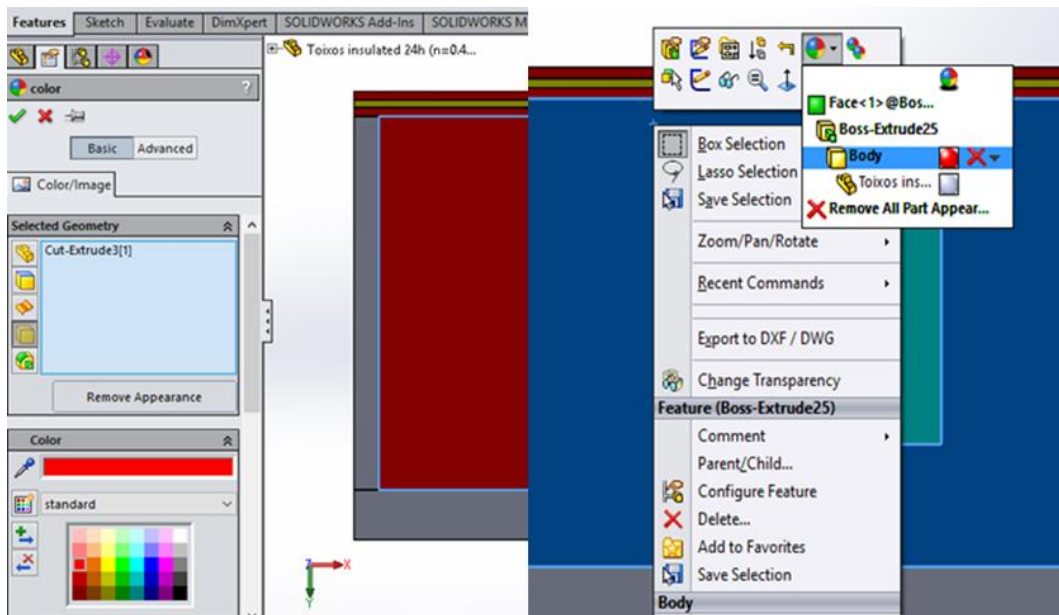


Εικόνα 66: Σχεδιασμός υαλοπίνακα στο μοντέλο απλού τοίχου


Για την τοποθέτηση των υαλοπινάκων θα χρησιμοποιηθεί ξανά η εντολή Extruded Boss. Ο σχεδιασμός θα γίνει στο ίδιο επίπεδο που σχεδιάστηκε προηγουμένως για τη δημιουργία του κενού. Λόγω του ότι ο υαλοπίνακας πρέπει να τοποθετηθεί στη μέση του πάχους του τοιχώματος, πρέπει να επιλεγεί αντί της εντολής Sketch Plane η εντολή Offset Plane μαζί με την εντολή Blind. Η εντολή αυτή ουσιαστικά μεταφέρει το αρχικό σημείο εξώθησης σε όση απόσταση επιθυμεί ο χρήστης από το επίπεδο σχεδίασης. Επιλέγοντας Offset Plane στα 9.75cm στην εντολή και συνυπολογίζοντας το βάθος εξώθησης του υαλοπίνακα 5mm, ώστε να βρεθεί στη μέση του τοιχώματος, τοποθετείται στο μοντέλο ο ένας υαλοπίνακας. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία τοποθετείται και ο δεύτερος υαλοπίνακας του μοντέλου.

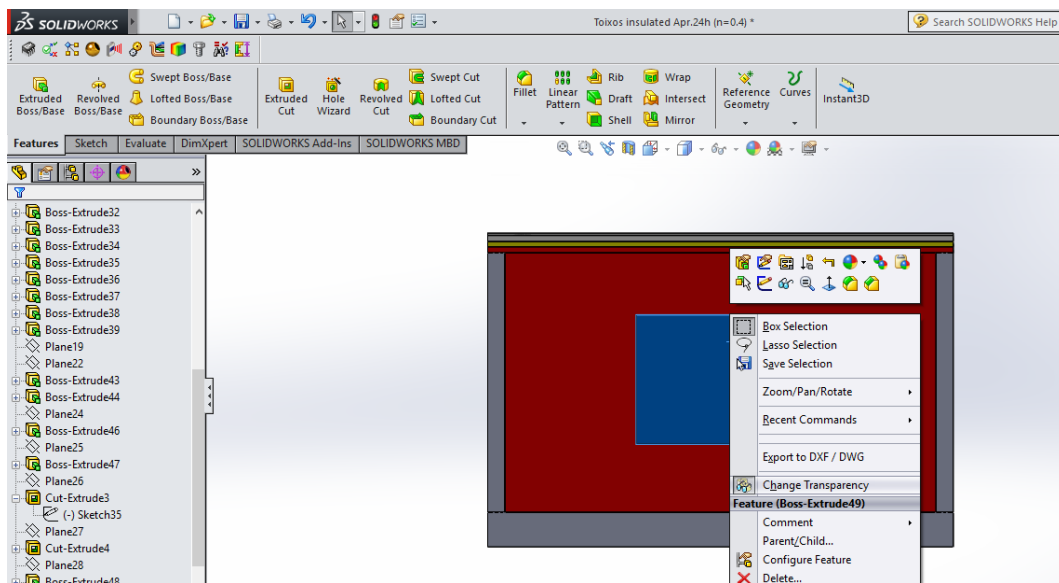
Για την καλύτερη κυκλοφορία του αέρα σχεδιάζονται στον βόρειο τοίχο του μοντέλου και στην οροφή 2 οπές, εκ των οποίων η μια στο βόρειο τοίχο χρησιμοποιείται για την εισαγωγή του αέρα ανακυκλοφορίας ενώ η δεύτερη στην οροφή για την εξαγωγή του.

Για την επιλογή των χρωμάτων σε κάθε τμήμα του μοντέλου επιλέγεται το κάθε τμήμα ξεχωριστά και πατώντας το σύμβολο Appearances  επιλέγεται το επιθυμητό χρώμα (**Εικόνα 67**).



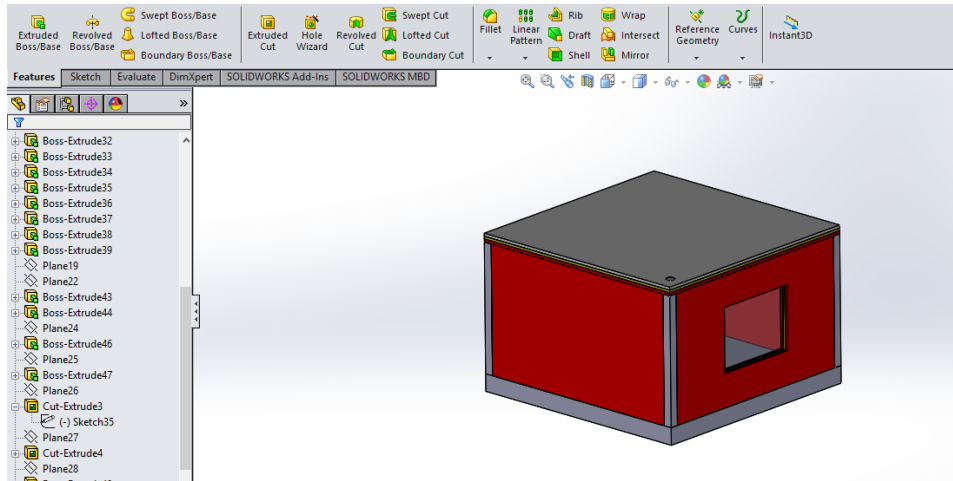
Εικόνα 67: Επιλογή χρωμάτων των υλικών κατασκευής

Για να αποδοθεί η διαφάνεια του υαλοπίνακα, επιλέγοντας τον υαλοπίνακα, επιλέγεται η εντολή Change Transparency  **Change Transparency** όπως φαίνεται στην **Εικόνα 68**.

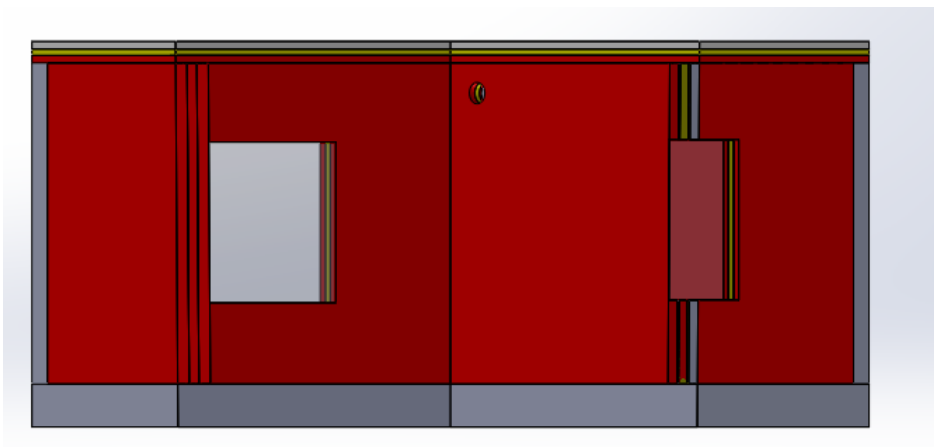


Εικόνα 68: Επιλογή διαφάνειας των υαλοπινάκων

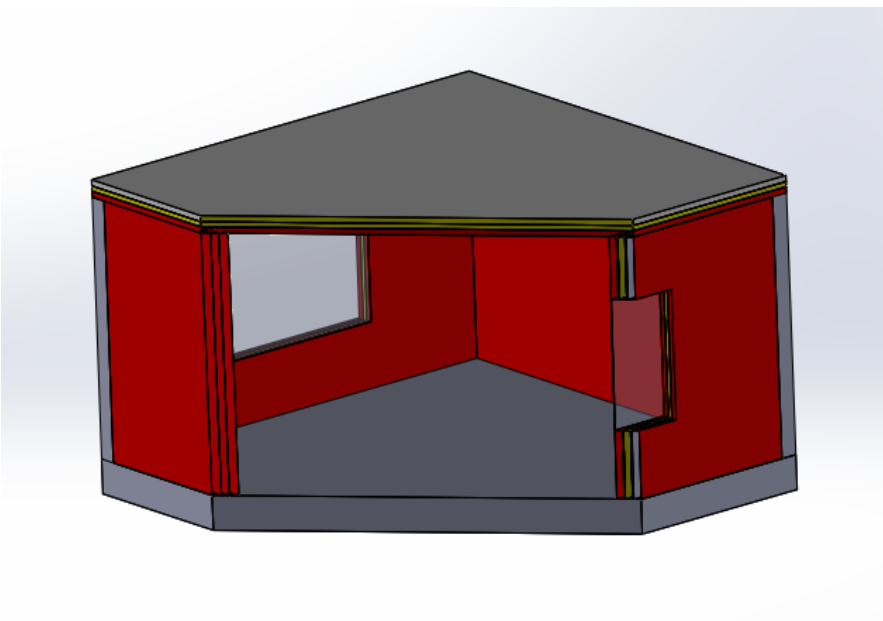
Η τελική μορφή του μοντέλου παρουσιάζεται στις εικόνες **69**, **70** και **71**.



Εικόνα 69: Τελική μορφή μοντέλου του «απλού» τοίχου



Εικόνα 70: Τελική μορφή μοντέλου του «απλού» τοίχου



Εικόνα 71: Τελική μορφή μοντέλου του «απλού» τοίχου

2.4.2 Μοντέλο με τον τοίχο Trombe

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η διαδικασία σχεδιασμού ενός ενεργειακού τοίχου Trombe με υαλοπίνακα.

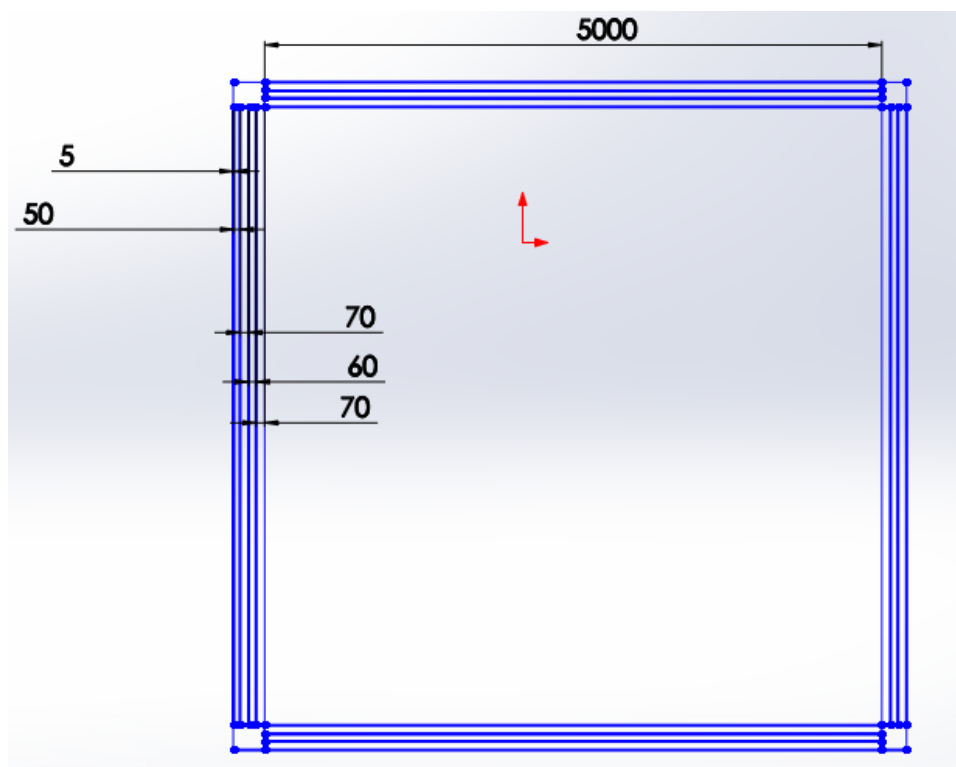
2.4.2.1 Διαστάσεις του μοντέλου

Σε αυτό το μοντέλο όλες οι διαστάσεις παραμένουν ίδιες με το μοντέλο του απλού τοίχου που αναπτύχθηκε. Η μόνη διαφορά με το προηγούμενο μοντέλο έγκειται στην εισαγωγή ενός υαλοπίνακα 5mm εξωτερικά του νότιου τοίχου, χωριζόμενα από 5cm κενό. Για το λόγο αυτό οι κολώνες στην πλευρά του νότιου τοίχου έχουν μήκος 25,5cm.

2.4.2.2 Σχεδίαση του μοντέλου

Η σχεδίαση του μοντέλου ξεκινά με τον ίδιο τρόπο με αυτόν της σχεδίασης του απλού μοντέλου, μόνο που προστίθεται σχεδιαστικά στο νότιο τοίχο το κενό και ο υαλοπίνακας.

Η κάτοψη του σχεδίου παρουσιάζεται στην **Εικόνα 72**.

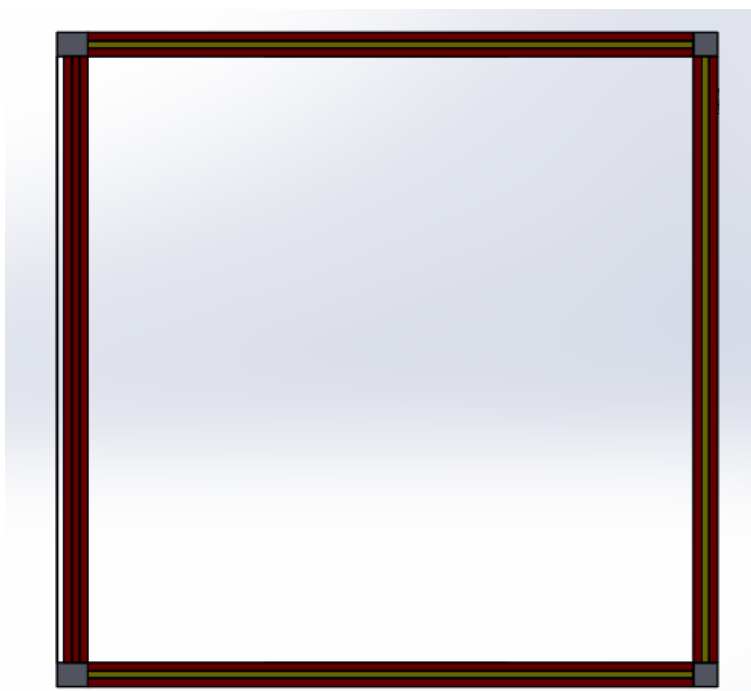


Εικόνα 72: Κάτοψη μοντέλου τοίχου Trombe

2.4.2.3 Παραγωγή στερεού σώματος του μοντέλου

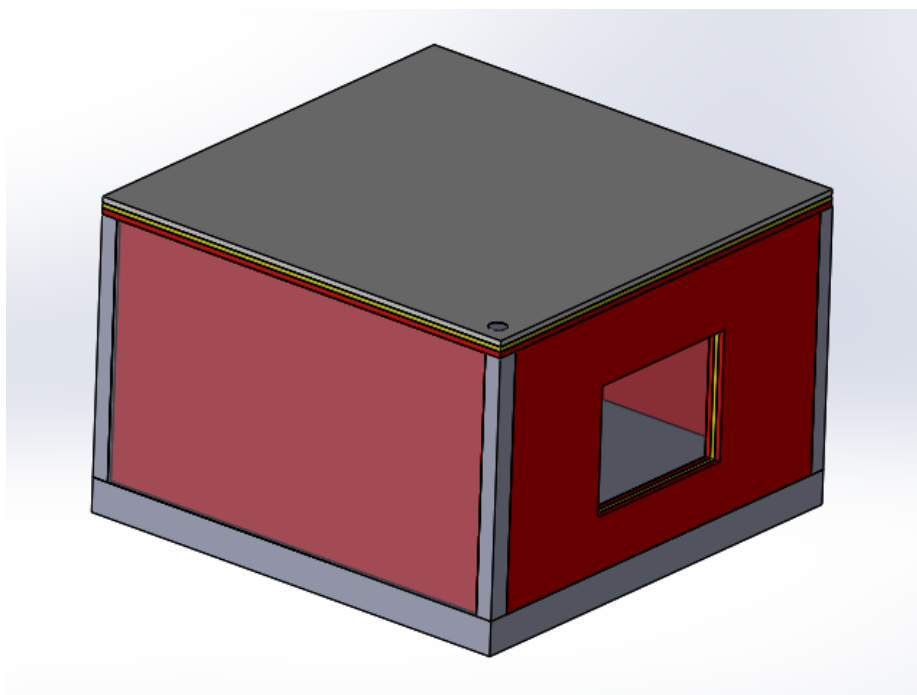
Ακολουθώντας ακριβώς την ίδια διαδικασία για την εξώθηση κάθε τμήματος του μοντέλου η κάτοψη παίρνει τη μορφή που απεικονίζεται στην **Εικόνα 73**. Μετά τη διαδικασία σχεδιασμού της οροφής και του δαπέδου, των υαλοπινάκων στον δυτικό και ανατολικό

τοίχο, τη δημιουργία των οπών ανακυκλοφορίας αέρα και την επιλογή χρωμάτων κάθε υλικού, το μοντέλο αποκτά τελική μορφή όπως φαίνεται στις **εικόνες 74, 75 και 76**.

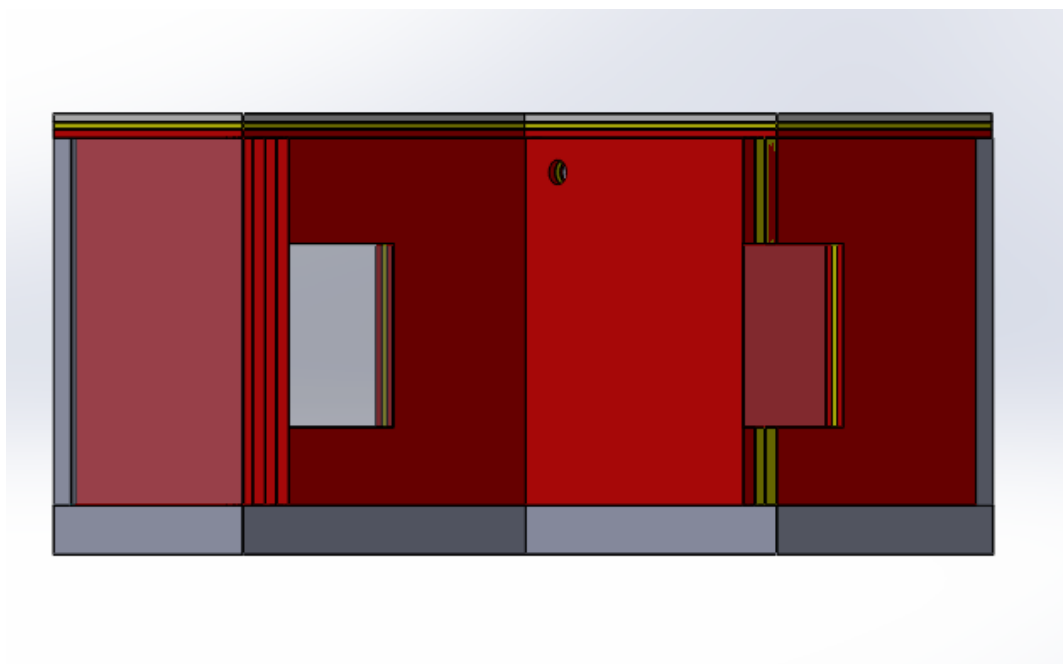


Εικόνα 73: Μορφή του μοντέλου Trombe μετά την εξόθιση

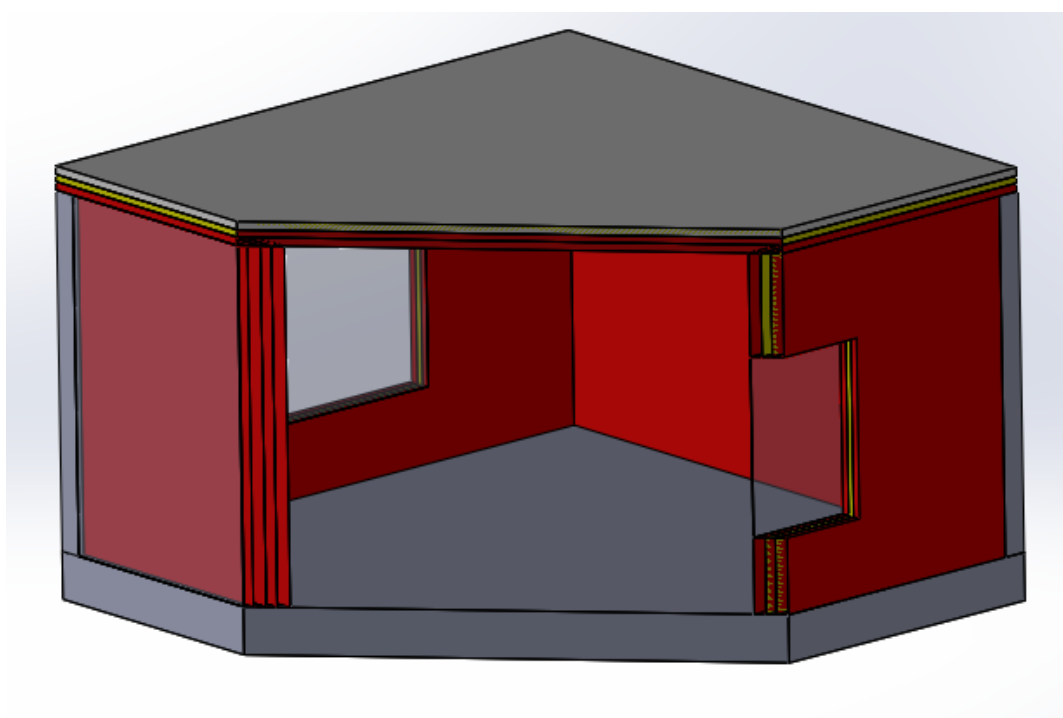
Στο μοντέλο αυτό, στο νότιο τοίχο, δεν υπάρχει επιφάνεια από υαλοβάμβακα παρά μόνο 3 «στρώματα» από τούβλο, ώστε να μην εμποδίζεται η απορρόφηση της θερμότητας από τον τοίχο και η μετάδοσή της στον εσωτερικό χώρο του σπιτιού.



Εικόνα 74: Τελική μορφή του μοντέλου κλασικού τοίχου Trombe



Εικόνα 75: Τελική μορφή του μοντέλου κλασικού τοίχου Trombe



Εικόνα 76: Τελική μορφή του μοντέλου κλασικού τοίχου Trombe

2.4.3 Μοντέλο με τον καινοτόμο τοίχο Trombe

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται ο σχεδιασμός ενός ενεργειακού τοίχου Trombe με καινοτόμο σχεδιασμό.

2.4.3.1 Διαστάσεις του μοντέλου

Το μοντέλο που έχει δημιουργηθεί περιλαμβάνει, εκτός των υαλοπινάκων στο δυτικό και ανατολικό τοίχο του σπιτιού, δυο υαλοπίνακες στο νότιο μέρος του σπιτιού. Ο πρώτος είναι επιφάνειας 5m x 3m και πάχους 5mm όπως και στο προηγούμενο μοντέλο, ενώ ο δεύτερος, πάχους 5mm, έχει επιφάνεια 2m x 1m. Οι υπόλοιπες διαστάσεις παραμένουν σταθερές.

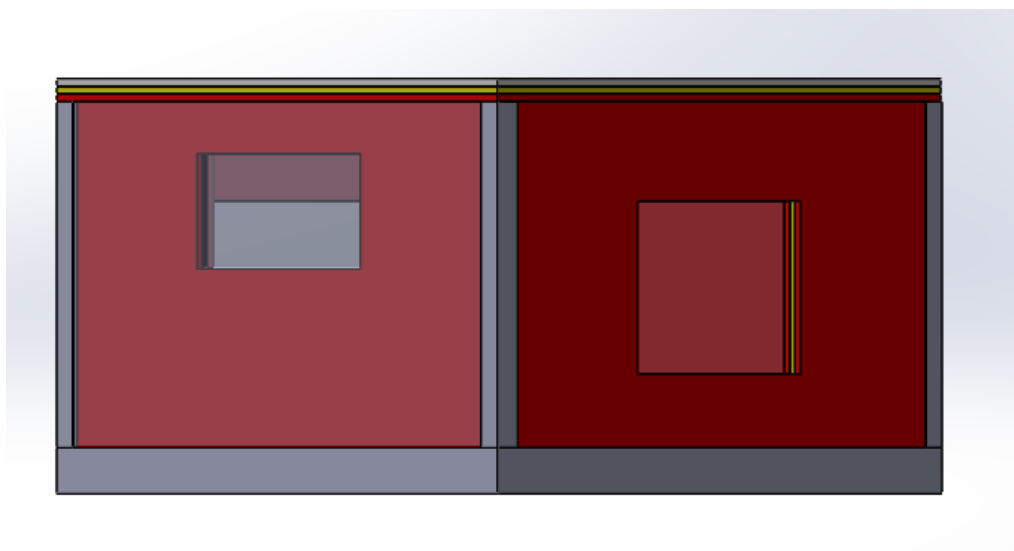
2.4.3.2 Σχεδίαση του μοντέλου

Ο αρχικός σχεδιασμός παραμένει ακριβώς ο ίδιος με το κλασικό μοντέλο του τοίχου Trombe όπως φαίνεται στην **Εικόνα 72**.

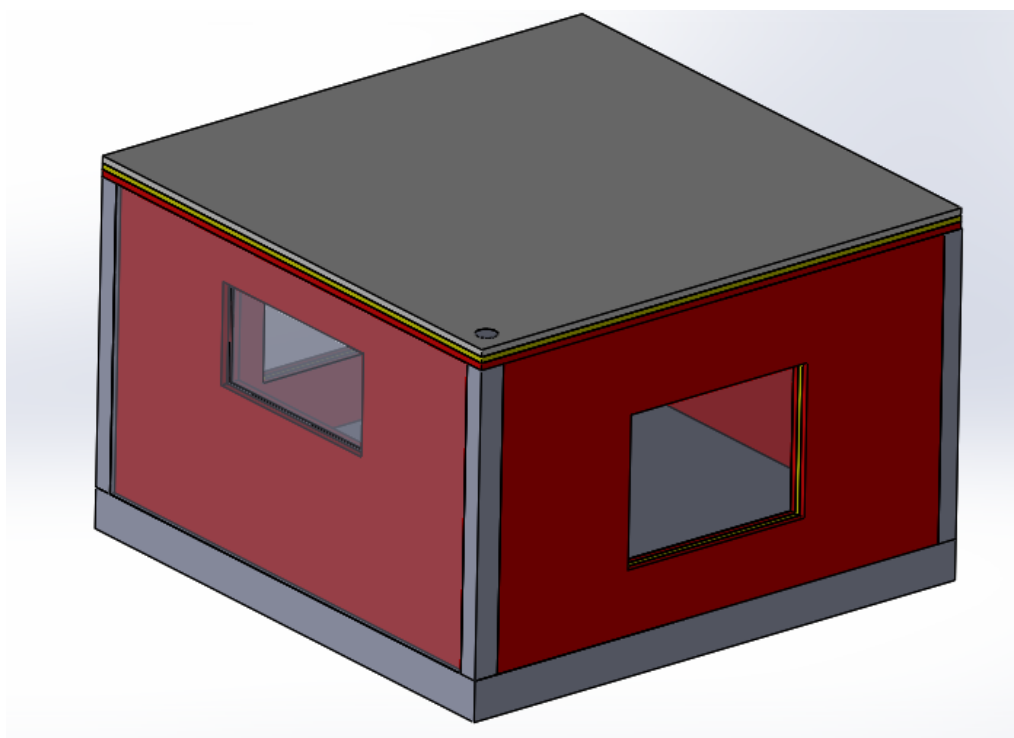
2.4.3.3 Παραγωγή στερεού σώματος του μοντέλου

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για την εξώθηση όλων των τμημάτων του μοντέλου, συμπεριλαμβανομένων της οροφής, του δαπέδου και των υαλοπινάκων έχει δημιουργηθεί ξανά το μοντέλο του κλασικού τοίχου Trombe. Αυτό που απομένει είναι ο σχεδιασμός του επιπλέον υαλοπίνακα στον εσωτερικό τοίχο του μεγάλου υαλοπίνακα στη νότια πλευρά του σπιτιού. Ο υαλοπίνακας θα σχεδιαστεί με την ίδια διαδικασία που έχει δειχθεί για τους υαλοπίνακες και στα προηγούμενα μοντέλα. Επιλέγοντας στο εσωτερικό του νότιου τοίχου το νέο επίπεδο για τη σχεδίαση του υαλοπίνακα, η σχεδίαση του θα ξεκινήσει από το μισό του τοίχου και πάνω, δηλαδή το κάτω μέρος του υαλοπίνακα θα βρίσκεται στα 1.5m. Η σχεδίαση επιλέχθηκε σε αυτό το σημείο ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη εκμετάλλευση των ηλιακών ακτινών και η πρόσπτωση τους στο εσωτερικό του σπιτιού.

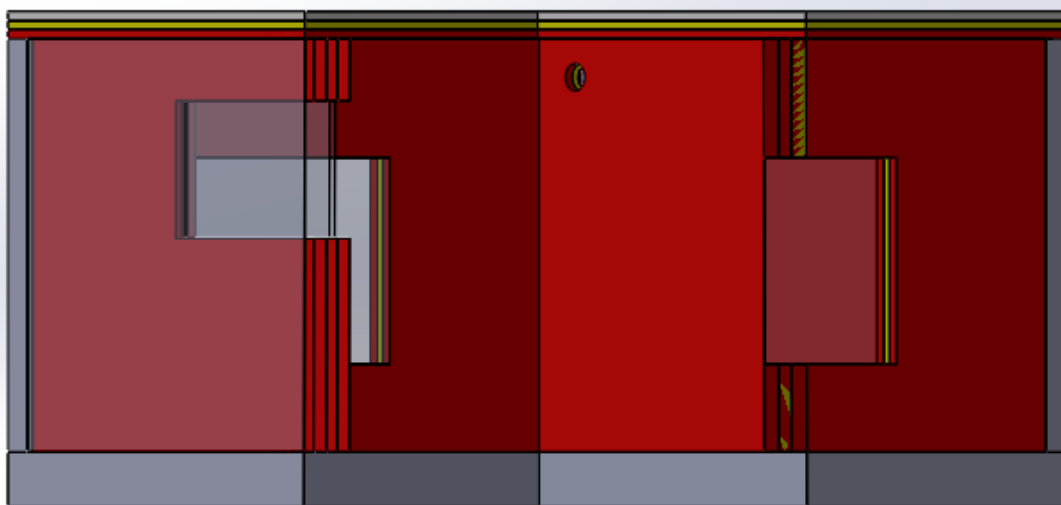
Μετά τη σχεδίαση η εξώθηση του υαλοπίνακα θα πραγματοποιηθεί, όπως ακριβώς αναλύθηκε και στα προηγούμενα μοντέλα, στη μέση του πάχους του τοίχου. Στη συνέχεια ακολουθεί σε εικόνες η τελική μορφή του μοντέλου.



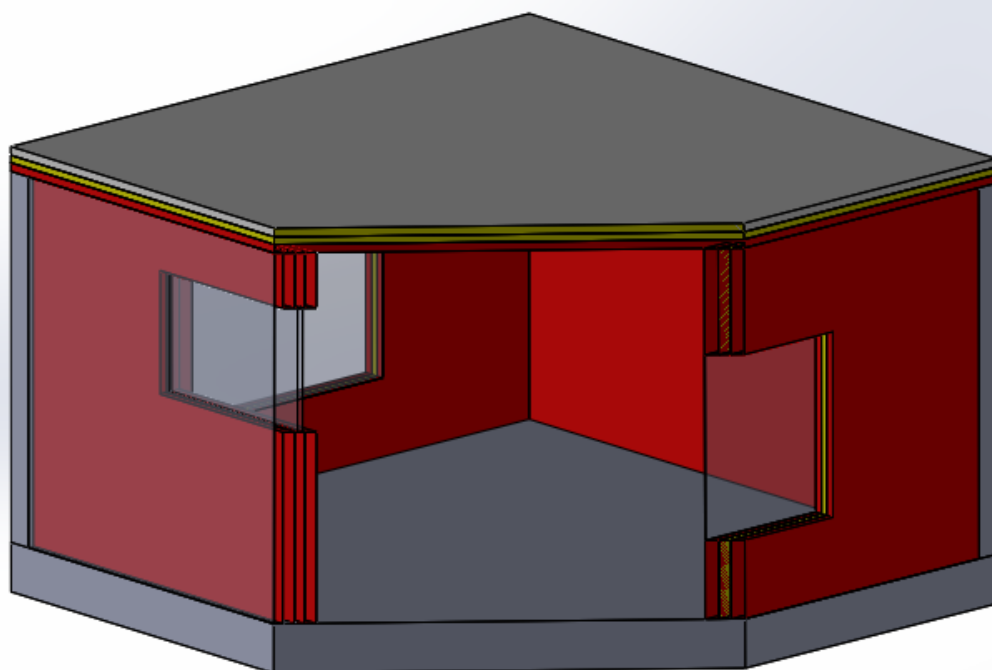
Εικόνα 77: Τελική μορφή του μοντέλου καινοτόμου τοίχου Trombe



Εικόνα 78: Τελική μορφή του μοντέλου καινοτόμου τοίχου Trombe



Εικόνα 79: Τελική μορφή του μοντέλου καινοτόμου τοίχου Trombe



Εικόνα 80: Τελική μορφή του μοντέλου καινοτόμου τοίχου Trombe

Συγκεντρωτικά οι διαστάσεις και των τριών μοντέλων παρατίθενται στον **Πίνακα 2**.


Δομικά Στοιχεία			Απλό Μονωμένο	Τοίχος Trombe	Καινοτόμος Τοίχος Trombe
Ύψος τοίχου			3m	3m	3m
Πλάτος τοίχου			5m	5m	5m
Πάχος επιφάνειας τοίχων	Βόρειος	Εξωτερικό Στρώμα τούβλων	7cm	7cm	7cm
		Ενδιάμεσο στρώμα υαλοβάμβακα	6cm	6cm	6cm
		Εσωτερικό στρώμα τούβλων	7cm	7cm	7cm
	Ανατολικός	Εξωτερικό Στρώμα τούβλων	7cm	7cm	7cm
		Ενδιάμεσο στρώμα υαλοβάμβακα	6cm	6cm	6cm
		Εσωτερικό στρώμα τούβλων	7cm	7cm	7cm
	Δυτικός	Εξωτερικό Στρώμα τούβλων	7cm	7cm	7cm
		Ενδιάμεσο στρώμα υαλοβάμβακα	6cm	6cm	6cm
		Εσωτερικό στρώμα τούβλων	7cm	7cm	7cm
	Νότιος	Στρώμα τούβλων	20cm	20cm	20cm
Υαλοπίνακας	Ανατολικός		2m x 1.5m	2m x 1.5m	2m x 1.5m
	Δυτικός		2m x 1.5m	2m x 1.5m	2m x 1.5m
	Νότιος		-	-	2m x 1.5m
Οροφή			5m x 5m	5m x 5m	5m x 5m

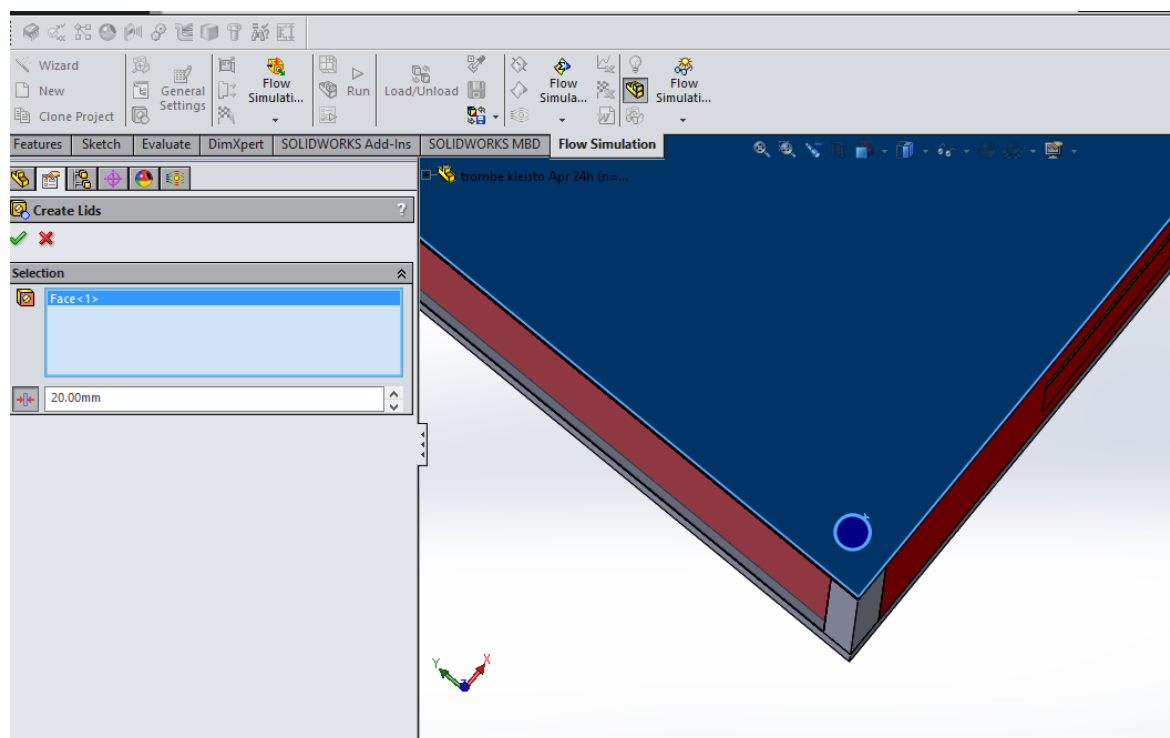
Πίνακας 2: Διαστάσεις των μοντέλων

2.5 Προσομοίωση των μοντέλων στο SOLIDWORKS


Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί η διαδικασία της προσομοίωσης του μοντέλου στις συνθήκες που θα οριστούν, μελετώντας τη συμπεριφορά του ρευστού- αέρα στην παρούσα περίπτωση- σε θερμικό επίπεδο.

Για την εκκίνηση της διαδικασίας της προσομοίωσης πρέπει το μοντέλο να είναι απόλυτα στεγανό, να μην υπάρχουν δηλαδή «ανοίγματα» στο μοντέλο, ώστε να δημιουργείται ένας κλειστός όγκος ελέγχου απαραίτητος για τη μελέτη του ρευστού στο μοντέλο. Για τον λόγο αυτό τοποθετούνται 2 τάπες σε κάθε μοντέλο, μία σε κάθε άνοιγμα ανακυκλοφορίας

του αέρα, με την εντολή Create Lids , στην καρτέλα του Flow Simulation όπως φαίνεται στην **Εικόνα 81**. Ο χρήστης επιλέγει την επιφάνεια για την τοποθέτηση της τάπας καθώς και το πάχος της.



Εικόνα 81: Εντολή Create Lids

Κατά την εκκίνηση της προσομοίωσης ο χρήστης αρχικά εισάγει την καρτέλα Flow Simulation από την ενότητα Add ins του προγράμματος, η οποία βρίσκεται στην πρώτη μπάρα του προγράμματος στο εικονίδιο .

Στον **Πίνακα 3** παρουσιάζονται οι συνθήκες στις οποίες λειτουργούν και τα τρία μοντέλα.

Παράμετροι	Τιμές
Ρυθμός εναλλαγής αέρα	2.88 εναλλαγές/ώρα
α_c (συντελεστής απορρόφησης γυαλιού)	0.90
ϵ_c (συντελεστής εκπομπής γυαλιού)	0.90
α_w (συντελεστής απορρόφησης τοίχου)	0.80
ϵ_w (συντελεστής εκπομπής τοίχου)	0.80
h_{out} (συντελεστής συναγωγής θερμότητας)	10W/m ² K
Αιθριότητα (ν)	60%
Γεωγραφικό πλάτος Αθήνας (ϕ)	38°
Έδαφος	Αδιαβατικό
Χρόνος	Ηλιακός

Πίνακας 3: Συνθήκες λειτουργίας μοντέλων

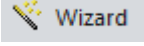
Κατά την προσομοίωση στις συνθήκες που αναφέρθηκαν, μελετάται το πώς επηρεάζεται θερμικά το κάθε μοντέλο σε διαφορετικούς μήνες. Οι μήνες για τους οποίους έγιναν οι προσομοιώσεις αποτελούν τους χειμερινούς- όπου υπάρχει και η μεγαλύτερη ανάγκη για θέρμανση στην Ελλάδα- από Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο. Η κάθε προσομοίωση έγινε για μελέτη 7 ημερών από την 18^η έως την 24^η ημέρα κάθε μήνα.

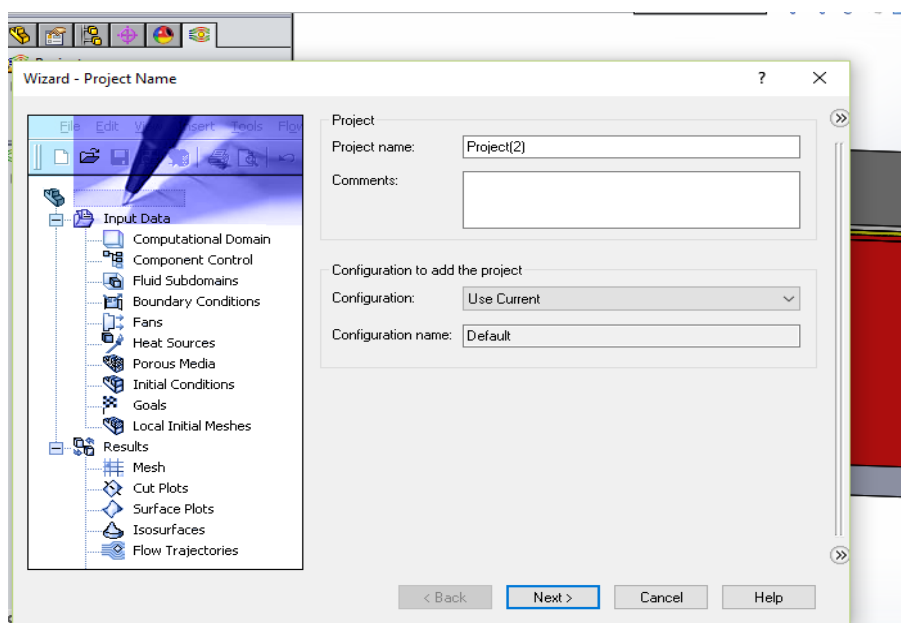
Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι οι συνθήκες του περιβάλλοντος δεν παραμένουν σταθερές αλλά μεταβάλλονται σύμφωνα με την εξίσωση 1. Τα δεδομένα των θερμοκρασιών για κάθε μήνα προέρχονται από το βιβλίο του Καθηγητή Κ. Αντωνόπουλου με τίτλο «Κλιματισμός» [29].

Εξίσωση μεταβολής θερμοκρασίας περιβάλλοντος

$$T_{amb} = T_{average} + \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{2}\right) * \cos \frac{2 * \pi * (t - t_{max} * 3600)}{24 * 3600}, \quad (1)$$

όπου T_{amb} η θερμοκρασία περιβάλλοντος, $T_{average}$ η μέση τιμή των θερμοκρασιών κάθε μήνα, T_{max} η μέγιστη θερμοκρασία κάθε μήνα, T_{min} η ελάχιστη θερμοκρασία κάθε μήνα, t η ώρα της ημέρας σε second και t_{max} η ώρα της ημέρας που παρουσιάζεται η μέγιστη θερμοκρασία κάθε μήνα σε second.

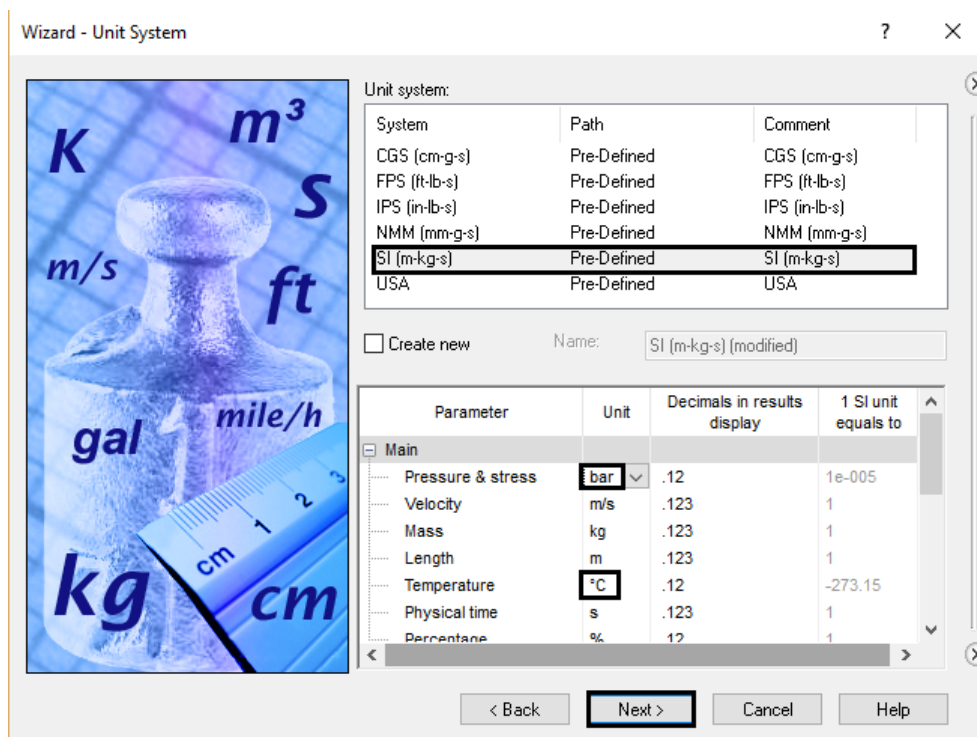
Για τον προσδιορισμό των συνθηκών λειτουργίας και των υλικών του μοντέλου ο χρήστης επιλέγει αρχικά την εντολή  Wizard, δίνει το όνομα που επιθυμεί στο σχέδιο αυτό και συνεχίζει πατώντας το πλήκτρο Next όπως παρουσιάζεται στην **Εικόνα 82**.



Εικόνα 82: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης

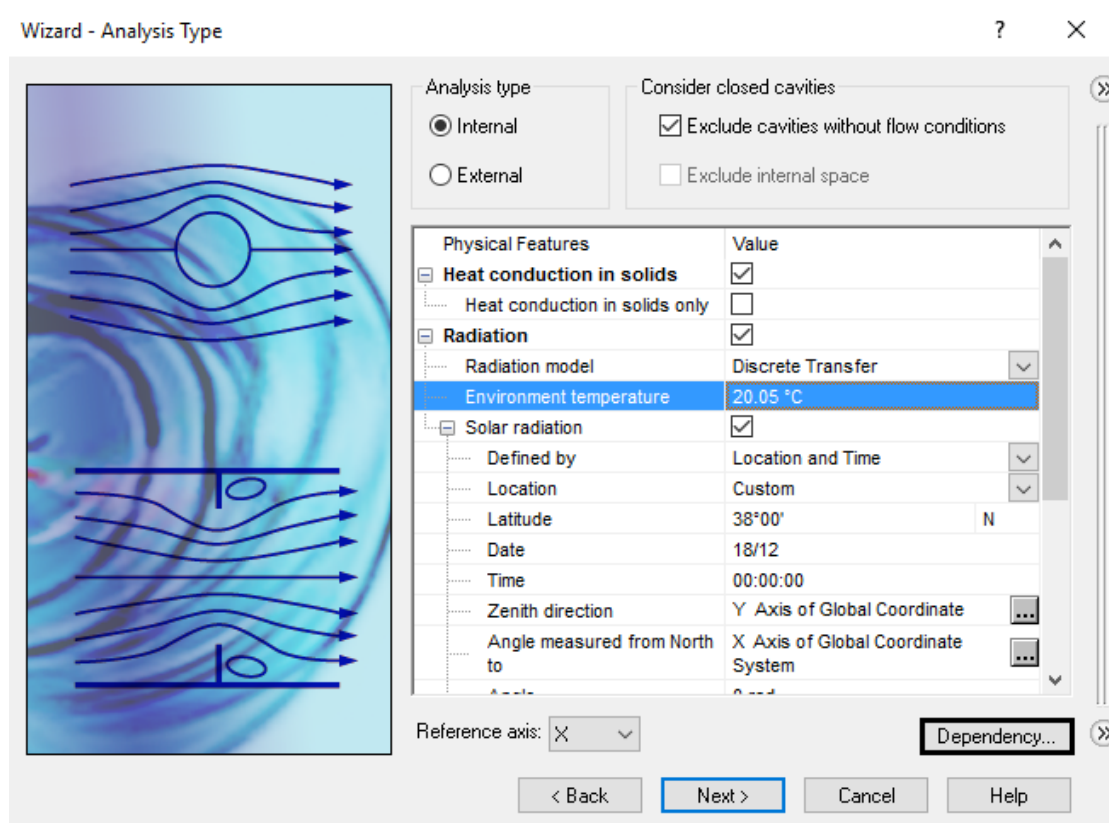
Έπειτα κάνει τις απαραίτητες αλλαγές στις μονάδες μέτρησης των μεγεθών που χρησιμοποιεί και ορίζει μετρητικό σύστημα (εδώ είναι προεπιλεγμένο το μετρητικό σύστημα S.I)

Εικόνα 83.

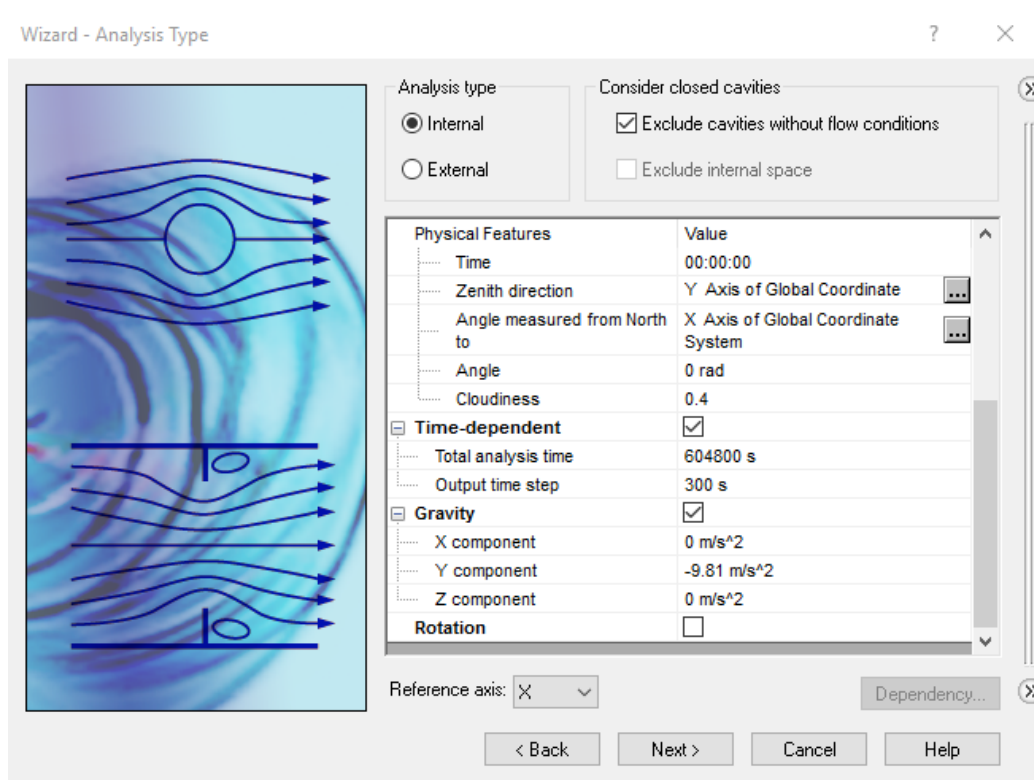


Εικόνα 83: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης

Στην επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγει τα Heat conductions in solids αφού παρέχεται αγωγή θερμότητας στο στερεό, Radiation (ακτινοβολία) καθώς και Solar Radiation (ηλιακή ακτινοβολία), Time dependent (χρονικά εξαρτώμενο σύστημα) και Gravity (βαρύτητα). Πιο συγκεκριμένα, στην επιλογή Radiation, η επιλογή Environment temperature δεν περιλαμβάνει μια συγκεκριμένη θερμοκρασία καθώς μεταβάλλεται ανά ημέρα. Για το λόγο αυτό στην επιλογή Dependency θα οριστεί η εξίσωση 1 μέσω της επιλογής Formula definition χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα κλιματολογικά δεδομένα για τον μήνα που μελετάται. Στην επιλογή Solar Radiation ορίζονται το γεωγραφικό πλάτος, ο ηλιακός χρόνος μέτρησης, η ημερομηνία έναρξης της προσομοίωσης, ο άξονας της γωνίας ζενίθ (θ_z) καθώς και ο συντελεστής αιθριότητας σύμφωνα με τον **Πίνακα 3**. Προχωρώντας στην επιλογή Time dependent ορίζονται ο συνολικός χρόνος της προσομοίωσης (Total Analysis Time) και το χρονικό βήμα της εξέτασης της προσομοίωσης (Output Time Step). Τέλος στην επιλογή Gravity επιλέγεται ο άξονας της βαρύτητας. Η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται στην **Εικόνα 84** και **Εικόνα 85**.

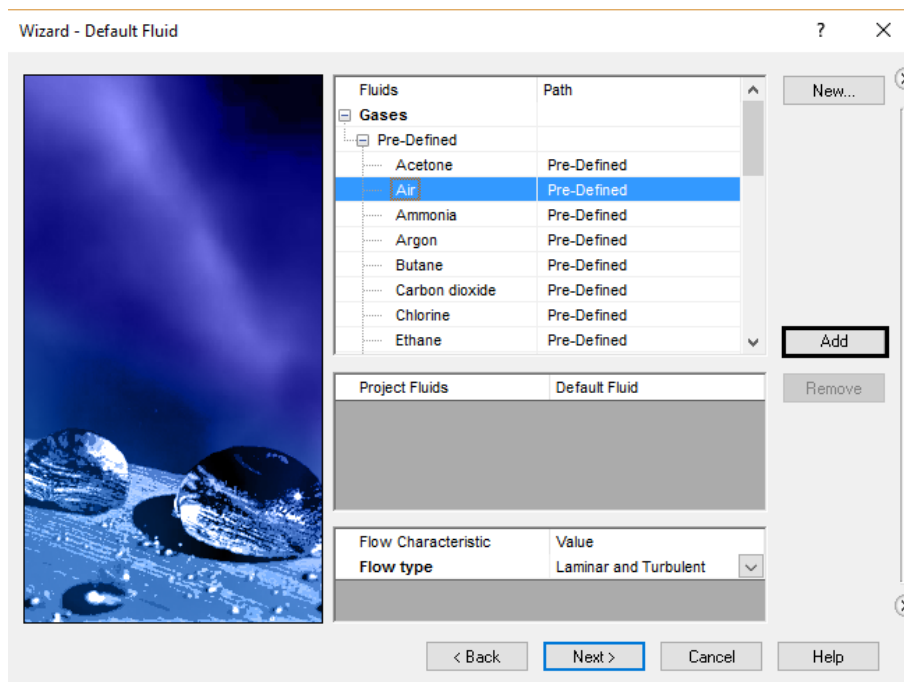


Εικόνα 84: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης



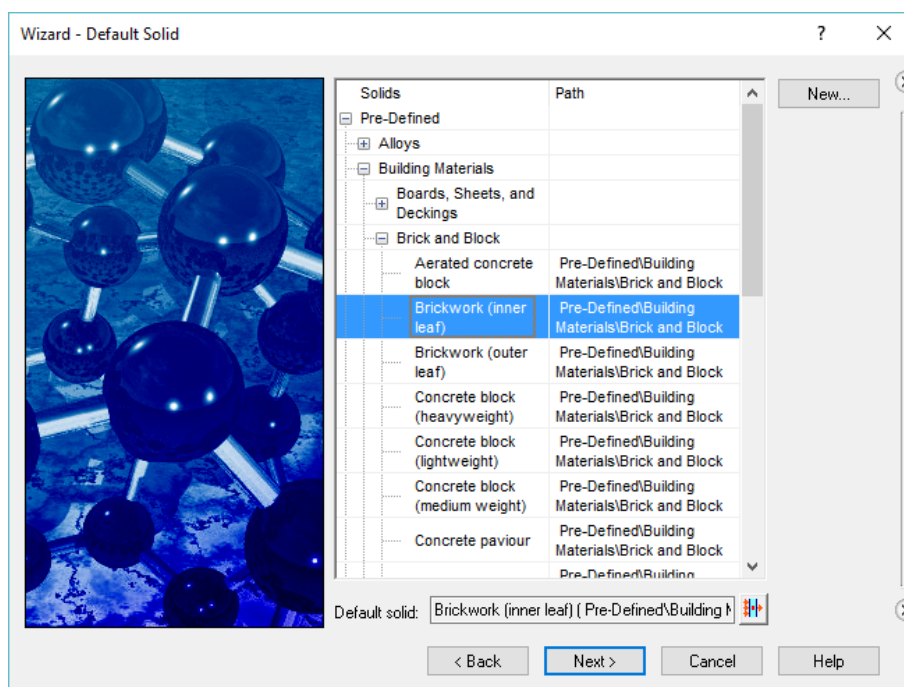
Εικόνα 85: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης

Στο επόμενο βήμα επιλέγεται το είδος του ρευστού που μελετάται. Στην περίπτωση αυτή επιλέγεται από την επιλογή Gases ο αέρας (Air) όπως φαίνεται στην **Εικόνα 86**.



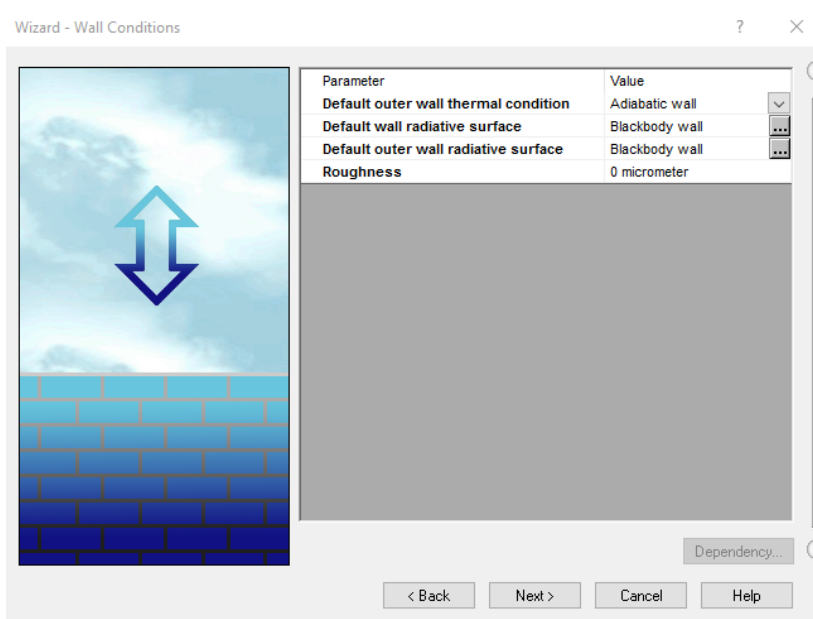
Εικόνα 86: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης

Έπειτα επιλέγεται το υλικό που θα δίνεται αυτόματα σε κάθε εξώθηση αντικειμένου. Από την επιλογή Building Materials, Brick and Block επιλέγεται το Brickwork inner leaf σύμφωνα με την **Εικόνα 87**.

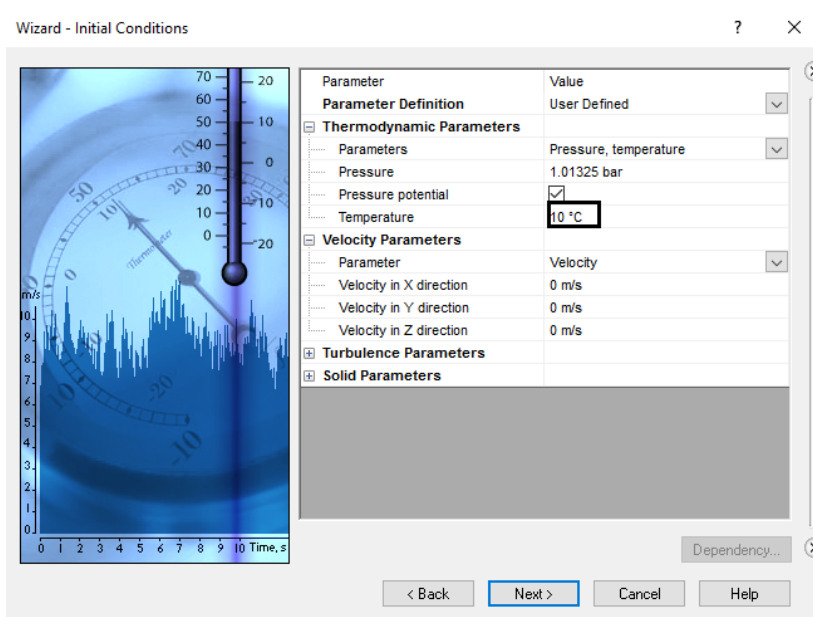


Εικόνα 87: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης

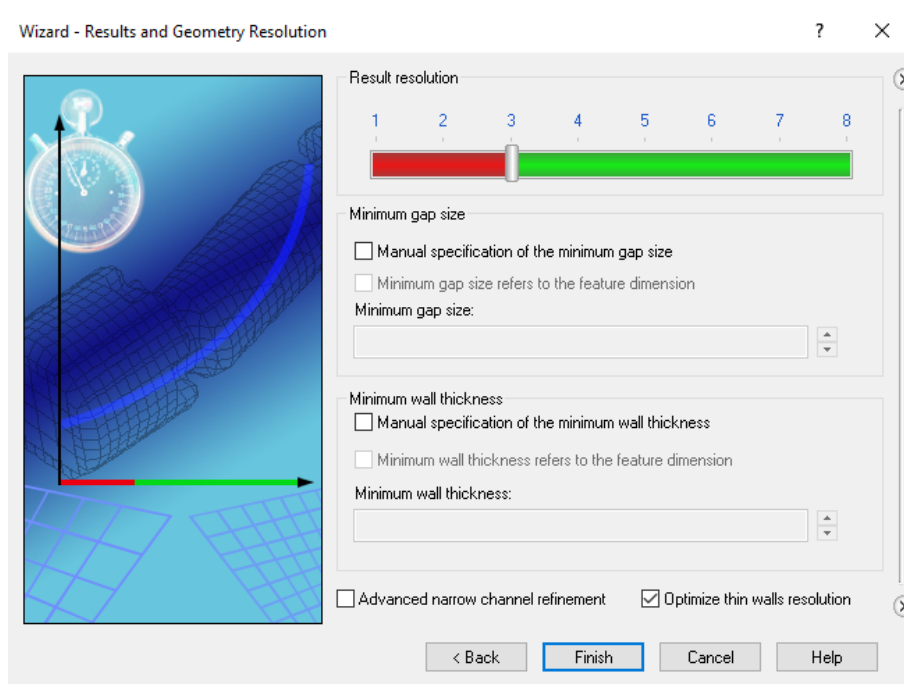
Εν συνεχεία ορίζονται οι θερμικές παράμετροι και οι παράμετροι ακτινοβολίας των σωμάτων, όπου παραμένουν ως έχουν σύμφωνα με την **Εικόνα 88**. Τέλος ορίζονται οι αρχικές συνθήκες και το αρχικό πλέγμα σύμφωνα με την **Εικόνα 89** και **Εικόνα 90**.



Εικόνα 88: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης




Εικόνα 89: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης

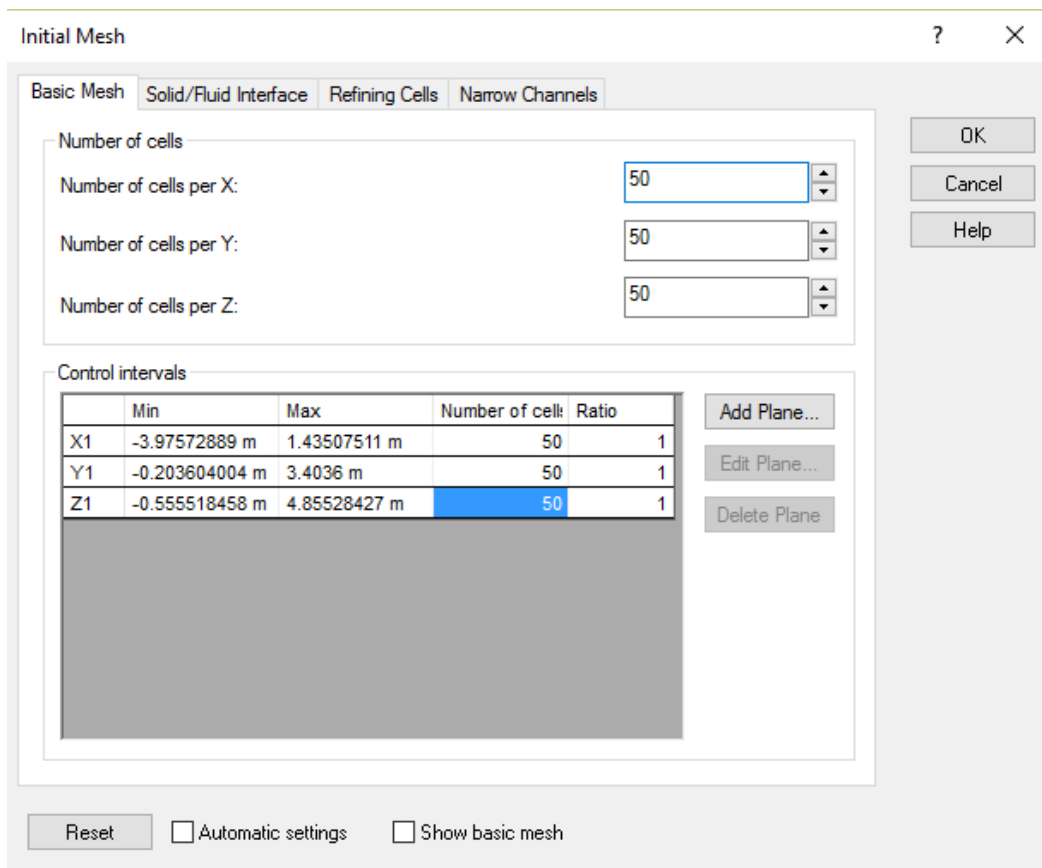


Εικόνα 90: Διαδικασία εκκίνησης προσομοίωσης

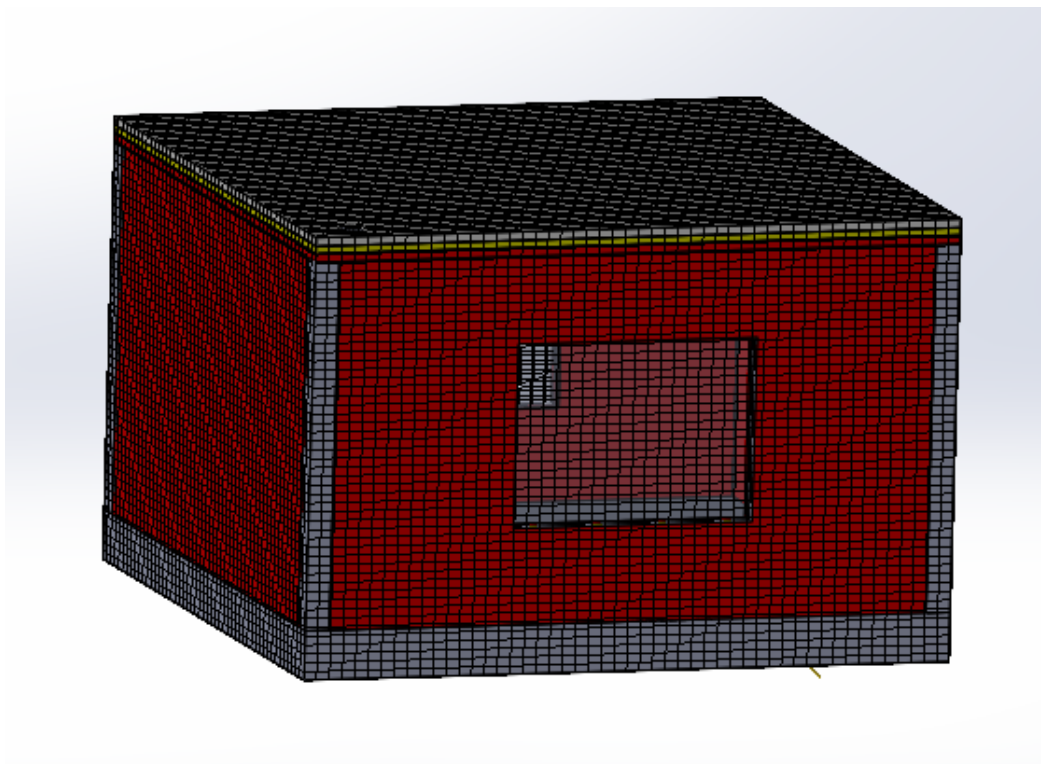
2.5.1 Μοντέλο με απλό μονωμένο τοίχο

2.5.1.1 Ορισμός πλέγματος

Εφόσον έχει οριστεί ο όγκος ελέγχου του μοντέλου, ορίζεται έπειτα το πλέγμα. Όσο πιο πυκνό πλέγμα οριστεί τόσο πιο ακριβή αποτελέσματα προκύπτουν. Ο ορισμός του πλέγματος πραγματοποιείται μέσω της εντολής Initial Mesh . Στην καρτέλα Basic Mesh απενεργοποιείται η εντολή Automatic settings, καθώς το αρχικό πλέγμα που ορίστηκε αρχικά δεν είναι αξιόπιστο, και πληκτρολογείται ο αριθμός των κόμβων σε κάθε διάσταση. Για την παρούσα μελέτη ορίζεται πλέγμα 50x50x50 όπως φαίνεται στην **Εικόνα 91**. Επιλέγοντας την εντολή Show basic mesh εμφανίζεται το πλέγμα που έχει επιλεγεί στο μοντέλο σύμφωνα με την **Εικόνα 92**.



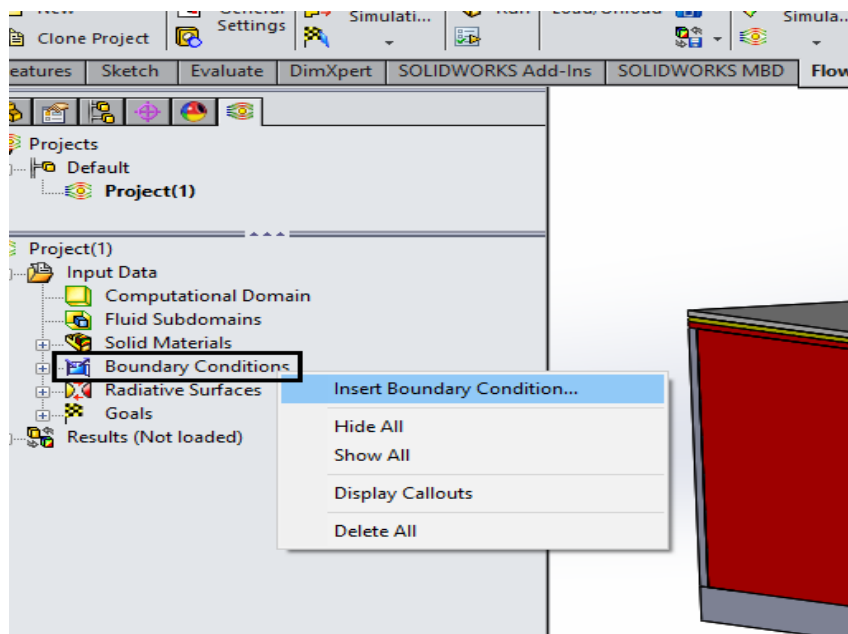
Εικόνα 91: Ορισμός πλέγματος




Εικόνα 92: Πλέγμα 50x50x50

2.5.1.2 Ορισμός οριακών συνθηκών

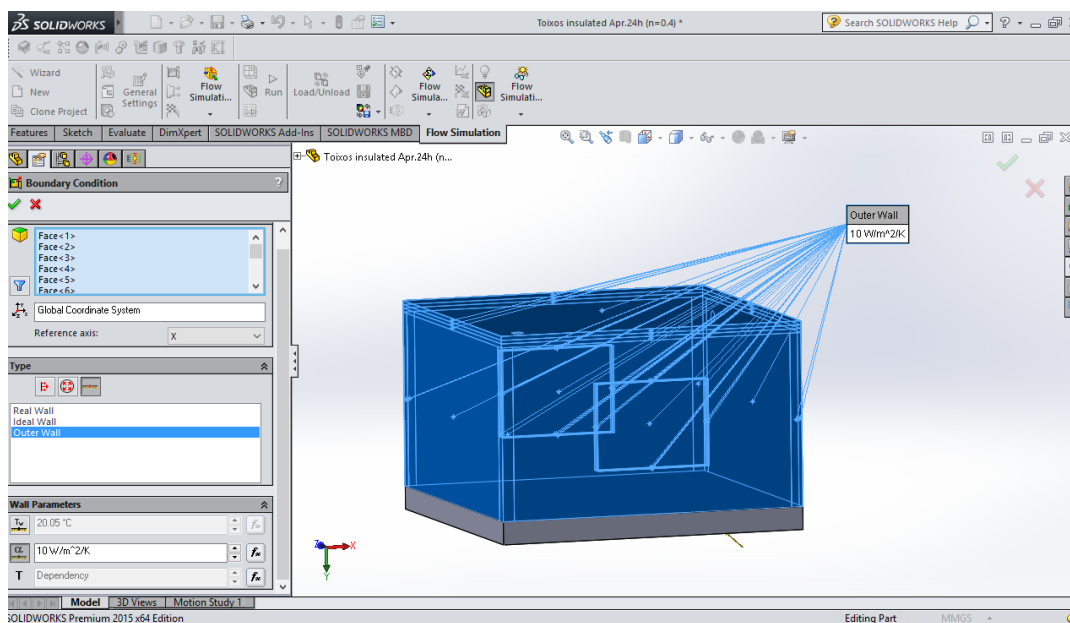
Επόμενο βήμα αποτελεί η εισαγωγή των οριακών συνθηκών του μοντέλου. Από το δέντρο ενεργειών πατώντας το δεξί πλήκτρο του ποντικιού επιλέγεται το Boundary Conditions και στην συνέχεια η εντολή Insert Boundary Condition όπως φαίνεται στην **Εικόνα 93**.



Εικόνα 93: Ορισμός οριακών συνθηκών

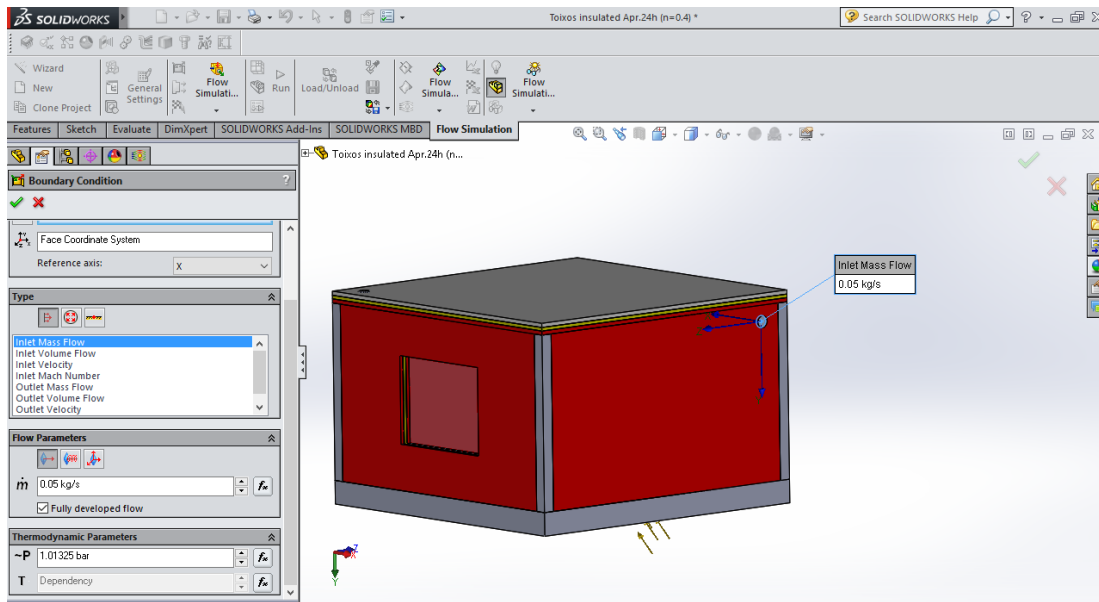
Οι πρώτες οριακές συνθήκες που ορίζονται είναι αυτές των εξωτερικών τοίχων του μοντέλου όπου επιλέγονται όλες οι εξωτερικές επιφάνειες του, εκτός του αδιαβατικού θερμικά εδάφους, και ορίζεται συντελεστής συναγωγής θερμότητας με το περιβάλλον ίσος με $h_{out}=10\frac{W}{m^2K}$. Ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας ορίζεται επιλέγοντας το Wall και έπειτα το Outer Wall. Για τον ορισμό της θερμοκρασίας περιβάλλοντος επιλέγεται η εντολή Dependency, πατώντας το σύμβολο , και εισάγεται η εξίσωση 1 όπως προαναφέρθηκε. Η διαδικασία παρουσιάζεται στην **Εικόνα 94**.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται ξεχωριστά για τον προσδιορισμό των οριακών συνθηκών του εδάφους. Επιλέγοντας τις εξωτερικές επιφάνειες του, ορίζεται αυτή τη φορά μόνο ο συντελεστής συναγωγής θερμότητας ίσος με το μηδέν, καθώς το έδαφος όντας αδιαβατικό δεν συμμετέχει σε οποιαδήποτε συναλλαγή θερμότητας.



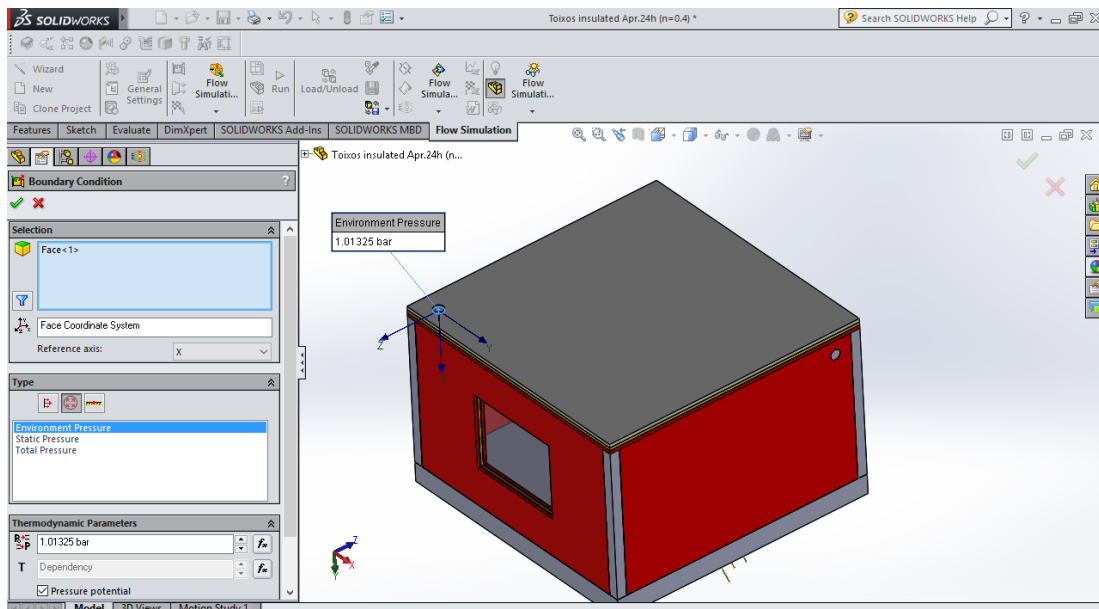
Εικόνα 94: Ορισμός οριακών συνθηκών

Επόμενο βήμα αποτελεί ο ορισμός της παροχής μάζας αέρα στην είσοδο του αέρα ανακυκλοφορίας που βρίσκεται στον βόρειο τοίχο. Επιλέγεται η επιφάνεια της οπής ανακυκλοφορίας και έπειτα η επιλογή Flow Openings και Inlet mass flow. Η παροχή μάζας του αέρα έχει υπολογιστεί ίση με $\dot{m}=0,05 \frac{Kg}{s}$, η οποία αντιστοιχεί σε 2 εναλλαγές την ώρα. Η τιμή αυτή είναι απόλυτα λογική δεδομένου των συνθηκών λειτουργίας του χώρου και την προϋπόθεση ότι διαμένουν 1-2 άτομα στο χώρο. Για τον ορισμό της θερμοκραίας ακολουθείται η ίδια διαδικασία που αναφέρθηκε στον ορισμό των οριακών συνθηκών των εξωτερικών τοίχων του μοντέλου. Η διαδικασία ορισμού της παροχής μάζας παρουσιάζεται στην **Εικόνα 95**.



Εικόνα 95: Ορισμός οριακών συνθηκών

Τελευταίο βήμα αποτελεί ο προσδιορισμός της πίεσης εξόδου του αέρα από την οπή εξόδου στην οροφή του μοντέλου. Στην περίπτωση αυτή επιλέγεται αρχικά η επιφάνεια και έπειτα το Pressure Openings και Environmental Pressure. Ορίζεται η τυπική πίεση ίση με $p=1.01325$ bar ενώ η θερμοκρασία του περιβάλλοντος εισάγεται όπως και στις προηγούμενες συνθήκες χρησιμοποιώντας την εξίσωση 1. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στην **Εικόνα 96**.

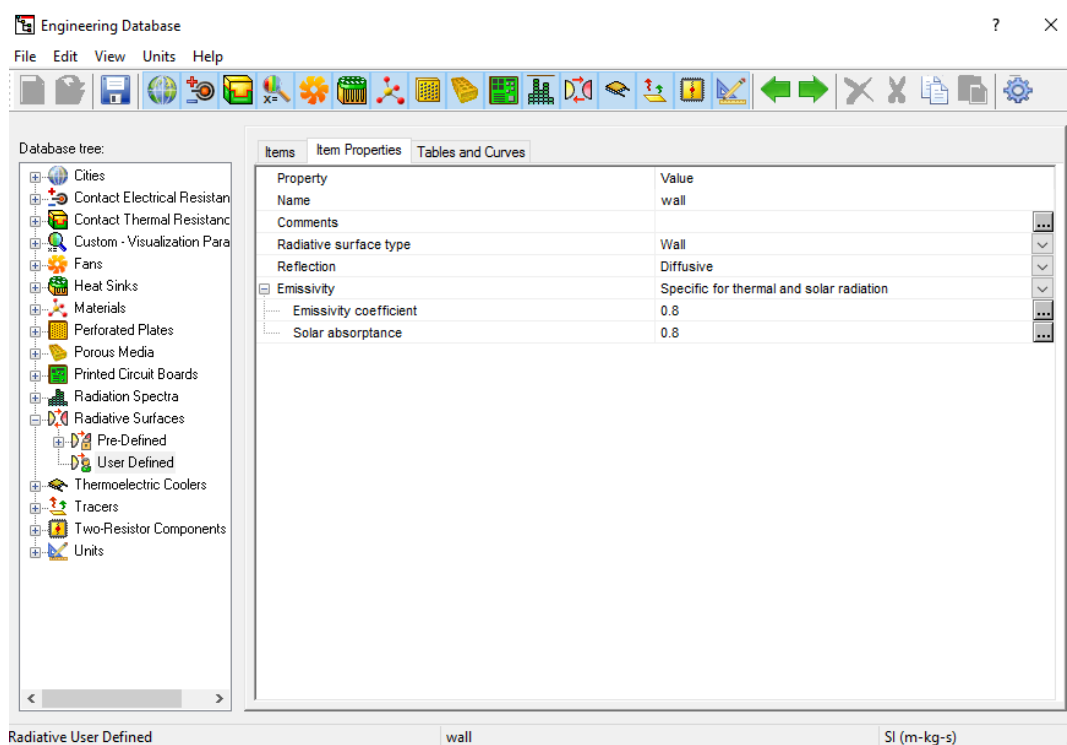


Εικόνα 96: Ορισμός οριακών συνθηκών

2.5.1.3 Ορισμός ακτινοβολούμενων επιφανειών

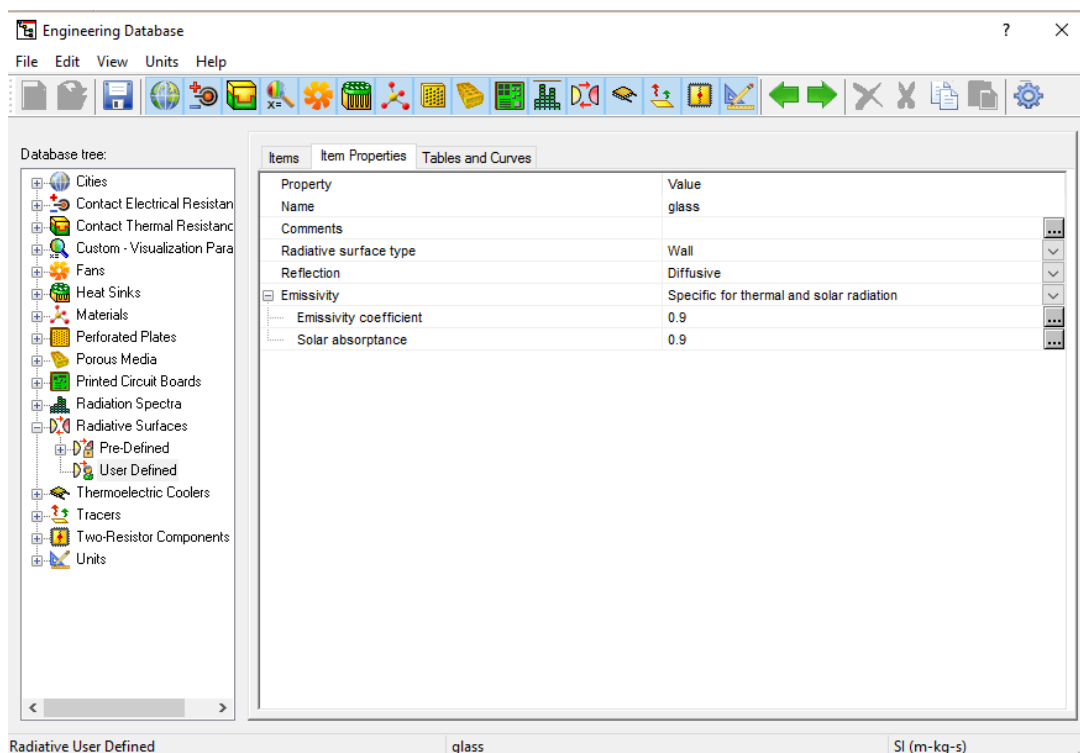
Στην παράγραφο αυτή ορίζονται οι επιφάνειες του μοντέλου που ακτινοβολούν. Πατώντας το δεξί πλήκτρο του ποντικιού επιλέγεται το Radiative Surfaces και το Insert Radiative Surface κατά τον ίδιο τρόπο που ορίστηκαν οι οριακές συνθήκες.

Στην ουσία στο σημείο αυτό ορίζονται και επιλέγονται τα υλικά του μοντέλου και οι ιδιότητές τους. Αρχικά ορίζεται το υλικό του τοίχου (Wall). Αφού επιλεχθούν όλες οι επιφάνειες του μοντέλου, εσωτερικά και εξωτερικά εκτός από τους υαλοπίνακες και το έδαφος, ο χρήστης επιλέγει το Create/Edit. Κάνοντας δεξί «κλικ» στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγει το New Item και έπειτα ορίζει το όνομα και τις ιδιότητες του υλικού. Στην παρούσα περίπτωση επιλέγονται συντελεστής απορροφητικότητας τοίχου (Solar Absorbance) και συντελεστής εκπομπής (Emissivity Coefficient) ίσοι με 0,8 όπως φαίνεται στην **Εικόνα 97**.



Εικόνα 97: Ορισμός ιδιοτήτων υλικών

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο ορίζονται οι ακτινοβολούμενες επιφάνειες των υαλοπινάκων. Αφού επιλεχθούν εξωτερικά και εσωτερικά ορίζεται κατά τα γνωστά το νέο υλικό για το γυαλί (Glass) με συντελεστή απορροφητικότητας (Solar Absorbance) και συντελεστή εκπομπής (Emissivity Coefficient) ίσους με 0,9 όπως φαίνεται στην **Εικόνα 98**.



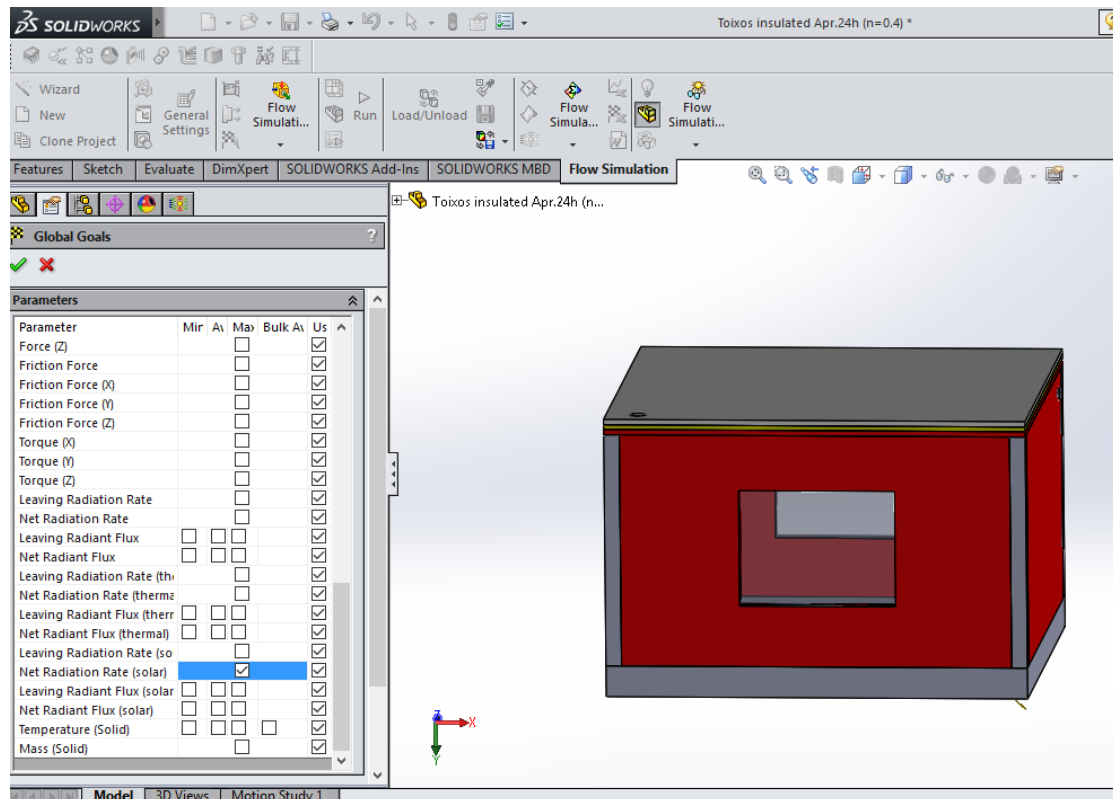
Εικόνα 98: Ορισμός ιδιοτήτων υλικών

2.5.1.4 Ορισμός στόχων

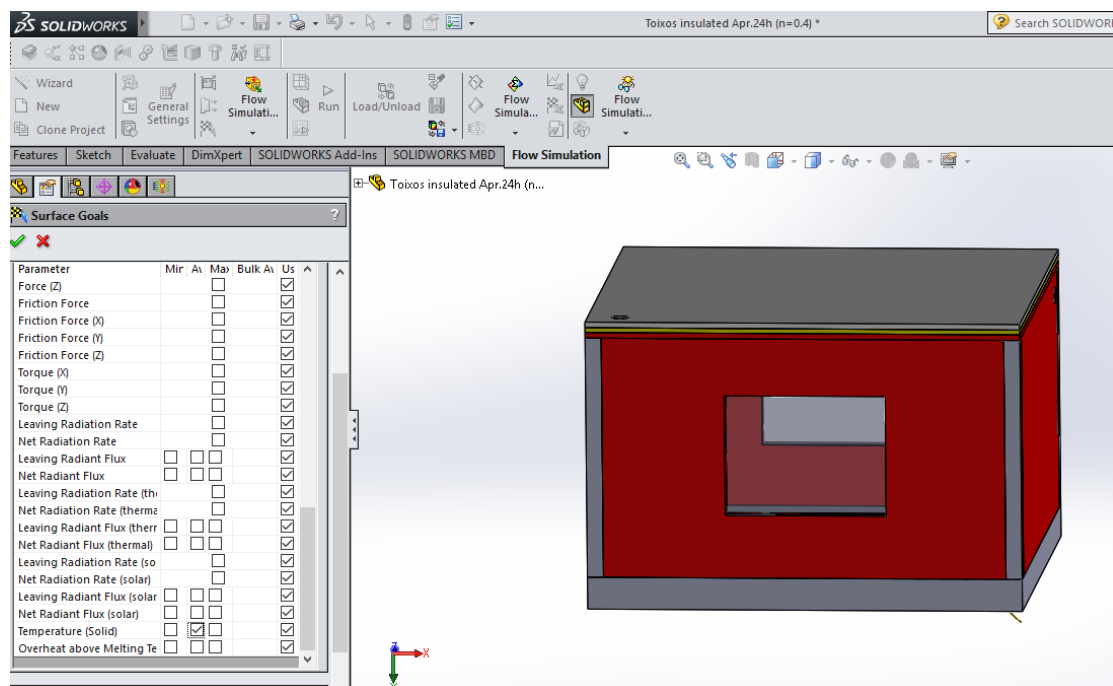
Εδώ ορίζονται στο σύστημα τα αποτελέσματα που θα ληφθούν από την προσομοίωση του μοντέλου. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα μοντέλα ως προς τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στον εσωτερικό χώρο τους, στους τοίχους εξωτερικά και εσωτερικά καθώς και η προσπίπτουσα ακτινοβολία του ηλίου.

Αρχικά εισάγεται ο στόχος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Πατώντας δεξιά «κλικ» πάνω στην επιλογή Goals επιλέγεται το Insert Global Goals. Από τη λίστα που εμφανίζεται επιλέγεται το Net Radiation Rate (Solar) όπως φαίνεται στην **Εικόνα 99**.

Ο επόμενος στόχος που ορίζεται ανήκει στους στόχους επιφάνειας (Surface Goals) και είναι αυτός της θερμοκρασίας των επιφανειών των εξωτερικών και εσωτερικών τοίχων του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, ορίζονται οι στόχοι όλων των εσωτερικών επιφανειών του μοντέλου και μόνο του εξωτερικού νότιου τοίχου καθώς είναι αυτός που ενδιαφέρει περισσότερο την παρούσα διπλωματική εργασία. Κατά τα γνωστά επιλέγονται οι επιθυμητές επιφάνειες και έπειτα από τη λίστα η επιλογή Temperature (Solid) μέσης τιμής (Average), ώστε το σύστημα να προσπαθεί να συγκλίνει τη μέση θερμοκρασία του, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 100**.



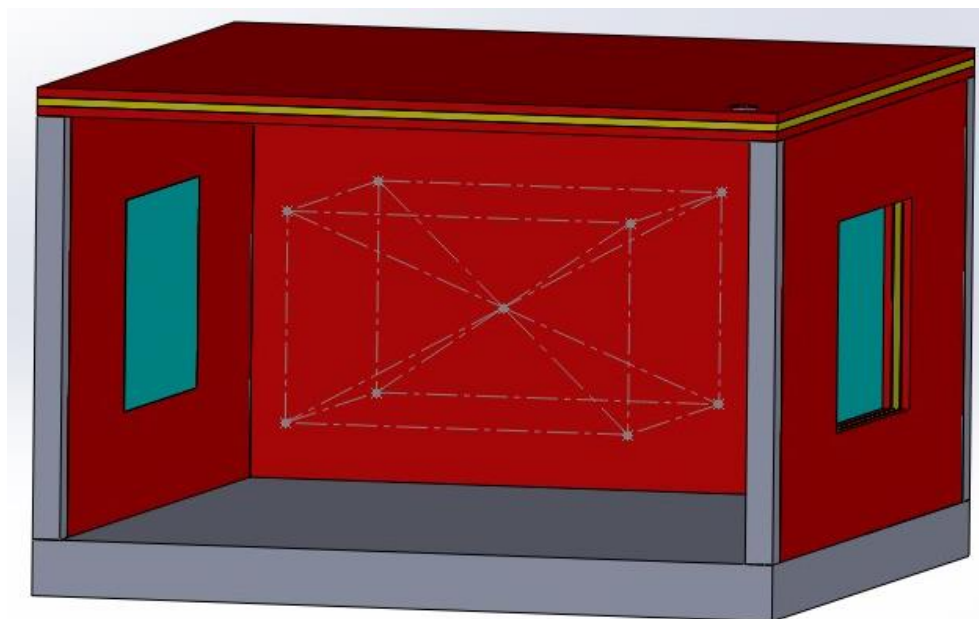
Εικόνα 99: Ορισμός στόχων Global Goals




Εικόνα 100: Ορισμός στόχων Surface Goals

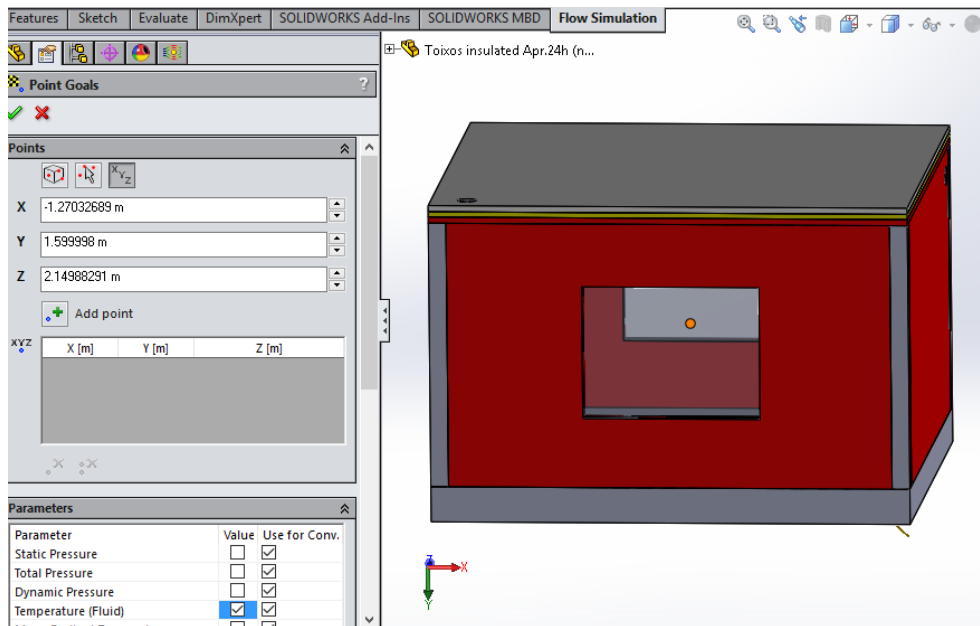
Τέλος απομένει ο προσδιορισμός του κυριότερου στόχου, της θερμοκρασίας του αέρα στον εσωτερικό χώρο του μοντέλου. Για να επιτευχθεί ο προσδιορισμός αυτού του στόχου χρειάζεται μια πιο σύνθετη διαδικασία. Αρχικά ορίζονται 9 σημεία-στόχοι, τα οποία σχη-

ματίζουν έναν κύβο μεταξύ τους και λειτουργούν ουσιαστικά ως αισθητήρες θερμοκρασίας στο χώρο. Εισάγονται λοιπόν μέσω της επιλογής Insert Point Goals οι συντεταγμένες του κάθε σημείου. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι πρέπει να οριστούν 9 διαφορετικά Point Goals, με ένα σημείο το καθένα. Τα σημεία αυτά υπολογίστηκαν με βάση τις διαστάσεις του μοντέλου ώστε κάθε σημείο να βρίσκεται στο $\frac{1}{4}$ (άνω σημείο) και $\frac{3}{4}$ (κάτω σημείο) του μήκους, του πλάτους και του βάρους του μοντέλου ενώ το κεντρικό σημείο βρίσκεται στο μέσο της απόστασης κατά μήκος και κατά πλάτος όπως φαίνεται στην **Εικόνα 101**.



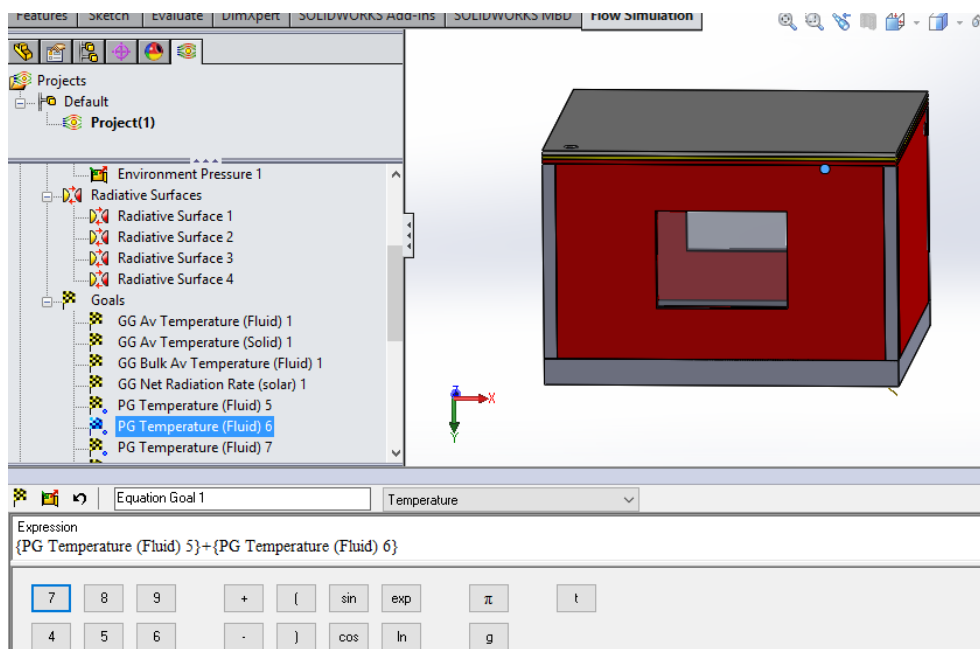
Εικόνα 101: Ορισμός στόχων Point Goals

Ο ορισμός των σημείων επιτυγχάνεται επιλέγοντας το σύμβολο  για την εισαγωγή των συντεταγμένων ενώ από τη λίστα επιλέγεται η τιμή Temperature Fluid όπως φαίνεται στην **Εικόνα 102**.




Εικόνα 102: Ορισμός στόχων Point Goals

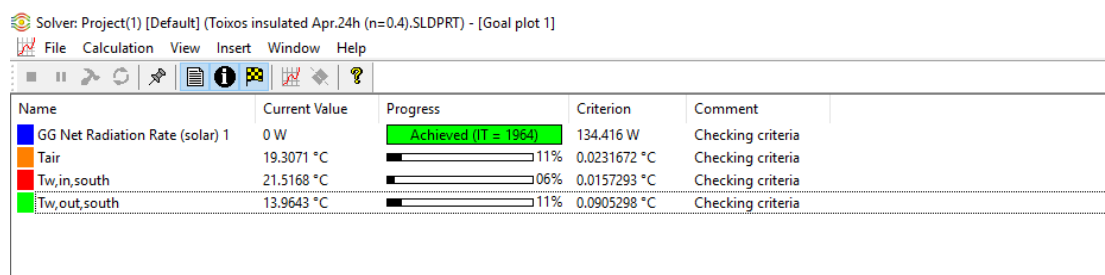
Μετά τον ορισμό των σημείων ορίζεται ο στόχος που θα αποδίδει τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του μοντέλου, επιλέγοντας κατά τα γνωστά το Insert Equation Goal. Εκεί επιλέγεται η θερμοκρασία (Temperature) ως το μέγεθος μέτρησης (Unit) ενώ στο παράθυρο σχηματίζεται ο μέσος όρος των στόχων-σημείων που ορίστηκαν προηγουμένως. Το κάθε σημείο-στόχος εισάγεται απλά με την επιλογή του από το δέντρο ενεργειών όπως φαίνεται στην **Εικόνα 103**.



Εικόνα 103: Ορισμός στόχων Equation Goals

2.5.1.5 Έναρξη της προσομοίωσης

Έχοντας ολοκληρώσει τη διαδικασία της προετοιμασίας του μοντέλου για την προσομοίωση, απομένει η εκκίνηση του προγράμματος. Η έναρξη της προσομοίωσης πραγματοποιείται με την εντολή Run . Έπειτα τα αποτελέσματα εμφανίζονται στη καρτέλα όπως φαίνεται στην **Εικόνα 104**.



Name	Current Value	Progress	Criterion	Comment
GG Net Radiation Rate (solar) 1	0 W	Achieved (IT = 1964)	134.416 W	Checking criteria
Tair	19.3071 °C	11%	0.0231672 °C	Checking criteria
Tw,in,south	21.5168 °C	06%	0.0157293 °C	Checking criteria
Tw,out,south	13.9643 °C	11%	0.0905298 °C	Checking criteria

Εικόνα 104: Καρτέλα τελικών αποτελεσμάτων

2.5.2 Μοντέλο με τον τοίχο Trombe

Για την προετοιμασία του μοντέλου αυτού ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία με αυτή της **παραγράφου 3.6.1**. Η μόνη διαφορά έγκειται στην επιλογή των οριακών συνθηκών και ακτινοβολιών όπου προστίθεται και ο υαλοπίνακας του νότιου τοίχου. Πιο συγκεκριμένα στις οριακές συνθήκες εξωτερικού τοίχου προστίθεται η εξωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα ενώ στις ακτινοβολούσες επιφάνειες προστίθεται η εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα.

2.5.3 Μοντέλο με τον καινοτόμο τοίχο Trombe

Για την προετοιμασία του καινοτόμου μοντέλου ακολουθείται η διαδικασία των παραγράφων **3.6.1** και **3.6.2** με μόνη διαφορά ότι στις ακτινοβολούμενες επιφάνειες, στην κατηγορία των υαλοπινάκων, προστίθεται η εξωτερική πλευρά του μεγάλου υαλοπίνακα του νότιου τοίχου και η εσωτερική πλευρά του μικρού υαλοπίνακα του νότιου τοίχου.

3 Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση των μοντέλων στις συνθήκες που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2.5.

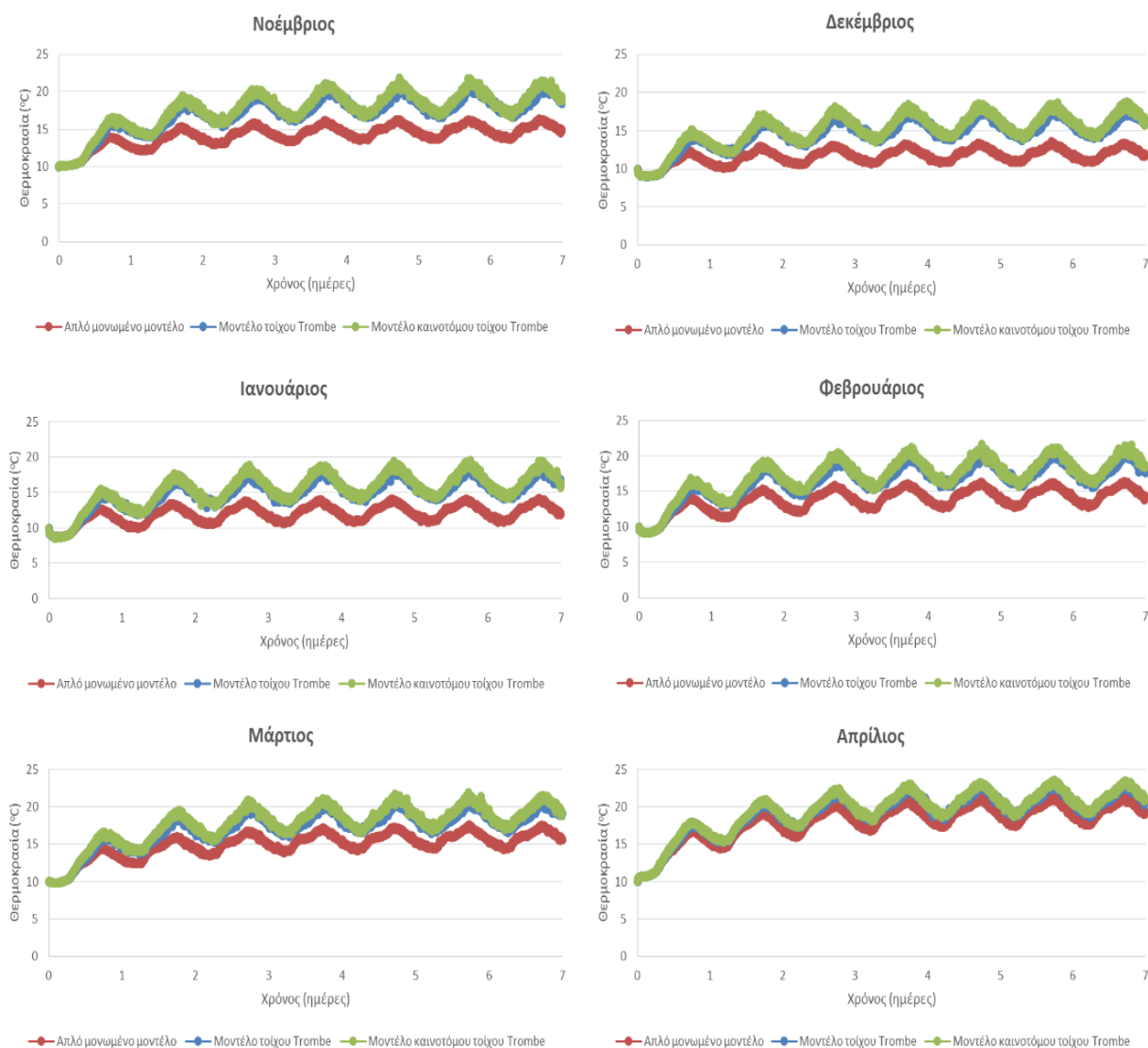
3.1 Σύγκριση θερμοκρασιακών αποτελεσμάτων

T (°C)	Περιβάλλον			Μονωμένος Τοίχος			Τοίχος Trombe			Καινοτόμος τοίχος Trombe		
	Μέγ.	Μέση	Ελάχ.	Μέγ.	Μέση	Ελάχ.	Μέγ.	Μέση	Ελάχ.	Μέγ.	Μέση	Ελάχ.
Νοέ	14.2	12.0	10.7	16.4	15.0	13.7	20.8	18.6	16.6	21.5	19.1	16.6
Δεκ	11.2	9.3	7.8	13.4	12.0	12.0	17.9	15.7	14.0	18.8	16.3	14.1
Ιαν	12.5	9.4	6.9	14.1	12.4	12.4	18.4	16.1	14.1	19.5	16.6	14.1
Φεβ	14.6	11.0	8.4	16.4	14.6	14.6	21.0	18.0	15.5	21.5	18.6	16.1
Μάρ	14.7	12.0	10.0	17.5	15.9	15.9	21.4	18.6	16.5	21.5	19.2	16.9
Απρ	18.9	15.1	12.1	21.5	19.5	19.5	23.2	20.9	18.6	23.4	21.2	19.1

Πίνακας 4: Θερμοκρασιακά αποτελέσματα μοντέλων κατά την 7^η εξεταζόμενη ημέρα

Στον Πίνακα 4 παρατίθενται σε σύγκριση οι θερμοκρασίες του περιβάλλοντος καθώς και αυτών που αναπτύσσονται στον εσωτερικό χώρο του κάθε μοντέλου, προκύπτοντας από τις προσομοιώσεις των μοντέλων στο λογισμικό για την εξεταζόμενη τυπική ημέρα. Είναι εμφανές ότι ο καινοτόμος τοίχος Trombe παρουσιάζει μεγαλύτερες μέγιστες αλλά και ελάχιστες θερμοκρασίες από τον απλό μονωμένο τοίχο. Η μέση τιμή του απλού μονωμένου τοίχου ανέρχεται στους 14.9 βαθμούς κελσίου, η κλασική μορφή του τοίχου Trombe στους 18 βαθμούς ενώ ο καινοτόμος σχεδιασμός στους 18.5 βαθμούς. Η διαφορά του μοντέλου απλού τοίχου από το μοντέλο του καινοτόμου τοίχου Trombe ανέρχεται περίπου στο 25% ενώ του κλασικού τοίχου Trombe από τον καινοτόμο μόλις στο 2.5%. Παρά την μικρή διαφορά μεταξύ των 2 τοίχων Trombe, το ποσοστό αυτό είναι ικανό να συντελέσει στην καλύτερη θερμική άνεση του κτιρίου. Αντίθετα το μοντέλο με τον απλό μονωμένο τοίχο δεν ενδείκνυται για κατοίκηση αφού οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται απέχουν κατά πολύ από τις θερμοκρασίες που προσφέρουν θερμική άνεση. Παρ' όλα αυτά και τα 3 μοντέλα αναπτύσσουν υψηλότερες θερμοκρασίες από το περιβάλλον. Ενδεικτικά αναφέρονται οι αποκλίσεις μεταξύ των 3 μοντέλων τους πιο ψυχρούς μήνες σύμφωνα με τα κλιματολογικά δεδομένα, δηλαδή τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο.

Τον Δεκέμβριο το απλό μονωμένο μοντέλο απέχει θερμοκρασιακά από τον κλασικό τοίχο Trombe κατά περίπου 30 % και 35% από τον καινοτόμο. Τον Ιανουάριο οι διαφορές ανέρχονται στο 29.8% και 33.9% αντίστοιχα. Το μοντέλο με τον κλασικό τοίχο Trombe απέχει απ' αυτό με τον καινοτόμο σχεδιασμό μόλις 3.8% τον Δεκέμβρη και 3.1% τον Ιανουάριο. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία οι αποκλίσεις περιορίζονται καθώς ο τοίχος Trombe χρειάζεται θυρίδες τους καλοκαιρινούς μήνες για να αποδώσει, το οποίο δεν εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

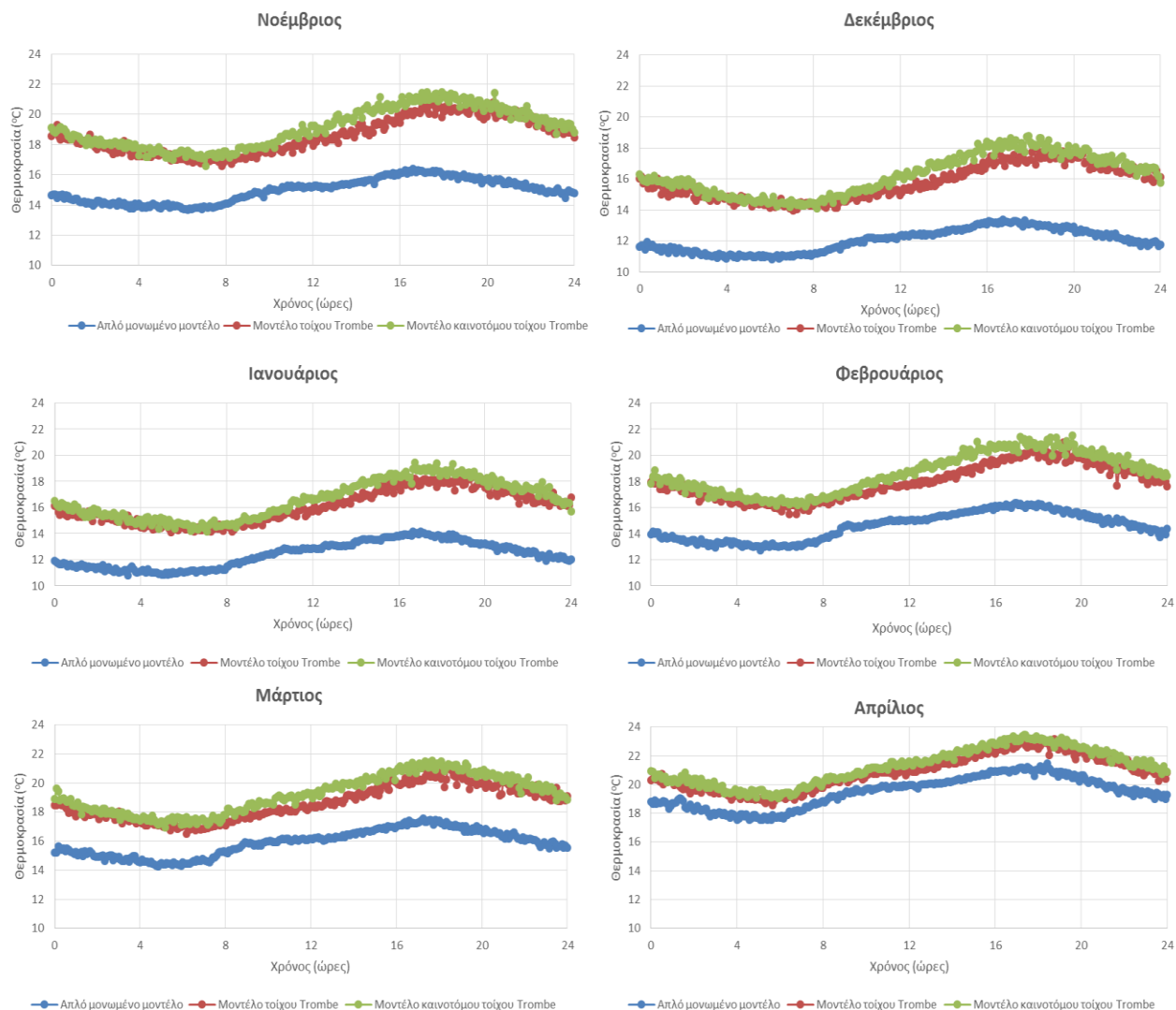


Διάγραμμα 1: Σύγκριση των θερμοκρασιακών προφίλ του αέρα στο εσωτερικό των μοντέλων για τις 7 εξεταζόμενες ημέρες

Στο **Διάγραμμα 1** εμφανίζεται γραφικά η θερμοκρασιακή συμπεριφορά κάθε μοντέλου κατά τη διάρκεια των 7 εξεταζόμενων ημερών για τους εξεταζόμενους μήνες. Η διαφορά του απλού μονωμένου τοίχου από τα μοντέλα των τοίχων Trombe είναι εμφανής ιδιαίτερα

τους χειμερινούς μήνες. Συγκρίνοντας τα 2 μοντέλα του τοίχου Trombe παρατηρείται ότι ο καινοτόμος σχεδιασμός του Trombe αποφέρει υψηλότερες θερμοκρασίες. Αυτό συμβαίνει επειδή το εσωτερικό παράθυρο στον καινοτόμο τοίχο Trombe αφήνει άμεσα εκτεθειμένο τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου στην ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπλέον από το διάγραμμα αυτό είναι φανερό ότι το σύστημα έχει συγκλίνει από την 5^η ημέρα λόγω της ομοιομορφίας των αποτελεσμάτων από τη μέρα αυτή και έπειτα.

Στο **Διάγραμμα 2** εμφανίζονται γραφικά η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των 3 μοντέλων κατά την 7η εξεταζόμενη ημέρα κάθε μήνα. Μεταξύ των 2 διαφορετικών τύπων Trombe υπερισχύει με μέγιστη ποσοστιαία διαφορά περίπου 5% κατά τον Ιανουάριο, συγκρίνοντας τις μέγιστες θερμοκρασίες, ο καινοτόμος τοίχος Trombe ενώ στις ελάχιστες θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν η μέγιστη διαφορά εμφανίζεται περίπου 3.7% κατά τον Φεβρουάριο. Οι μέγιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται κυρίως μετά τις μεσημεριανές ώρες, καθώς τότε ο νότιος τοίχος δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία

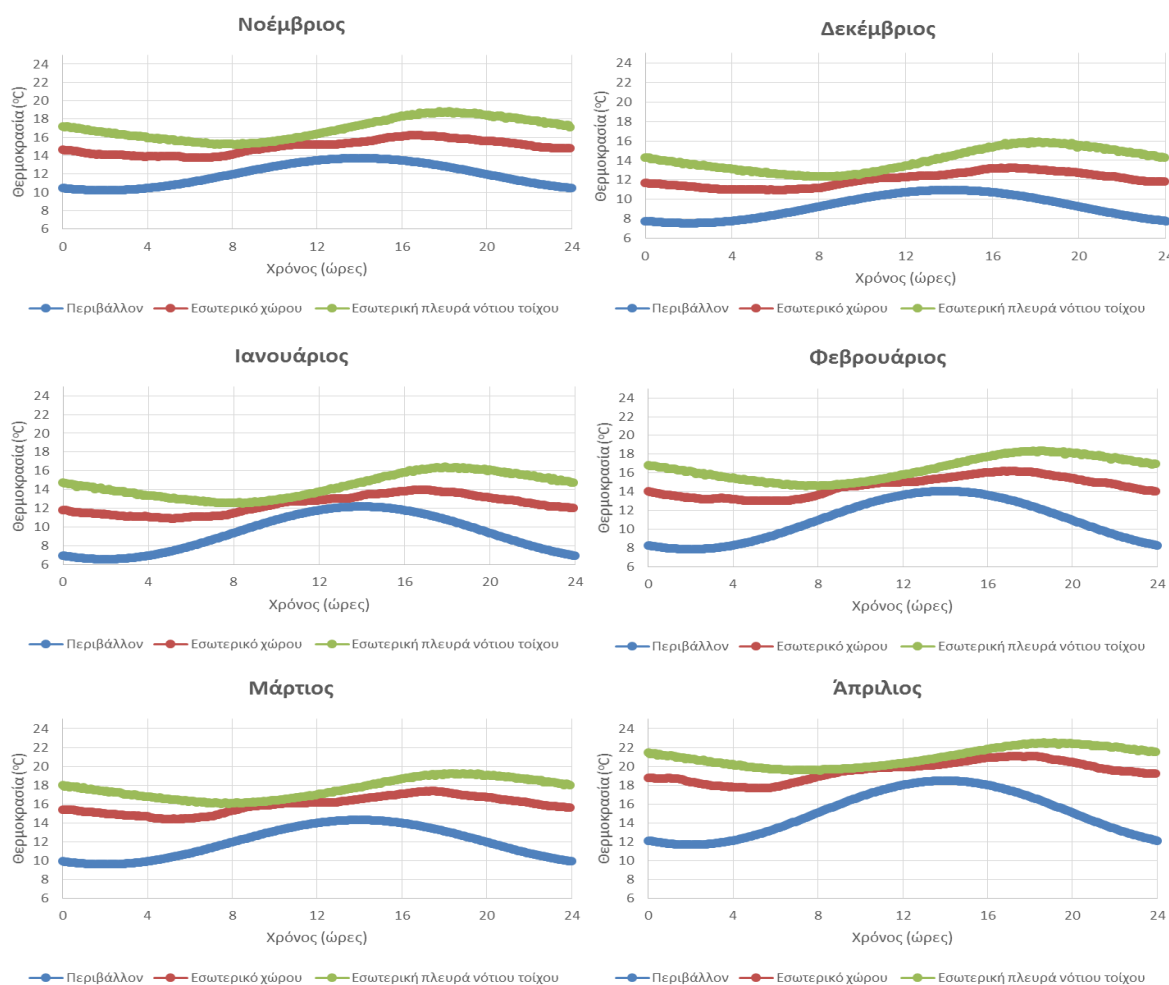


Διάγραμμα 2: Σύγκριση των θερμοκρασιακών προφίλ του αέρα στο εσωτερικό των μοντέλων κατά την τυπική ημέρα

3.2 Σύγκριση εσωτερικών θερμοκρασιών και νότιων τοίχων

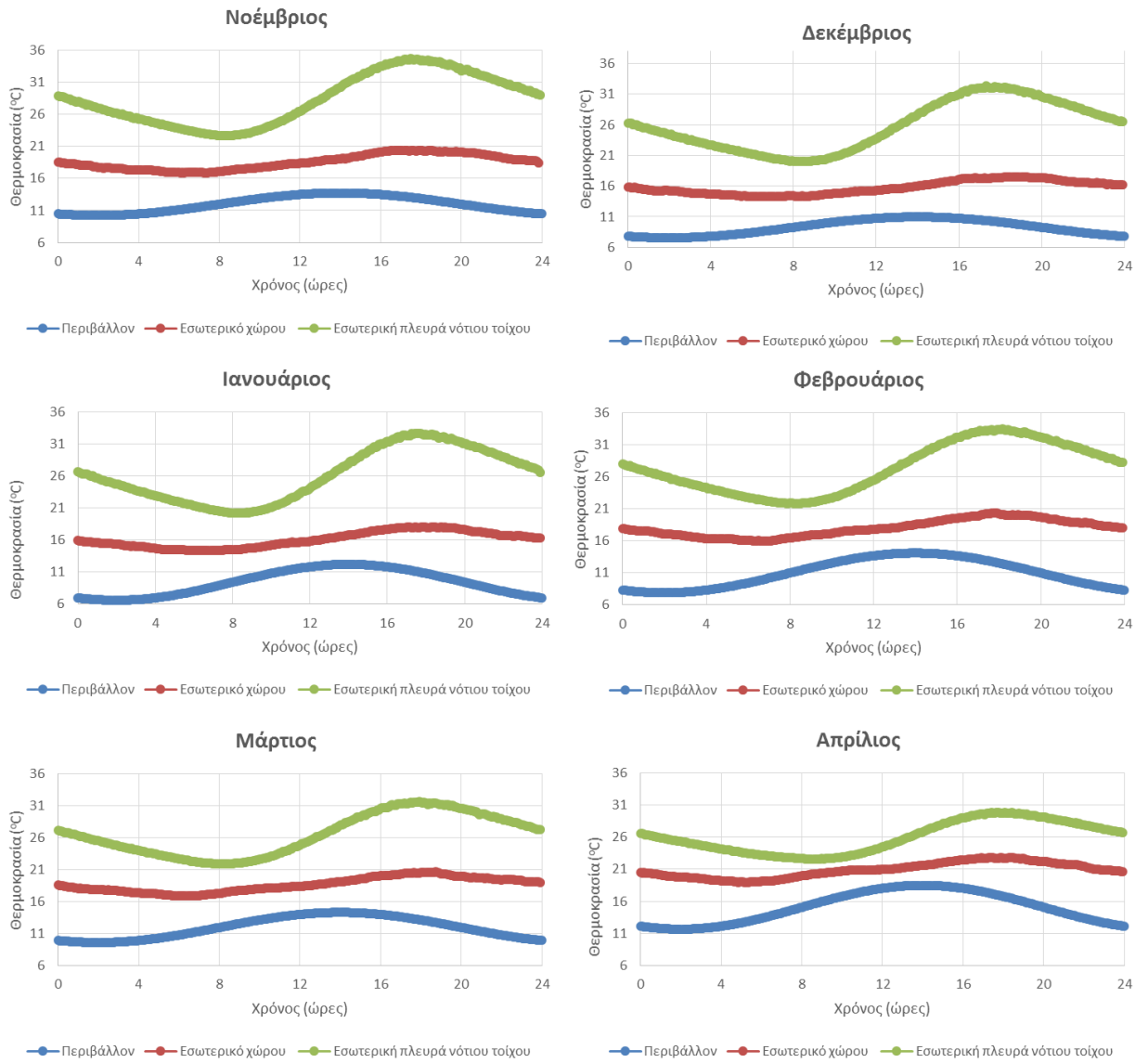
Στα διαγράμματα που ακολουθούν συγκρίνονται γραφικά η θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο κάθε μοντέλου με την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος καθώς και την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στον νότιο τοίχο του κτιρίου. Είναι εύκολο να παρατηρήσει κανείς, σε όλα τα μοντέλα, ότι η κάθε θερμοκρασία ακολουθεί το ίδιο προφίλ. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος παρουσιάζει ημιτονική μορφή σύμφωνα με την εξίσωση 1 ενώ η θερμοκρασία στο εσωτερικό κάθε μοντέλου παρουσιάζει αύξουσα πορεία από τις πρωινές μέχρι τις μεσημεριανές ώρες (8:00-16:00) ενώ στη συνέχεια φθίνει μέχρι το τέλος της ημέρας. Όσον αφορά το νότιο τοίχο παρατηρείται ότι αρχικά η καμπύλη της θερμοκρασίας είναι φθίνουσα ενώ αυξάνει και αυτή μετά τις πρωινές ώρες. Οι θερμοκρασίες του

νότιου τοίχου κυμαίνονται μεταξύ 14 και 22 βαθμών κελσίου στο απλό μοντέλο ενώ στα μοντέλα του τοίχου Trombe μεταξύ 26 και 30 βαθμών κελσίου.

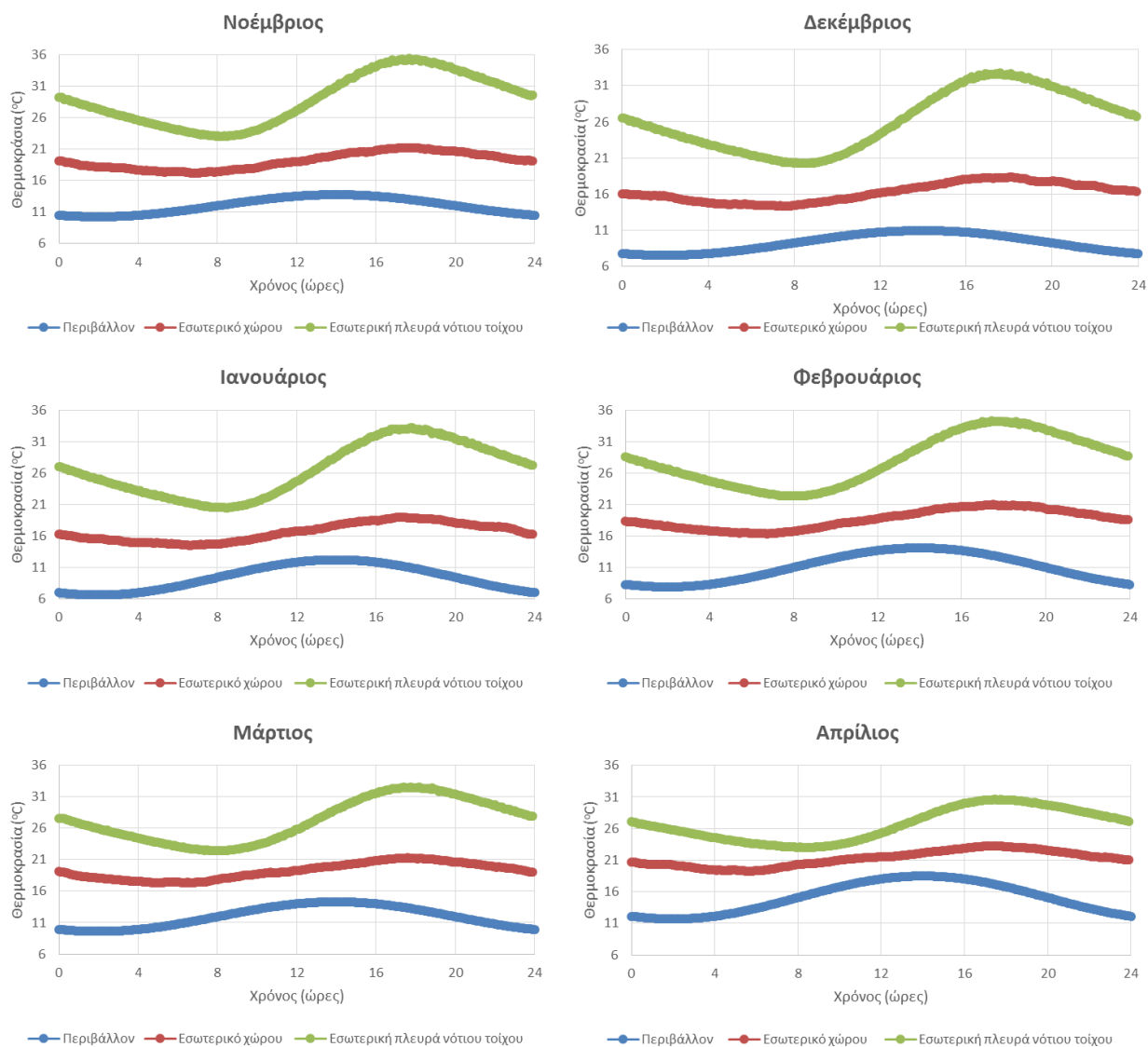


Διάγραμμα 3: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του περιβάλλοντος, του αέρα στο εσωτερικό των μοντέλων και του νότιου τοίχου για τον απλό μονωμένο τοίχο κατά την τυπική ημέρα

Άξια σχολιασμού αποτελεί η συμπεριφορά του θερμοκρασιακού προφίλ του νότιου τοίχου. Σύμφωνα με τα διαγράμματα η θερμοκρασία στον νότιο τοίχο, στη περίπτωση του απλού μοντέλου, ποικίλει καθώς εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αντίθετα στα μοντέλα του τοίχου Trombe οι θερμοκρασίες του νότιου τοίχου παρουσιάζουν πολύ μικρότερες μεταβολές καθώς εκτός από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζονται και από την άμεση ακτινοβολία του ηλίου στην οποία εκτίθενται, διατηρώντας έτσι υψηλότερες θερμοκρασίες.



Διάγραμμα 4: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του περιβάλλοντος, του αέρα στο εσωτερικό των μοντέλων και του νότιου τοίχου για τον τοίχο Trombe κατά την τοπική ημέρα



Διάγραμμα 5: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του περιβάλλοντος, του αέρα στο εσωτερικό των μοντέλων και του νότιου τοίχου για τον καινοτόμο τοίχο Trombe κατά την τυπική ημέρα

3.3 Κατανομή θερμοκρασιών στο εσωτερικό των μοντέλων

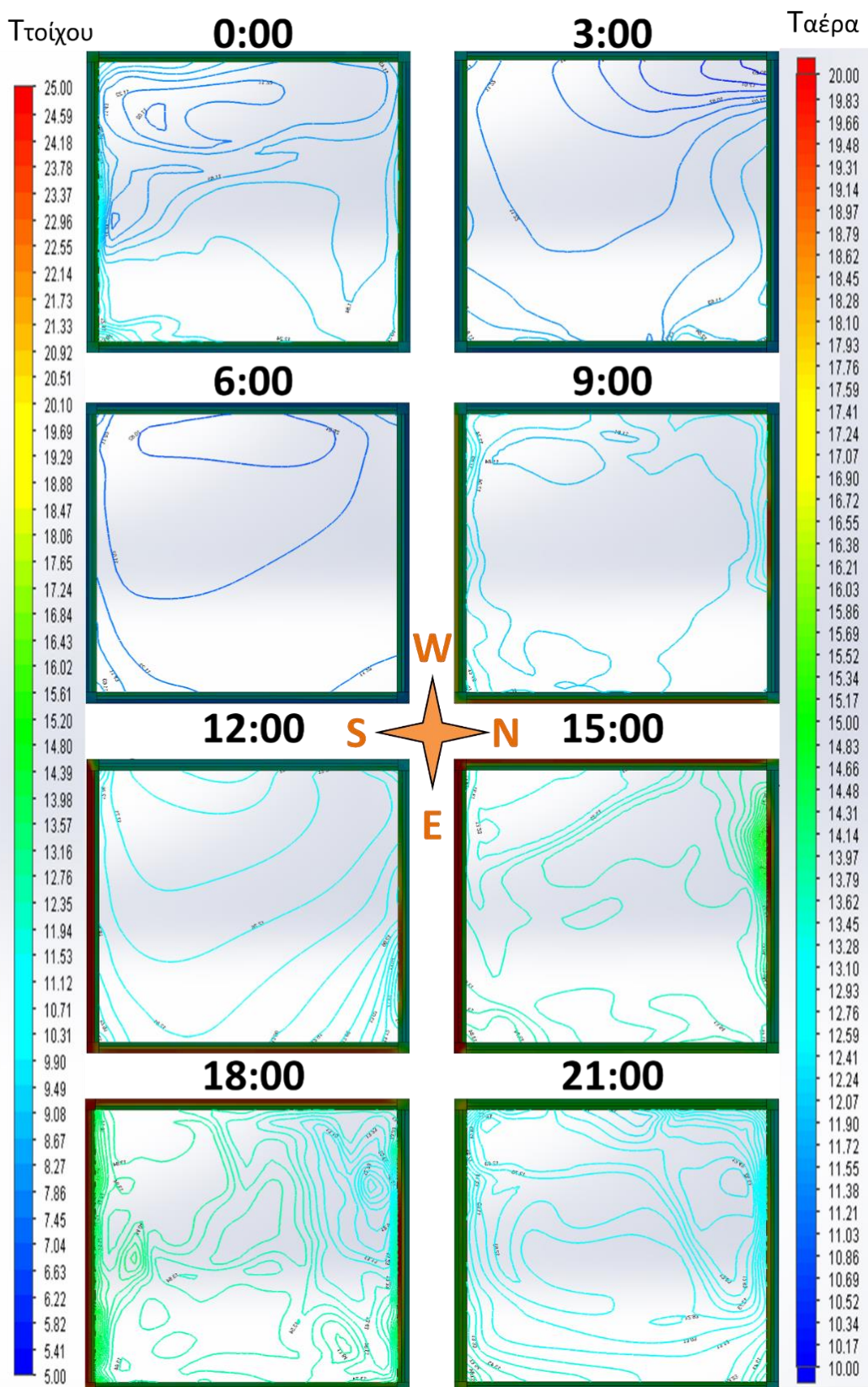
Στη συνέχεια παρουσιάζεται στις εικόνες 105, 106 και 107 η κατανομή της θερμοκρασίας κατά την τυπική ημέρα του Ιανουαρίου, στο εσωτερικό του κάθε μοντέλου αντίστοιχα αλλά και των τοιχωμάτων, ανά 3 ώρες ξεκινώντας από τις 12 το βράδυ. Ο μήνας Ιανουάριος επιλέχθηκε για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών καθώς αποτελεί τον πιο αντιπροσωπευτικό μήνα του χειμώνα με τις χαμηλότερες συνήθως θερμοκρασίες. Στις προαναφερθείσες εικόνες στα αριστερά εμφανίζονται οι θερμοκρασίες των στερεών υλικών ενώ στα δεξιά η θερμοκρασίες των ρευστών, δηλαδή του αέρα.

Οι μέγιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται και στις 3 περιπτώσεις στις 6 το απόγευμα ενώ οι ελάχιστες στις 3 το πρωί. Τις ώρες κοντά στο ηλιακό μεσημέρι θερμαίνεται ο ανατολικός τοίχος ενώ τις απογευματινές ώρες ο δυτικός τοίχος. Ακόμα παρατηρείται και στα 3 διαγράμματα η υπερθέρμανση του νότιου τοίχου εσωτερικά, εξαιτίας της ηλιακής θέρμανσης από τα παράθυρα στην ανατολική και δυτική πλευρά του ηλίου.

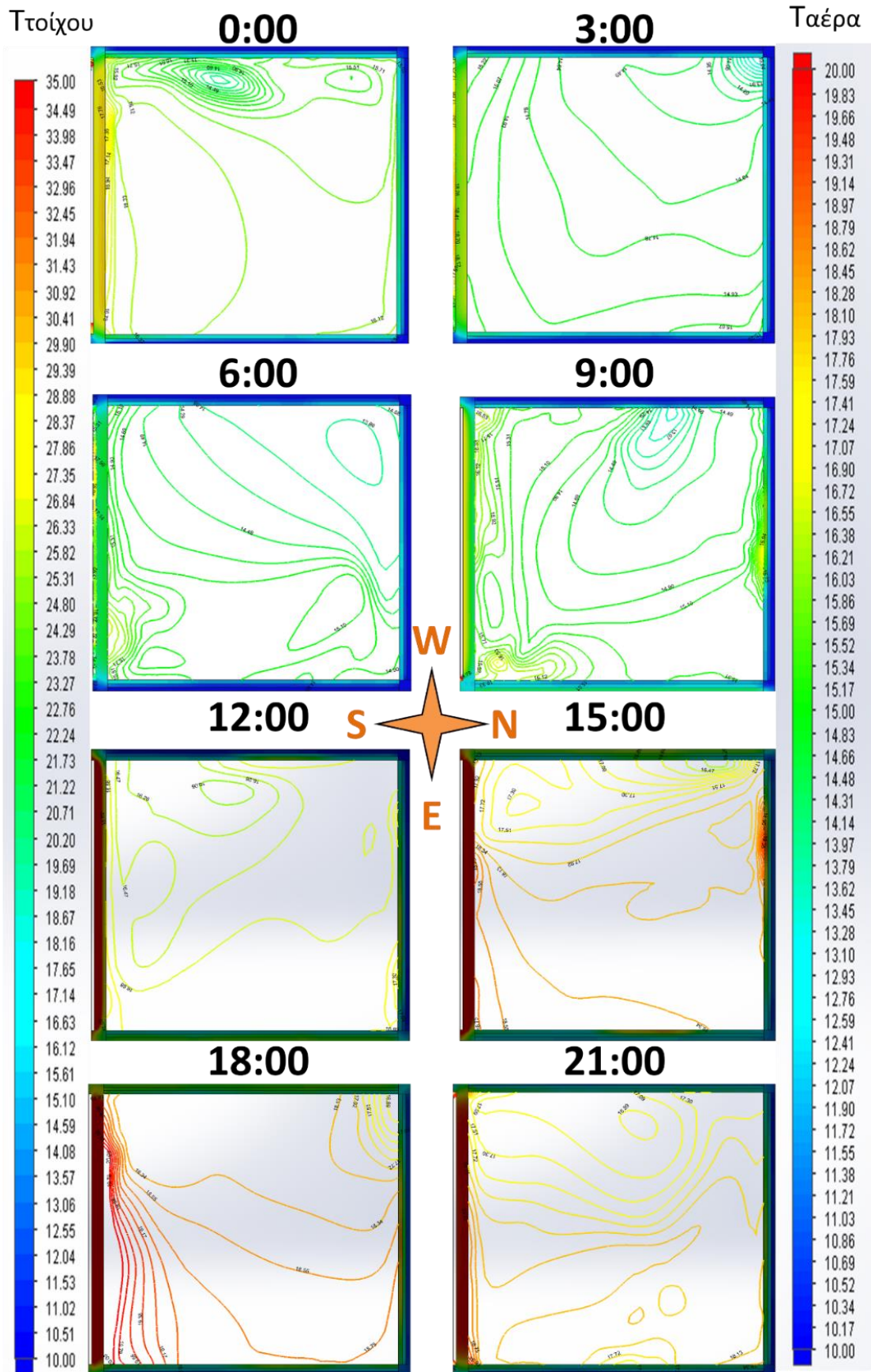
Συγκρίνοντας τα διαγράμματα μεταξύ των 3 μοντέλων, ο καινοτόμος τοίχος Trombe (**Εικόνα 107**) παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα. Ωστόσο οι αποκλίσεις στα αποτελέσματα μεταξύ των δύο τύπων τοίχου Trombe είναι μικρές. Η διαφορά στην απόδοση των 2 αυτών μοντέλων παρατηρείται μετά το μεσημέρι, κυρίως κοντά στον νότιο τοίχο, και έγκειται στην ύπαρξη του επιπλέον υαλοπίνακα στον καινοτόμο τοίχο Trombe. Μέσω του παραθύρου αυτού εκτίθεται άμεσα ο νότιος τοίχος και κατ' επέκταση ο εσωτερικός χώρος στην ακτινοβολία του ηλίου με αποτέλεσμα τις υψηλότερες θερμοκρασίες εσωτερικά.

Το μοντέλο του απλού μονωμένου τοίχου (**Εικόνα 105**) παρουσιάζει χαμηλές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, αφού λόγω της μόνωσης με την οποία είναι ενισχυμένα τα τοιχώματα, περιορίζεται η θερμική διαπερατότητα, καθιστώντας έτσι το κτίριο «μη φιλικό» για κατοίκηση .

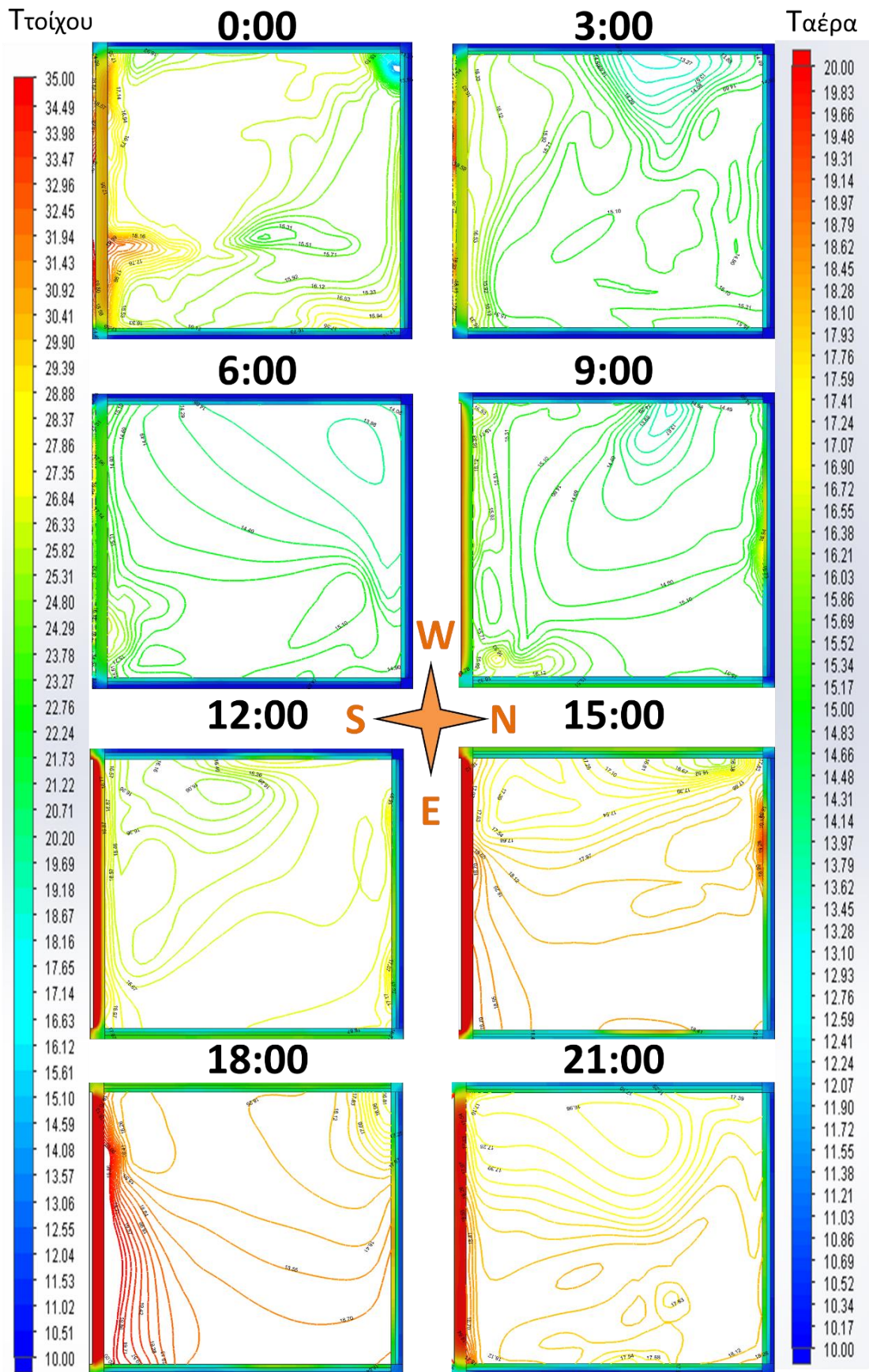
Εν κατακλείδι τα μοντέλα του τοίχου Trombe είναι αυτά με τις υψηλότερες και ιδανικότερες θερμοκρασίες για κατοίκηση. Η θερμότητα εκλύεται τις πιο επιθυμητές ώρες, δηλαδή από το μεσημέρι και μετά, περίπου μέχρι τα μεσάνυχτα όπου εξαντλείται η αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια. Επιπλέον παρατηρείται η χρονική υστέρηση της έκλυσης της θερμότητας από τα τοιχώματα στον εσωτερικό χώρο. Ενώ η θερμοκρασία του νότιου τοίχου αρχίζει να αυξάνεται από τις 12 το μεσημέρι τελικά η αύξηση της θερμοκρασίας στον κατοικήσιμο χώρο παρατηρείται από τις 3 το μεσημέρι και κορυφώνεται στις 6 το απόγευμα.



Εικόνα 105: Κατανομή της εσωτερικής θερμοκρασίας στο μοντέλο με απλό μονωμένο τοίχο κατά την τυπική ημέρα του Ιανουάριου σε κάτοψη σε τομή στη μέση του κτιρίου

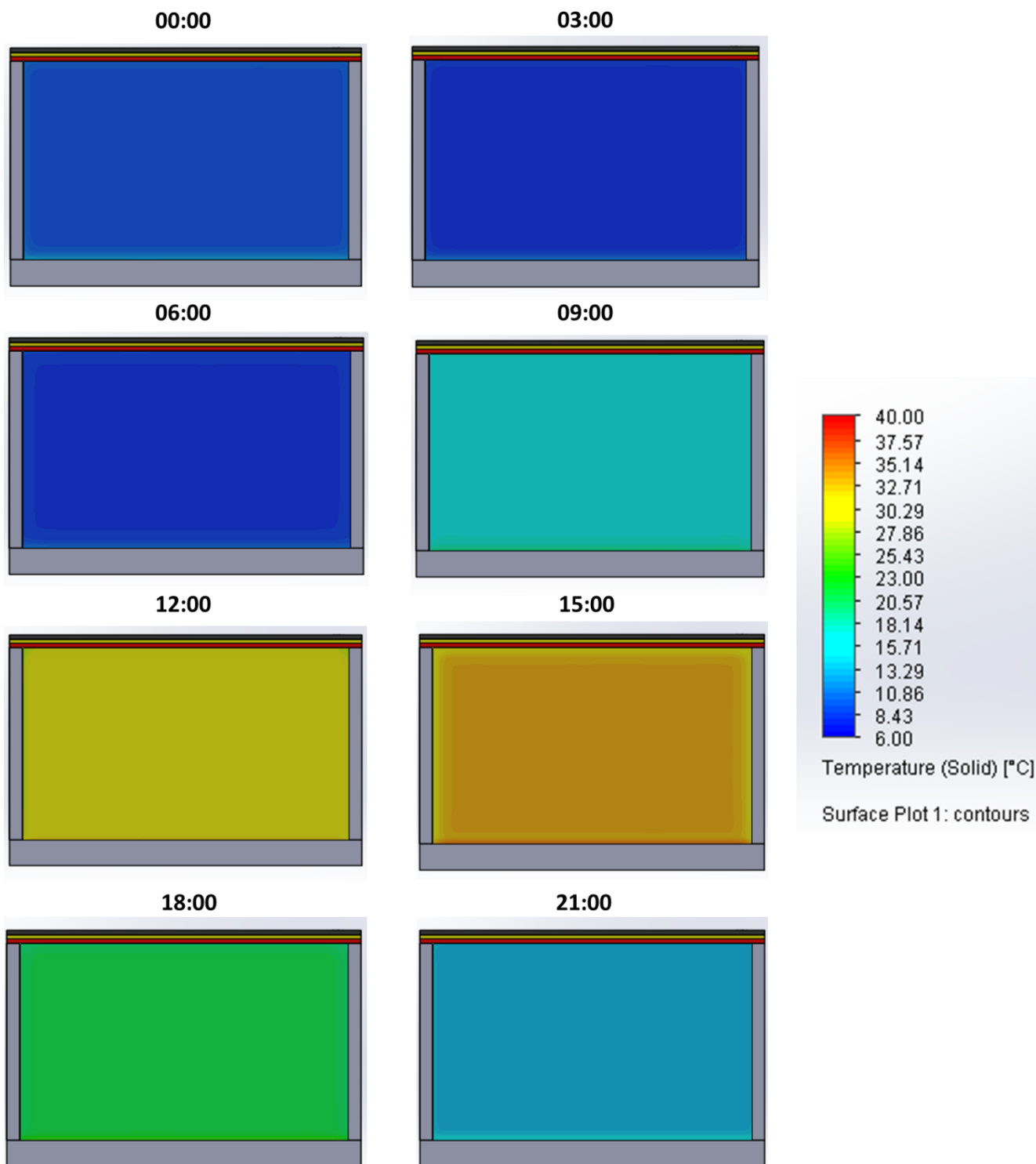


Εικόνα 106: Κατανομή της εσωτερικής θερμοκρασίας στο μοντέλο με τοίχο Trombe κατά την τοπική ημέρα του Ιανουάριου σε κάτοψη σε τομή στη μέση του κτιρίου

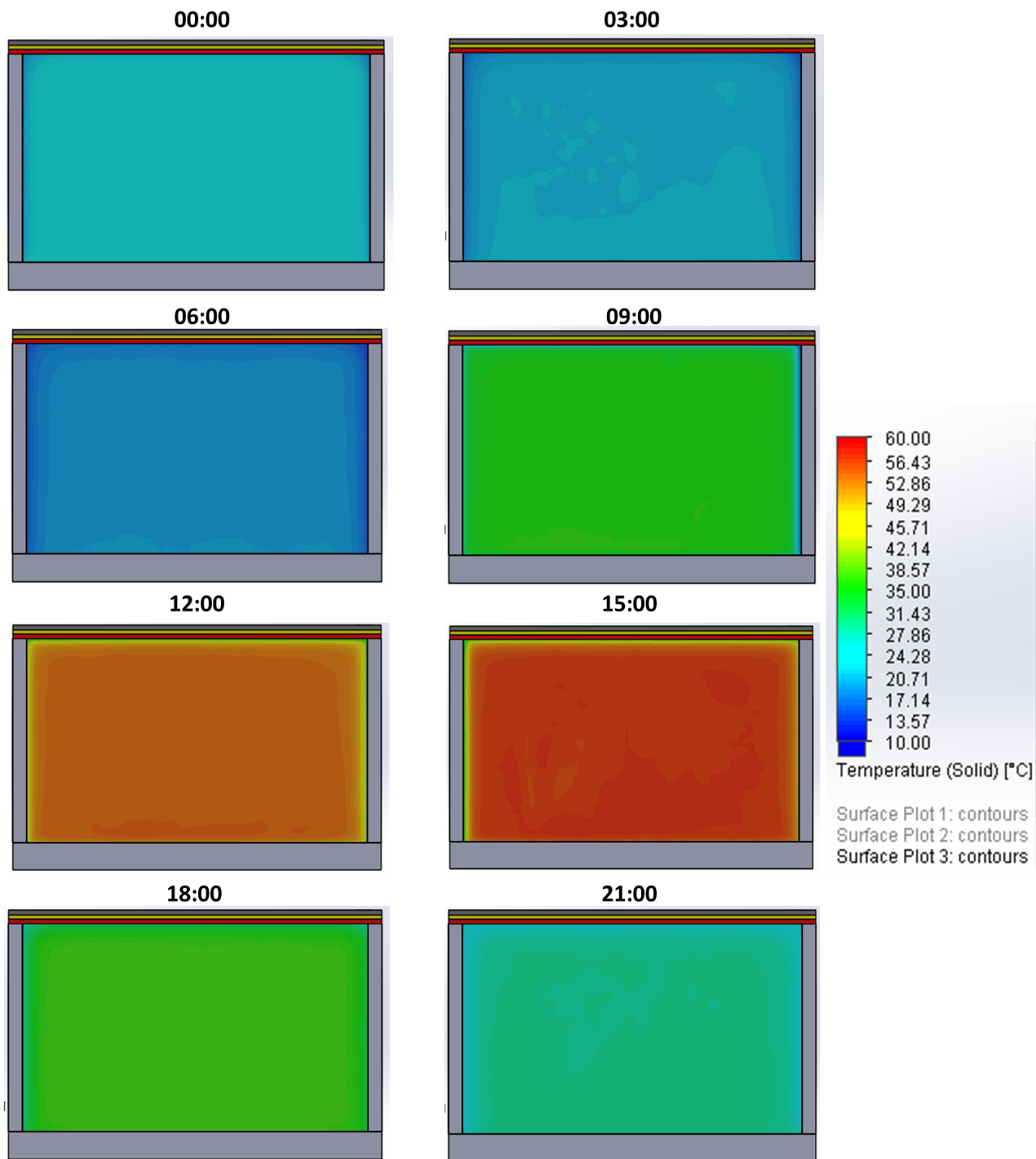


Εικόνα 107: Κατανομή της εσωτερικής θερμοκρασίας στο μοντέλο με καινοτόμο τοίχο Trombe κατά την τοπική ημέρα του Ιανουαρίου σε κάτοψη σε τομή στη μέση του κτιρίου

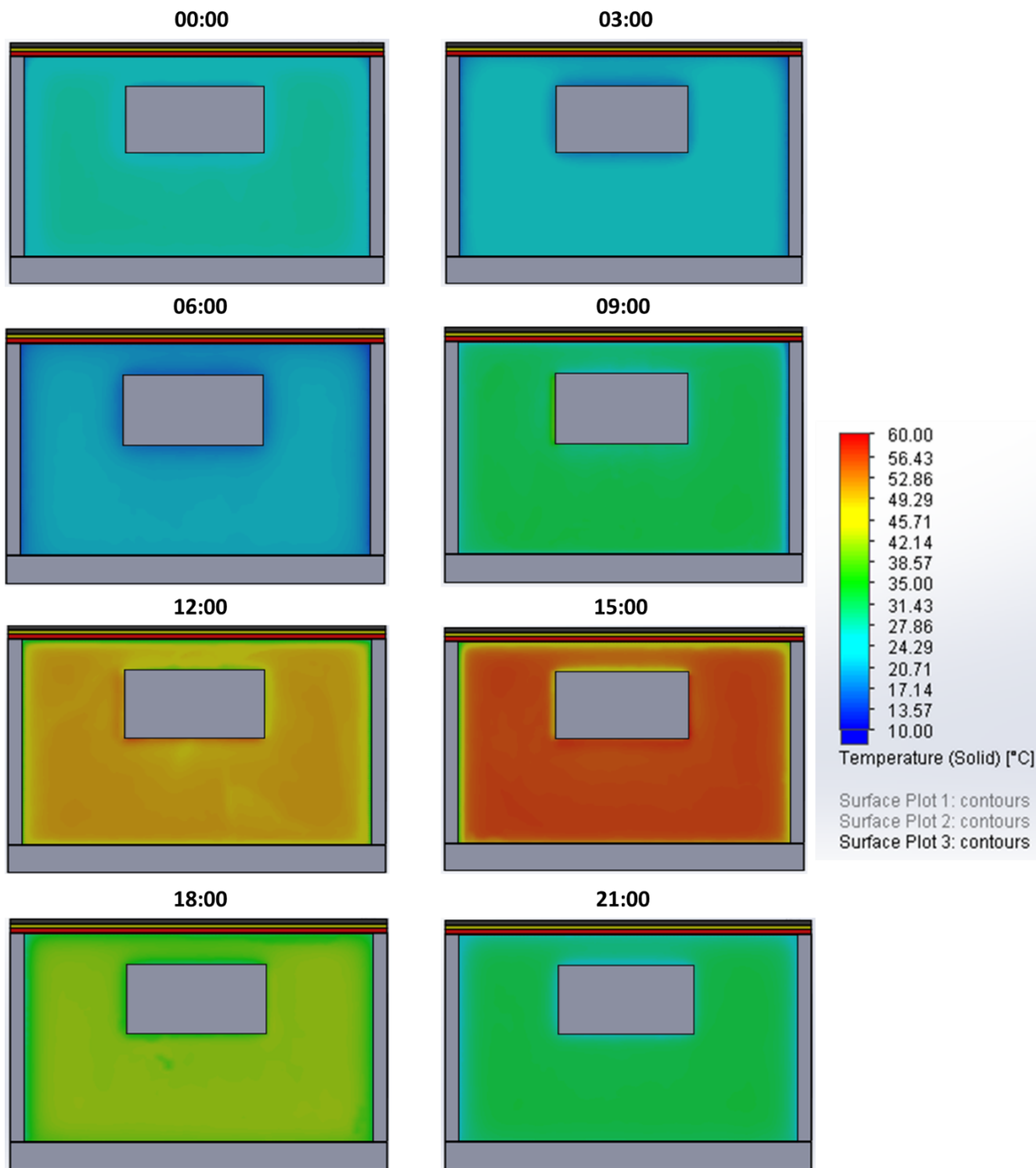
Στις εικόνες **108**, **109** και **110** που ακολουθούν παρατηρείται ότι και τα 3 μοντέλα παρουσιάζουν μέγιστη θερμοκρασία στην εξωτερική πλευρά του νότιου τοίχου στις 3 το μεσημέρι ενώ οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται τις πρώτες πρωινές ώρες. Στη κατανομή θερμοκρασίας στο εσωτερικό των μοντέλων, όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, η μέγιστη θερμοκρασία σημειώνεται στις 6 το απόγευμα. Η διαφορά αυτή είναι ποδεκτή λόγω της χρονικής υστέρησης που παρουσιάζεται για τη μεταφορά της θερμότητας από το εξωτερικό στο εσωτερικό των μοντέλων. Και στις 3 περιπτώσεις που αναλύονται μπορεί να παρατηρήσει κανείς τις απώλειες θερμοκρασίας, όπου εμφανίζονται χαμηλότερες θερμοκρασίες, περιμετρικά στα τοιχώματα των μοντέλων και στην περίπτωση του καινοτόμου μοντέλου και γύρω απ'τον υαλοπίνακα. Επιπλέον είναι εμφανής η θερμοκρασιακή υπεροχή και των 2 μοντέλων που διαθέτουν τον τοίχο Trombe από το σύνηθες μονωμένο μοντέλο, ενώ μεταξύ τους το απλό και καινοτόμο μοντέλο με τον τοίχο Trombe παρουσιάζουν πολύ μικρές θερμοκρασιακές διαφορές.



Εικόνα 108: Κατανομή της θερμοκρασίας στην εξωτερική όψη του τοιχώματος του νότιου τείχους στο μοντέλο με απλό μονωμένο τοίχο για το μήνα Ιανουάριο



Εικόνα 109: Κατανομή της θερμοκρασίας στην εξωτερική όψη του τοιχώματος του νότιου τοίχου στο μοντέλο με τοίχο Trombe για το μήνα Ιανουάριο



Εικόνα 110: Κατανομή της θερμοκρασίας στην εξωτερική όψη του τοιχώματος του νότιου τοίχου στο καινοτόμο μοντέλο με τοίχο Trombe για το μήνα Ιανουάριο

Στη συνέχεια ακολουθούν διαγραμματικά (**Εικόνα 111**) οι κατανομές της θερμοκρασίας στο νότιο τοίχο των 3 μοντέλων.

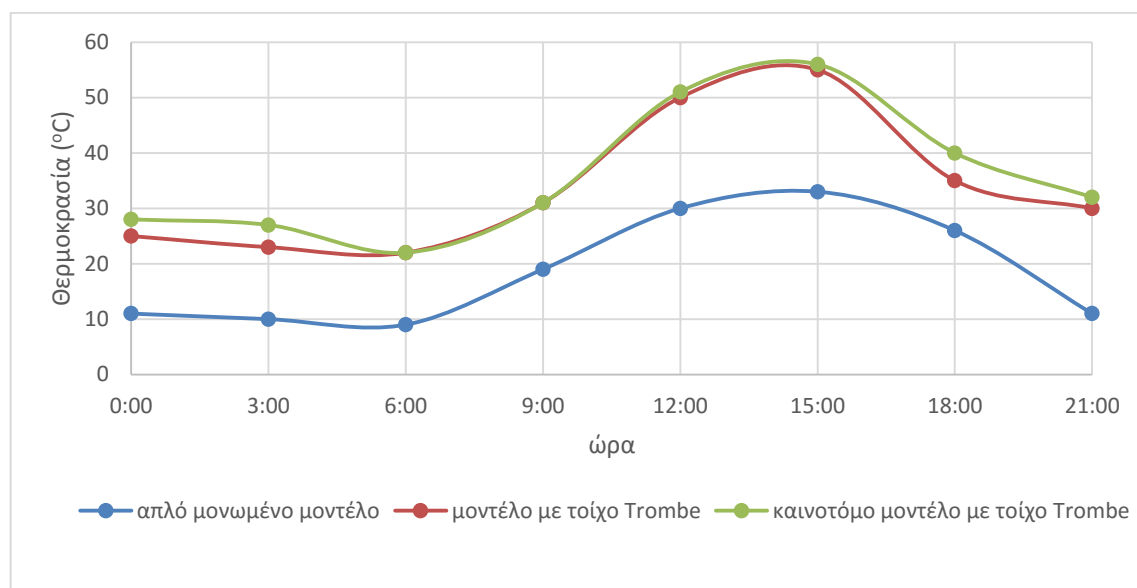


Εικόνα 111: Διαγράμματα κατανομής της θερμοκρασίας του νότιου τοίχου των τριών μοντέλων τον Ιανουάριο

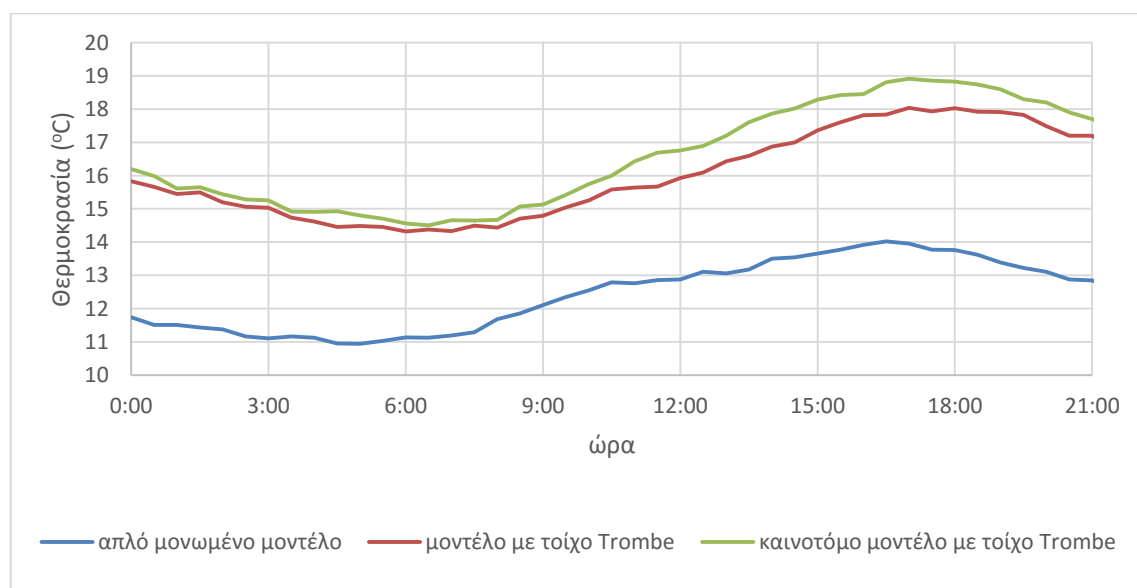
Οι τιμές των θερμοκρασιών της **εικόνας 111** αποτελούν το μέσο όρο των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται σε κάθε περίπτωση και κάθε μοντέλο στις εικόνες 105-107.

Στην **Εικόνα 112** και **Εικόνα 113** παρουσιάζονται συγκριτικά οι κατανομές της θερμοκρασίας του νότιου τοίχου και του εσωτερικού χώρου αντίστοιχα των 3 μοντέλων. Πιο

συγκεκριμένα η **Εικόνα 112** αποτελεί το συγκριτικό διάγραμμα της **Εικόνας 111** των 3 περιπτώσεων. Σε αντίθεση η **Εικόνα 113** αποτελεί τη σύγκριση των 3 μοντέλων ως προς τις εσωτερικές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται και ουσιαστικά αποτελεί τη διαγραμματική απεικόνιση των **εικόνων 105-107**. Είναι εμφανές από το διάγραμμα και σε αυτό το σημείο ότι η μέγιστη θερμοκρασία στο εξωτερικό του νότιου τοίχου των μοντέλων πραγματοποιείται στις 3 το μεσημέρι ενώ στο εσωτερικό του χώρου στις 6 το απόγευμα λόγω της χρονικής υστέρησης όπως εξηγήθηκε νωρίτερα.



Εικόνα 112: Σύγκριση της κατανομής της θερμοκρασίας του νότιου τοίχου των τριών μοντέλων τον Ιανουάριο



Εικόνα 113: Σύγκριση της κατανομής της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό των τριών μοντέλων τον Ιανουάριο

3.4 Κλιματολογικά αποτελέσματα

Στον **Πίνακα 5** παρουσιάζεται η μέγιστη, ελάχιστη και μέση θερμοκρασία που παρατηρήθηκε τον κάθε μήνα σύμφωνα με τους **Πίνακες Δ.3.3** έως **Δ.3.6** του βιβλίου Κλιματισμός του καθηγητή Κίμωνα Α. Αντωνόπουλου [29].

Μήνες	Διάρκεια ημέρας (ώρες)	Θερμοκρασία (°C)		
		μέγιστη	μέση	Ελάχιστη
Νοέμβριος	9.672	14.2	12.0	10.7
Δεκέμβριος	9.363	11.2	9.3	7.8
Ιανουάριος	9.860	12.5	9.4	6.9
Φεβρουάριος	10.928	14.6	11.0	8.4
Μάρτιος	10.084	14.7	12.0	10.0
Απρίλιος	13.343	18.9	15.1	12.1

Πίνακας 5: Κλιματολογικά δεδομένα

Επιπλέον η διάρκεια της εξεταζόμενης ημέρας κάθε μήνα που παρατίθενται στον **Πίνακα 5** υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση 2 [30].

Υπολογισμός διάρκειας ημέρας

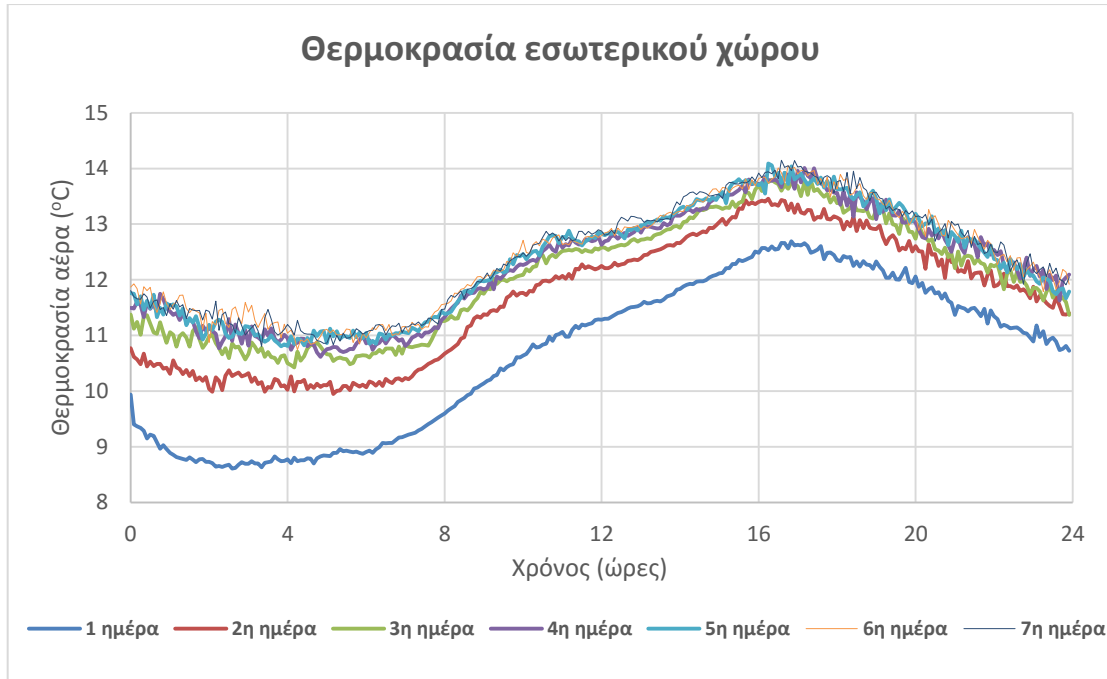
$$N = \frac{2}{15} * \cos^{-1} \cos(-\tan \varphi * \tan \delta), \quad (2)$$

όπου φ το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας (38°), ενώ η ηλιακή απόκλιση δ υπολογίζεται από την εξίσωση 3.

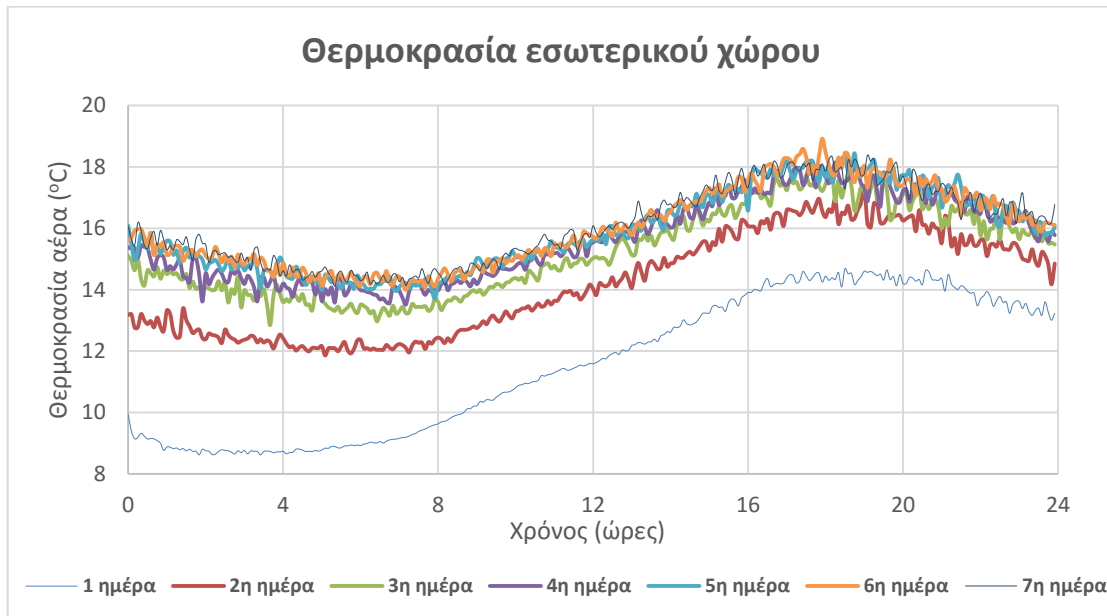
$$\delta = 23,45 * \sin \frac{360(284+n)}{365}, \quad (3)$$

όπου $n=1 \div 365$ η ημέρα του έτους

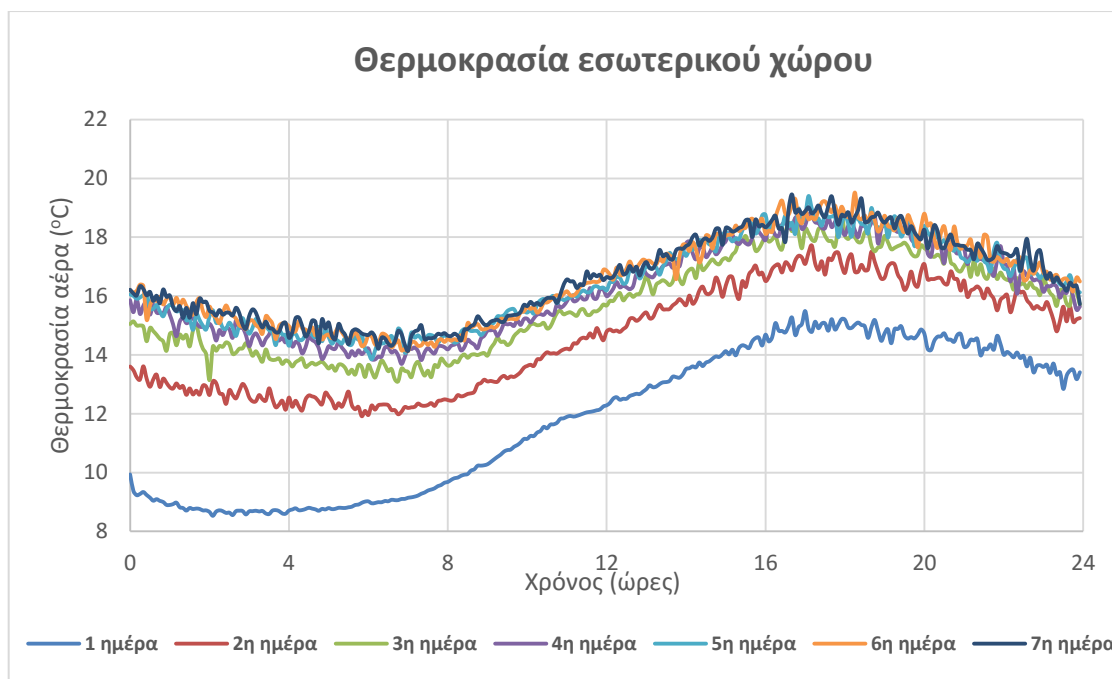
Στο **Διάγραμμα 6, 7** και **8** συγκρίνονται οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό του κάθε μοντέλου κατά τις 7 εξεταζόμενες ημέρες του Ιανουαρίου. Η σύγκριση αυτή γίνεται για να αποδειχθεί ότι σε όλες τις περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι αποδεκτά ουσιαστικά από την 5^η ημέρα όπου οι θερμοκρασίες συγκλίνουν αλλά τελικά επιλέχθηκε ως τυπική ημέρα η 7^η.



Διάγραμμα 6: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του εσωτερικού αέρα του συνήθως μονωμένου μοντέλου κατά τις 7 εξεταζόμενες ημέρες για τον μήνα Ιανουάριο



Διάγραμμα 7: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του εσωτερικού αέρα του μοντέλου με τον τοίχο Trombe κατά τις 7 εξεταζόμενες ημέρες για τον μήνα Ιανουάριο



Διάγραμμα 8: Σύγκριση θερμοκρασιακών προφίλ του εσωτερικού αέρα του μοντέλου με τον καινοτόμο τοίχο Trombe κατά τις 7 εξεταζόμενες ημέρες για τον μήνα Ιανουάριο

Στη συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα που αφορούν τις συνθήκες περιβάλλοντος της προσομοίωσης και τα κλιματολογικά.

Στο **Διάγραμμα 9** παρουσιάζεται η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κάθε μήνα η οποία υπολογίστηκε με βάση τις εξισώσεις 4, 5, 6 και 7 που ακολουθούν.

Υπολογισμός προσπίπτουσας ακτινοβολίας

$$q_s = \frac{1360 \frac{W}{m^2} * (\frac{v}{100})}{(1+0.092 * m_1)} \tag{4}$$

Υπολογισμός συντελεστή m_1

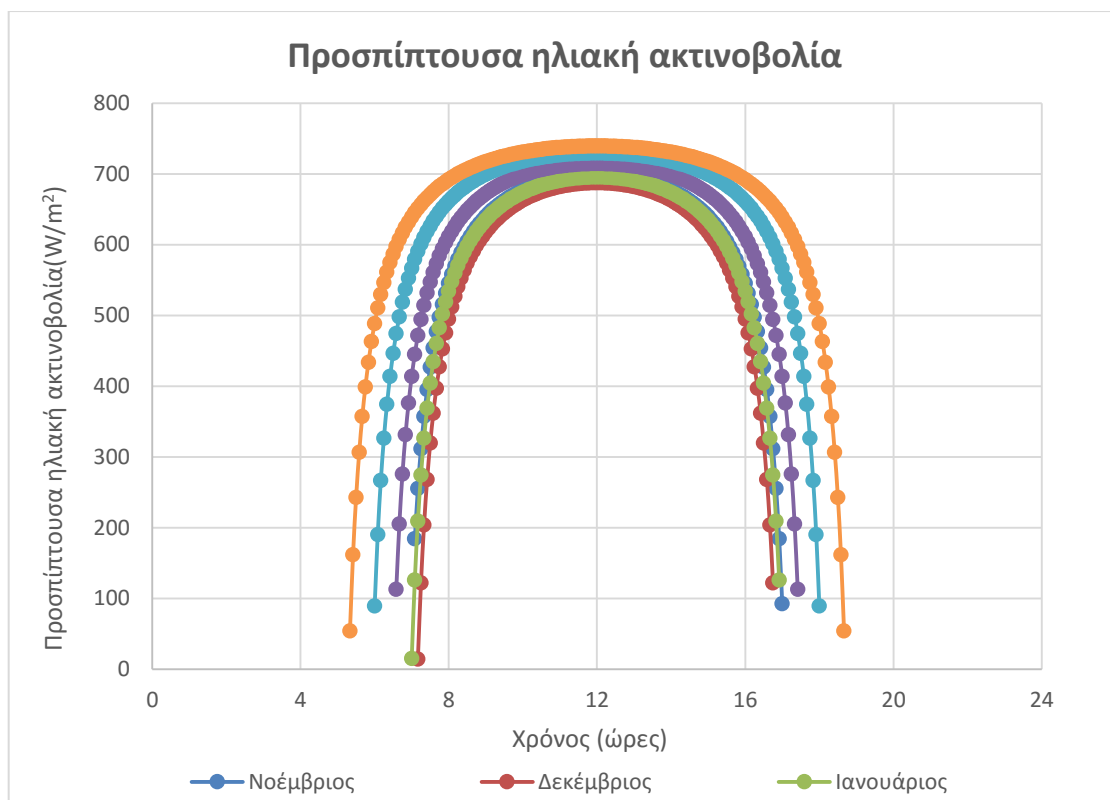
$$m_1 = \frac{1.029}{(0.029 + \sin \theta_s)} \tag{5}$$

Υπολογισμός γωνίας πρόσπτωσης

$$\sin \theta_s = \cos h * \cos \delta * \cos \varphi + \sin \delta * \sin \varphi \tag{6}$$

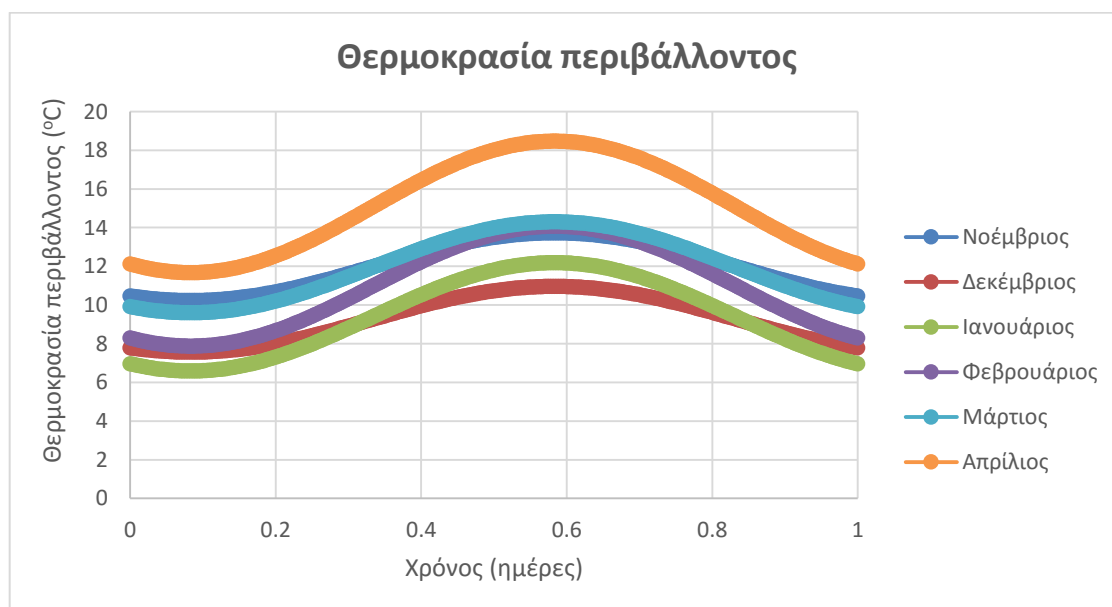
Υπολογισμός συντελεστή h

$$h = \frac{t(s) * 2\pi}{86400s} - \pi \tag{7}$$



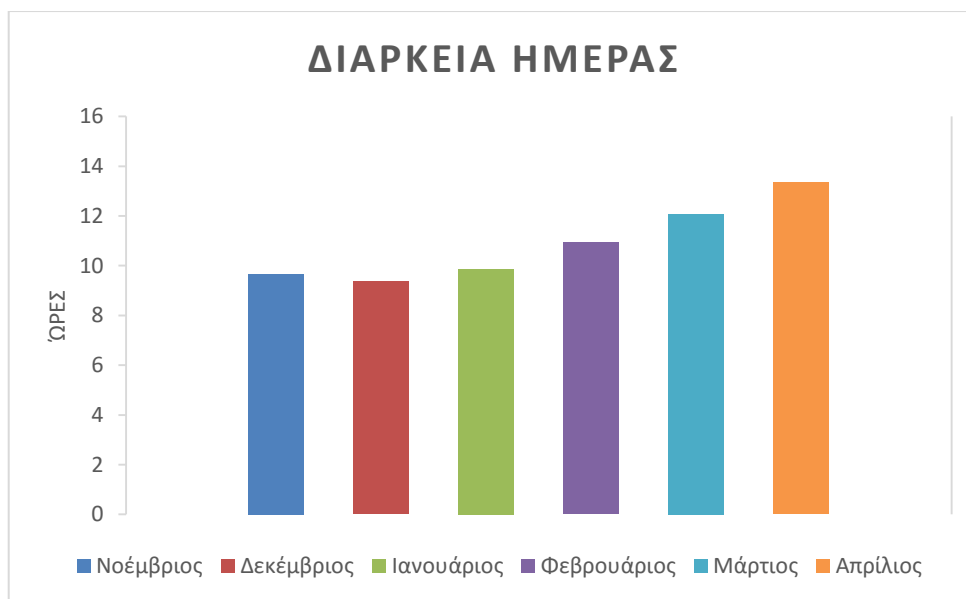
Διάγραμμα 9: Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο νότιο τοίχο κατά την τυπική ημέρα

Στο Διάγραμμα 10 παρουσιάζεται γραφικά η θερμοκρασία του περιβάλλοντος την τυπική ημέρα σύμφωνα με την εξίσωση 1.



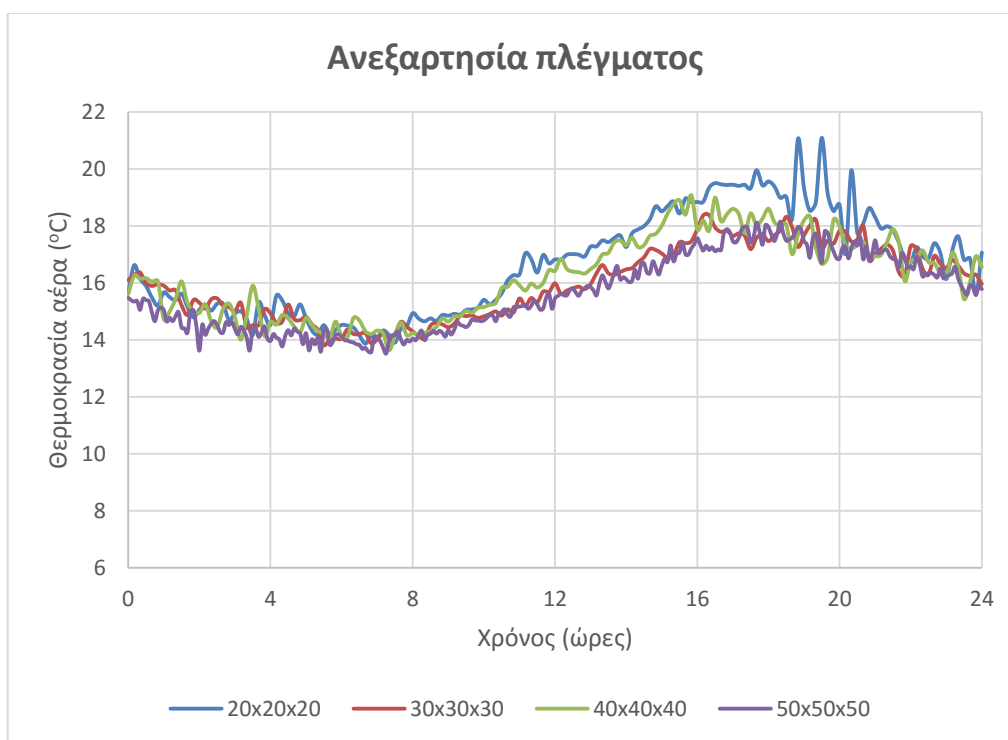
Διάγραμμα 10: Προφίλ της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος κατά την τυπική ημέρα

Στο Διάγραμμα 11 παρουσιάζεται η διάρκεια της ημέρας κάθε μήνα υπολογιζόμενη σύμφωνα με την εξίσωση 2.



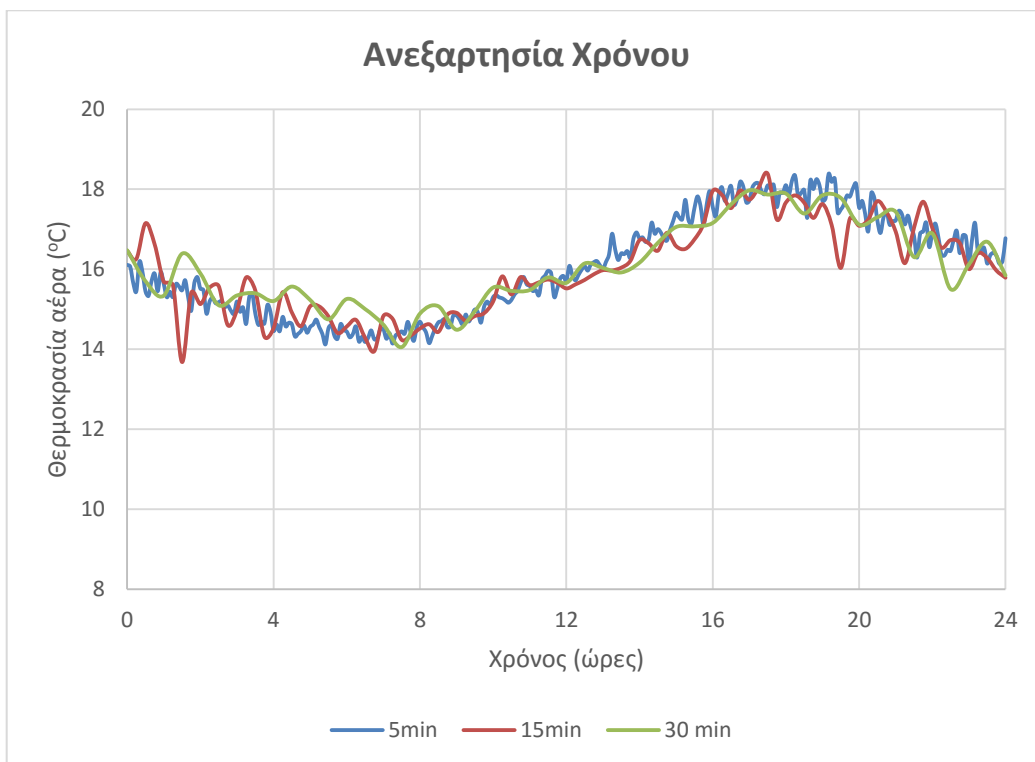
Διάγραμμα 11: Διάρκεια ημέρας ανά μήνα

Τέλος παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ανεξαρτησίας πλέγματος και χρόνου ώστε να ενισχυθεί η εγκυρότητα της επιλογής του αριθμού των κόμβων και του χρονικού βήματος κατά την προσομοίωση. Όπως παρατηρείται στο **Διάγραμμα 12** στο σύστημα κόμβων 50x50x50 υπάρχουν ελάχιστες διακυμάνσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα γι' αυτό και επιλέχθηκε.



Διάγραμμα 12: Ανεξαρτησία πλέγματος

Κατά τον ίδιο τρόπο στο **Διάγραμμα 13** επιλέχθηκε το χρονικό βήμα των 5 λεπτών ως βέλτιστο, καθώς ήταν το μόνο με ελάχιστες διακυμάνσεις.



Διάγραμμα 13: Ανεξαρτησία χρόνου

4 Συμπεράσματα

Στη παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται και συγκρίνονται 3 κτιριακά μοντέλα ως προς τις θερμικές αποδόσεις τους. Τα τοιχώματα του πρώτου μοντέλου έχουν ενισχυθεί με στρώση μονωτικού υλικού, υαλοβάμβακα, ενώ στο δεύτερο και το τρίτο ο νότιος τοίχος έχει αντικατασταθεί με τοίχο Trombe, ο οποίος αποτελείται μόνο από τούβλα χωρίς ενίσχυση μονωτικού υλικού. Η διαφορά στο 2^ο και 3^ο μοντέλο έγκειται στον διαφορετικό σχεδιασμό του τοίχου Trombe, καθώς στο 3^ο μοντέλο εφαρμόζεται μία νέα μορφή τοίχου Trombe ο οποίος διαθέτει ένα επιπλέον εσωτερικό παράθυρο. Τα 3 μοντέλα σχεδιάστηκαν στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Solidworks και προσομοιώθηκαν με την προστιθέμενη εφαρμογή Solidworks Flow Simulation. Τα 3 μοντέλα εξετάστηκαν για τους 6 χειμερινούς μήνες, από Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο, για 7 ημέρες κάθε μήνα, από τη 18^η μέχρι την 24^η ημέρα, από τις οποίες επιλέχθηκε ως τυπική ημέρα, μετά από έλεγχο ως προς την ορθότητα των αποτελεσμάτων, η 7^η εξεταζόμενη ημέρα κάθε μήνα.

Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν έδειξαν μεταξύ των μοντέλων με τον κλασικό τοίχο Trombe και τον καινοτόμο, θερμοκρασιακή αύξηση στον εσωτερικό χώρο του 2^{ου} μοντέλου κατά μέσο όρο 0.5 βαθμούς κελσίου. Επιλέγοντας την μελέτη του Ιανουαρίου ως πιο αντιπροσωπευτική, παρατηρήθηκε τον μήνα αυτό ότι η μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας εμφανίζεται ανάμεσα στις μεσημεριανές και απογευματινές ώρες. Πιο συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας στην εξωτερική όψη του νότιου τοίχου κάθε μοντέλου παρατηρήθηκε στις 3 το μεσημέρι ενώ η αντίστοιχη αύξηση στο εσωτερικό του κάθε μοντέλου παρατηρήθηκε στις 6 το απόγευμα. Η προαναφερθείσα χρονική υστέρηση στη θέρμανση του εξωτερικού και εσωτερικού και των 3 μοντέλων οφείλεται στην καθυστέρηση της μετάδοσης της θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων από το περιβάλλον στο εσωτερικό των μοντέλων κατά την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας από τα τοιχώματα και την μετέπειτα έκλυσή της. Επιπλέον συγκρίνοντας την εσωτερική θερμοκρασία κάθε μοντέλου για τις 7 εξεταζόμενες ημέρες προέκυψε ότι η θερμοκρασία άρχισε να σταθεροποιείται από την 5^η ημέρα και έπειτα, επιβεβαιώνοντας με τον τρόπο αυτό την χρονική υστέρηση για την αποθήκευση της θερμότητας από τα δομικά υλικά και την έκλυσή της.

Συγκριτικά με τα 2 μοντέλα στα οποία εφαρμόζεται τοίχος Trombe, οι θερμοκρασιακές διαφορές κάθε μήνα ήταν αρκετά μικρές ενώ το απλό μοντέλο με τα συνήθη μονωμένα τοιχώματα παρουσίασε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αυτό συμβαίνει γιατί τα μο-

ντέλα με τους τοίχους Trombe εκμεταλλεύονται εκτός από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την άμεση ακτινοβολία του ηλίου μέσω των υαλοπινάκων που διαθέτουν. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται ιδιαίτερα στο 3^ο μοντέλο, το οποίο εκτός από την γυάλινη όψη φέρει ένα επιπλέον παράθυρο στο νότιο τοίχο του τοίχου Trombe. Ο χώρος εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία αμεσότερα μέσω αυτού του επιπλέον υαλοπίνακα, με αποτέλεσμα να υπάρχει περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με τον κλασικό τοίχο Trombe.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας προκύπτει ότι ο καινοτόμος σχεδιασμός του τοίχου Trombe αποφέρει σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας στον εσωτερικό χώρο, η οποία κρίνεται απαραίτητη ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες για την εξασφάλιση της θερμικής άνεσης. Ο κλασικός τοίχος Trombe συντελεί σε ικανοποιητικό βαθμό στην αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του χώρου ενώ το μοντέλο απλού μονωμένου κτιριακού κελύφους παρουσιάζει χαμηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να απαιτούνται και άλλα τεχνητά μέσα θέρμανσης για την εξασφάλιση της θερμικής άνεσης. Στο μέλλον θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να εξετασθεί η εφαρμογή του τοίχου αυτού τους καλοκαιρινούς μήνες με τη χρήση θυρίδων, κατά τους οποίους ο τοίχος Trombe λειτουργεί αποδοτικότερα. Ο τοίχος Trombe εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα να είναι περισσότερο αποδοτικός τους μήνες με υψηλή ηλιοφάνεια. Επιπλέον θα ήταν σημαντικό να ακολουθήσει και μια οικονομοτεχνική μελέτη των μοντέλων που δημιουργήθηκαν ώστε να προσδιορισθούν οι παράγοντες του κόστους εφαρμογής αυτών των παθητικών συστημάτων και του χρόνου απόσβεσης. Τέλος τα μοντέλα αυτά μπορούν να μελετηθούν υπό νέο σχεδιασμό συνδυάζοντας και άλλα θερμικά μέσα όπως είναι η ηλιακή καμινάδα και η ενδοδαπέδια θέρμανση.

5 Βιβλιογραφία

- [1] Ασαρβέλης, Δ. (2010). Εξοικονόμηση ενέργειας με επεμβάσεις στον Η/Μ κτιριακού τομέα
- [2] Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., & Ghaffarianhosein, A. (September 2016). Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 62, 1252-1269
- [3] Dabaieh, M., & Elbably, A. (2015). Ventilated Trombe wall as a passive solar heating and cooling retrofitting approach; a low-tech design for off-grid settlements in semi-arid climates. *Solar Energy*, 820-833
- [4] Abbassi, F., & Dehmani, L. (15 October 2015). Experimental and numerical study on thermal performance of an unvented Trombe wall associated with internal thermal fins. *Energy and Buildings*, Volume 105, 119-128
- [5] Ευθυμιάδης, Α., Γαλάνης, Ν., & Καλλιακούδη, Κ. (2014). Εναλλακτικές τεχνολογίες θέρμανσης- εξοικονόμηση ενέργειας. Αθήνα
- [6] Abbassi, F., Narjes, D., & Dehmani, L. (September 2014). Energetic study of a Trombe wall system under different Tunisian building configurations. *Energy and Buildings*, Volume 80, 302-308
- [7] Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. (October 2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 15, Issue 8, 3617-3631
- [8] http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=282&language=el-GR&SkinSrc=%5BG%5DSkins%2F_default%2FNo+Skin&ContainrSrc=%5BG%5DContainers%2F_default%2FNo+Container&dnnprintmode=true

- [9] Bojić, M., Johannes, K., & Kuznik, F. (February 2014). Optimizing energy and environmental performance of passive Trombe wall. *Energy and Buildings*, Volume 70, 279-286
- [10] http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_bioclimatic_eng.htm
- [11] Chan, H.-Y., Riffat, S., & Zhu, J. (February 2010). Review of passive solar heating and cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 14, Issue 2, 781-789
- [12] Τζιβανίδης, Χ. (2015). *Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων*. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- [13] Ohanessian, P., & Charters, W. (1978). Thermal simulation of a passive solar house using a trombe-michel wall structure. *Solar Energy*, Volume 20, Issue 3, 275-281
- [14] <http://www.usc.edu/dept-00/dept/architecture/mbs/tools/thermal/passivesolar.html>
- [15] http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/01-02/RE_info/passive_solar.htm
- [16] <http://www.azsolarcenter.org/tech-science/solar-architecture/passive-solar-design-manual/passive-solar-design-manual-heating.html>
- [17] Jaber, S., & Ajib, S. (September 2011). Optimum design of Trombe wall system in Mediterranean region. *Solar Energy*, Volume 85, Issue 9, 1891-1898
- [18] D.K. Fidaros, C.A. Baxevanou, T. Bartzanas, C. Kittas. (July 2010). Numerical simulation of thermal behavior of a ventilated arc greenhouse during a solar day. *Renewable Energy*, Volume 35, Issue 7, Pages 1380-1386
- [19] <https://www.uaf.edu/files/ces/publications-db/catalog/eeh/EEM-01259.pdf>

- [20] http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_nyxterini_aktinobolia.htm
- [21] Saadatian, O., Sopian, K., Lim, C., Asim, N., & Sulaiman, M. (October 2012). Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 16, Issue 8, 6340-6351
- [22] Mazria, E. (1979). *The Passive Solar Energy Book*
- [23] http://www.usc.edu/dept-00/dept/architecture/mbs/tools/thermal/controls_passolar_ind.html
- [24] Shen, J., Lassue, S., Zalewski, L., & Huang, D. (August 2007). Numerical study on thermal behavior of classical or composite Trombe solar walls. *Energy and Buildings*, Volume 39, Issue 8, Pages 962-974
- [25] Guobing, Z., & Mengmeng, P. (2015). Experimental investigations on thermal performance of phase change material - Trombe wall system enhanced by delta winglet vortex. *Energy and Buildings*, 758-769
- [26] Rabani, M., Kalantar, V., Dehghan, A., & Faghieh, A. (August 2015). Experimental study of the heating performance of a Trombe wall with a new design. *Solar Energy*, Volume 118, Pages 359-374
- [27] He, W., Hu, Z., Luo, B., & Hong, X. (1 October 2015). The thermal behavior of Trombe wall system with venetian blind: An experimental and numerical study. *Energy and Buildings*, Volume 104, 395-404
- [28] http://www.solidworks.com/sw/656_ENU_HTML.htm
- [29] Αντωνόπουλος, Κ. Α. (2011). *Κλιματισμός*. Αθήνα: Ε.Μ.Π.

- [30] Αντωνόπουλος, Κ. Α. (2011). Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- [31] Madeen architecture and Construction, L.L.C. http://www.madeen.com/photos_and_designs_pg4.htm