ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Επίδραση διαφορετικών τύπων υαλοπινάκων στην ενεργειακή κατανάλωση κτηρίων»

Της ΜεταπτυχιακήςΦοιτήτριας

Μαντά Δήμητρα

Κορωνάκη Ειρήνη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια,
Σχολή Μηχανολόγων ΜηχανικώνΕ.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος2018

<Sustainability is nothing other than the rigorous use of commonsense.>

AlejandroAravena

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Κορωνάκη Ειρήνη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την ανάθεση της πτυχιακής, αλλά και για την πολύτιμη καθοδήγησή της σε όλα τα στάδια υλοποίησης της εργασίας. Θα Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου, για την διαρκή υποστήριξή και συμπαράσταση τους.

Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία έχει σημειωθεί δραματική αύξηση στην χρήση του γυαλιού σαν δομικό υλικό στις κατασκευές και συχνά εκφράζει την κουλτούρα ενός πολιτισμού. Σε όλες τις εποχές διαδραμάτιζε σημαντικό ρόλο με αποτέλεσμα να συναντάμε ανά ήπειρο, κατασκευές με διαφορετική επιλογή χρωμάτων, σχημάτων και γραμμών.

Διακρίνεται για την πολυμορφία, την ασφάλεια, την αντοχή και την αισθητική, ενώ είναι εύκολο να συνδυαστεί με άλλα υλικά και να κατεργαστεί με διαφορετικούς τρόπους, γεγονός που το καθιστά ιδανική λύση για κάθε έργο. Το ποσοστό γυαλιού που χρησιμοποιείται στα σημερινά κτήρια αυξάνεται συνεχώς, με συνέπεια πολλά να έχουν ακόμη και ολόκληρο τον σκελετό τους καλυμμένο με γυαλί.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται το γυαλί/υαλοπίνακας ως δομικό υλικό και αναδεικνύονται οι δυνατότητές του. Πιο συγκεκριμένα περιγράφονται: οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητές,η μέθοδος παραγωγής, οι δυνατότητες, το νομικό πλαίσιο στο οποίο υπάγεται και η συνεισφορά του, στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ακόμα αναλύονται, οι σύγχρονες εξελίξεις και το μέλλον του γυαλιού στην κατασκευή, ώστε να δοθεί στον αναγνώστη το έναυσμα για βαθύτερη ενασχόληση με το αντικείμενο. Στο τέλος παρουσιάζεται μία ενεργειακή αξιολόγηση διαφόρων τύπων υαλοπινάκων σε κτήριο, που χωροθετείται σε τρεις διαφορετικές κλιματικές ζώνες και για διαφορετικούς προσανατολισμούς, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα TRNSYS. Στόχος είναι η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, για τον ενεργειακό σχεδιασμό κτηρίων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και κατ’ επέκταση την χάραξη ενεργειακής πολιτικής.

Abstract

The use of glass as a structural material has increased significantly over the past few years. Found in many different shapes, colors and lines, glass has been an integral part of the culture of many different civilizations around the world. Known for its safety, durability and high aesthetic value, it can be combined with many different materials in almost every building project around. The percentage of glass that is used in buildings today is constantly increasing, as even buildings have their entire frame covered by glass. The main goal of this thesis is to examine the use potential of glass as a structural material in buildings. More specifically, a detailed overview is provided of its mechanical and physical properties, production method, existing legislation and contribution to the energy efficiency of buildings. The revolution of glass usage in modern buildings as well as the future of glass are described. Lastly, a building's energy consumption audit was conducted using TRNSYS software. Various types of glass, climatic zones and orientations were examined. All the data from the energy consumption audit were analyzed and conclusions were drawn, that can be used for designing low energy buildings as well as for developing new energy policies

Περίληψη

Τα κτίρια κατέχουν κεντρική θέση στη ζωή μας και στην κοινωνία στο σύνολό της. Ωστόσο, η ενεργειακή απόδοση τους κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, καθώς αποτελούν μια από τις σημαντικότερες πηγές εκπομπών CO2 παγκοσμίως. Σήμερα, παρόλο που υπάρχει η δυνατότητα νακατασκευαστούν νέα, χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, τα παλαιότερα κτίρια είναι εκείνα που αντιπροσωπεύουν τη συντριπτική πλειοψηφία του κτιριακού τομέα και χρήζουν παρεμβάσεων, με στόχο την μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειάς τους. Η χάραξη πολιτικής για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία, που απαιτεί την ουσιαστική κατανόηση όλων των μεταβλητών που συναντώνται στο κτίριο. Ηδιερεύνηση των δυνατοτήτων διείσδυσης καινοτόμων ενεργειακών τεχνολογιών στοενεργειακό σύστημα μιας χώρας, οι οποίες θα επιτρέψουν την άρτια διεξαγωγή της παραπάνω διαδικασίας, αποτελεί καθοριστικής σημασίας έρευνα, τα αποτελέσματατης οποίας αναμένεται να διαδραματίσουν πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση ενός βιώσιμου μέλλοντος, με γνώμονα την ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας από καύσιμα και την καλυτέρευση του δικού μας τρόπου ζωής, αλλά και των επερχόμενων γενιών.

Η απόδοση των κτιρίων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τα εγκατεστημένα συστήματα θέρμανσης/ψύξης, τις κλιματικές συνθήκες, το κέλυφος κλπ. Στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία, μελετάται η σχέση μεταξύ των υαλοπινάκων του κτιρίου και του προσανατολισμού του, με την ενεργειακής κατανάλωσης του. Τα τελευταία κεφάλαια είναι αφιερωμένα, στον υπολογισμό της ενέργειας που απαιτείται για να θερμανθεί και να ψυχθεί το κτήριο, στο βαθμό που θα εξασφαλίζονται επιθυμητές συνθήκες άνεσης για τους χρήστες του. Κινούμενοι προς την κατεύθυνση της αειφόρου ανάπτυξης, έχουν εφαρμοστεί σενάρια, στα οποία μεταβάλλεται ο προσανατολισμός του κτηρίου, με σκοπό να επιτευχθεί βέλτιστη εξοικονόμηση ενέργειας. Παράλληλα για κάθε έναν προσανατολισμό εφαρμόζονται διαφορετικοί τύποι υαλοπίνακα, από τον μονό μέχρι τον ενεργειακό τρίτη γενιάς, έτσι ώστε να προσδιοριστεί ο αποδοτικότερος συνδυασμός. Στο πλαίσιο της εργασίας το υπό μελέτη κτήριο χωροθετείται σε τρεις διαφορετικές κλιματικές ζώνες, προκειμένου ο αναγνώστης να σχηματίσει ολοκληρωμένη εικόνα. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ενεργειακή προσομοίωση ήταν το TRNSYS. Στο κείμενο που ακολουθεί παρατίθενται αναλυτική περιγραφή των παραμέτρων εισαγωγής και τα αποτελέσματα που εξαχθήκαν. Στο παράρτημά έχουν επισυναφθεί όλες οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν, σε μορφή διαγραμμάτων, όπου παρουσιάζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις, σε κάθε χρονική στιγμή σε ετήσια βάση.

Πίνακας περιεχομένων

1. ΤΟ ΓΥΑΛΙ 3

1.2 Ιστορικη Αναδρομη 5
1.3 Ειδη γυαλιου και τεχνικες επεξεργασιας 7
1.4 Παραγωγικη Διαδικασια 9
1.4.1 Επιλογη πρωτων υλων & προετοιμασια παρτιδων 10
1.4.2 Τηξη & Διυλιση 12
1.4.3Προετοιμασια 14
1.4.4Διαμορφωση 14
1.4.5Παραγωγη 16
1.4.6Επικαλυψη των γυαλινων επιφανειων 16
1.5Ιδιοτητες 16
1.6Εντυπωσιακα και καινοτομα γυαλινα κτιρια 18

2 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ 28

2.1 ΧΡΗΣΕΙΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ 28
2.1.1 Solar Control – Έλεγχος της ηλιακης ενεργειας 28
2.1.2 Θερμικη μονωση 30
2.1.3 Ηχομειωση 31
2.1.4 Υπεριωδη Ακτινοβολια UV 33
2.1.5 Ασφαλεια 33
2.1.6. Προστασια 34
2.1.7 Πυροπροστασια 35

2.2 ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ 36
2.2.1 Θερμικα σκληρυμενος υαλοπινακας (Thermally toughened glass) (ΕΛΟΤ EN 12150) 36
2.2.1.1 Παραγωγή 37
2.2.1.2 Φυσικές Ιδιότητες (ΕΛΟΤ EN 410, ΕΛΟΤ EN 572) 37
2.2.1.3 Αντίσταση στην κρούση (ΕΛΟΤ EN 12600) 37
2.2.1.4 Αντοχή σε κάμψη (EN 16612) 37
2.2.1.5 Επίδραση της θερμότητας 38
2.2.1.6 Ανισοτροπίες (χρώμα) 38
2.2.1.7 Ανισοτροπίες (επιφάνεια) 38
2.2.1.8 Ταυτότητα 38
2.2.1.9 Σκληρυμένος θερμικά και κατεργασμένος με διαδικασία heat-soak υαλοπίνακας (Heatsoaked thermally toughened) (ΕΛΟΤ EN 14179) 38
2.2.2. Ενισχυμενος θερμικα υαλοπινακας (Heat strengthened glass) (ΕΛΟΤ EN 1863) 39
2.2.2.1 Παραγωγή 39
2.2.2.2 Αντοχή σε κάμψη (EN 16612) 39
2.2.2.3 Επίδραση της θερμότητας 40
2.2.3 Ενισχυμενος χημικα υαλοπινακας (Chemically strenghtened glass) (ΕΛΟΤ EN 12337) 40
2.2.4 Υαλοπινακας (ασφαλειας) πολλαπλων στρωσεων (Laminated safety glass) (ΕΛΟΤ EN 12543) 40
2.2.4.1 Παραγωγή 41
2.2.4.2 Φυσικές Ιδιότητες (ΕΛΟΤ EN 410, ΕΛΟΤ EN 572) 41
2.2.4.3 Αντοχή στην κρούση 41
2.2.5 Ενεργητικη και παθητικη ασφαλεια 41
2.2.5.1 Ενεργητική ασφάλεια 41
2.2.5.1.1 Αντοχή έναντι κτυπήματος (ΕΛΟΤ EN 356) 42
2.2.5.1.2 Αντίσταση έναντι προσβολής από σφαίρα (βλήμα) (ΕΛΟΤ EN 1063) 42
2.2.5.1.3 Αντίσταση έναντι πίεσης από έκρηξη (ΕΛΟΤ EN 13541) 43
2.2.5.2 Παθητική ασφάλεια 44

2.2.5.2.1 Προστασία ανθρώπων από τραυματισμό 44
2.2.5.2.2 Προστασία ανθρώπων από την πτώση 44

2.3 ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΠΡΟΗΓΜΕΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 45
2.3.1 ΑΥΤΟΚΑΘΑΡΙΖΟΜΕΝΟΙ 46
2.3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΧΡΩΜΙΚΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ 47
2.3.3 ΘΕΡΜΟΧΡΩΜΙΚΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ 48
2.3.4 ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΥΓΡΩΝ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ 49

3 ΓΥΑΛΙ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 50

3.1 Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ, ΣΤΗΝ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΤΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΤΗΣ ΕΕ 51

3.2 ΧΡΗΣΗ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΑΡΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ 52

3.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ 54
3.3.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ 55
3.3.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΕΠΟΧΩΝ 56

3.4 ΓΥΑΛΙ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ 57

3.5 ΝΟΜΙΚΟ ΚΑΙ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ 59
3.5.1 ΕΘΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ 59
3.5.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ 59
3.5.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ISO 61

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ 62

4.1Γνωριμία με το Λογισμικό Προσομοίωσης TRNSYS 65
4.1.1 Στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio) 65
4.1.1.3 Ρύθμιση των επιλεγμένων μοντέλων της προσομοίωσης 66
4.1.1.4 Συνδέσεις 66
4.1.1.5 Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων. 66
4.1.2 TRNBuild 67
4.1.2 TRNSED και TRNEdi 67
4.2 Μεθοδολογική προσέγγιση 67
4.2.1 Περιοχή μελέτης 71
4.2.2 Κάτοψη 71
4.2.3 Δομικά στοιχεία κελύφους 72
4.2.4 Διείσδυση Αέρα από κουφώματα 73
4.2.5 Πρόγραμμα λειτουργίας 73
4.2.6 Θερμικά κέρδη 73
4.2.7 Συστήματα ψύξης & θέρμανσης 73
4.3 Ενεργειακή κατανάλωση & σενάρια 74
4.3.1 Εφαρμογή 1ου σεναρίου: Χωροθέτηση κτηρίου στην κλιματική ζώνη Α 75
4.3.2 Εφαρμογή 2ου σεναρίου: Χωροθέτηση κτηρίου στην κλιματική ζώνη Β 80
4.3.3 Εφαρμογή 3ου σεναρίου: Χωροθέτηση κτηρίου στην κλιματική ζώνη Δ 85

5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 90

5.1 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ 91

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 92

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 94

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1The Crystal Palace, general view from the Water Temple. 6
Εικόνα 2:Παραγωγική Διαδικασία με την μέθοδο float 8
Εικόνα 3:Τυπικές συνθέσεις διαφορετικών τύπων γυαλιών 12
Εικόνα 4:Φιλαρμονική Σκηνή, Szczecin Πολωνία 18
Εικόνα 5: Gores Group, Beverly Hills Καλιφόρνια 19
Εικόνα 6:Γυάλινος Καθεδρικός ναός, Garden Grove Καλιφόρνια 20
Εικόνα 7:Κτήριο IAC,Frank Gehry Μανχάταν 21
Εικόνα 8: Δικαστήρια της Κομητείας του Μπρονξ 22
Εικόνα 9: Κατάστημα της Prada, AoyamaΤόκυο 23
Εικόνα 10: Κτήριο Bloch, Kansas City Μισσούρι 24
Εικόνα 11:Κεντρικής Βιβλιοθήκης του Σιάτλ, ΗΠΑ 25
Εικόνα 12: Οίκος Hermes, Ιαπωνία 26
Εικόνα 13:Οίκος Louis Vuitton, Παρίσι 27
Εικόνα 14: Υαλοπίνακας ηλιακού ελέγχου 30
Εικόνα 15: Υαλοπίνακας χαμηλής εκπομπής 30
Εικόνα 16:Θερμική μείωση απωλειών για διάφορα είδη υαλοπινάκων, σε σύγκριση με έναν μονό υαλοπίνακα 31
Εικόνα 17:Σύγκριση πηγών θορύβου και πως αντιλαμβάνονται 31
Εικόνα 18:Τιμές του ακουστικού συντελεστή μόνωσης Rw και του συντελεστή R για τις διάφορες ηχητικές συχνότητες. 32
Εικόνα 19: Υαλοπίνακας ασφάλειας 34
Εικόνα 20: Υαλοπίνακας με μεμβράνη 35
Εικόνα 21: Υαλοπίνακας Πυροπροστασίας 36
Εικόνα 22:Αυτοκαθαριζόμενος υαλοπίνακας με επικάλυψη διοξειδίου 47
Εικόνα 23:Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες 48
Εικόνα 24:Θερμοχρωμικοί Υαλοπίνακες 48
Εικόνα 25:Θερμοχρωμικοί Υαλοπίνακες 49
Εικόνα 26: Λειτουργία υαλοπινάκων υγρών κρυστάλλων 49
Εικόνα 27:Γυάλινη, υγρών κρυστάλλων πισίνα 50
Εικόνα 28: Κατανομή ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη 51
Εικόνα 29: Κατανομή τύπων υαλοπίνακα στην Ευρώπη 52
Εικόνα 30:Τιμές Συντελεστή θερμοπερατότητας για διάφορους τύπους υαλοπινάκων 53
Εικόνα 31: Ενεργειακός υαλοπίνακας 56
Εικόνα 32: Διαδικασία ανακύκλωσης γυαλιού 58
Εικόνα 33: Διάγραμμα ροής στο TRNSYS 70
Εικόνα 34: Κτήριο μελέτης, Κτηματολόγιο Α.Ε 71
Εικόνα 35: Κτήριο Μελέτης, εφαρμογή Bird's Eye 71
Εικόνα 36: Κάτοψη κτηρίου 72
Εικόνα 37: Κλιματικά δεδομένα, Ελσίνκι 75
Εικόνα 38: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων θέρμανσης 76
Εικόνα 39: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης 76
Εικόνα 40: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων 76
Εικόνα 41: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων θέρμανσης 77
Εικόνα 42: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης 78
Εικόνα 43: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων 78
Εικόνα 44: Σύγκριση καταναλώσεων ενέργειας, συναρτήσει των υαλοπινάκων και του προσανατολισμού του κτηρίου, Ελσίνκι 79
Εικόνα 45: Κλιματικά δεδομένα, Αθήνα 80
Εικόνα 46: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων θέρμανσης 81

Εικόνα 47: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης 81
Εικόνα 48: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων..... 81
Εικόνα 49: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων θέρμανσης 82
Εικόνα 50: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης..... 83
Εικόνα 51:Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων 83
Εικόνα 52: Σύγκριση καταναλώσεων ενέργειας, συναρτήσει των υαλοπινάκων και του προσανατολισμού του κτηρίου, Αθήνα..... 84
Εικόνα 53: Κλιματικά δεδομένα, Μπουρκίνα Φάσο 85
Εικόνα 54: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης..... 86
Εικόνα 55: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων..... 86
Εικόνα 56: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης..... 87
Εικόνα 57: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων..... 87
Εικόνα 58: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης..... 88
Εικόνα 59:Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων 89
Εικόνα 60: Σύγκριση καταναλώσεων συναρτήσει του προσανατολισμού του κτιρίου 89

1. ΤΟ ΓΥΑΛΙ

γυαλί είναι μια σκληρή, εύθραυστη, διαφανής ουσία, προϊόν της σύντηξης ανόργανων υλών, που στερεοποιούνται χωρίς να λάβει χώρα κρυσταλλοποίηση. Οι πρώτες ύλες για την κατασκευή του βρίσκονται ελεύθερα στη φύση και έχει αποτελέσει θέμα ερευνών, τόσο η εξέλιξή όσο και η μεταποίηση του. Η δομή του, αποτέλεσε προϊόν διαμάχης στην επιστημονική κοινότητα και χαρακτηρίστηκε ως άλυτο πρόβλημα. Σύμφωνα με τον Πίτερ Χάροουελ, καθηγητής Χημείας στο Πανεπιστήμιο του Σίδνεϊ «Είναι το πιο χοντρό και το πιο κολλώδες υγρό, αλλά ταυτόχρονα και το πιο "ακατάστατο" και αδόμητο στερεό όσον αφορά τη διάταξη των μορίων του και αποτελεί ίσως το απλούστερο παράδειγμα, του πραγματικά πολύπλοκου». Οι εφαρμογές του γυαλιού απευθύνονται σε όλο το φάσμα της καθημερινής μας ζωής και το τεχνικό του μέλλον αναμένεται ιδιαίτερα αισιόδοξο.

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Σύμφωνα με τον Ρωμαίο ιστορικό Πλίνιο το γυαλί το ανακάλυψαν το 3500 π.Χ. Φοίνικες ναυτικοί που είχαν ανάψει τη φωτιά τους σε μια αμμουδερή παραλία. Μη βρίσκοντας πέτρες για να στηρίξουν τα καζάνια τους, χρησιμοποίησαν μεγάλα κομμάτια νάτρου (ένυδρου ανθρακικού νατρίου), που τα μετέφεραν ως εμπόρευμα. Όταν το νάτρο ζεστάθηκε κι αναμίχθηκε με άμμο, σχηματίστηκε ένα παράξενο υγρό ''κι έτσι ξεκίνησε το γυαλί.'' έγραψε ο Πλίνιος.

Η κατασκευή του γυαλιού άρχισε γύρω στο 1500 π.Χ στην Αίγυπτο και τη Μεσοποταμία. Το πρώτο φυσικό γυαλί ήταν ο οψιδιανός. Οι πρώτοι υαλουργοί έδιναν σχήμα και μορφή στο μαλακό γυαλί τυλίγοντας το γύρω από ένα πυρήνα άμμου η πηλού, ψύχοντας στη συνέχεια το γυαλί και αφαιρώντας το υλικό του πυρήνα. Ωστόσο το γυαλί που κατασκευάζονταν εκείνη την περίοδο ήταν πολύ χρωματισμένο λόγω των ακαθαρσιών της πρώτης ύλης. Τον 1^{ο} αιώνα μ.Χ δημιουργήθηκε άχρωμο γυαλί και έπειτα χρωματίστηκε με την προσθήκη χρωστικών υλικών.

Η τέχνη της κατασκευής γυαλιού διαδόθηκε στη Βρετανία από τους Ρωμαίους. Ωστόσο, δεν αποκάλυπταν τις δεξιότητες και την τεχνολογία που χρησιμοποιούσαν και μόνο μετά την αποσύνθεση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, οι δεξιότητες αυτές, εξαπλώθηκαν σε ολόκληρη την Ευρώπη και τη Μέση Ανατολή.

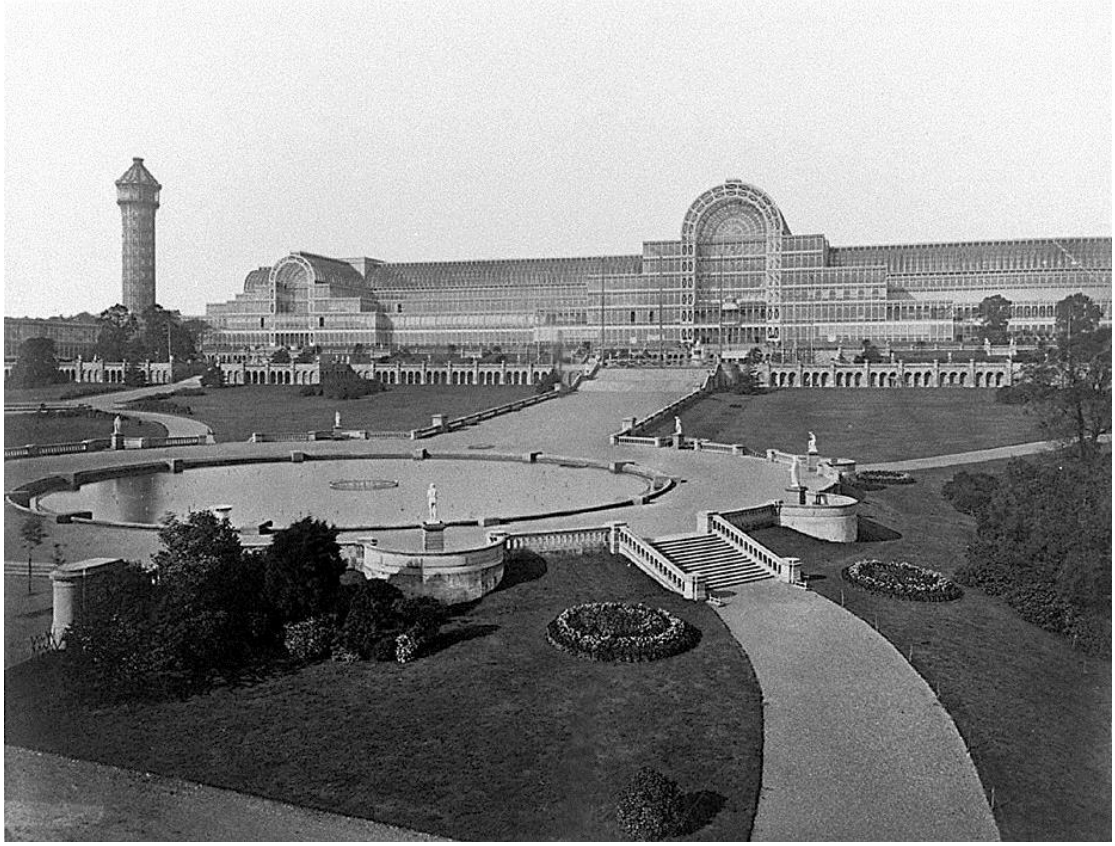
Ειδικότερα οι Βενετοί, κατείχαν τη φήμη ότι διέθεταν τις καλύτερες καλλιτεχνικές και τεχνικές δεξιότητες, στην κατασκευή γυάλινων μπουκαλιών και ένας μεγάλος αριθμός τεχνιτών της πόλης έφυγε από την Ιταλία, για ιδρύσει βιοτεχνίες γυαλιού σε όλη την Ευρώπη, ενώ από το 680μ.Χ. χρονολογείται ότι υπήρχαν στοιχεία βιομηχανιών γυαλιού.

Ορόσημο στη ιστορία του γυαλιού, ήταν η ανακάλυψη ενός νέου τύπου γυαλιού από τον George Ravenscroft. Ο τύπος αυτός, ήταν μαλακότερος και ευκολότερος να διακοσμηθεί, ενώ είχε υψηλότερο δείκτη διάθλασης, προσθέτοντας περισσότερη

λάμψη. Ακόμη η συμβολή του αποδείχτηκε ανεκτίμητη στη βιομηχανία οπτικών ινών, καθώς κατέστη δυνατή η δημιουργία οπτικών φακών, αστρονομικών τηλεσκοπίων, μικροσκοπίων κ.α.

Η σύγχρονη βιομηχανία γυαλιού άρχισε να αναπτύσσεται στη Βρετανία το 1845, μετά την κατάργηση του νόμου περί ειδικών φόρων κατανάλωσης.

Το 1851 σηματοδότησε η αρχή της ανακάλυψης του γυαλιού ως δομικού υλικού, με την κατασκευή του Crystal Palace από τον Joseph Paxtons, στο οποίο φιλοξενήθηκε η Μεγάλη Έκθεση (Great Exhibition), στην οποία συγκεντρώθηκαν 14.000 εκθέτες από όλο τον κόσμο σε χώρο 92.000 τετραγωνικών μέτρων. Το νέο αυτό επαναστατικό κτίριο αποτέλεσε έμπνευση για χρήση γυαλιού σε δημόσια, οικιακή και κηπευτική αρχιτεκτονική.



Εικόνα 1The Crystal Palace, general view from the Water Temple.
Πηγή: Wikipedia

Από το 1887 και έπειτα η κατασκευή του γυαλιού εξελίσσεται και μεταβαίνει από τον παραδοσιακό τρόπο σε ημια-αυτόματη διαδικασία, καθώς ο Ashley, στο Castleford, Αγγλία δημιούργησε μια μηχανή, η οποία ήταν ικανή να παράγει μέχρι και 200 μπουκάλια την ώρα, δηλαδή τρεις φορές γρηγορότερα από τις πρότερες μεθόδους.

Είκοσι χρόνια αργότερα, το 1907, το πρώτο πλήρως αυτοματοποιημένο μηχάνημα αναπτύχθηκε στην Αμερική από τον Michael Owens ,ένας από τους μεγαλύτερους

κατασκευαστές γυαλιού(Owens of Illinois), το οποίο χρησιμοποίησε στο εργοστάσιο του στο Illinois, Μάντσεστερ, φτιάχνοντας 2.500 φιάλες την ώρα.

Η εξέλιξη του γυαλιού τα επόμενα χρόνια ήταν ραγδαία. Κατά τον πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο η Βρετανοί ξεκίνησαν να το εντάσουν στον επιστημονικό τομέα, ενώ μέχρι πρότινος χρησιμοποιούνταν κατά κόρον στις χειροτεχνίες.

Σήμερα, η κατασκευή γυαλιού αποτελεί μια σύγχρονη, υψηλής τεχνολογίας βιομηχανία, που λειτουργεί σε μια ανταγωνιστική παγκόσμια αγορά, όπου τα επίπεδα ποιότητας, σχεδιασμού και υπηρεσιών είναι κρίσιμα για τη διατήρηση του μεριδίου αγοράς τους.

1.3 Είδη γυαλιού και τεχνικές επεξεργασίας

Οι κύριες κατηγορίες προϊόντων γυαλιού είναι οι ακόλουθες:

ο **Γυάλινα προϊόντα συσκευασίας (container glass)**: φιάλες (π.χ. για αλκοολούχα ποτά, αναψυκτικά, νερό), βάζα (π.χ. για τρόφιμα, αρώματα) και λοιποί γυάλινοι περιέκτες (π.χ. φιαλίδια για φάρμακα).

ο **Ειδικά γυάλινα προϊόντα (specialty glass)**: μεγάλη ποικιλία προϊόντων, όπως μαγειρικά σκεύη, ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός: οπτικές ίνες, προϊόντα φωτισμού, καλώδια τηλεόρασης, οθόνες υγρών κρυστάλλων.

ο **Επίπεδο γυαλί (flat glass)**: διακρίνεται σε γυαλί επίπλευσης (float glass) και σε κυλινδρισμένο γυαλί (rolled glass). Από γυαλί επίπλευσης κατασκευάζονται προϊόντα που χρησιμοποιούνται στον κατασκευαστικό κλάδο (π.χ. σε παράθυρα, πόρτες, καθρέφτες, στέγαστρα, δάπεδα, πλακάκια, σκάλες) και στις αυτοκινητοβιομηχανίες (π.χ. ανεμοθώρακες αυτοκινήτων, καθρέφτες), ενώ από κυλινδρισμένο γυαλί κατασκευάζονται προϊόντα που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές διασκορπισμού φωτός (π.χ. χωρίσματα μπάνιου, παράθυρα μπάνιου), γυάλινα προϊόντα για θερμοκήπια κ.ά.

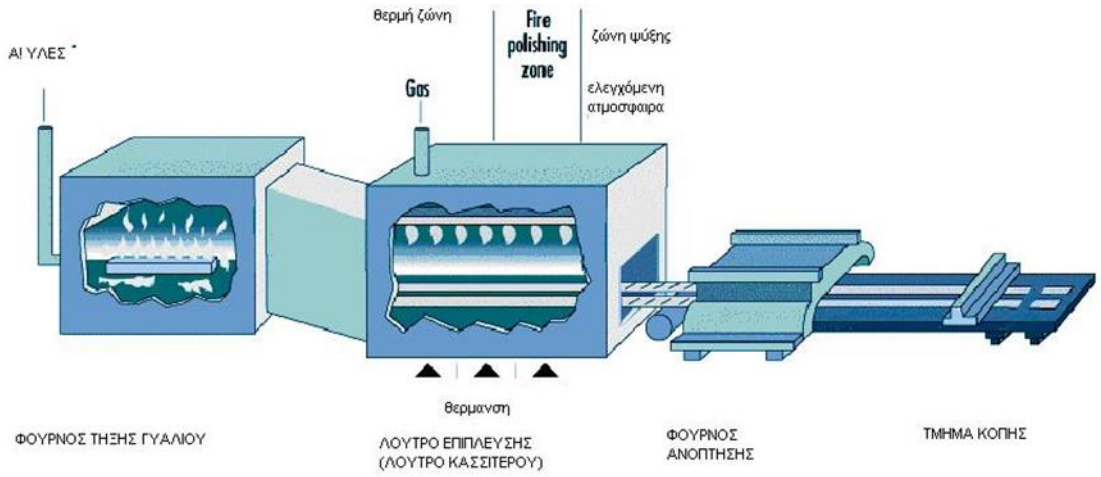
ο **Υαλόνημα (glass fiber)**: υαλόμαλλο για μονώσεις, υαλόνημα για ενίσχυση κατασκευών από πλαστικό, όπως κράνη, μικρά σκάφη, σασί αυτοκινήτων, σωληνώσεις κ.ά., “fiberglass”, οπτικές ίνες.

Η παραγωγή γυαλιού, είναι μια διαδικασία εντάσεως εργασίας και ενέργειας. Μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, για να δημιουργήσει διαφορετικούς τύπους γυαλιού. Οι ιστορικές μέθοδοι παραγωγής γυαλιού (εμφύσηση και χύτευση), έχουν εξελιχθεί και συνέχισαν να χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ειδικών τύπων γυαλιού. Επιπλέον, συμπληρώθηκαν με νέες μεθόδους (drawn, float).

Στις αρχές του 20ου αιώνα, ο Βέλγος μηχανικός Émile Fourcault, εφηύρε έναν νέο τρόπο παραγωγής γυαλιού με μηχανήματα. Ο Fourcault, πρότεινε την χρήση μιας συσκευής (débiteuse), η οποία διέθετε μια σχισμή στη μέση. Σε αυτή έριχνε το

λιωμένο γυάλινο μείγμα και περνώντας από τον σχισμή, δημιουργούνταν μια μακρά, κάθετη κορδέλα από γυαλί. Στη συνέχεια, η κορδέλα ψύχονταν και τελικά κόβονταν, σε επίπεδα κομμάτια ή φύλλα από γυαλί. Το προϊόν που προέκυπτε είχε κυματιστή ή ριγέ επιφάνεια και εμπεριείχε παγιδευμένες φυσαλίδες (Μέθοδος drawn).

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950, ο Βρετανός κατασκευαστής γυαλιού Sir Alastair Pilkington, ανέπτυξε μια νέα παραγωγική διαδικασία, για να δημιουργήσει μια ομαλή και ομοιόμορφη επιφάνεια. Στην διαδικασία Pilkington ή float, το λιωμένο γυαλί, χύνεται μέσα σε λουτρό λιωμένου μετάλλου, συνήθως κασσίτερο. Το γυαλί ρέει στο λουτρό του κασσίτερου και ισιώνει με το βάρος του, δημιουργώντας ένα πολύ επίπεδο φύλλο με ομοιόμορφο πάχος, απόλυτα ομαλό και στις δύο πλευρές. Η θερμοκρασία του λουτρό μειώνεται σταδιακά κατά μήκος του, από 1100 ° C σε 600 °C. Στο τέλος, το γυάλινο φύλλο ανυψώνεται σε κυλίνδρους και αφού κρυώσει περαιτέρω, το φύλλο κόβεται σε τεμάχια. Το πάχος του γυαλιού, εξαρτάται από την ταχύτητα ροής του τηγμένου γυαλιού και την ταχύτητα των κυλίνδρων (Μέθοδος float).



Εικόνα 2:Παραγωγική Διαδικασία με την μέθοδο float
Πηγή: The Handbook of Glass Manufacture

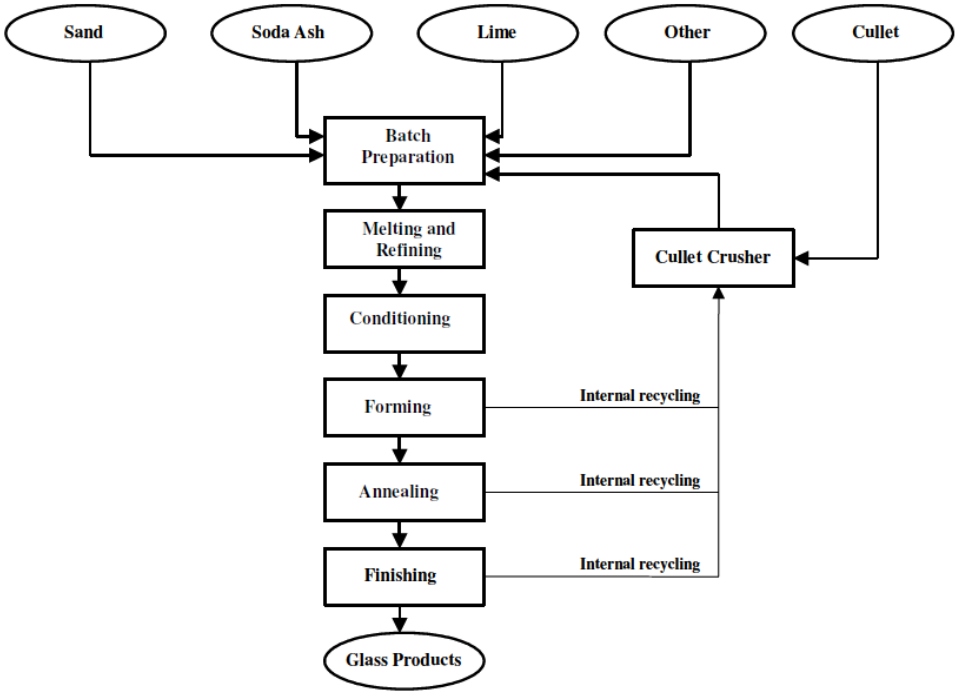
Τόσο η διαδικασία drawn όσο και float χρησιμοποιήθηκαν στην μεταπολεμική περίοδο, για να παράγουν διαφανές γυαλί για παράθυρα. Παρά το γεγονός ότι το γυαλί από την drawn ήταν χαμηλότερης ποιότητας σε σχέση με αυτό της float, εξακολουθούσε να παράγεται ακόμα και μετά την μεγάλη διάδοση της δεύτερης, το 1960. Μπορεί κανείς να διακρίνει εύκολα, τα παραδείγματα γυαλιού που παράγονται από αυτές τις διαδικασίες: γυαλί που κατασκευάστηκε με το χέρι ή με πρώιμες διαδικασίες μηχανών όπως η διαδικασία drawn, έδειξαν αναπόφευκτα ατέλειες και ραβδώσεις (οι οποίες, φυσικά, προστέθηκαν και στον ιστορικό χαρακτήρα της αρχιτεκτονικής), ενώ το μοντέρνο γυαλί από τη δεκαετία του 1960, δεν είχε καθόλου ή εμπεριείχε ελάχιστες στρεβλώσεις. Σταδιακά η χρήση της μεθόδου float αυξήθηκε, έτσι ώστε στα τέλη του 20ου αιώνα, το 90% του επίπεδου γυαλιού που χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο, ήταν float glass.

Όχι μόνο η παραγωγική διαδικασία, αλλά και η επεξεργασία γυαλιού, υπέστη ορισμένες σημαντικές αλλαγές με την πάροδο των ετών. Ανάλογα με τη διαδικασία παραγωγής, το γυαλί έπρεπε να λειανθεί (για να καταστεί τελείως επίπεδο) και να γυαλιστεί (για να γίνει διαφανές). Ενώ η επεξεργασία αυτή εκτελούνταν με το χέρι, κατά το πρώτο μισό του 20ου αιώνα, έπειτα, έγινε η μετάβαση, με την εισαγωγή της μηχανικής επεξεργασίας. Μάλιστα κατά την μεταπολεμική περίοδο, αναπτύχθηκαν μηχανές για να στιλβώσουν τις δύο πλευρές των υαλοπινάκων, ταυτόχρονα.

1.4 Παραγωγική Διαδικασία

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία προϊόντων γυαλιού με ποικίλα χαρακτηριστικά και, ως εκ τούτου, ποικίλες οδούς παραγωγής και επεξεργασίας. Αναγνωρίζοντας τη μεταβλητότητα, η περιγραφή της διαδικασίας θα επικεντρωθεί στα βασικά βήματα που βρίσκονται σε όλες σχεδόν τις εγκαταστάσεις παραγωγής γυαλιού.

Η διαδικασία παραγωγής γυαλιού αποτελείται από έξι βασικά βήματα: (1) επιλογή πρώτων υλών, (2) προετοιμασία παρτίδων (ζύγιση και ανάμιξη πρώτων υλών), (3) τήξη και διύλιση, (4) προετοιμασία, (5) διαμόρφωση, (6) παραγωγή, (7) Επικάλυψη. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε κάθε βήμα εξαρτώνται από το παραγόμενο προϊόν. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται, μια απλοποιημένη επισκόπηση της διαδικασίας παραγωγής γυαλιού.



Απλοποιημένη διαδικασία παραγωγής γυαλιού
Πηγή: Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Glass Industry, ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY

Το Cullet είναι απόβλητο ή σπασμένο γυαλί για επαναπλήρωση. Το Cullet μπορεί να παράγεται ή να ανακυκλώνεται από την αγορά.

1.4.1 Επιλογή πρώτων υλών & προετοιμασία παρτίδων

Η σύνθεση γυαλιού καθορίζει τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του γυαλιού και ποικίλλει ως εκ τούτου για κάθε προϊόν / εφαρμογή. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις περισσότερες εφαρμογές είναι η χημική ανθεκτικότητα, η μετάδοση, το σημείο μαλακώματος και η θερμική διαστολή του γυαλιού. Ανάλογα με τη λειτουργία τους, τα οξείδια σχηματισμού γυαλιού, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε Υαλοσχηματιστές (για παράδειγμα SiO2, B2O3, P2O5), Τροποποιητές (για παράδειγμα Na2O, CaO, MgO) και άλλα συστατικά που δεν υπερβαίνουν το 1%.

Πρώτες Ύλες

Συνήθως οι πρώτες ύλες για την παραγωγή γυαλιού είναι σε μορφή αλάτων / έχουν δομές άλατος που αποσυντίθενται σε θερμοκρασία τήξης. Διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

-βασικά υλικά (Α' Ύλες) (κατασκευαστές γυαλιού, τήγματα, σταθεροποιητές)
-Βοηθητικά υλικά (παράγοντες λείανσης, χρωστικές, παράγοντες αποχρωματισμού, επιταχυντές τήξης)

Το σύνολο των Α' Υλών, αποτελούνται στο μεγαλύτερο μέρος τους, από φυσικά ορυκτά (άμμος ασβεστόλιθος) που επιτρέπουν την τήξη σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και παρέχουν σταθερότητα στο γυαλί.

- Χαλαζιακή Άμμος (silica sand) SiO2 59,42%

Ο χαλαζίας βρίσκεται στη φύση αυτοφυής σε φλέβες, ως συστατικό πετρωμάτων και σε διαβρωμένη κατάσταση με τη μορφή άμμου. Αποτελεί συστατικό των μαγματογενών πετρωμάτων και κυρίως των ψαμμιτών και των χαλαζιτών. Γενικά βρίσκεται σε αφθονία στη φύση. Στην Ελλάδα υπάρχει κυρίως στις Κυκλάδες, στη Μάνη και στη Λέσβο. Εμφανίζεται σε διάφορες παραλλαγές, κρυσταλλικές ή κρυπτοκρυσταλλικές. Ο καθαρός χαλαζίας είναι άχρωμος, αλλά οι διάφορες προσμείξεις δημιουργούν αποχρώσεις (κίτρινες, πράσινες, μαύρες και κόκκινες). Ο χαλαζίας έχει σκληρότητα 7 και ειδικό βάρος 2,6. Ο μοριακός του τύπος είναι SiO_2. Λιώνει σε εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία.

Η χαλαζιακή άμμος καθώς και οι χαλαζίτες χρησιμοποιούνται, ως πρώτη ύλη της υαλουργίας σε τεράστιες ποσότητες. Η σκόνη του χαλαζία χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες πορσελάνης και απορρυπαντικών. Η μεγάλη σκληρότητά του τον κάνει κατάλληλη πρώτη ύλη, για την κατασκευή εργαλείων κατεργασίας λίθων, ξύλου και δεμάτων.

- Ασβεστόλιθος (limestone) CaO 5,06%

Ο ασβεστόλιθος είναι μονόμεικτο πέτρωμα αποτελούμενο κυρίως από ασβεστίτη. Η απόθεση του ανθρακικού ασβεστίου μπορεί να είναι, είτε χημική (κορεσμός λόγω εξάτμισης ή αύξησης συγκέντρωσης ή αλλαγής φυσικοχημικών σταθερών), είτε βιογενής από συσσώρευση και συμπαγοποίηση των σκελετικών στοιχείων διαφόρων ζωικών ή φυτικών οργανισμών, μετά το θάνατό τους. Είναι πολύ διαδεδομένο πέτρωμα και υπάρχει άφθονο στη χώρα μας, ιδιαίτερα στη δυτική Ελλάδα. Ο ασβεστόλιθος, είναι ένα ευρέως διαδεδομένο υλικό, με πολλές χρήσεις στην βιομηχανία δομικών υλικών και βέβαια στην παραγωγή των ξηρών κονιαμάτων, όπου χρησιμοποιείται ως Αδρανές υλικό.

- Δολομίτης (dolomite) MgO 13,90%

Ο δολομίτης είναι πέτρωμα μονόμεικτο. Σχηματίζεται, όταν ένα μέρος του ασβεστίου του CaCO3 του ασβεστολίθου, αντικατασταθεί από μαγνήσιο (δολομιτίωση). Μπορεί να υπάρχουν όλα τα ενδιάμεσα σε σύσταση πετρώματα μεταξύ, ασβεστολίθου και δολομίτη. Για να είναι κατάλληλος ο ασβεστόλιθος ή ο δολομίτης στην παραγωγή, πρέπει να ελεγχθεί η σύσταση του πετρώματος, από το οποίο προέρχεται, η σκληρότητά του, η απορροφητικότητα σε νερό το χρώμα του. Επί πλέον πρέπει να είναι καθαρός και απαλλαγμένος από ξένα σώματα και προσμίξεις. Ο Ασβεστόλιθος και ο δολομίτης εξορύσσονται στα αντίστοιχα λατομεία. Εκεί γίνεται ένας σταδιακός υποβιβασμός της κοκκοετρίας των μεγάλων όγκων, μέχρι να καταλήξουμε στο επιθυμητό μέγεθος, στη συνέχεια το προϊόν διαχωρίζεται σε πολλές κοκκομετρίες, με τις οποίες γίνεται η σύνθεση του μίγματος, ανάλογα με την συνταγή.

- Άστριος (feld spar) 2,09%

Ο άστριος είναι ορυκτό, με βάση το διπλό πυριτικό άλας αργιλίου, καλίου, νατρίου ή ασβεστίου. Οι άστριοι παρουσιάζονται σε μεγάλη αφθονία, στα πετρώματα του φλοιού της γης. Ο χημικός τους τύπος, είναι πολύπλοκος. Γενικά είναι αργιλοπυριτικά άλατα του καλίου, του νατρίου, του ασβεστίου και του βαρίου.

- Σόδα (soda carbonate) Na2O 18,42%

Κοινή ονομασία του ανθρακικού νατρίου (Na2CO3). Η άνυδρη (μη κρυσταλλική) σόδα έχει τη μορφή λευκής σκόνης, ευδιάλυτης, με σημείο τήξης 853 °C και ειδικό βάρος 2,5 γραμ./κυβ.εκ. Δεν έχει οσμή και η γεύση της μοιάζει με του σαπουνιού. Δεν διασπάται με θέρμανση και αντιδρά με τα οξέα, δίνοντας διοξείδιο του άνθρακα. Παρασκευάζεται με τρεις χημικές μεθόδους: τη μέθοδο Leblanc, τη μέθοδο Solvay και την ηλεκτρολυτική μέθοδο. Η σόδα χρησιμοποιείται στη υαλουργία και τη σαπωνοποιία. Επίσης χρησιμοποιείται για την αποσκλήρυνση του νερού, την εξουδετέρωση των οξέων, την παρασκευή υδροξειδίου του νατρίου κ.ά.

- Θειικό νάτριο (άλας) (soda sulphate) 1,11%

Το θειικό νάτριο (Na2SO4) είναι ένα βασικό συστατικό του νατρίου. Έχει μορφή άχρωμων ρομβοειδών κρυστάλλων, ευδιάλυτων στο κρύο νερό. Γύρω στο 50% της παγκόσμιας παραγωγής του, προέρχεται από τη φυσική ορυκτή μορφή του (sal mirabilis ή Glauber's salt), ενώ το υπόλοιπο από υποπροϊόντα χημικής διαδικασίας, το σπουδαιότερο εκ των οποίων είναι το υδροχλωρικό οξύ από χλωριούχο νάτριο και θειικό οξύ. Το θειικό νάτριο είναι χημικά ιδιαίτερα σταθερό και δεν αντιδρά με οξειδωτικά ή αναγωγικά μέσα σε κανονικές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιείται κυρίως στη χαρτοβιομηχανία και στην υαλουργία. Στη βιομηχανία γυαλιού το θειικό νάτριο χρησιμοποιείται ως διαυγαστικό γυαλιού, για την απομάκρυνση μικρών φυσαλίδων αέρα από λειωμένο γυαλί. Επίσης, διευκολύνει τη συγκόλληση και εμποδίζει τον σχηματισμό αφρού από το λιωμένο γυαλί, κατά τη διάρκεια της διαύγασης.

Μια τυπική σύνθεση γυαλιού που χρησιμοποιείται στους υαλοπίνακες και στα δοχεία αποτελείται από 60% πυριτική άμμο, 18% μονοξείδιο του ασβεστίου από ασβεστόλιθο και 20% μονοξείδιο του νατρίου από ανθρακικό νάτριο. Άλλα κοινά συστατικά είναι άστριος, αλάτι, χρωστικές και παράγοντες διύλισης (για παράδειγμα αρσενικό, χλωριούχο νάτριο). Περίπου 5-25% κατά βάρος, αποτελείται από καθαρό υπόλειμμα (cullet) , ενώ στην περίπτωση του έγχρωμου δοχείου, το ποσοστό αυτό ανέρχεται έως και 90%. Κατά την παρασκευή των παρτίδων, οι πρώτες ύλες λεπτής αλέσεως ζυγίζονται, σύμφωνα με τη συνταγή και στη συνέχεια αναμειγνύονται, για να επιτευχθεί ομοιογενής σύνθεση. Το καθαρό υπόλειμμα, μπορεί είτε να αναμιχθεί στην παρτίδα, είτε να φορτωθεί στη δεξαμενή τήξης γυαλιού, ταυτόχρονα με την παρτίδα.

Oxide	Container Glass	Float glass	Fiberglass (E-Glass)	Laboratory Ware
SiO_2 [w%]	73	72	54	80
B_2O_3 [w%]			10	10
Al_2O_3 [w%]	1.5	0.3	14	3
CaO [w%]	10	9	17.5	1
MgO [w%]	0.1	4	4.5	1
Na_2O [w%]	14	14		5
K_2O [w%]	0.6			

Εικόνα 3:Τυπικές συνθέσεις διαφορετικών τύπων γυαλιών
Πηγή: Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Glass Industry, ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY

1.4.2 Τήξη & Διύλιση

Με εξαίρεση κάποιες ειδικές διεργασίες κατασκευής γυαλιού, συνήθως χρησιμοποιούνται κάμινοι δεξαμενής για την τήξη του. Ένας τυπικός φούρνος τήξης γυαλιού ("tank"), αποτελείται από μια περιοχή φόρτωσης παρτίδας ("doghouse"),

που συνδέεται με μια πυρίμαχη λεκάνη, η οποία καλύπτεται από μια πυρίμαχη υπερκατασκευή ("crown").

Οι συνήθεις μέθοδοι θέρμανσης είναι: η καύση (καυστήρες καυσίμου με οξυγόνο, καυστήρες καυσίμου με αέρα), η άμεση ηλεκτρική θέρμανση ("Joule heating"), καθώς και συνδυασμοί των δύο παραπάνω ("electric boosting"). Πολλοί κλίβανοι χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενίσχυση, για να αυξήσουν τα ποσοστά παραγωγής ή την ευελιξία της λειτουργίας τους (π.χ. επιλογή πηγής ενέργειας και ποσοστά παραγωγής). Οι περισσότεροι κλίβανοι υάλου στις ΗΠΑ, θερμαίνονται με φυσικό αέριο. Για να αυξηθεί η απόδοση των καυσίμων και να μειωθούν οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx), το οξυγόνο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στην καύση. Η ηλεκτρική ενίσχυση, συνήθως αντιπροσωπεύει το 10 έως 30% της συνολικής εισροής ενέργειας (παράδειγμα Wooley 1992). Οι περισσότεροι ηλεκτρικοί κλίβανοι, έχουν ομοιόμορφη κατανομή ηλεκτροδίων και διαθέτουν μια κρύα κορυφή (Hibscher et al 2005).

Οι ηλεκτρικοί φούρνοι ψυχρής καύσης, χρησιμοποιούνται κυρίως για παραγωγή υαλοβάμβακα (Ruth and Dell'Anno 1997), αλλά χρησιμοποιούνται επίσης και για την παραγωγή υάλου ειδικών εφαρμογών. Για να διατηρηθεί η στάθμη γυαλιού σταθερή, το μείγμα της παρτίδας και των σκουπιδιών, φορτώνεται συνεχώς μέσα στον κλίβανο τήξης γυαλιού. Η διαδικασία εξευγενισμού (γνωστή επίσης και ως λείανση), λαμβάνει χώρα στο θάλαμο τήξης. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η παρτίδα τετηγμένου γυαλιού απελευθερώνεται από φυσαλίδες, ομογενοποιείται και θερμαίνεται, πριν θερμανθεί το γυαλί μέσα στην προκαταρκτική εστία.

Τα βελτιωμένα πυρίμαχα υλικά, από τα οποία είναι κατασκευασμένη η στεφάνη και η λεκάνη, επιτρέπουν υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας (και επομένως καλύτερη μόνωση), ενώ είναι λιγότερο επιρρεπείς στη διάβρωση. Αυτό σε ορισμένες περιπτώσεις, οδηγεί, σε αύξηση της διάρκειας ζωής τους, από περίπου 2 έως και περισσότερα από 9 χρόνια.

Για να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση και να επιτευχθούν υψηλότερες θερμοκρασίες φλόγας, οι κλίβανοι αερίου-καυσίμου, τυπικά ανακτούν θερμότητα από ρεύματα καυσαερίων, με συστήματα ανάκτησης ή αναγέννησης, για την προθέρμανση του αέρα καύσης. Σε συστήματα ανάκτησης, η θερμότητα μεταφέρεται συνεχώς, από τα καυσαέρια, σε έναν εναλλάκτη θερμότητας. Στα αναγεννητικά συστήματα, τα καυσαέρια ρέουν, μέσω μεγάλων θαλάμων, γεμάτων με πυρίμαχα τούβλα. Κατά τη διάρκεια του πρώτου μέρους του κύκλου πυροδότησης, τα καυσαέρια περνούν μέσα από τους αγωγούς και θερμαίνουν το τούβλο. Μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (περίπου 20 λεπτά), η θύρα εξάτμισης κλείνει και η κατεύθυνση καύσης αναστρέφεται: ο ψυχρός αέρας καύσης, διέρχεται από το θερμαινόμενο τούβλο, προς την αντίθετη κατεύθυνση και αναμιγνύεται με το καύσιμο σε ένα θάλαμο καύσης. Συνήθως, ο χρόνος κύκλου, ρυθμίζεται αυτόματα από ένα σύστημα ελέγχου, για να επιτευχθεί η υψηλότερη δυνατή απόδοση.

Στα συστημάτα αναγέννησης ή ανάκτησης, η υπερβολική θερμότητα, των καυσαερίων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού, σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας (για παράδειγμα για θέρμανση χώρου) ή για προθέρμανση

σκουπιδιών. Και τα δύο μέτρα μπορούν να αυξήσουν τη συνολική απόδοση του κλιβάνου σε 50-65% (Whittemore 1999). Η σύγχρονη τεχνολογία γυάλινων κλιβάνων, στοχεύει στην αύξηση της χρήσης οξυγόνου, ως μέσου για την αύξηση της απόδοσης καυσίμου και τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx).
Το φυσικό αέριο, είναι σήμερα η επικρατέστερη επιλογή καυσίμου για τους φούρνους. Στις ΗΠΑ, μερικοί κλίβανοι χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς ενισχυτές, για να βοηθήσουν στην τήξη του γυαλιού, καθώς το γυαλί, αποτελεί ηλεκτρικό αγωγό σε υψηλές θερμοκρασίες. Γενικά, 10-30% της εισροής ενέργειας στον κλίβανο προέρχεται από τον ηλεκτρικό ενισχυτή (Wooley 1992).
Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών στη δεξαμενή, η τήξη γυαλιού αποτελεί, μεγάλη πηγή εκπομπών NOx. Η σύγχρονη τεχνολογία, στοχεύει στην περαιτέρω μείωση των εκπομπών NOx, ενώ παράλληλα μειώνει το ενεργειακό κόστος.

1.4.3Προετοιμασία

Μετά την ολοκλήρωση του σταδίου ραφιναρίσματος, το ομοιογενές γυαλί ,χωρίς φυσαλίδες, εισέρχεται στην εμπρόσθια εστία, μερικές φορές, μέσω ενός ειδικά σχεδιασμένου διαδρόμου (channel, “throat”). Κύρια λειτουργία της προθέρμανσης, είναι η ρύθμιση της κατάστασης της υάλου, δηλαδή η παροχή γυαλιού, με την επιθυμητή θερμοκρασία και κατανομή θερμοκρασίας, προκειμένου να είναι έτοιμο για την διαδικασία διαμόρφωσης. Οι αποκλίσεις από το επιθυμητό θερμικό προφίλ, μπορούν να προκαλέσουν ανεπιθύμητες διαφορές στο ιξώδες και στη συνέχεια να οδηγήσουν σε ορατά ελαττώματα στο τελικό προϊόν.

1.4.4Διαμόρφωση

Το γυαλί παραδίδεται από την προθερμαντική συσκευή, στον υπεύθυνο εξοπλισμό, για την διαμόρφωση, με σταθερό ρυθμό (“pull rate”). Ανάλογα με τη διαδικασία, το ρεύμα γυαλιού, είτε είναι συνεχώς διαμορφωμένο (floatglass, fiberglass), είτε διαχωρίζεται σε τμήματα σταθερού βάρους και σχήματος ("gobs"), τα οποία παραδίδονται σε μια μηχανή διαμόρφωσης .

Γυαλί Συσκευασίας

Το Γυαλί Συσκευασίας παράγεται σήμερα με αυτοματοποιημένες διαδικασίες εμφύσησης (pressing, blowing, press-blowing, and blow-blowing). Το παχύρρευστο γυαλί, εγκαταλείπει τον προθερμαντήρα και μέσω ενός δακτυλίου με ανοίγματα, αποκόπτεται με σταθερό ρυθμό, σε τμήματα καθορισμένου βάρους και σχήματος (“gobs”) με την βοήθεια μηχανικών μέσων. Οι μάζες αυτές, πέφτουν σε έναν αγωγό ("gob feeder") και παραδίδονται στη μηχανή διαμόρφωσης. Σε απλές μηχανές συμπίεσης, πέφτουν, σε ένα προθερμασμένο καλούπι και ακολούθως συμπιέζεται. Οι μηχανές σχηματισμού γυάλινων φιαλών, προ-μορφοποιούν τις μάζες, είτε με συμπίεση είτε με εμφύσηση και λαμβάνουν το τελικό σχήμα, με έγχυση αέρα μέσα

στη μάζα, η οποία είναι τοποθετημένη στο καλούπι. Οι τυποποιημένες μηχανές, μπορούν να παράγουν, περισσότερα από 200 δοχεία ανά λεπτό.

Επίπεδο γυαλί

Το επίπεδο γυαλί παράγεται με τις διαδικασίες float, συνεχή έλξη (updraw, downdraw, overflow fusion) και συνεχή κύλιση.
Η διαδικασία float που αναπτύξαμε στην αρχή της ενότητας και οι παραλλαγές της, είναι πλέον η κύρια μέθοδος για τη διαμόρφωση επίπεδου γυαλιού, σε όλο τον κόσμο. Η διαδικασία αυτή, είναι ικανή να παράγει επίπεδο γυαλί με ομοιόμορφο πάχος, κυμαινόμενο από περίπου 2,5 mm (0,1 ") έως περισσότερο από 25 mm (1"). Ένα τέτοιο τυπικό εργοστάσιο, παράγει πάνω από 5000 τόνους την εβδομάδα και λειτουργεί χωρίς διακοπή για πολλά χρόνια.
Η διαδικασία κύλισης, χρησιμοποιείται για την παραγωγή τυποποιημένων επίπεδων γυαλιών και γυαλιών με σύρμα (wire glass). Ένα συνεχές ρεύμα γυαλιού, χύνεται ανάμεσα σε υδρόψυκτους κυλίνδρους, κατασκευασμένους από χυτοσίδηρο ή από ανοξείδωτο χάλυβα υψηλής θερμοκρασίας, οποίοι απομακρύνονται συνεχώς. Το πάχος του τελικού προϊόντος, κυμαίνεται μεταξύ 4-15mm. Οι θερμοκρασίες του γυαλιού, είναι προσεγγιστικά 1900°F (1040°C) πριν από την ολοκλήρωση της διαμόρφωσης και 1600°F (850ºC) μετά. Το γυαλί, πριν κοπεί στο επιθυμητό μέγεθος, διέρχεται από τον κλίβανο ανόπτησης.
Η διαδικασία της συνεχής έλξης, χρησιμοποιείται σήμερα κυρίως, για την κατασκευή λεπτού γυαλιού.

Υαλόνημα

Το υαλόνημα προσφέρει μόνωση και αποτελείται από πολύ λεπτές γυάλινες ίνες. Το τετηγμένο γυαλί τροφοδοτείται από τον κλίβανο, μέσω ενός προθερμαντήρα, σε μια σειρά από περιστρεφόμενους δακτυλίους, οι οποίοι περιέχουν περισσότερες από 1600 οπές συγκεκριμένων διαστάσεων, ενώ οι σύγχρονες εγκαταστάσεις παραγωγής, μπορούν να έχουν πάνω από 4.000 οπές. Το τηγμένο γυαλί εκτοξεύεται, λόγω φυγοκεντρικής δύναμης, διαμέσου των οπών, για να σχηματίσει νημάτια. Έπειτα, ψεκάζονται με κατάλληλο προϊόν συγκόλλησης. Το πλέγμα των μπερδεμένων ινών, μεταφέρεται σε έναν φούρνο, ο οποίος σκληραίνει το συγκολλητικό μέσο και στη συνέχεια κόβεται στο επιθυμητό μέγεθος.

Οπτικές Ίνες

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούν, εξαιρετικά καθαρό γυαλί. Αποτελούνται από δύο ξεχωριστά γυαλιά: τον πυρήνα, που είναι γυαλί υψηλής διαθλάσεως και το περίβλημα, που περιβάλλει τον πυρήνα και είναι γυαλί, με χαμηλότερο δείκτη διάθλασης. Τα οπτικά σήματα, καθοδηγούνται από την ολική αντανάκλαση, στη διεπαφή πυρήνα-περιβλήματος και κινούνται προς το άλλο άκρο της ίνας. Υπάρχουν

πολλές διαδικασίες κατασκευής, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή γυάλινων ινών. Για εξαιρετικά ακριβείς διαστάσεις και πολύπλοκα εσωτερικά και εξωτερικά προφίλ, χρησιμοποιείται η εξώθηση. Αυτή η μέθοδος, χρησιμοποιεί χαμηλές θερμοκρασίες διεργασίας και ένα τήγμα γυαλιού με ασυνήθιστα υψηλό ιξώδες, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους διαμόρφωσης (drawing or blowing).
Επί του παρόντος, η παραγωγή ινών γίνεται με ηλεκτρική τήξη, καθώς επιτρέπει την παραγωγή, ενός πολύ ομοιογενούς και υψηλής ποιότητας προϊόντος.

1.4.5Παραγωγή

Διάφορες επεξεργασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για να διαμορφώσουν τα χαρακτηριστικά του προϊόντος, όπως ανόπτηση, σκλήρυνση και επίστρωση.
Κατά την ανόπτηση, η τάση στο γυαλί, μπορεί να μειωθεί με αργή επαναθέρμανση του γυαλιού σε φούρνο. Αρχικά, το γυάλινο προϊόν θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία, κυμαινόμενη μεταξύ 400 °C-500 °C. Στη συνέχεια, μειώνεται σταδιακά η θερμοκρασία του, μέχρι το σημείο να μην είναι δυνατή η πρόκληση περαιτέρω τάσης. Στη συνέχεια, ψύχεται από τον ανεμιστήρα σε θερμοκρασία δωματίου. Ο χρόνος που απαιτείται για αυτή τη διαδικασία, εξαρτάται από το μέγεθος και το πάχος του τοιχώματος του προϊόντος. Συνήθως η διαδικασία ολοκληρώνεται, σε λιγότερο από μία ώρα.

1.4.6Επικάλυψη των γυάλινων επιφανειών

Η επικάλυψη των γυάλινων επιφανειών (π.χ. καθρέφτες, ενίσχυση των φιαλών και χρωματισμός) προσδίδει στο γυαλί νέες φυσικές, χημικές και οπτικές ιδιότητες. Τα ελαφριά δοχεία από γυαλί, είναι επικαλυμμένα με οργανικές ενώσεις, για να δώσουν στις επιφάνειες ένα βαθμό ολισθηρότητας, αποτρέποντας έτσι την τριβή στο χειρισμό. Αυτό αυξάνει την σκληρότητα του δοχείου και έχει επιτρέψει στους κατασκευαστές γυαλιού να παράγουν ένα ελαφρύτερο και καλύτερο προϊόν.

Τέλος, το γυάλινο προϊόν συσκευάζεται, αποθηκεύεται σε αποθήκη ή αποστέλλεται στους πελάτες, σε διαφορετικές βιομηχανίες.

1.5 Ιδιότητες

Οι βασικές φυσικές ιδιότητες του υαλοπίνακα είναι οι ακόλουθες:

Πυκνότητα : 2.500 kg/m^3

Συντελεστής γραμμικής διαστολής : 88 χ 10^{-7}m/^oC

Θερμική διαπερατότητα : (u-value) 5,2 – 5,8 watt/m^2*^oC (ανάλογα με το πάχος)

Θερμική αγωγιμότητα : (K-value) 1,05 watt/m*^oC

Αντοχή θερμοκρασιακών διαφορών : στα 6mm ένα γυαλί το οποίο έχει θερμανθεί τεχνητά, θα σπάσει από θερμική αυτόθραυση, εάν βυθιστεί σε νερό με διαφορά θερμοκρασίας πάνω από 55°C.

Αντοχή στη θλίψη : 1000 MPa. Είναι εξαιρετικά υψηλή και σημαίνει, ότι για συνθλίψει κάποιος ένα γυάλινο κύβο όγκου 1cm^3 , πρέπει να εφαρμόσει βάρος 10 τόνων.

Αντοχή σε εφελκυσμό : 40 MPa (200 MPa για θερμοενισχυμένους υαλοπίνακες) σαφώς μειωμένη σε σχέση με την αντοχή στην θλίψη.

Σημείο τήξης : περίπου στους 730°C.

Μέτρο ελαστικότητας : (συντελεστής Young) 70 GPa . Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την θεωρητική δύναμη (ανα μονάδα επιφανείας,) που θα έπρεπε να εφαρμοστεί σε ένα δοκίμιο γυαλιού, ώστε να διπλασιαστεί το αρχικό του μήκος.

Συντελεστής εγκαρσιας συστολής : (Poisson ratio μ) 0,22

Σκληρότητα : 6,5 της κλίμακος Moh (το διαμάντι έχει 10, το ζαφείρι 9 και ο γύψος 2).

Διηλεκτρική σταθερά : για 6mm γυαλί στους 21°C

- 1 GHz 6,0
- 10 MHz 6,5
- 1 KHZ 7,4
- 10 Hz 30,0

Συντελεστής διάθλασης : 1,52 (ο συντελεστής αυτός διαφοροποιείται ανάλογα με το μήκος κύματος του υπο εξέταση φωτός)

Φωτεινή ανάκλαση: (Απώλεια φωτός λόγω ανάκλασης**)** περίπου 8% με 10%. Το φως, όταν διέρχεται από διαχωριστική επιφάνεια 2 οπτικών μέσων, με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης (π.χ. αέρας-γυαλί), πάντα ανακλάται. Το ποσοστό του φωτός που ανακλάται εξαρτάται από τους δείκτες διάθλασης των μέσων και την γωνία πρόσπτωσης του φωτός.

Φωτεινή διαπερατότητα : περίπου 85% για λευκό υαλοπίνακα 6mm.

Διαπερατότητα Υπεριώδους ακτινοβολίας : σε μήκος κύματος 340nm 41% , σε 315nm 1%.

Χημική αντοχή : Το γυαλί είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στα περισσότερα οξέα εκτός από το υδροφθορικό , τις υψηλές θερμοκρασίες και το φωσφορικό. Εμφανίζει όμως ευαισθησία στα αλκάλια. Επίσης διαλυτές θειούχες προσμίξεις από διάβρωση μετάλλων, έχουν την τάση να προσκολλώνται μόνιμα, στην ελεύθερη επιφάνεια του γυαλιού, οι οποίες πρέπει να αφαιρούνται το ταχύτερο δυνατό.

1.6 Εντυπωσιακά και καινοτόμα γυάλινα κτίρια

Ο υαλοπίνακας, είναι ένα υλικό με πολλές εφαρμογές στην καθημερινότητα μας. Αποτελεί στοιχείο κλειδί στην κατασκευή και έχει απεριόριστες δυνατότητες. Είναι εύκολο να συνδυαστεί με άλλα υλικά, να κατεργαστεί με πολλαπλούς τρόπους και να χρησιμοποιηθεί σε hi-tech εφαρμογές. Διακρίνεται για τη διατήρηση των οπτικών και μηχανικών ιδιοτήτων του σε υψηλές θερμοκρασίες, τη σκληρότητά του, την αναλλοίωτη φύση του στο πέρασμα του χρόνου και την ευκολία μορφοποίησης του , γεγονός που τον καθιστά ιδανική λύση για κάθε έργο. Παράλληλα είναι ασφαλές στατικά, σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς. Στις σύγχρονες κοινωνίες, εκτός από την παραδοσιακή αρχιτεκτονική και τις εφαρμογές, εμφανίζονται κατασκευές , έργα ή κτίρια που εκφράζουν την κουλτούρα , την αισθητική ενός λαού και τις τρέχουσες εξελίξεις, δίνοντας το στίγμα της κάθε εποχής. Από την δεκαετία του 1960 μέχρι σήμερα, άλλαξε ο τρόπος που αντιμετωπίζουμε τον υαλοπίνακα. Πλέον δεν αποτελεί ένα απλό υλικό στην κατασκευή, αλλά μια ευκαιρία για έμπνευση και δημιουργία, καθώς διευκολύνει την παρουσίαση ελεύθερων προτάσεων, χωρίς περιορισμούς.

Εικόνα 4:Φιλαρμονική Σκηνή, Szczecin Πολωνία
Πηγή: LIFO.gr

Η Φιλαρμονική Σκηνή βρίσκεται στην καρδιά της πόλης Szczecin, στην Πολωνία και κατασκευάστηκε στη θέση του παλιού 'Konzerthaus' που κατεδαφίστηκε τον 2ο

Παγκόσμιο Πόλεμο. Η Φιλαρμονική Σκηνή επιδιώκει ένα λιτό και καθαρό στυλ, συμπυκνώνοντας την αρχιτεκτονική δύναμή της, σε επιλεγμένα εκφραστικά στοιχεία. Το έργο που καλύπτεται από διάφανο γυαλί, στοχεύει σε ένα νέο ρυθμό, με την πρόσοψή του να αλλάζει, με τις αντανακλάσεις του περίγυρού του. Η στέγη έχει το ίδιο μοτίβο με την πρόσοψη και ένα πολυεπίπεδο μονωτικό στρώμα με τελείωμα λευκού αυλακωτού αλουμινίου, καλύπτει τις ατσάλινες δοκούς της. Η αίθουσα μουσικής δωματίου, με χωρητικότητα 192 θέσεων αποτελείται από ένα μαύρο κουτί με απλή κυρτή οροφή και ένα μεγάλο παράθυρο στο πίσω μέρος για φυσικό φωτισμό του χώρου. Το διπλό τοίχωμα του κτιρίου παρέχει βελτιωμένη ακουστική μόνωση, με φυσικό αερισμό για την αποφυγή υπερθέρμανσης. Περιμετρικά του κτιρίου, ένα σύστημα φωτισμού με LED μεταμορφώνει το κτίριο, σε μια λαμπερή φωτοτράπεζα τη νύχτα.

Εικόνα 5: Gores Group, Beverly Hills Καλιφόρνια
Πηγή: LIFO.gr

Τα καμπυλωτά γυάλινα πλαίσια του Gores Group στο Beverly Hills της Καλιφόρνια, σχηματίζουν κύκλους και ρόμβους, δίνοντας στο κτίριο μια ήπια, θυσανωτή εμφάνιση. Το οικοδόμημα, έργο του γραφείου Belzberg Architects, με έδρα την Santa Monica, στην πραγματικότητα διαθέτει μια πρόσοψη δύο επιπέδων. Το εσωτερικό γυάλινο επίπεδο προσφέρει οπτική αδιαφάνεια και ιδιωτικότητα.

Εικόνα 6:Γυάλινος Καθεδρικός ναός, Garden Grove Καλιφόρνια
Πηγή: LIFO.gr

Ο Καθεδρικός Ναός του Χριστού, συχνά αναφερόμενος ως Γυάλινος Καθεδρικός στο Garden Grove της Καλιφόρνια, ήταν το μεγαλύτερο γυάλινο κτίριο στον κόσμο, όταν ολοκληρώθηκε το 1980 από τους αρχιτέκτονες Philip Johnson και John Burgee. Εξωτερικά οι υαλοπίνακες με επιφάνεια καθρέπτη, συγκρατιόνται στον σκελετό του κτιρίου με κόλλα σιλικόνης και αντικατοπτρίζουν αδιάσπαστα το γαλήνιο περιβάλλον.

Εικόνα 7:Κτήριο IAC,Frank Gehry Μανχάταν
Πηγή: LIFO.gr

Οι κυματιστοί τοίχοι του κτιρίου IAC του Frank Gehry, έδρα της InterActiveCrop στο Μανχάταν, συστρέφονται και ανορθώνονται ελαφρά, χωρισμένοι σε δύο τμήματα. Το γυάλινο εξωτερικό κέλυφος, διαθέτει παράθυρα σε κάθε όροφο, με ένα ντεγκραντέ διαφανές προς λευκό, που ενισχύει την απαλή οπτικά κίνηση της κατασκευής.

Εικόνα 8: Δικαστήρια της Κομητείας του Μπρονξ
Πηγή: LIFO.gr

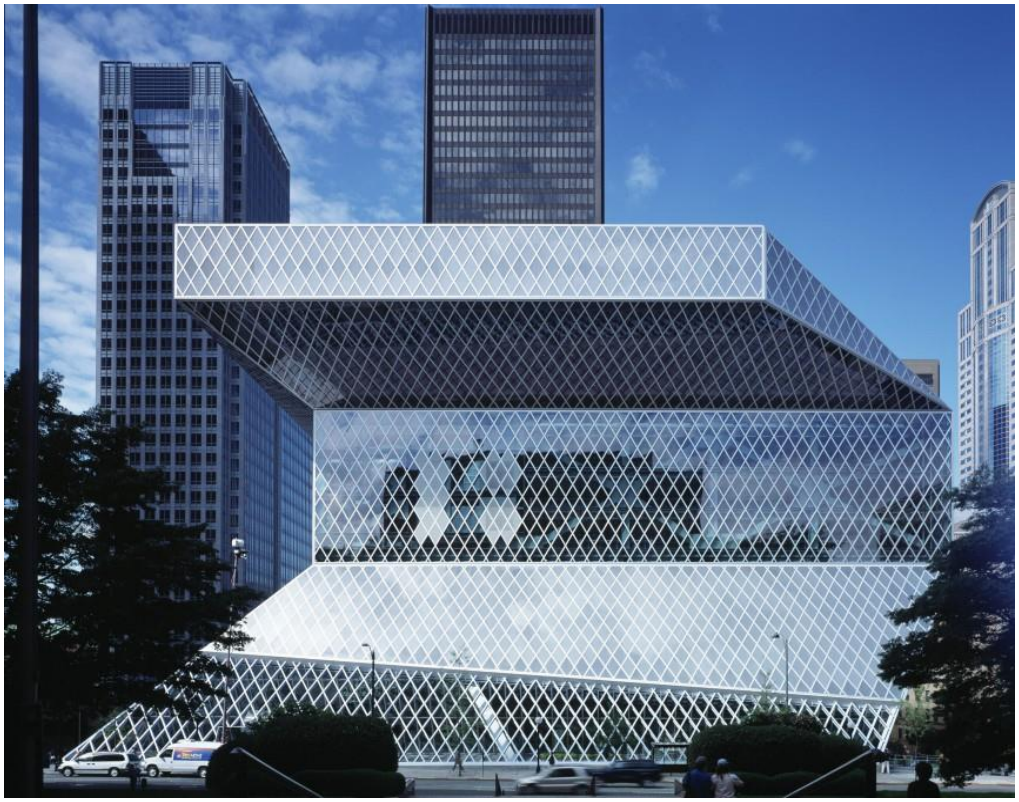
Τα δικαστήρια της Κομητείας του Μπρονξ, σε σχεδιασμό και σχεδίαση του γραφείου Rafael Vinoly Arhitects που ολοκληρώθηκαν το 2007, διαθέτουν μια κυματοειδή πρόσοψη από γυαλί και αλουμίνιο, που περικλείει τις αίθουσες του δικαστηρίου και τα γραφεία. Το κέλυφος σε σχήμα ακορντεόν, έχει κατασκευαστεί από φύλλα περιτηγμένου γυαλιού, που προσφέρουν αδιαφάνεια στο εξωτερικό της κατασκευής, επιτρέποντας ωστόσο να βλέπει κανείς μέσα από το κτήριο, το εξωτερικό περιβάλλον.

Εικόνα 9: Κατάστημα της Prada, AoyamaΤόκυο
Πηγή: LIFO.gr

Το κατάστημα της Prada, στην κομψή περιοχή Aoyama στο Τόκυο, χρησιμοποιεί κοίλα, κυρτά και επίπεδα φύλλα γυαλιού στην ρομβοειδή δομή του, για να προσδώσει μια ήπια, κυματοειδή κίνηση, στις κατά τα άλλα οξείες γωνίες του κτιρίου. Ο σχεδιασμός των Herzog & de Meuron, δεν είναι μόνο εντυπωσιακός, αλλά και οπτικά διαδραστικός, καθώς οι φυσαλίδες γυαλιού διαστρεβλώνουν την θέα εσωτερικά και εξωτερικά, παίζοντας διακριτικά με τους πελάτες του καταστήματος.

Εικόνα 10: Κτήριο Bloch, Kansas City Μισσούρι
Πηγή: LIFO.gr

Πέντε κατασκευές από ματ γυαλί, αναφερόμενες ως 'φακοί' από τον αρχιτέκτονα Steven Holl, συνδέονται με υπόγειους διαδρόμους και συνθέτουν το κτήριο Bloch, μια προσθήκη του 2007 του Nelson-Atkins Museum of Art, στο Kansas City του Μισσούρι. Τα ημιδιαφανή κουτιά, φιλτράρουν το φυσικό φως που πέφτει πάνω στα εκθέματα, με την βοήθεια ενός προσεκτικά σχεδιασμένου εσωτερικού χώρου, που ανακατευθύνει το φως σε κάθε γωνία.



Εικόνα 11:Κεντρικής Βιβλιοθήκης του Σιάτλ, ΗΠΑ
Πηγή: LIFO.gr

Το μεταμοντέρνο γωνιώδες κτίριο της Κεντρικής Βιβλιοθήκης του Σιάτλ, είναι προϊόν συνεργασίας των αρχιτεκτονικών ομάδων, OMA στο Ρότερνταμ και LMN Architects στο Σιάτλ. Είναι κατασκευασμένο από γυαλί και μέταλλο. Περίπου τα μισά από τα τζάμια, αποτελούνται από τρεις στρώσεις και ένα πλέγμα αλουμινίου, ανάμεσα σε δύο φύλλα γυαλί, ώστε να προστατεύονται οι αναγνώστες από το ηλιακό φως.

Εικόνα 12: Οίκος Hermes, Ιαπωνία
Πηγή: LIFO.gr

Το κτίριο του Renzo Piano για τον οίκο Hermes, στεγάζει την ναυαρχίδα του Maison Hermes στην Ιαπωνία. Όλο το κέλυφος του κτηρίου, αποτελείται από υαλότουβλα. Κατά την διάρκεια της ημέρας, τα υαλότουβλα προσελκύουν τους περαστικούς, προσφέροντας μια απαλά θολή εικόνα των προϊόντων και την νύχτα το γυαλί επιτρέπει στο φως να διαχέεται εξωτερικά.

Εικόνα 13:Οίκος Louis Vuitton, Παρίσι
Πηγή: LIFO.gr

Τα υαλοστάσια που θυμίζουν πανιά, στο κτίριο του Frank Gehry για την Fondation Louis Vuitton στο Παρίσι, αλλάζουν χρώμα και βαθμό διαφάνειας ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους, επιτρέποντας στο κτίριο να ανταποκρίνεται στο περιβάλλον του.

2 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

Η κυριότερη συμβολή του υαλοπίνακα στην οικοδομική, είναι η βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και της θερμοκρασιακής άνεσης ενός χώρου, καθώς χρησιμοποιείται όλα αυτά τα χρόνια ως μέσο πλήρωσης των ανοιγμάτων ενός κτιρίου προκειμένου να προστατευθούν οι κάτοικοί από τα καιρικά φαινόμενα και άλλους εξωτερικούς παράγοντες, επιτρέποντας παράλληλα στο φυσικό φως να εισχωρήσει στο εσωτερικό του. Η εξέλιξη της τεχνολογίας, συνετέλεσε και συνεχίζει να επικεντρώνεται στην διαρκή βελτίωση των οπτικών χαρακτηριστικών τους, ενώ παράλληλα εφευρέθηκαν και πέρασαν σε βιομηχανική παραγωγή νέοι τύποι υαλοπινάκων με πρόσθετες ιδιότητες. Πλέον διατίθενται στην αγορά υπερσύγχρονα συστήματα υάλωσης, που συνδυάζουν κατά τον βέλτιστο τρόπο, την ασφάλεια, με την εξοικονόμηση ενέργειας και την ομοιόμορφη κατανομή και διάχυση του προσπίπτοντος φυσικού φωτισμού.

2.1 Χρήσεις Υαλοπινάκων

Οι υαλώσεις και τα συστήματα υάλωσης, αποτελούν βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής μελέτης και σχεδίασης. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 25 ετών, επήλθαν πολύ σημαντικές αλλαγές στη δομή τους. Νέες τεχνολογικές επιλογές, βελτιώσαν την αποτελεσματικότητα τους, σε όλα τα επίπεδα τις ανθρώπινης ζωής. Το γυαλί πλέον, αποτελεί αναπόσπαστο δομικό και συνεχώς αναπτυσσόμενο υλικό, στην οικοδομική, αλλά και σε άλλους τομείς και το τεχνικό μέλλον του, αναμένεται ακόμα πιο αισιόδοξο. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι βασικότερες χρήσεις του, που το καθιστούν μοναδικό και του δίνουν την δυνατότητα να ανταποκρίνεται, στις αυξημένες απαιτήσεις της σύγχρονης πραγματικότητας.

2.1.1 Solar Control – Έλεγχος της ηλιακής ενέργειας

Ο έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί βασικό ζήτημα, όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας. Σε θερμά κλίματα ή σε κτίρια με υψηλά εσωτερικά φορτία, το γυαλί ηλιακού ελέγχου, χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση της απόδοσης της ηλιακής θερμότητας, απορρίπτοντας την ηλιακή ακτινοβολίας, ενώ παράλληλα επιτρέπουν υψηλά επίπεδα ηλιακού φωτός να διαπερνούν στο εσωτερικό του. Σε πιο εύκρατες συνθήκες χρησιμοποιείται, για την εξισορρόπηση του ηλιακού ελέγχου, προσφέροντας παράλληλα υψηλά επίπεδα φυσικού φωτός.

Το γυαλί ελέγχει την ηλιακή ακτινοβολία μέσω τριών μηχανισμών: αντανάκλαση, μετάδοση και απορρόφηση, οι οποίοι για τους σκοπούς του ηλιακού ελέγχου, ορίζονται με βάση τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Άμεση μετάδοση - το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μεταδίδεται απευθείας μέσω του γυαλιού.
- Αντανάκλαση - η αναλογία της ηλιακής ακτινοβολίας που αντανακλάται πίσω στην ατμόσφαιρα.
- Απορρόφηση - το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από το γυαλί.

- Συνολική διαπερατότητα (γνωστή και ως τιμή g ή ηλιακός παράγοντας) – η συνολική ποσότητα μεταδιδόμενης ηλιακής ενέργειας (g-value), που ισούται με το άθροισμα της ηλιακής ακτινοβολίας, που μεταδίδεται μέσω του υαλοπίνακα και αυτής, που απορροφάται από τον υαλοπίνακα και στη συνέχεια επανεκπέμπεται προς το εσωτερικό του χώρου.

Περαιτέρω παράμετροι που δίδονται στο γυαλί είναι οι ακόλουθες:

- Μετάδοση φωτός – το ποσοστό του φωτός, που μεταδίδεται από το γυαλί.
- Ανάκλαση φωτός - το ποσοστό του φωτός, που αντανακλάται από το γυαλί.
- Συνολικός συντελεστής σκίασης – ο λόγος της συνολικής ηλιακής ενέργειας, που μεταδίδεται (απευθείας μεταφορά και επανεκπομπή), σε σχέση με την συνολική ηλιακή ενέργεια που θα μεταδιδόταν σε 3mm γυαλί.

Βραχυχρόνιος συντελεστής σκίασης (Shortwave shading coefficient)

$$\mathrm{SWSC} = \frac{\mathrm{ET}}{\text{total solar heat transmittance of standard glass}}$$

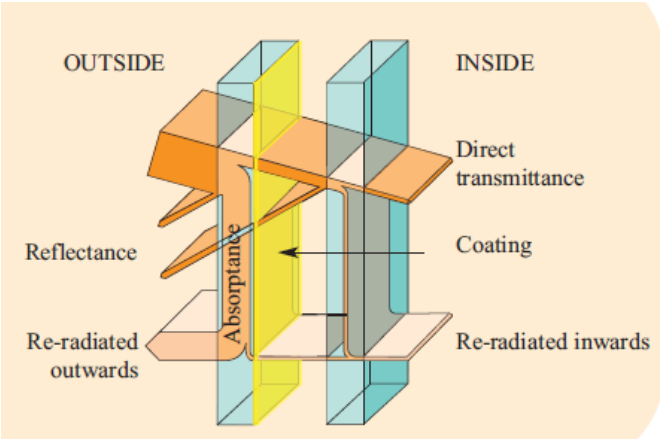
Μακροχρόνιος συντελεστής σκίασης (Longwave shading coefficient)

LWSC=TSC-SWSC

Συνολικός συντελεστής σκίασης

$$\mathrm{TSC} = \frac{\mathrm{TET}}{\text{total solar heat transmittance of standard glass}}$$

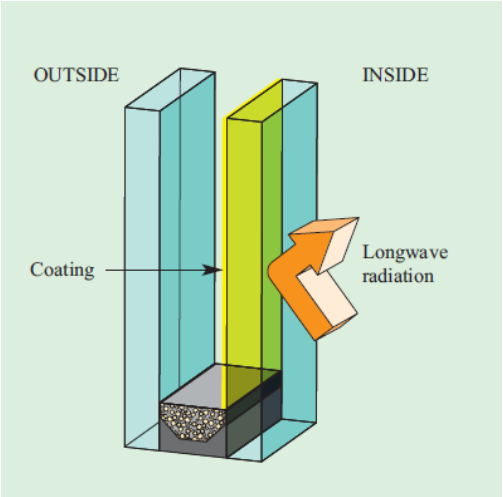
SWSC : Βραχυχρόνιος συντελεστής σκίασης
LWSC: Μακροχρόνιος συντελεστής σκίασης
TSC: Συνολικός συντελεστής σκίασης
ET: Άμεση διαπερατότητα ηλιακής θερμότητας
TET: Συνολική διαπερατότητα ηλιακής θερμότητας



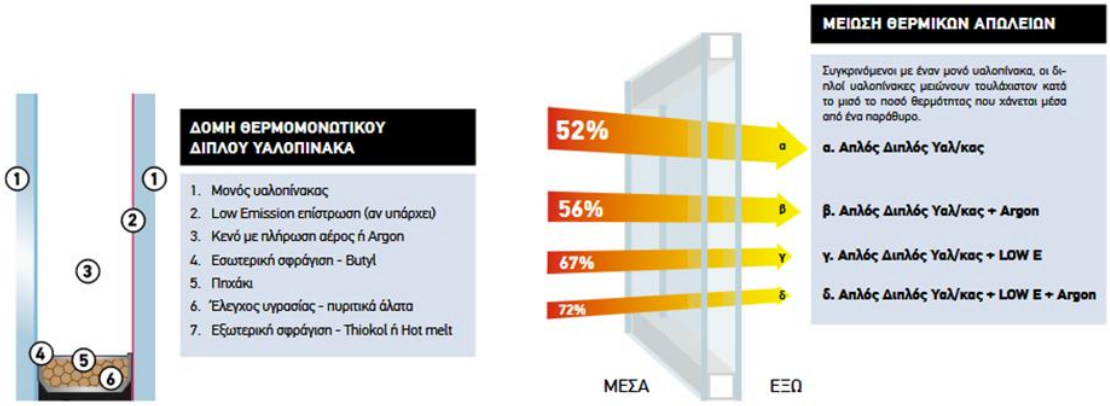
Εικόνα 14: Υαλοπίνακας ηλιακού ελέγχου
Πηγή: glasshandbook2010

2.1.2 Θερμική μόνωση

Συνήθως σε ψυχρότερα ή με λιγότερη ηλιοφάνεια κλίματα, χρησιμοποιούνται υαλοπίνακες με χαμηλό συντελεστή εκπομπής, καθώς αποτελούν την βέλτιστη ενεργειακά επιλογή. Διαθέτουν την δυνατότητα, να επιτρέπουν την είσοδο της ηλιακής θερμότητας και στη συνέχεια, να διατηρούν τη θερμότητα αυτή, στο εσωτερικό του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, η ηλιακή ενέργεια εισέρχεται στο κτίριο κυρίως ως ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος, αλλά μόλις φτάσει στο εσωτερικό της, αντανακλάται πίσω από τα αντικείμενα προς το γυαλί, ως ακτινοβολία μεγάλου μήκους. Το γυαλί χαμηλής εκπομπής έχει μια επίστρωση, που επιτρέπει τη μετάδοση της ακτινοβολίας μικρού μήκους, σε πολύ υψηλότερο ρυθμό, από την ακτινοβολία μεγάλου μήκους. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν είναι : εξοικονόμηση των δαπανών για θέρμανση, ομοιογενή θερμοκρασία του χώρου, υψηλή διαπερατότητα φωτός, και η προστασία του περιβάλλοντος από τη μειωμένη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 15: Υαλοπίνακας χαμηλής εκπομπής
Πηγή: glasshandbook2010

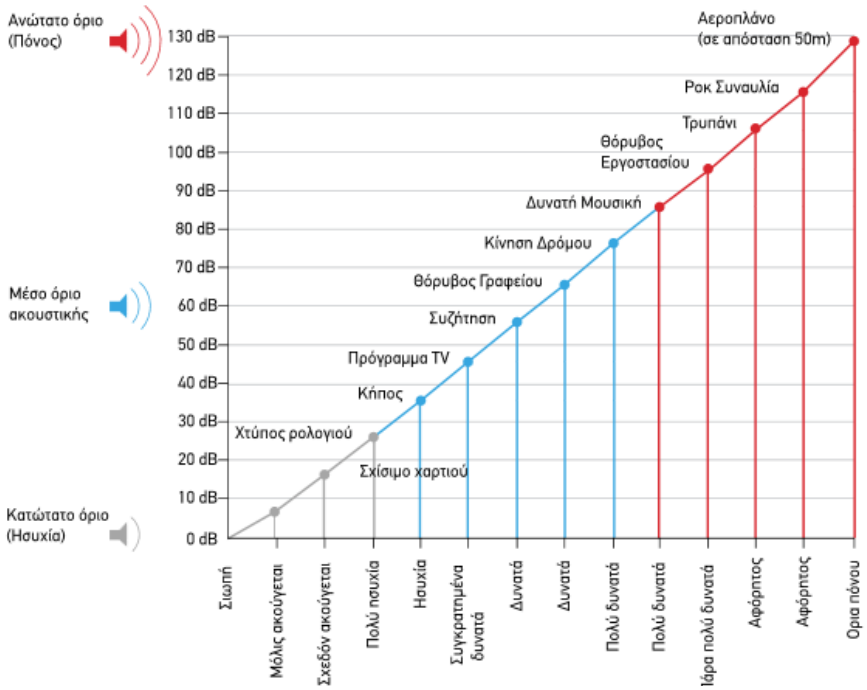


Εικόνα 16:Θερμική μείωση απωλειών για διάφορα είδη υαλοπινάκων, σε σύγκριση με έναν μονό υαλοπίνακα

Πηγή: yalodomi.gr

2.1.3 Ηχομείωση

Η προστασία ενάντια στην ηχορύπανση, είναι ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στην καθημερινότητα, αφού επηρεάζει άμεσα την ψυχική υγεία των ανθρώπων. Η βασική προϋπόθεση για να προσδιοριστεί ο όρος «άνεση» και ίσως και το επίπεδο διαβίωσης, είναι τα χαμηλά επίπεδα θορύβου. Η αντίληψη μας για τον θόρυβο, υπόκειται στην ακόλουθη αρχή: εάν το επίπεδο θορύβου σε ένα δωμάτιο, μειώνεται κατά 10dB, σε σχέση με μία εξωτερική πηγή θορύβου, είναι σαν η ένταση να μειώνεται στο μισό. Η ηχομονωτική προστασία πρέπει να εφαρμόζεται εκεί, όπου ο θόρυβος δεν μπορεί να ελαχιστοποιηθεί. Σε τέτοιες εφαρμογές χρησιμοποιούνται πολυεπίπεδοι υαλοπίνακες, συνδυασμένοι με διπλούς υαλοπίνακες.



Εικόνα 17:Σύγκριση πηγών θορύβου και πως αντιλαμβάνονται
Πηγή: yalodomi.gr

Σύμφωνα με μελέτες, ο άνθρωπος που ζει και εργάζεται σε χώρους με χαμηλά επίπεδα θορύβου, είναι πιο υγιής και με αυξημένη δημιουργικότητα. Ακόμα και αν ο εξωτερικός θόρυβος δεν είναι ενοχλητικός, η σωστή ακουστική απόδοση ενός χώρου, εκτιμάται ιδιαίτερα. Οι ηχομονωτικοί υαλοπίνακες χρησιμοποιούνται ευρέως σε: κλινικές υγείας & κέντρα ιατρικής φροντίδας, εγκαταστάσεις ψυχολογικών υπηρεσιών, γραφεία, αίθουσες συνεδριάσεων, πολυτελείς οικίες κλπ

Δείκτης ηχομόνωσης Rw(C;Ctr)

Η ηχομονωτική ιδιότητα στα Ηχομονωτικά Τζάμια, ορίζεται από ένα δείκτη που αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών επιπέδων θορύβου. Αυτός είναι ο δείκτης R. Οι μετρήσεις λαμβάνονται εντός εργαστηρίου σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 140 και αντιπροσωπεύουν τις ακουστικές ιδιότητες ενός στοιχείου.

Ο δείκτης Rw ενσωματώνει μία σταθμισμένη διόρθωση για το ανθρώπινο αυτί και εκφράζεται σε dB. Οι μέθοδοι υπολογισμού του δείκτη αυτού χρησιμοποιούν ένα τυποποιημένο φάσμα θορύβου, που περιγράφονται στο EN ISO 717-1.

Ανάλογα με το πώς έχει συναρμολογηθεί και εγκατασταθεί ένα παράθυρο, αποδίδει χαμηλότερα σε χαμηλές, μεσαίες ή υψηλές συχνότητες. Για το λόγο αυτό έχει δημιουργηθεί ο δείκτης Rw(C;CTR). Η διόρθωση Ctr χρησιμοποιείται συνήθως, όταν η πηγή του θορύβου είναι η οδική κίνηση μίας λεωφόρου ταχείας κυκλοφορίας. Για το γενικό θόρυβο του εξωτερικού περιβάλλοντος, είναι καλύτερο να χρησιμοποιείται η διόρθωση C. Και οι δύο διορθώσεις, είναι γενικά αρνητικές και αφαιρούνται από το Rw, για να καθορίσει τις ιδιότητες μείωσης του θορύβου ενός δομικού στοιχείου. Παρέχονται από τα εργαστήρια δοκιμών και αναγράφονται δίπλα στην τιμή Rw

Πάχος / Δομή (mm)	Συντελεστές ηχομόνωσης στις μέσες συχνότητες (Hz) R (dB)						Συντελεστές ηχομόνωσης και προσαρμο-σμένοι συντελεστές (dB)		
	125	250	500	1k	2k	4k	Rw	Ctr	C
ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑΣ									
5	19	22	29	33	29	31	30	-2	-1
10	23	26	32	31	32	39	33	-3	-2
ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑΣ ECHO-LAM®									
6,4	20	23	29	34	32	38	32	-3	-1
ΔΙΠΛΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑΣ									
8,7	27	29	37	43	44	53	41	-4	-2
8,7	33	35	43	49	50	59	47	-5	-2
16,7	37	39	47	53	54	63	51	-5	-1

Εικόνα 18:Τιμές του ακουστικού συντελεστή μόνωσης Rw και του συντελεστή R για τις διάφορες ηχητικές συχνότητες.
Πηγή: yalodomi.gr

2.1.4 Υπεριώδη Ακτινοβολία UV

Η ηλιακή υπεριώδης ακτινοβολία (UV), αποτελεί ένα πολύ μικρό μέρος του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος της Γης. Η ένταση της ακτινοβολίας και ο χρόνος έκθεσης σε αυτήν μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στον άνθρωπο. Ένας παράγοντας που επιδρά στην υπεριώδη ακτινοβολία, είναι το όζον. Αν μειωθεί το όζον πάνω από έναν τόπο, η υπεριώδης ακτινοβολία θα αυξηθεί, όμως η ορατή ακτινοβολία θα παραμείνει αμετάβλητη. Τα τελευταία 15 χρόνια η υπεριώδης ακτινοβολία που φθάνει στο έδαφος, έχει αυξηθεί σημαντικά σε πολλές περιοχές της Γης, συμπεριλαμβανόμενης και της Ελλάδας, σαν αποτέλεσμα της μείωσης του όζοντος, και της ελάττωσης των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων που απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία. Ανεξάρτητα όμως από την αυξητική τάση, οι βλαβερές επιπτώσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας θα μπορούσαν να προκληθούν ακόμη και αν είχε παρατηρηθεί ελάττωση της υπεριώδους ακτινοβολίας, διότι εξαρτώνται καθαρά από τον χρόνο έκθεσης σε αυτήν.

Οι κοινοί διάφανοι υαλοπίνακες έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό τους, την υψηλή μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας και κατ΄ επέκταση και της υπεριώδης, σε αντίθεση με τους κατάλληλους υαλοπίνακες

Το μέγεθος της προστασίας γίνεται αντιληπτό, γνωρίζοντας ότι το απλό κρύσταλλο 10mm επιτρέπει το 41% της υπεριώδους ακτινοβολίας να περάσει , ενώ ο κατάλληλος υαλοπίνακας με ειδική μεμβράνη, επιτρέπει μόνο το 0,01%. Η ειδική μεμβράνη μπορεί να τοποθετηθεί σχεδόν σε οποιοδήποτε κοινό ή ηλιακού ελέγχου υαλοπίνακα, ώστε να παρέχει ένα ευρύ φάσμα ωφελειών. Σημειωτέων, κανένα γυαλί δεν μπορεί να εγγυηθεί απόλυτη προστασία από το ξεθώριασμα των χρωμάτων.

Πηγή: google images

2.1.5 Ασφάλεια

Στον τομέα της ασφάλειας, ο υαλοπίνακας έχει την δυνατότητα να προσφέρει εξαιρετική «παθητική» ασφάλεια. Πιο συγκεκριμένα, αφού ξεπεραστούν τα όρια θραύσης του, τα θραύσματα που προκαλούνται από την θραύση και μετά, μένουν σταθερά προσκολλημένα πάνω στην συγκολλητική μεμβράνη που διαθέτει. Με αυτόν τον τρόπο καθίστανται ακίνδυνα και ανίκανα να προκαλέσουν σοβαρό

τραυματισμό. Το ιδιαίτερο αυτό χαρακτηριστικό, είναι που κάνει τον υαλοπίνακα, να διακρίνεται σε θέματα ασφαλείας. Οι υαλοπίνακες σύγχρονης τεχνολογίας μπορεί, να είναι εξαιρετικά ανθεκτικοί. Οι υαλοπίνακες ασφαλείας περιλαμβάνουν μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων και είναι σχεδιασμένοι, να καλύπτουν συγκεκριμένες απαιτήσεις:

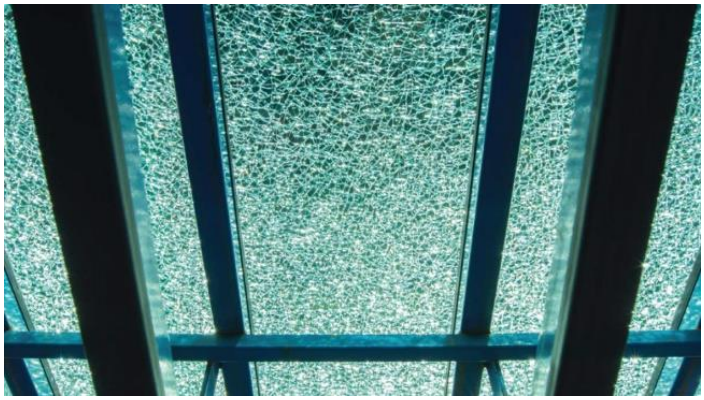
- Προστασία προσώπων από τραυματισμούς (σε περίπτωση θραύσης)
- Προστασία από κλοπές - βανδαλισμούς
- Προστασία από όπλα

Εικόνα 19: Υαλοπίνακας ασφάλειας
Πηγή: yalotech.gr

2.1.6. Προστασία

Μία ακόμα δυνατότητα του υαλοπίνακα στον τομέα της προστασίας, είναι η ικανότητα του να προσφέρει ένα φραγμό μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού χώρου, ακόμα και αφού έχει σπάσει. Δηλαδή, παρόλο του ότι θα σπάσει (σχετικά εύκολα) εάν χτυπηθεί με σφυρί ή πέτρα, το ενδιάμεσο φίλμ του PVB θα εμποδίσει την διείσδυση, εξασφαλίζοντας ότι κάθε απόπειρα βίαιης παραβίασης θα είναι αργή και θορυβώδης. Το επίπεδο αντίστασης στην εισβολή, εξαρτάται από την κατηγοριοποίηση του κάθε υαλοπίνακα (όσο περισσότερη η μάζα του γυαλιού και όσες περισσότερες οι περιεχόμενες μεμβράνες, τόσο υψηλότερη η κατηγορία ασφαλείας του υαλοπίνακα).

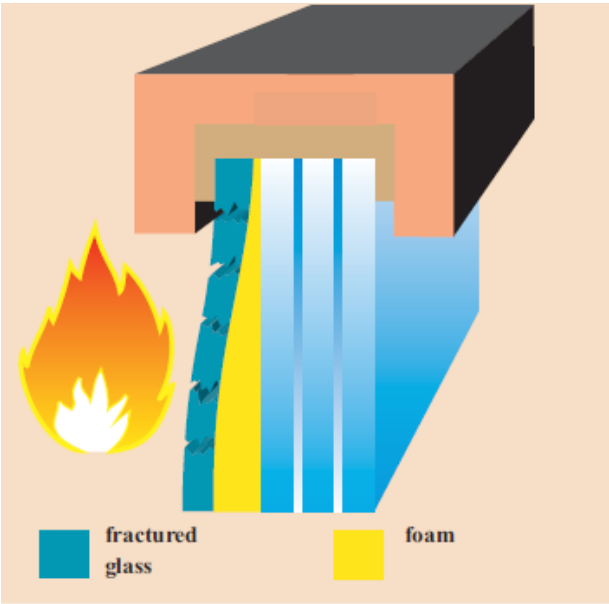
Τέλος, μετά την θραύση του και εφόσον είναι τοποθετημένος σε σταθερό πλαίσιο, τότε παραμένει στη θέση του, έστω και σπασμένος, δίνοντας τον χρόνο στον ενδιαφερόμενο να τον αντικαταστήσει, όποτε το επιθυμεί χωρίς να παραμένει εκτεθειμένη η ιδιοκτησία του (σπίτι, κατάστημα, αυτοκίνητο κλπ). Τέλος η παραμονή του υαλοπίνακα στη θέση του, εξασφαλίζει και την περιουσία (εμπορεύματα, επίπλωση κλπ) τόσο από ζημιές από την τυχαία κατάρρευση όσο και από κλοπές ή και καιρικά φαινόμενα.



Εικόνα 20: Υαλοπίνακας με μεμβράνη
Πηγή: vasglass.gr

2.1.7 Πυροπροστασία

Σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς (Νέος Κανονισμός Πυροπροστασίας 2018) τα νέα και υπάρχοντα κτίρια είναι απαραίτητο να πληρούν το κατάλληλο επίπεδο πυρασφάλειας. Οι πυράντοχοι υαλοπίνακες είναι γυαλιά ανθεκτικά στην πυρκαγιά και διαθέτουν μια διαφανή διογκωτική ενδιάμεση στρώση. Όταν εκτίθεται σε φωτιά, ο υαλοπίνακας παραμένει στη θέση του και το ενδιάμεσο στρώμα αμέσως αφρίζει και γίνεται παχύ, ανθεκτικό και σκληρό μονωτικό που λειτουργεί σαν ασπίδα, η οποία απορροφά την ενέργεια της φωτιάς. Αυτό, συμβαίνει σε χαμηλές θερμοκρασίες, περίπου στους 120 ° C, έτσι ώστε να παρέχεται προστασία από τα πρώτα στάδια της φωτιάς. Η ανθεκτική δομή, εξασφαλίζει ότι ο υαλοπίνακας θα παραμείνει στη θέση του και θα συνεχίζει να ενεργεί ως μονωτικός τοίχος με πυρίμαχες επιφάνειες, για τις απαιτούμενες χρονικές περιόδους, όπως ορίζεται στις τυποποιημένες εγκεκριμένες δοκιμές. Τα πυράντοχα γυαλιά έχουν δοκιμαστεί και εφαρμόζονται, σε πυροστεγείς πόρτες, συστήματα πυροπροστασίας και συστήματα πρόσοψης, που απαιτείται γυαλί ανθεκτικό στην πυρκαγιά.



Εικόνα 21: Υαλοπίνακας Πυροπροστασίας
Πηγή: glasshandbook2010

2.2 Υαλοπίνακες Ασφαλείας

Μια μεγάλη γκάμα υαλοπινάκων ασφαλείας είναι διαθέσιμη που χρησιμοποιείται είτε μεμονωμένα ή σε συνδυασμό με άλλους τύπους υαλοπινάκων στην κατασκευή κτηρίων και στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Οι τρείς κύριοι τύποι αυτών των υαλοπινάκων είναι: ο θερμικά σκληρυμένος υαλοπίνακας ασφαλείας (thermallytoughened), ο υαλοπίνακας ασφαλείας πολλαπλών στρώσεων (laminated) και ο θερμικά ενισχυμένος υαλοπίνακας (heat-strengthened).

2.2.1 Θερμικά σκληρυμένος υαλοπίνακας (Thermally toughened glass) (ΕΛΟΤ ΕΝ 12150)

Μέσω της διαδικασίας θερμικής σκλήρυνσης προσδίδονται στον βασικό επίπεδο υαλοπίνακα τρία εξαιρετικά χαρακτηριστικά. Αρχικά, ο θερμικά σκληρυμένος υαλοπίνακας αποκτά τέσσερις με πέντε φορές μεγαλύτερη εφελκυστική αντοχή, σε σχέση με τον υαλοπίνακα ίδιου πάχους, χωρίς πρόσθετη θερμική επεξεργασία και συνεπώς μπορεί να αντέξει πολύ μεγαλύτερου μεγέθους μηχανικές καταπονήσεις. Επίσης, η θερμική επεξεργασία σκλήρυνσης καθιστά τον υαλοπίνακα πιο ανθεκτικό σε ακραίες, μικρής διάρκειας μεταβολές σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες, και ταυτόχρονα ικανότερο να αντέξει μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές εντός της μάζας του. Ωστόσο, εάν προκύψει αστοχία εξαιτίας μεγάλων φορτίων, τότε ο υαλοπίνακας θα θρυμματιστεί σε μία μάζα από μη αιχμηρά, με χαλαρές ενώσεις μεταξύ τους κομμάτια, τα οποία αποτελούν μικρότερη απειλή τραυματισμού, σε σχέση με τα αιχμηρά, μεγάλα κομμάτια θραύσης ενός υαλοπίνακα χωρίς πρόσθετη θερμική επεξεργασία.

2.2.1.1 Παραγωγή

Οι μονολιθικοί υαλοπίνακες που εισέρχονται στη μονάδα θερμικής επεξεργασίας είναι αυτοί που έχουν προέλθει από τον βασικό επίπεδο υαλοπίνακα. Αυτοί οι υαλοπίνακες είναι επακριβώς μετρημένοι, οι ακμές τους έχουν ήδη λειανθεί και οι τυχόν οπές και εγκοπές έχουν ήδη κατασκευαστεί. Οι υαλοπίνακες θερμαίνονται στους 600 $^{\circ}$C, χρησιμοποιώντας ελεγχόμενη και ομοιόμορφη παροχή θερμότητας και ακολούθως ψύχονται ταχέως, χρησιμοποιώντας κρύο αέρα. Η επιφάνεια του υαλοπίνακα ψύχεται ταχύτερα από το κέντρο της μάζας του, δημιουργώντας διαρκείς εφελκυστικές τάσεις. Η εφελκυστική τάση αυξάνεται από την επιφάνεια του υαλοπίνακα, η οποία βρίσκεται υπό θλιπτική τάση, προς το κέντρο του υαλοπίνακα. Αυτές οι πρόσθετες τάσεις προσδίδουν στον υαλοπίνακα τις πρόσθετες ιδιότητές του και παράλληλα εξηγούν τον λόγο, για τον οποίο όλες οι κατεργασίες επάνω στον υαλοπίνακα πρέπει να υλοποιούνται σε προγενέστερο στάδιο. Συνεπώς, εάν για παράδειγμα κατασκευαστεί οπή σε ήδη θερμικά σκληρυμένο υαλοπίνακα, ο υαλοπίνακας θα θρυμματιστεί στο σύνολό του, καθώς διασπάται η δομή των τάσεων

2.2.1.2 Φυσικές Ιδιότητες (ΕΛΟΤ ΕΝ 410, ΕΛΟΤ ΕΝ 572)

Οι βασικές φυσικές ιδιότητες του θερμικά σκληρυμένου υαλοπίνακα, όπως η θερμική αγωγιμότητα, η περατότητα του φωτός και της ενέργειας, η θερμική διαστολή και το μέτρο ελαστικότητας, παραμένουν όμοια με τα αντίστοιχα του βασικού επίπεδου υαλοπίνακα, όπως επίσης και το βάρος, ο δείκτης ηχομείωσης και οι χημικές ιδιότητες.

2.2.1.3 Αντίσταση στην κρούση (ΕΛΟΤ ΕΝ 12600)

Ο θερμικά σκληρυμένος υαλοπίνακας είναι ανθεκτικός σε κρούσεις από μαλακά παραμορφώσιμα αντικείμενα (όπως το ανθρώπινο σώμα), σύμφωνα με το εναρμονισμένο πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 12600 «Ύαλος για δομική χρήση- Δοκιμή εκκρεμούς- Μέθοδος Δοκιμής σε κρούση και ταξινόμηση επίπεδης υάλου». Το σχετικό πεδίο εφαρμογής καθορίζει και το απαιτούμενο ελάχιστο πάχος του υαλοπίνακα.

2.2.1.4 Αντοχή σε κάμψη (ΕΝ 16612)

Ο θερμικά σκληρυμένος υαλοπίνακας είναι δυνατόν να κατασκευαστεί από διάφορους τύπους υαλοπινάκων και επιπλέον, να είναι επιστρωμένο με κεραμικά χρώματα. Η χαρακτηριστική αντοχή σε κάμψη του θερμικά σκληρυμένου υαλοπίνακα είναι η ακόλουθη:

- Θερμικά σκληρυμένος υαλοπίνακας από βασικό επίπεδο υαλοπίνακα, $f_{b,k}$ = 120N/mm
- Θερμικά σκληρυμένοςυαλοπίνακας από διακοσμητικό υαλοπίνακα,$f_{b,k}$ = 90N/mm2
- Θερμικά σκληρυμένοςυαλοπίνακας με επιφανειακή κεραμική στρώση, $f_{b,k}$ = 75 N/mm2

2.2.1.5 Επίδραση της θερμότητας

Ο θερμικά σκληρυμένος υαλοπίνακας είναι ικανός να αντισταθεί σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 300 °C για σύντομες χρονικές περιόδους και σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 250 °C για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα. Η αντίσταση ενάντια σε θερμοκρασιακές διαφορές εντός του θερμικά σκληρυμένου υαλοπίνακα, είναι πολύ υψηλή - 200 K- συγκρινόμενη με τους 40 K του βασικού επίπεδου υαλοπίνακα χωρίς πρόσθετη θερμική επεξεργασία.

2.2.1.6 Ανισοτροπίες (χρώμα)

Οι ανισοτροπίες (εμφανίσεις εναλλαγής χρωμάτων) είναι αναπόφευκτες στον θερμικά σκληρυμένο υαλοπίνακα, εξαιτίας της εσωτερικής κατανομής της τάσης του υαλοπίνακα. Αναλόγως της γωνίας θέασης, σκουρόχρωμοι κύκλοι ή λουρίδες είναι εμφανείς σε πολωμένο φως.

2.2.1.7 Ανισοτροπίες (επιφάνεια)

Μικρές αλλαγές στην επιφάνεια του θερμικά σκληρυμένου υαλοπίνακα μπορούν να προκληθούν λόγω της κύλισης του επάνω σε ρόδες κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του. Αυτές οι επιφανειακές ανισοτροπίες αναφέρονται ως «κυλινδρικά κύματα» και δεν μπορούν να αποφευχθούν πλήρως. Κάτω από ιδιαίτερες συνθήκες φωτισμού οι επιφανειακές ανισοτροπίες είναι ορατές.

2.2.1.8 Ταυτότητα

Κάθε θερμικά σκληρυμένος υαλοπίνακας πρέπει να φέρει ευδιάκριτη και μόνιμη σήμανση, σύμφωνα με το εναρμονισμένο πρότυπο EN 12150-3.

2.2.1.9 Σκληρυμένος θερμικά και κατεργασμένος με διαδικασία heat-soak υαλοπίνακας (Heatsoaked thermally toughened) (ΕΛΟΤ EN 14179)

Σε κάθε βασικό επίπεδο υαλοπίνακα υπάρχουν εξαιρετικά χαμηλές ποσότητες κρυστάλλων σουλφιδίου του νικελίου (NiS), που ενυπάρχουν αναπόφευκτα από τις πρώτες ύλες στο σώμα του υαλοπίνακα. Στους βασικούς επίπεδους υαλοπίνακες ή στους διακοσμητικούς υαλοπίνακες αυτοί οι κρύσταλλοι δεν επιφέρουν κάποια επίπτωση. Στην περίπτωση, όμως, των θερμικά σκληρυμένων υαλοπινάκων, η εξαιρετικά ταχεία ψύξη κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης «ακινητοποιεί» τα σωματίδια NiS σε μία τροποποιημένη κρυσταλλική δομή. Σε μια μεταγενέστερη ενδεχόμενη ανύψωση της θερμοκρασίας του υαλοπίνακα, για παράδειγμα λόγω απορρόφησης ηλιακής ενέργειας, ο όγκος των κρυστάλλων και συνεπώς, η κρυσταλλική δομή μπορούν να αλλάξουν. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τον θρυμματισμό του υαλοπίνακα, αφότου τα σωματίδια υπερβούν ένα κρίσιμο μέγεθος.

Επομένως, κρίνεται χρήσιμο οι θερμικά σκληρυμένοι υαλοπίνακες οι οποίοι πρόκειται λόγω θέσης τοποθέτησης να είναι εκτεθειμένοι σε υψηλές θερμοκρασιακές μεταβολές και παράλληλα τίθεται θέμα ασφάλειας, να υπόκεινται στην πρόσθετη κατεργασία με τη διαδικασία heatsoak.

Η διαδικασία heatsoak διεξάγεται σύμφωνα με το εναρμονισμένο πρότυπο EN 14179 και πρέπει να είναι τεκμηριωμένη. Πιο συγκεκριμένα, οι θερμικά σκληρυμένοι

υαλοπίνακες θερμαίνονται σε μία προκαθορισμένη θερμοκρασία 290 °C± 10% για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 2 ωρών. Η διαδικασία heat-soakαναγκάζει τους πιθανόν παρόντες κρυστάλλους σουλφιδίου του νικελίου να αντιδράσουν άμεσα, με αποτέλεσμα οι υαλοπίνακες που εμπεριέχουν αυτούς τους κρυστάλλους σουλφιδίου του νικελίου να καταστρέφονται εκουσίως κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Αυτή η διαδικασία ελέγχεται χρησιμοποιώντας εσωτερικούς ελέγχους ποιότητας και εξωτερικές επιθεωρήσεις και κάθε παραδιδόμενος υαλοπίνακας πρέπει να είναι οριστικά τεκμηριωμένος. Επιπλέον, οι σκληρυμένοι θερμικά και κατεργασμένοι με διαδικασία heat-soak υαλοπίνακες πρέπει να είναι ορατώς δηλωμένοι επιπροσθέτως της δήλωσης για τον θερμικά σκληρυμένο υαλοπίνακα.

2.2.2. Ενισχυμένος θερμικά υαλοπίνακας (Heat strengthened glass) (ΕΛΟΤ EN 1863)

Σύμφωνα με το εναρμονισμένο πρότυπο EN 1863, ο μονολιθικός θερμικά ενισχυμένος υαλοπίνακας δεν κατατάσσεται ως υαλοπίνακας ασφαλείας, αλλά ως στοιχείο συνδυασμού.

2.2.2.1 Παραγωγή

Η παραγωγή του ενισχυμένου θερμικά υαλοπίνακα είναι πανομοιότυπη με αυτή του θερμικά σκληρυμένου υαλοπίνακα, αλλά η διαδικασία ψύξης είναι πιο αργή, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται χαμηλότερες διαφορές τάσης. Από άποψη αντοχής, ο θερμικά ενισχυμένος υαλοπίνακας βρίσκεται μεταξύ του υαλοπίνακα χωρίς πρόσθετη θερμική επεξεργασία και του θερμικά σκληρυμένου υαλοπίνακα. Σε περίπτωση θραύσης, αυτή ξεκινάει από το σημείο κρούσης και κινείται ακτινικά προς τις άκρες του υαλοπίνακα, με τα κομμάτια θραύσης να μοιάζουν περισσότερο σε αυτά της θραύσης υαλοπίνακα χωρίς θερμική επεξεργασία. Για αυτόν τον λόγο, ένας μονός υαλοπίνακας πολλαπλών στρώσεων από ενισχυμένους θερμικά υαλοπίνακες έχει βελτιωμένες ιδιότητες αντοχής φορτίου μετά τη θραύση. Στην περίπτωση θραύσης υαλοπίνακα πολλαπλών στρώσεων από ενισχυμένους θερμικά υαλοπίνακες, υπάρχει μόνο μία μικρή απόκλιση από την ευθεία, σε αντίθεση με το κρέμασμα ("wetblanket" effect) του υαλοπίνακα πολλαπλών στρώσεων από θερμικά σκληρυμένους υαλοπίνακες.

2.2.2.2 Αντοχή σε κάμψη (EN 16612)

Ο ενισχυμένος θερμικά υαλοπίνακας είναι δυνατόν να κατασκευαστεί από διάφορους τύπους υαλοπινάκων και επιπλέον, να είναι επιστρωμένο με κεραμικά χρώματα. Η χαρακτηριστική αντοχή σε κάμψη του ενισχυμένου θερμικά υαλοπίνακα είναι η ακόλουθη:

- Ενισχυμένος θερμικά υαλοπίνακας από βασικό επίπεδο υαλοπίνακα, $f_{b,k}$ = 70 N/mm2
- Ενισχυμένος θερμικά υαλοπίνακας από διακοσμητικό υαλοπίνακα, $f_{b,k}$ = 55 N/mm2

- Ενισχυμένος θερμικά υαλοπίνακας με επιφανειακή κεραμική στρώση, $f_{b,k}$ = 45 N/mm2

2.2.2.3 Επίδραση της θερμότητας

Η αντοχή ενός ενισχυμένου θερμικά γυαλιού σε διαφορές θερμοκρασίας μέσα στη μάζα του μπορεί να εκτιμηθεί σε 100 K.

2.2.3 Ενισχυμένος χημικά υαλοπίνακας (Chemically strenghtened glass) (ΕΛΟΤ ΕΝ 12337)

Ο ενισχυμένος χημικά υαλοπίνακας έχει αυξημένη αντοχή ως αποτέλεσμα χημικής κατεργασίας ανταλλαγής ιόντων, η οποία γίνεται έπειτα από την παραγωγή.Σε περίπτωση θραύσης τα θραύσματα παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα με τα αντίστοιχα του βασικού επίπεδου υαλοπίνακα χωρίς πρόσθετη θερμική κατεργασία. Για αυτόν τον λόγο, όταν ενισχυμένος χημικά υαλοπίνακας τοποθετείται για παροχή ασφάλειας, συνίσταται αυτός να γίνεται πολλαπλών στρώσεων. Επιπλέον, λόγω του ότι κατά τη διαδικασία ενίσχυσης δεν υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις θερμοκρασίας, δεν εμφανίζονται στον ενισχυμένο χημικά υαλοπίνακα οπτικές ανισοτροπίες, κυματισμοί κ.λπ. Τέλος, ο ενισχυμένος χημικά υαλοπίνακας μπορεί να κοπεί, αλλά χάνει την πρόσθετη αντοχή σε μια περιοχή περίπου 20mm από την ακμή κοπής. Η αντοχή του ενισχυμένου χημικά υαλοπίνακα μειώνεται και από τυχόν τραυματισμό της επιφάνειάς του.

Η διαδικασία της χημικής ενίσχυσης υαλοπινάκων δεν χρησιμοποιείται προς το παρόν ευρέως στην Ελλάδα.

2.2.4 Υαλοπίνακας (ασφαλείας) πολλαπλών στρώσεων (Laminated safety glass) (ΕΛΟΤ ΕΝ 12543)

Η μόνιμη ένωση δύο ή περισσοτέρων μονών υαλοπινάκων με κολλώδεις, ελαστικές μεμβράνες πολυβινυλίου-βουτιλίου (PVB)υψηλής αντοχής στο σχίσιμο ή άλλες παρεμφερείς μεμβράνες δημιουργεί ένα πολύ λειτουργικό στοιχείο από γυαλί, που μπορεί να αντέξει υψηλά στατικά φορτία. Όλοι οι διαφορετικοί τύποι υαλοπίνακα – βασικός επίπεδος, διακοσμητικός, επιστρωμένος, εκτυπωμένος κ.λπ.- μπορεί να κατασκευαστεί ως υαλοπίνακας ασφαλείας πολλαπλών στρώσεων.

Η ασφάλεια του υαλοπίνακα πολλαπλών στρώσεων οφείλεται στην εξαιρετικά υψηλή αντοχή εφελκυσμού της στρώσης PVB και της άριστης επικόλλησης της στην προσκείμενη επιφάνεια του υαλοπίνακα. Σε περίπτωση θραύσης από μηχανική καταπόνηση, τα κομμάτια θραύσης παραμένουν προσκολλημένα στη μεμβράνη, με αποτέλεσμα ο υαλοπίνακας ασφαλείας πολλαπλών στρώσεων συνήθως να διατηρεί τη δομική ακεραιότητά του, μειώνοντας έτσι κατά πολύ τον κίνδυνο τραυματισμού εξαιτίας της αποκόλλησης των θραυσμάτων.

Αναλόγως της χρήσης του υαλοπίνακα ασφαλείας πολλαπλών στρώσεων, πολλαπλές μεμβράνες μπορούν να τοποθετηθούν ανάμεσα στους υαλοπίνακες, προκειμένου να ικανοποιηθούν τυχόν ανάγκες αυξημένων απαιτήσεων.

2.2.4.1 Παραγωγή

Ο υαλοπίνακας ασφαλείας πολλαπλών στρώσεων παράγεται σύμφωνα με τους κανόνες και τις προδιαγραφές του εναρμονισμένου προτύπου EN 14449. Δύο ή περισσότεροι καθαρισμένοι, επίπεδοι υαλοπίνακες, με μία ή περισσότερες ενδιάμεσες μεμβράνες, επιτίθενται ο ένας πάνω στον άλλο σε ένα «cleanroom» βάσει του παραπάνω προτύπου. Έπειτα αυτός ο υαλοπίνακας προ ενδυναμώνεται με μία διαδικασία κύλισης σε θερμοκρασία περίπου 200 $^{\circ}$C.

Κατόπιν ο παραγόμενος διάφανος υαλοπίνακας με ενδιάμεσες μεμβράνες μεταφέρεται στο αυτόκλειστο (κλίβανο) -ένα υψηλής πίεσης συνδυαστικό μηχάνημα- όπου η ο υαλοπίνακας με τις ενδιάμεσες μεμβράνες υπόκειται σε πίεση περίπου 10 bar και θερμαίνεται περίπου στους 130 $^{\circ}$C, παράγοντας σαν τελικό προϊόν ένα τελείως διάφανο υαλοπίνακα ασφαλείας πολλαπλών στρώσεων.

2.2.4.2 Φυσικές Ιδιότητες (ΕΛΟΤ EN 410, ΕΛΟΤ EN 572)

Οι βασικές φυσικές ιδιότητες του υαλοπίνακα πολλαπλών στρώσεων (όπως η θερμική αγωγιμότητα, η θερμική διαστολή, το μέτρο ελαστικότητας, το βάρος και τα χημικά χαρακτηριστικά) είναι παρόμοιες με αυτές των μονολιθικών βασικών επίπεδων υαλοπινάκων. Η περατότητα φωτός του υαλοπίνακα πολλαπλών στρώσεων είναι επίσης αποτέλεσμα των τιμών των επεξεργασμένων βασικών υαλοπινάκων και των μεμβρανών. Ανάλογα με το συνολικό πάχος του υαλοπίνακα και των μεμβρανών, η περατότητα του φωτός κυμαίνεται μεταξύ 70% - 90% (EN 410). Η περατότητα φωτός καθώς επίσης και η πιστότητα της χρωματικής απόδοσης – ειδικά όταν οι υαλοπίνακες είναι μεγάλου πάχους με πολλές ενδιάμεσες μεμβράνες- δύνανται να βελτιωθούν με χρήση υαλοπινάκων αυξημένης διαφάνειας (low-iron glass).

2.2.4.3 Αντοχή στην κρούση

Ο υαλοπίνακας πολλαπλών στρώσεων είναι ανθεκτικός σε κρούσεις από μαλακά παραμορφώσιμα αντικείμενα (όπως το ανθρώπινο σώμα), σύμφωνα με το εναρμονισμένο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12600 «Ύαλος για δομική χρήση- Δοκιμή εκκρεμούς- Μέθοδος Δοκιμής σε κρούση και ταξινόμηση επίπεδης υάλου». Το σχετικό πεδίο εφαρμογής καθορίζει και το απαιτούμενο ελάχιστο πάχος του υαλοπίνακα.

2.2.5 Ενεργητική και παθητική ασφάλεια

Σήμερα, οι μεγάλες υαλωτές επιφάνειες στο εσωτερικό αλλά και στο εξωτερικό περίβλημα ενός κτιρίου μπορούν να προσφέρουν πλέον και αυξημένη ασφάλεια, εφόσον υπάρχει ο κατάλληλος σχεδιασμός

2.2.5.1 Ενεργητική ασφάλεια

Ο υαλοπίνακας μπορεί να λειτουργήσει ως φράγμα ενάντια δυναμικών επιθέσεων. Τα εναρμονισμένα πρότυπα EN καθορίζουν τα κριτήρια δοκιμών, τα οποία οι

υαλοπίνακες πρέπει να πληρούν προκειμένου να μπορούν να προφέρουν ασφάλεια στο επιθυμητό επίπεδο.

2.2.5.1.1 Αντοχή έναντι κτυπήματος (ΕΛΟΤ EN 356)

Η πρώτη εργαστηριακή δοκιμή για την αντοχή του υαλοπίνακα έναντι χτυπήματος υλοποιείται με μία ατσάλινη σφαίρα, η οποία έχει βάρος 4kg και διάμετρο ίση με 10cm(δοκιμή πτώσης σφαίρας). Πιο συγκεκριμένα, κατά τη δοκιμή η σφαίρα αφήνεται να πέσει ελεύθερα από ορισμένα διαφορετικά ύψη επάνω στο ίδιο σημείο. Οι κατηγορίες αντοχής που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη δοκιμή παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Ταξινόμηση αντοχής υαλοπίνακα έναντι κτυπήματος (EN 356)	**Ύψος πτώσης σφαίρας (αριθμός κτυπημάτων)**
P1A	1.500 mm (3)
P2A	3.000 mm (3)
P3A	6.000 mm (3)
P4A	9.000 mm (3)
P5A	9.000 mm (9)

Η δεύτερη εργαστηριακή δοκιμή για την αντοχή του υαλοπίνακα έναντι χτυπήματος χρησιμοποιείται για να καλύψει τις αυξημένες απαιτήσεις αντοχής έναντι διείσδυσης. Ανάλογα με την κατηγορία ταξινόμησης της αντοχής, ο υαλοπίνακας κατά τη δοκιμή πρέπει να αντισταθεί σε έναν προκαθορισμένο αριθμό κτυπημάτων στο ίδιο σημείο με ένα μηχανικά ελεγχόμενο τσεκούρι βάρους 2 κιλών. Αφού έχει πραγματοποιηθεί ο προκαθορισμένος αριθμός κτυπημάτων, είναι επιτρεπτό μόνο ένα άνοιγμα με μέγιστες διαστάσεις 400 x400 mm.

Ταξινόμηση αντοχής υαλοπίνακα έναντι κτυπήματος (EN 356)	**Αριθμός κτυπημάτων με τσεκούρι**
P6B	30-50
P7B	51-69
P8B	70

2.2.5.1.2 Αντίσταση έναντι προσβολής από σφαίρα (βλήμα) (ΕΛΟΤ EN 1063)

Το εναρμονισμένο πρότυπο EN 1063 καθορίζει τις προδιαγραφές για την ασφάλεια των ανθρώπων και των αγαθών στην περίπτωση άμεσης βολής από διαφορετικά όπλα και διαμετρήματα και από διαφορετικές αποστάσεις. Ο κάθε υαλοπίνακας της δοκιμής πυροβολείται 3 φορές σε θερμοκρασία δωματίου. Στη δοκιμή δεν

επιτρέπεται το βλήμα να διαπεράσει τον υαλοπίνακα. Επιπλέον, υπάρχει η διαφοροποίηση μεταξύ «*υαλοπίνακα με θραύσματα*» (S) και «*υαλοπίνακα χωρίς θραύσματα*» (NS), καλύπτοντας την περίπτωση όπου κατά την επίθεση υπάρχουν άνθρωποι πίσω από τους υαλοπίνακες και υπάρχει ο κίνδυνος τραυματισμού από τα θραύσματα.

Διαμέτρημα	**Βλήμα**			**Θραύσματα**		**Απόσταση βολής**	**Ταχύτητα (m/s)**
	Τύπος		**Βάρος (gr)**	**Με**	**Χωρίς**		
.22LR	LB/RN	Σφαίρα μολύβδου με στρογγυλή μύτη	2.60±0,10	BR1-S	BR1-NS	10	360±10
9 mm x 19	FJ/RN/SC	Μεταλ. περίβλημα, στρογγυλή μύτη, μαλακού πυρήνα	8.00±0,10	BR2-S	BR2-NS	5	400±10
.357 Magn.	FJ/CB/SC	Μεταλ. περίβλημα, κωνική μύτη, μαλακού πυρήνα	10.25±0,10	BR3-S	BR3-NS	5	430±10
.44 Magn.	FJ/FN/SC	Μεταλ. περίβλημα, στρογγυλή μύτη, μαλακού πυρήνα	15.55±0,10	BR4-S	BR4-NS	5	440±10
5.56 x 45	FJ/PB/SC P1	Μεταλ. περίβλημα, μυτερή μύτη, διατρητική	4.00±0,10	BR5-S	BR5-NS	10	950±10
7.62 x 51	FJ/PB/SC	Μεταλ. περίβλημα, μυτερή μύτη, μαλακού πυρήνα	9.45±0,10	BR6-S	BR6-NS	10	830±10
7.62 x 51	FJ/PB/HC	Μεταλ. περίβλημα, μυτερή μύτη, σκληρού πυρήνα	9.75±0,10	BR7-S	BR7-NS	10	820±10
Shotgun 12/70*	Brennek e	Με μαλακό πυρήνα	31.00±0,50	SG1-S*	SG1-NS*	10	420±20
Shotgun 12/70*	Brennek e	Με σκληρό πυρήνα	31.00±0,50	SG2-S	SG2-NS	10	420±20

*Η δοκιμή εκτελείται χρησιμοποιώντας μόνο μία βολή.

2.2.5.1.3 Αντίσταση έναντι πίεσης από έκρηξη (ΕΛΟΤ EN 13541)

Το εναρμονισμένο πρότυπο (EN 13541) καθορίζει τις ιδιότητες και τις μεθόδους δοκιμής για τους αντιεκρηκτικούς υαλοπίνακες ασφαλείας για χρήση σε κτήρια. Η κατηγοριοποίηση αφορά μόνο στη διάσταση του δείγματος περίπου ενός τετραγωνικού μέτρου ($1m^2$). Οι αντιεκρηκτικοί υαλοπίνακες προσφέρουν παράλληλα άριστη αντίσταση στη διείσδυση.

2.2.5.2 Παθητική ασφάλεια

Σε αντίθεση με την ενεργητική ασφάλεια, όπου η αστοχία του υαλοπίνακα είναι πιθανό να προέλθει από εξωτερική κακόβουλη επίθεση, στην παθητική ασφάλεια γυαλί ασφαλείας, το οποίο είναι πιθανότερο να αποτύχει εξαιτίας μίας μεγάλης ηθελημένης επίδρασης, η αστοχία του υαλοπίνακα είναι πιθανό να προέλθει από μηχανικές καταπονήσεις, θερμοκρασιακές διαφορές κ.ο.κ.

2.2.5.2.1 Προστασία ανθρώπων από τραυματισμό

Σε κάθε εφαρμογή μηχανικού, όπως υαλόθυρες, υαλοπετάσματα, ντουζιέρες κ.λπ., πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη, ώστε σε περίπτωση θραύσης του υαλοπίνακα να μην προκύψουν κομμάτια με αιχμηρές ακμές που θα προκαλέσουν τραυματισμό. Για αυτόν τον λόγο, ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή, χρησιμοποιούνται θερμικά σκληρυμένοι υαλοπίνακες, ενισχυμένοι θερμικά υαλοπίνακες και υαλοπίνακες ασφαλείας πολλαπλών στρώσεων.

Ειδική εφαρμογή αποτελούν οι υπεράνω υαλοπίνακες (overhead). Υπεράνω υαλοπίνακες αναφέρονται όσοι εγκαθίσταται με κλίση μεγαλύτερη των 10° σε σχέση με την κατακόρυφο. Σε αυτή τη περίπτωση ο υαλοπίνακας, πέρα από την τυπική φόρτιση, πρέπει να είναι ικανός να φέρει και το ίδιο βάρος. Είναι κρίσιμο ότι σε ενδεχόμενη θραύση, ο υπεράνω υαλοπίνακας δεν θα δημιουργήσει καταιγισμό από θραύσματα ή ακόμη και μεγάλα αιχμηρά κομμάτια. Σήμερα, λοιπόν, ο γενικός κανόνας είναι οι υπεράνω υαλοπίνακες να είναι κατασκευασμένοι αποκλειστικά από υαλοπίνακες ασφαλείας πολλαπλών στρώσεων, με τον κάτω υαλοπίνακα να έχει κατ' ελάχιστο πάχος PVBμεμβρανών ίσο με 0,76mm. Παρόλα αυτά, οι στατικές απαιτήσεις μπορεί να επιβάλλουν υψηλότερες προδιαγραφές.

Άλλη ειδική εφαρμογή συνιστούν οι υαλοπίνακες περιορισμένης πρόσβασης, οι οποίοι είναι βατοί για σύντομα χρονικά διαστήματα για σκοπούς καθαριότητας ή συντήρησης. Οι προδιαγραφές για αυτούς τους υαλοπίνακες είναι αντίστοιχες με αυτές των υπεράνω υαλοπινάκων. Στην περίπτωση που γίνεται πρόσβαση σε αυτούς τους υαλοπίνακες για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, η περιοχή που βρίσκεται κάτω από τον υαλοπίνακα, πρέπει να είναι φραγμένη για λόγους αποφυγής ατυχήματος.

2.2.5.2.2 Προστασία ανθρώπων από την πτώση

Υαλοπίνακες συχνά τοποθετούνται σε μέρη που τυχόν υποχώρησή τους μπορεί να οδηγήσει στην πτώση ανθρώπων. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν τα στηθαία, αλλά και υαλοπίνακες που καλύπτουν όλο το ύψος δωματίων, εγκατεστημένοι σε πάνω από ένα μέτρο περίπου από το σταθερό έδαφος. Σε αυτές τις περιπτώσεις το πάχος των υαλοπινάκων καθορίζεται βάσει αναλυτικών υπολογισμών.

2.2.5.2.3 Επίδοση μετά τη θραύση

Η εναπομένουσα σταθερότητα για τα κατακόρυφα υαλοστάσια, αναφέρεται στην ιδιότητα του υαλωτών στοιχείων έπειτα από την αστοχία να παραμένουν δομικά

ακέραιοι για μία καθορισμένη και περιορισμένη χρονική περίοδο, χωρίς να ασκείται κάποιο πρόσθετο φορτίο. Η εναπομένουσα φέρουσα ικανότητα των υπεράνω υαλοπινάκων στην περίπτωση αστοχίας αναφέρεται στην ικανότητα των υαλοπινάκων να φέρουν το ίδιο βάρος για μια καθορισμένη χρονική περίοδο.

Συνοπτικά τα πρότυπα που αναφέρθηκαν στο σώμα του κειμένου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Εναρμονισμένα Πρότυπα	**Περιγραφή**
ΕΛΟΤ ΕΝ 12600	Ύαλος για δομική χρήση - Δοκιμή εκκρεμούς - Μέθοδος δοκιμής σε κρούση και ταξινόμηση επίπεδης υάλου
ΕΛΟΤ ΕΝ 14179	Ύαλος για δομική χρήση - Νάτριο-άσβεστο - πυριτική ύαλος ασφαλείας σκληρυμένη θερμικά και κατεργασμένη με διαδικασία Heat Soak
ΕΛΟΤ ΕΝ 356	Ύαλος για δομική χρήση - Υαλοπίνακες ασφαλείας - Δοκιμές και ταξινόμηση της αντοχής έναντι κτυπήματος με το χέρι
ΕΛΟΤ ΕΝ 12150	Ύαλος για δομική χρήση - Θερμικά σκληρυμένη γυαλί ασφαλείας σόδα-άσβεστο-πυριτική
ΕΛΟΤ ΕΝ 13541	Ύαλος για δομική χρήση - Υαλοπίνακες ασφαλείας - Δοκιμές και ταξινόμηση της αντίστασης έναντι πίεσης λόγω έκρηξης
ΕΛΟΤ ΕΝ 1063	Ύαλος για δομική χρήση - Υαλοπίνακες ασφαλείας - Δοκιμές και ταξινόμηση της αντίστασης έναντι προσβολής από σφαίρα
ΕΛΟΤ ΕΝ 81	Κανόνες ασφαλείας για την κατασκευή και την εγκατάσταση ανελκυστήρων
ΕΛΟΤ ΕΝ 14428/Α1	Διαχωριστικά για καταιονητήρες (ντουσιέρες) - Λειτουργικές απαιτήσεις και μέθοδοι δοκιμής
ΕΛΟΤ ΕΝ 1627	Συστήματα θυρών για πεζούς, παράθυρα, τοιχοπετάσματα, γρίλιες και εξώφυλλα - Αντίσταση σε διάρρηξη - Απαιτήσεις και ταξινόμηση
ΕΛΟΤ ΕΝ 1522/1523	Παράθυρα, πόρτες, σκιάδια και περσίδες - Βαλλιστική αντίσταση - Απαιτήσεις και ταξινόμηση / Μέθοδος δοκιμής
ΕΛΟΤ ΕΝ 13123	Παράθυρα, πόρτες και εξώφυλλα - Αντίσταση στις εκρήξεις
ΕΛΟΤ ΕΝ 14449	Ύαλος για δομική χρήση - Ύαλος πολλαπλών στρώσεων και ύαλος ασφαλείας πολλαπλών στρώσεων - Αξιολόγηση της συμμόρφωσης/Πρότυπο προϊόντος

2.3 Υαλοπίνακες προηγμένης τεχνολογίας

Οι μεταβαλλόμενες σύγχρονες ανθρώπινες και κτιριακές απαιτήσεις, οδήγησαν στην ανάγκη δημιουργίας καινοτόμων υαλώσεων. Τα συστήματα αυτά, επονομαζόμενα και σαν «έξυπνη υάλωση», μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: τα «παθητικά», τα οποία είναι ευαίσθητα σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις ή σε

διακυμάνσεις έντασης φωτός και τα «ενεργητικά», τα οποία λειτουργούν με χρήση διακόπτη και εφαρμογή χαμηλής ηλεκτρικής τάσης. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα τους, αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό στα κτήρια, καθώς και την βελτίωση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης που διαμορφώνονται στους εσωτερικούς χώρους

Ορισμένοι τύποι ειδικών υαλοπινάκων, οι οποίοι διαφοροποιούνται από τους κοινούς ως προς τα θερμικά και τα φωτομετρικά τους χαρακτηριστικά, είναι οι ακόλουθοι:

2.3.1 Αυτοκαθαριζομενοι

Το γυαλί αυτόματου, φέρει μια νάνο-επίστρωση, η οποία είναι μια ειδική νάνο-φωτοκαταλυτική επίστρωση **διοξειδίου του τιτανίου TiO2,** που συνδυάζει φωτοκατάλυση και Νανοτεχνολογία. Έτσι, όταν η επιφάνεια εκτεθεί σε ακτίνες UV, που υπάρχουν στο φως του ήλιου η σε τεχνικό φως, η γωνία επαφής της φωτοκαταλυτικής επιφάνειας με το νερό, σταδιακά μειώνεται. Μετά από περίπου 15 λεπτά σε έκθεση στο φως, η επιφάνεια επιτυγχάνει υπέρ-υδροφιλικότητα (δηλαδή είναι εντελώς λεία, χωρίς κανένα εμπόδιο). Συνεπώς, όταν βρέξει τα μόρια του νερού δεν μπορούν να αγκιστρωθούν και να δημιουργήσουν το φαινόμενο της σταγόνας, αλλά απλώνονται πάνω στην επιφάνεια και σε συνδυασμό με την βαρύτητα, γλιστρούν προς τα κάτω, παρασύροντας μαζί τους και κάθε άλλο σωματίδιο σκόνης, που είχε καθίσει πάνω στην επιφάνεια, προσφέροντας έτσι το βασικό γνώρισμα του αυτοκαθαρισμού. Στην περίπτωση απουσίας βροχής, το ίδιο φαινόμενο δημιουργείται, με την απλή ρίψη νερού, πάνω στην προστατευμένη επιφάνεια. Τα αυτοκαθαριζόμενα γυαλιά, είναι υψηλής τεχνολογίας και συμμορφώνονται με τον Ευρωπαϊκό Πρότυπο Αυτοκαθαρισμού για γυαλί EN 1096-5, ενώ παράλληλα έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν ασφάλεια, μόνωση και ηλιακή προστασία

Πλεονεκτήματα

- Η αυτοκαθαριζόμενη επίστρωση, διαρκεί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του παραθύρου
- Ιδανική λύση για τη στέγη και άλλες δυσπρόσιτες περιοχές, που είναι δύσκολο να καθαριστούν
- Το γυαλί παραμένει καθαρό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα
- Λιγότερη βρωμιά και ακαθαρσίες προσκολλώνται στο γυαλί, με αποτέλεσμα ο καθαρισμός να είναι γρήγορος και εύκολος
- Εξοικονόμηση κόστους, λόγω μειωμένων λογαριασμών καθαρισμού παραθύρων
- Φιλικό προς το περιβάλλον, με τη λιγότερο συχνή χρήση νερού και απορρυπαντικών
- Καθαρή θέα ακόμα και όταν βρέχει
- Επιλογή από τέσσερις απόχρωσης: natura, solara , azura (απόχρωση του μπλε)και aqua

Εικόνα 22:Αυτοκαθαριζόμενος υαλοπίνακας με επικάλυψη διοξειδίου
Πηγή: http://dspace.lib.ntua.gr

2.3.2 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες

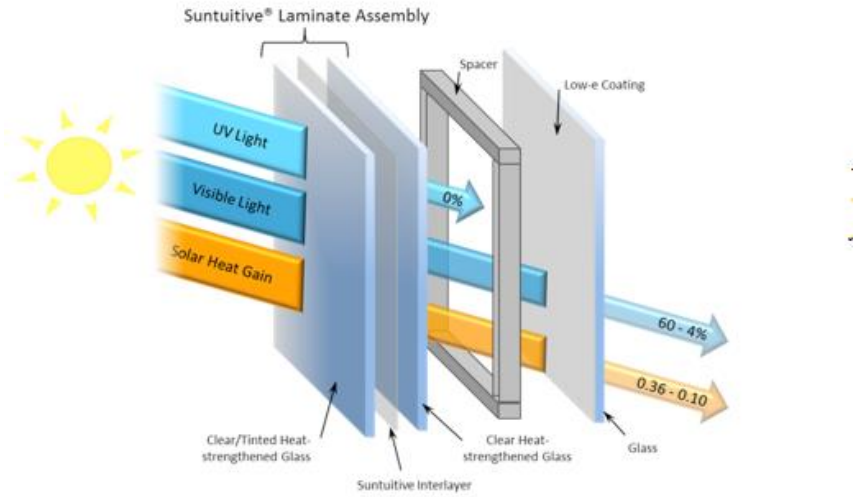
Οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες, μέσω της εφαρμογής ηλεκτρικής τάση, διαμορφώνουν τον συντελεστή ηλιακής θερμότητας (SHGC) και τη μετάδοση ορατού φωτός σε ένα ευρύ φάσμα, μεταξύ 60% και 1% σε εκπομπή ορατού φωτός και 0,41 έως 0,09 σε SHGC. Οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες, εξοικονομούν ενέργεια σε όλες τις κλιματικές ζώνες, προσφέροντας παθητικά ηλιακά κέρδη, κατά τη διάρκεια των εποχών θέρμανσης και ελαχιστοποιώντας τα ψυκτικά φορτία, κατά τη διάρκεια των εποχών ψύξης. Με τον τρόπο αυτό, αντικαθίσταται ο ηλεκτρικός φωτισμός, με φυσικό φως σε όλες τις εποχές. Επιπλέον, καθίσταται δυνατός ο έλεγχος της αντανάκλασης, χωρίς τη χρήση περσίδων, διατηρώντας έτσι, την όψη και τη σύνδεση με το εξωτερικό περιβάλλον, χωρίς να εμποδίζεται ή να αμαυρώνεται η θέα. Οι ηλεκτροχρωμικές επικαλύψεις, αποτελούνται από 5 στρώματα (τα στρώματα 1 και 5 είναι αγώγιμα οξείδια, τα στρώματα 2 και 4 είναι, υλικά ηλεκτροχρωμίου και αποθήκευσης φορτίου (CS) αντίστοιχα και το στρώμα 3, είναι ένας αγωγός ιόντων) και μπορούν να ενσωματωθούν σε διπλούς ή τριπλούς υαλοπίνακες, ακριβώς όπως οι παραδοσιακές επιστρώσεις. Η μεταβολή χρώματος, είναι το αποτέλεσμα μιας μοριακής μεταβολής, που προκαλείται χημικά στην επιφάνεια του υλικού, μέσω της μείωσης οξείδωσης. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα, χρησιμοποιούνται στρώματα διαφορετικών υλικών. Εν συντομία, τα ιόντα (υδρογόνου ή του λιθίου) μεταφέρονται από ένα στρώμα αποθήκης ιόντων, μέσω ενός αγώγιμου στρώματος ιόντος και διαχέονται σε ένα ηλεκτροχρωμικό στρώμα. Στις συναρμολογήσεις του γυαλιού, το ηλεκτροχρωμικό στρώμα είναι συχνά οξείδιο βολφραμίου. Η εφαρμογή τάσης, οδηγεί τα ιόντα από το αποθηκευτικό στρώμα, δια μέσου του αγώγιμου στρώματος, μέσα στο ηλεκτροχρωμικό στρώμα, μεταβάλλοντας, έτσι τις οπτικές ιδιότητες του ηλεκτροχρωμικού στρώματος και επιφέροντας την απορρόφηση από αυτό, ορισμένων ορατών μηκών κύματος φωτός. Σ' αυτήν την περίπτωση, το γυαλί γίνεται σκοτεινό. Αντιστρέφοντας την τάση, τα ιόντα οδηγούνται έξω από το ηλεκτροχρωμικό στρώμα στην αντίθετη κατεύθυνση (δια μέσου του αγώγιμου στρώματος μέσα στο αποθηκευτικό στρώμα), καθιστώντας έτσι το γυαλί φωτεινό. Ανάλογα με τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες και τις ανάγκες των χρηστών, ρυθμίζεται, το φως και τη θερμότητα του ήλιου. Αυτός ο δυναμικός έλεγχος της ροής φωτός και θερμότητας, επιτυγχάνει, σημαντικά περισσότερη εξοικονόμηση ενέργειας, σε σχέση με την χρήση, μιας

στατικής λύσης πρόσοψης, ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται βελτιωμένη άνεση των χρηστών.

Εικόνα 23:Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες
Πηγή: Advancement of Electrochromic Windows, Pier Final Project Report,March 2006, Eleanor S. Lee and Stephen E. Selkowitz,Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)

2.3.3 Θερμοχρωμικοί Υαλοπίνακες

Τα θερμοχρωμικά παράθυρα, είναι άλλη μια προηγμένη και απλή, δυναμική τεχνολογία παραθύρων, η οποία αναπτύσσεται γρήγορα και εγκαθίσταται σε πολλά εμπορικά, λιανικά και οικιστικά κτίρια, σε όλο τον κόσμο. Το θερμοχρωμικό γυαλί, χρησιμοποιεί θερμότητα από το άμεσο ηλιακό φως, για να 'χρωματίσει' τα παράθυρα, όταν είναι απαραίτητο. Όσο πιο άμεση και έντονη είναι η ηλιακή ακτινοβολία πάνω στο γυαλί, τόσο πιο σκοτεινό θα γίνει, καθώς απορροφά την ακτινοβολία που κατευθύνεται προς το εσωτερικό. Αυτό επιτρέπει στα παράθυρα, να μειώνουν δραστικά το φορτίο θερμότητας που εισέρχεται στο κτίριο και λόγω της ικανότητας της συνεχής προσαρμογής του γυαλιού, σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, επιτυγχάνεται φυσική ισορροπία και μέγιστη χρήση του φωτισμού ημέρας. Τα θερμοχρωμικά παράθυρα, συμβάλλουν στη μείωση της ανεπιθύμητης αντανάκλασης των ακτινών του ηλίου, της εξασθένισης θορύβου και αυξάνουν την ασφάλεια. Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει άμεση ηλιακή ακτινοβολία, αποχρωματίζονται, επιτρέποντας την είσοδο της ακτινοβολίας.



Εικόνα 24:Θερμοχρωμικοί Υαλοπίνακες
Πηγή:.commercialwindows.org/thermochromic.php

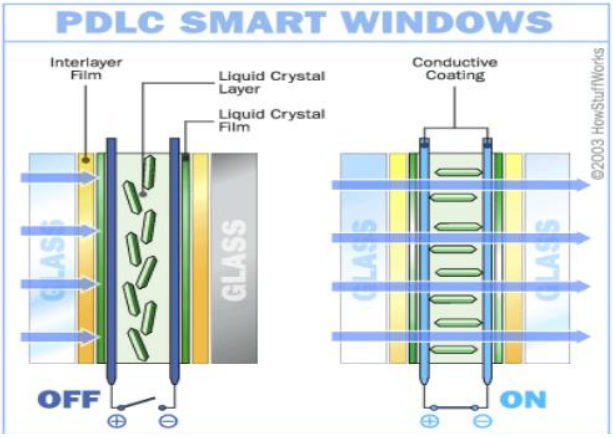
Οι θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες, αποτελούνται από μια ενδιάμεση στρώση ασφαλείας, κατασκευασμένη από θερμοχρωμικά υλικά και πολυβινυλοβουτυράλη (PVB), τοποθετημένη ανάμεσα σε δύο κομμάτια ενισχυμένο ή σκληρυμένο γυαλί, αυτά συνθέτουν ένα ενιαίο φύλλο, το οποίο στην συνέχεια ακολουθείται από μια επίστρωση Low-e.
Στο πλαίσιο της αποτελεσματικής σχεδίασης των κτιρίων, οι θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες, συμβάλλουν σημαντικά, στη διαχείριση των μεταβαλλόμενων αναγκών του κτιρίου, για παθητική θερμότητα και φυσικό φως της ημέρας. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η μείωση του κόστους που σχετίζεται με τη θέρμανση, τον κλιματισμό και τον τεχνητό φωτισμό. Ακόμη, δεν απαιτούν συρμάτινα καλώδια, τροφοδοτικά ή εξοπλισμό ελέγχου και μπορούν να εγκατασταθούν από εργολάβους υαλοπινάκων, όπως οι συμβατικοί υαλοπίνακες, γεγονός που τους καθιστά περισσότερο ελκυστικούς. σε σύγκριση με τους ηλεκτροχρωμικούς.

Suntuitive® Glass windows installed at an educational facility in Keller, Texas, USA. Photo courtesy of Pleotint,

Εικόνα 25:Θερμοχρωμικοί Υαλοπίνακες
Πηγή: commercialwindows.org/thermochromic.php

2.3.4 Υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων

Μια παραλλαγή της τεχνολογίας υγρών κρυστάλλων που χρησιμοποιείται σε ρολόγια χειρός, χρησιμοποιείται τώρα και στους υαλοπίνακες, τόσο για την προστασία ιδιωτικών χώρων, όσο και για την εξοικονόμηση ενέργειας. Ένα πολύ λεπτό στρώμα υγρών κρυστάλλων, είναι τοποθετημένο ανάμεσα σε δύο διαφανείς ηλεκτρικούς αγωγούς που βρίσκονται σε λεπτά πλαστικά διαστρώματα.



Εικόνα 26: Λειτουργία υαλοπινάκων υγρών κρυστάλλων
Πηγή:dashdoor.com/resource-center/technical-articles/

Ο μηχανισμός αυτός, τοποθετείται ανάμεσα σε δύο στρώματα από γυαλί. Όταν η ισχύς είναι απενεργοποιημένη, οι υγροί κρύσταλλοι βρίσκονται σε τυχαία και μη ευθυγραμμισμένη κατάσταση. Διασκορπίζουν το φως και το γυαλί εμφανίζεται ως ημιδιαφανές στρώμα, το οποίο αποκρύπτει την θέα, παρέχοντας ιδιωτικότητα. Το υλικό, μεταδίδει το μεγαλύτερο μέρος του προσπίπτοντος ηλιακού φωτός, με διάχυτο τρόπο, οπότε ο συντελεστής απόδοσης ηλιακής θερμότητας, παραμένει υψηλός. Όταν εφαρμόζεται ηλεκτρική ενέργεια, το ηλεκτρικό πεδίο στη συσκευή ευθυγραμμίζει τους υγρούς κρυστάλλους και το τζάμι γίνεται διαφανές σε κλάσμα ενός δευτερολέπτου, επιτρέποντας την προβολή και στις δύο κατευθύνσεις. Οι περισσότερες από αυτές τις συσκευές, έχουν μόνο δύο καταστάσεις. Η ισχύς, λειτουργεί μεταξύ 24 και 100 volts και πρέπει να εφαρμόζεται συνεχώς, για να παραμείνει ο υαλοπίνακας σε διάφανη κατάσταση. Η ορατή περιοχή διαπερατότητας, είναι τυπικά 50-80% και ο SHGC είναι 0.55-0.69, αν και μπορούν να προστεθούν βαφές, προκειμένου να σκουρύνουν τους υαλοπίνακες, σε κατάσταση εκτός λειτουργίας. Μερικοί κατασκευαστές, προσφέρουν προϊόντα, σε ποικίλα χρώματα και για κυρτά και επίπεδα γυαλιά.

Εικόνα 27:Γυάλινη, υγρών κρυστάλλων πισίνα
Πηγή: anaco.gr

3 ΓΥΑΛΙ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

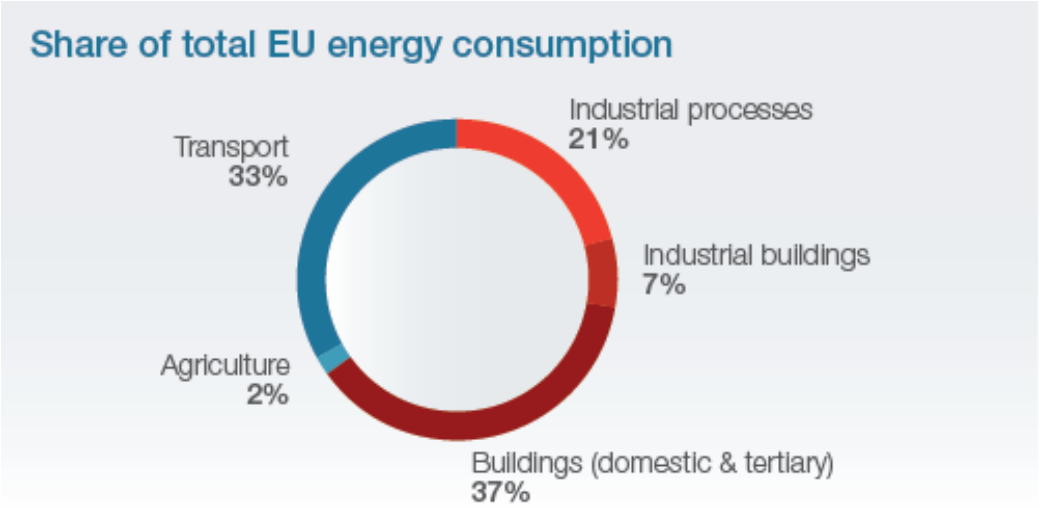
Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα του πλανήτη, που συνακόλουθα απειλεί την ποιότητα ζωής, είναι η κλιματική αλλαγή. Τα κτίρια αποτελούν τον μεγαλύτερο ρυπαντή στην Ευρώπη και κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης για την όξυνση του προαναφερθέν φαινομένου.

Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί εντατικές μελέτες, με στόχο την βελτίωση του κτιριακού τομέα και την προαγωγή κτιρίων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Ένα από τα επίκεντρα εστίασης είναι το δομικό υλικό γυαλί/υαλοπίνακες, το οποίο είναι το μοναδικό, που έχει την ικανότητά να παρέχει φυσικό φως και ηλιακή θερμότητα, γεγονός που μειώνει την ανάγκη για τεχνητό φωτισμό, ενώ παράλληλα, επιτρέπει, την εκμετάλλευση των ηλιακών κερδών. Για

τους λόγους αυτούς, σε κτίρια χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας ενσωματώνονται μεγάλα ανοίγματα. Τέτοιοι χώροι έχουν επίσης ως αποτέλεσμα, την αύξηση της άνεσης, της παραγωγικότητας, της υγείας και της ευημερίας των χρηστών.

3.1 Η Συνεισφορά των υαλοπινάκων, στην επίτευξη των στόχων της ΕΕ

Σήμερα, τα κτίρια αντιπροσωπεύουν πάνω από το 40% της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και το 36% των εκπομπών CO2 στην Ευρώπη. Ως εκ τούτου, αποτελούν το μεγαλύτερο εκπομπό CO2, αλλά αποτελούν επίσης τον τομέα, που ενέχει τις περισσότερες δυνατότητες βελτίωσης. Ο 'οδικός χάρτης' της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, υποδεικνύει ότι η μείωση των εκπομπών CO2 από τα κτίρια κατά 90%, είναι απαραίτητη για την επίτευξη του στόχου της ΕΕ, για χαμηλές εκπομπές άνθρακα. Ωστόσο η επίτευξη των ενεργειακών επιπέδων και των χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, που θέτονται για το 2050 και επιβάλλουν σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης κτίρια, δεν θα επιτευχθεί ποτέ, εάν η Ευρώπη δεν επενδύσει σε μεγάλο βαθμό, στη ριζική ανακαίνιση του υπάρχοντος κτιρίου.

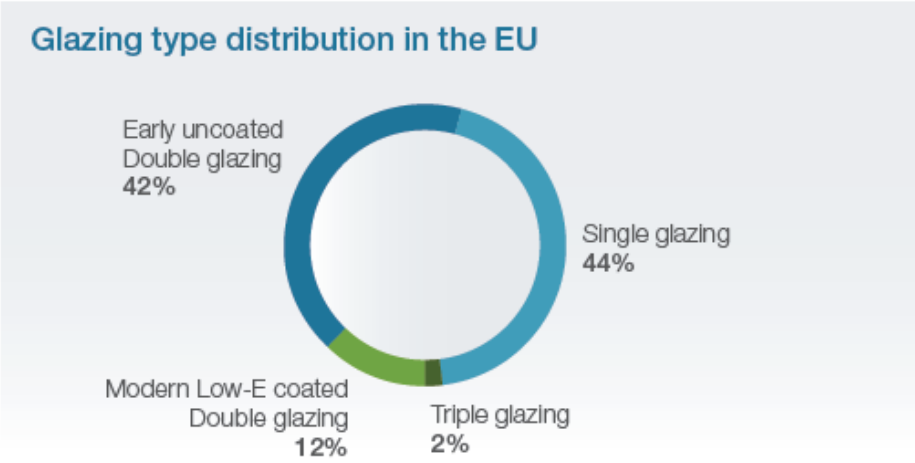


Εικόνα 28: Κατανομή ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη
Πηγή: Europe's flat glass industry in a competitive low carbon economy

Η οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, θα υλοποιηθεί μόνο εάν μια ισχυρή και ανταγωνιστική βιομηχανική βάση στην Ευρώπη, υποστηρίζει τον στόχο, προσφέροντας νέα προϊόντα που απαιτούνται για την ανακαίνιση κτιρίων, την παραγωγή ενέργειας ή κατασκευή νέων τύπων οχημάτων. Τα προϊόντα αυτά, πρέπει: α) να κατασκευάζονται στην Ευρώπη, προκειμένου να αποφευχθεί η επιβάρυνση από την ενέργεια και τον άνθρακα που ενσωματώνονται στα εισαγόμενα προϊόντα, β) να διασφαλιστεί ότι οι βιομηχανίες της Ευρώπης, θα ενσωματώσουν την πράσινη τεχνολογία (και θα δημιουργηθούν νέες θέσεις εργασίας, που συνεπάγεται οικονομική ανάπτυξη).

Η μελέτη BPIE «Τα κτίρια της Ευρώπης υπό το μικροσκόπιο», όρισε την πορεία επίτευξης του στόχου της ΕΕ, με το χαμηλότερο κόστος για την κοινωνία και με την υψηλότερη απόδοση των επενδύσεων και απέδειξε ότι ο εξαιρετικά μονωτικός υαλοπίνακας προσφέρει θετικό ενεργειακό ισοζύγιο.

Το ολλανδικό επιστημονικό ινστιτούτο TNO αποφάνθηκε, έπειτα από έρευνες, ότι πάνω από 100 εκατομμύρια τόνοι CO2 θα μπορούσαν να εξοικονομούνται ετησίως, εάν αντικατασταθούν από υαλοπίνακες προηγμένης τεχνολογίας. Η ενέργεια αυτή, αντικατοπτρίζει περισσότερο, από το ένα τρίτο της δέσμευσης για εξοικονόμηση ενέργειας το 2020. Το ποσοστό αυτό, δηλώνει ότι είναι ζωτικής σημασίας για την Ευρώπη, η αναβάθμιση των υαλοπινάκων των κτιρίων, είτε πρόκειται για νέα κατασκευή είτε για τη ριζική ανακαίνιση των κτιρίων, ώστε να παρέχουν την καλύτερη δυνατή ενεργειακή ισορροπία.



Εικόνα 29: Κατανομή τύπων υαλοπίνακα στην Ευρώπη
Πηγή: Europe's flat glass industry in a competitive low carbon economy

3.2 Χρήση υαλοπινάκων για καθαρή ενέργεια και εξοικονόμηση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

Οι τεχνολογίες γυαλιού αναπτύσσονται συνεχώς, για να συνεχίσουν να βελτιώνουν την αποδοτικότητα της ηλιακής ενέργειας.

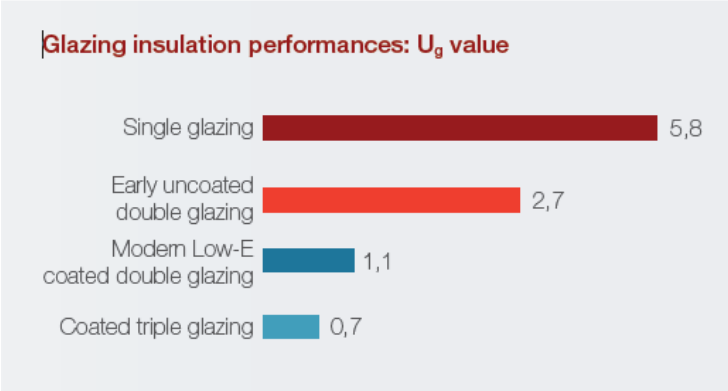
Η χρήση του γυαλιού, είναι απαραίτητη για την επίτευξη των στόχων της Ευρώπης, για χαμηλές εκπομπές άνθρακα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι στις περισσότερες εφαρμογές του, το γυαλί συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και οι συνεισφορές τους αναγνωρίζονται ολοένα και περισσότερο, από τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, για παράδειγμα, στο πρόσφατο σχέδιό της, για την ενεργειακή απόδοση (European Commission – Energy Efficiency Plan - COM(2011) 109 final – 8 March 2011.), σημείωσε ότι «πρέπει να ληφθούν μέτρα για

να υποστηριχθεί η υιοθέτηση αποδοτικών δομικών στοιχείων, όπως για παράδειγμα ... ο ενεργειακός υαλοπίνακας». Σε όλη την Ευρώπη, υπό την ώθηση των ευρωπαϊκών αρχών, θεσπίζονται ή έχουν σχεδιαστεί μέτρα, για την υποστήριξη της υιοθέτησης ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και όλα αυτά τα μέτρα, έχουν άμεσο ή έμμεσο αντίκτυπο στην ενθάρρυνση της χρήσης ενεργειακών υαλοπινάκων.

Ορισμένα από αυτά είναι τα ακόλουθα:

• Η αναδιαμόρφωση της οδηγίας, σχετικά με της ενεργειακής απόδοση στα κτίρια, επιτάσσει όλες οι νέες κατασκευές, να επιτύχουν σχεδόν μηδενικά αποτυπώματα ενέργειας, μέχρι το 2020 και όλες οι ανακατασκευές, να επιτύχουν βέλτιστο ισοζύγιο κόστους-ενέργειας, απαιτώντας έτσι ενεργειακά αποδοτικούς υαλοπίνακες.
• Η εξέταση ενός ευρωπαϊκού σχεδίου ενεργειακής επισήμανσης των υαλοπινάκων, το οποίο θα αποτελεί επέκταση, της οδηγίας, για την ενεργειακή σήμανση των προϊόντων που σχετίζονται με την ενέργεια.
• Πολλά εθνικά σχέδια δράσης για την ενεργειακή απόδοση (NEEAPS) περιλαμβάνουν οικονομικά και φορολογικά κίνητρα για τους καταναλωτές, ώστε να αντικαταστήσουν τους απλούς υαλοπίνακες, με ενεργειακά αποδοτικούς.
• Η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση, εισάγει υποχρεώσεις εξοικονόμησης ενέργειας, για τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας και την ανακαίνιση δημόσιων κτιρίων των κρατών μελών.

Τα παραπάνω δικαιολογούνται απόλυτα, λαμβάνοντας υπόψη, το υψηλό επίπεδο απόδοσης, που έχει ήδη επιτύχει η βιομηχανία υάλου, στην ανάπτυξη καινοτόμων υαλοπινάκων, που ανταποκρίνονται στις ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας. Ωστόσο το σημαντικότερο πλεονέκτημά τους, είναι η δυνατότητά που έχουν, να είναι καθαροί εξοικονομητές ενέργειας, σε όλο τον κύκλο ζωής τους.



Εικόνα 30:Τιμές Συντελεστή θερμοπερατότητας για διάφορους τύπους υαλοπινάκων
Πηγή: Europe's flat glass industry in a competitive low carbon economy

Ιδανική απόδοση, σε ένα προϊόν, επιτυγχάνεται, όταν εξοικονομεί περισσότερες εκπομπές CO2, κατά τη διάρκεια της ζωής του, από αυτούς που δημιουργεί, κατά τη διάρκεια κατασκευής του. Στις μελέτες απογραφής του κύκλου ζωής των ενεργειακών υαλοπινάκων, έχει προσδιοριστεί η περιεκτικότητά τους σε άνθρακα και έχει

συσχετιστεί με την εξοικονόμηση CO2, που προκύπτει, από την αντικατάσταση των παλαιών απλών υαλοπινάκων με ενεργειακούς διπλούς. Η αξιοσημείωτη αυτή διαπίστωση, αποδεικνύει ότι το γυαλί, είναι καθαρό προϊόν εξοικονόμησης CO2.Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα, υποδηλώνουν, ότι για τις χώρες της Ευρώπης, το συνολικό ισοδύναμο CO2 που εκπέμπεται, από μια μονάδα που παράγει ενεργειακούς διπλούς υαλοπίνακες, καθ 'όλη τη διάρκεια ζωής της, αντισταθμίζεται κατά μέσο όρο, μεταξύ τριών και δέκα μηνών, από την εξοικονόμηση ενέργειας που πραγματοποιήθηκε, σε σύγκριση με το ίδιο κτίριο εξοπλισμένο με μονούς υαλοπίνακες. Πρέπει να σημειωθεί, ότι η περίοδος απόσβεσης εξαρτάται, από διάφορες παραμέτρους όπως: από τις ανάγκες θέρμανσης, τον προσανατολισμό των κτιρίων, την χρήση κλπ. Για τα κτίρια που βρίσκονται σε ζεστά κλίματα, η περίοδος απόσβεσης είναι μεγαλύτερη. Με τη χρήση δε, τριπλών υαλοπινάκων, μπορούν να αποφευχθούν ακόμα περισσότερες εκπομπές CO2.Σύμφωνα με έρευνες (TNO Built Environment and Geosciences – Glazing type distribution in the EU building stock – TNO report TNO-60-DTM-2011-00338 – February 2011) στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν, σε όλες τις νέες κατασκευές, στην Κεντρική και στη Βόρεια Ευρώπη, τριπλοί ενεργειακοί υαλοπίνακες, οι εκπομπές CO2 που προέρχονται, από το δομημένο περιβάλλον, πρόκειται να μειωθούν, κατά 10 εκατομμύρια τόνους ετησίως από το 2020. Αυτές οι εξοικονομήσεις, αντισταθμίζουν σημαντικά τις επιπλέον εκπομπές CO2, που δημιουργούνται από την παραγωγή τριπλών υαλοπινάκων. Αυτοί οι χρόνοι απόσβεσης του CO2 είναι εξαιρετικά σύντομοι, δεδομένου ότι λαμβάνεται υπόψιν, ο πλήρης κύκλος ζωής των υαλοπινάκων και ότι παραμένουν κατά μέσο όρο, τριάντα χρόνια σε κάθε κατοικίας. Δηλαδή, εξετάζοντας τη συνολική επίδραση του CO2 από την αντικατάσταση παλαιών και μη αποδοτικών υαλοπινάκων, με ενεργειακά διπλά τζάμια, η εξοικονόμηση CO2 είναι μεταξύ 30 και 120 φορές μεγαλύτερη, από αυτή που παράγεται, κατά την κατασκευή τους.

3.3 Ενεργειακοί Υαλοπίνακες

Ο όρος **«Ενεργειακοί Υαλοπίνακες»** χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια, ως ελεύθερη μετάφραση του όρου “Energy efficient glass” για να προσδιορίσει την κατηγορία εκείνη των υαλοπινάκων, οι οποίοι έχουν χαρακτηριστικά τα οποία δυσχεραίνουν την μεταφορά της θερμότητας από την μία πλευρά στην άλλη, συντελώντας έτσι στην εξοικονόμηση ενέργειας.

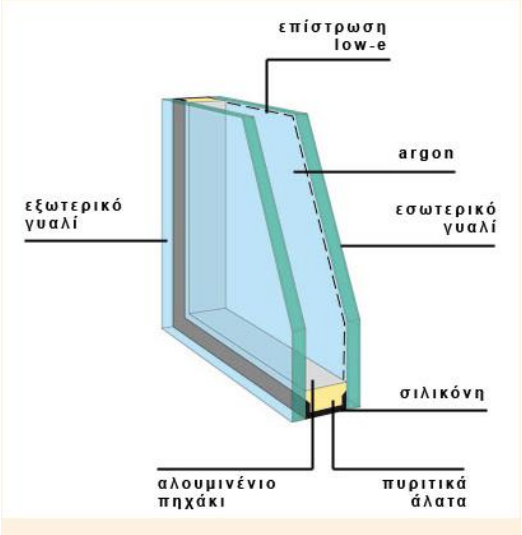
Σταθμό στην θερμομονωτική απόδοση των υαλοπινάκων, αποτέλεσε η εφεύρεση των «διπλών» υαλοπινάκων, η οποία άρχισε να διαδίδεται από τις αρχές της δεκαετίας του ’70. Πρόκειται για δύο τζάμια, κολλημένα μεταξύ τους περιμετρικά, με διάκενο ανάμεσά τους, έτσι ώστε να σχηματίζουν έναν «υαλοθάλαμο». Στην Ελλάδα η ουσιαστική ευρεία χρήση τους, αρχίζει από τις αρχές της δεκαετίας του ’80. Η επίδοση των «διπλών» εκείνων υαλοπινάκων σε όρους θερμομόνωσης, συγκρινόμενη με την επίδοση των μέχρι τότε, τοποθετούμενων μονών υαλοπινάκων, ήταν βελτιωμένη κατά 200%.

Από την ίδια περίπου εποχή, οι εταιρίες παραγωγής υαλοπινάκων άρχισαν να διαθέτουν στην αγορά τους υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (Low-emissivity ή Low-E), με ιδιαίτερα αυξημένες δυνατότητες παρεμπόδισης μεταφοράς της θερμότητας από την μία πλευρά τους στην άλλη. Επρόκειτο για την 1η γενιά Ενεργειακών Υαλοπινάκων ή Υαλοπινάκων Low-E. Με την χρήση Ενεργειακών Υαλοπινάκων στην κατασκευή των διπλών υαλοστασίων, επήλθε θεαματική βελτίωση των θερμομονωτικών επιδόσεών τους. Σήμερα διαθέτουμε Ενεργειακούς Υαλοπίνακες 3ης γενιάς με ακόμη πιο βελτιωμένες θερμομονωτικές δυνατότητες (πέραν του 400% σε σχέση με τους απλούς μονούς υαλοπίνακες και του 200% σε σχέση με τους απλούς διπλούς υαλοπίνακες).

3.3.1 Σύνθεση Ενεργειακών Υαλοπινάκων

Πέρα, όμως, από το διαχωρισμό των κοινών τζαμιών από τα ενεργειακά, υφίστανται σημαντικές διαφορές και ανάμεσα στους ενεργειακού τύπου υαλοπίνακες.

Οι διαφορές έχουν να κάνουν κυρίως με την επίστρωση που διαθέτει το καθένα, το διάκενο μεταξύ των δύο υαλοπινάκων, αλλά και τη διαπερατότητα, όσον αφορά στην ηλιακή ακτινοβολία. Η επίστρωση αποτελείται από μεταλλικά στοιχεία και εφαρμόζεται στην εσωτερική πλευρά του υαλοπίνακα, κατά την φάση της κατασκευής του. Στην εξασφάλιση υψηλής θερμομόνωσης, σημαντικός παράγοντας είναι επίσης το διάκενο μεταξύ των δύο τζαμιών, που απαρτίζουν τον διπλό υαλοπίνακα. Η μέγιστη ωφελιμότητα παρουσιάζεται, όταν το διάκενο μεταξύ των δύο υαλοπινάκων είναι περί τα 16 χιλιοστά, καθώς και όταν μεταξύ τους διαχέεται κάποιο ευγενές αέριο (Argon, Krypton, Xenon κλπ). Επισημαίνεται πως οι κατασκευαστές συνήθως προσθέτουν στους αεροθαλάμους κάποιο από τα συγκεκριμένα αέρια, με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση της θερμομόνωσης του υαλοπίνακα. Τα ευγενή αυτά αέρια, έχουν την ιδιότητα να αυξάνουν την θερμομόνωση του υαλοπίνακα κατά περίπου 20% επί πλέον, ωστόσο με την πάροδο του χρόνου – και ανάλογα με το είδος της κόλας που χρησιμοποιήθηκε για τη σφράγιση – διαχέονται σταδιακά στην ατμόσφαιρα**.** Υπολογίζεται δε, πως κάθε περίπου 10 χρόνια, «χάνεται» περί το 50% της ποσότητας του αερίου που υπάρχει κάθε φορά στον διπλό υαλοπίνακα. Σε κάθε περίπτωση, το κόστος του αερίου είναι μικρό και εκτιμάται πως η απόσβεσή του γίνεται ήδη μέσα στον πρώτο ή έστω στο δεύτερο χρόνο από την τοποθέτηση του υαλοπίνακα. Το τρίτο στοιχείο που διαχωρίζει μεταξύ τους, τους ενεργειακούς υαλοπίνακες, έχει να κάνει με το επίπεδο διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Ανάλογα με τις ανάγκες του νοικοκυριού και τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής όπου βρίσκεται το ακίνητο, υπάρχουν τζάμια με μικρότερο ή μεγαλύτερο ηλιακό συντελεστή, ο οποίος καθορίζει το μέγεθος της διαπερατότητας του ηλίου στο χώρο, χωρίς παράλληλα να εμποδίζει την εξασφάλιση φυσικού φωτός στο εσωτερικό της κατοικίας.



Εικόνα 31: Ενεργειακός υαλοπίνακας
Πηγή: worldenergynews.gr

3.3.2 Ενεργειακοί Υαλοπίνακες τεσσάρων εποχών

Οι «Ενεργειακοί Υαλοπίνακες» έχουν κατ' αρχήν την «ικανότητα» να δυσχεραίνουν την εκπομπή της θερμότητας από την θερμότερη προς την ψυχρότερη πλευρά (γι' αυτό αποκαλούνται υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (Low-E). Η ικανότητά τους αυτή μας βοηθά να «κρατούμε» την θερμότητα του σπιτιού μας τον χειμώνα μέσα και το καλοκαίρι την ζέστη του εξωτερικού περιβάλλοντος έξω, εξοικονομώντας ενέργεια (για την θέρμανση ή τον κλιματισμό του χώρου, αντίστοιχα). Η ιδιότητα αυτή των «Ενεργειακών Υαλοπινάκων» λειτουργεί με όλες τις καιρικές συνθήκες (συννεφιά ή λιακάδα), όλες τις ώρες (ημέρα και νύκτα), όλες τις ημέρες του χρόνου (χειμώνα – καλοκαίρι). Τούτο δεν είναι όμως αρκετό όταν έχουμε να κάνουμε με υαλοστάσια (παράθυρα, μπαλκονόπορτες κλπ) τα οποία εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία. Οι απλοί Ενεργειακοί Υαλοπίνακες δεν έχουν σχεδιαστεί για να «φράξουν» την είσοδο της φωτεινής ηλιακής ενέργειας η οποία διαπερνά ένα τζάμι όταν το «βαράει» ο ήλιος. Το κομμάτι λοιπόν αυτό της εκπεμπόμενης ηλιακής ενέργειας διαπερνά ανεμπόδιστο τον υαλοπίνακα, εισέρχεται στον χώρο μας, απορροφάται από τα διάφορα αντικείμενα, τα θερμαίνει και επανεκπέμπεται από αυτά υπό την μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας (δηλαδή θερμότητας). Οι «απλοί» Ενεργειακοί Υαλοπίνακες που έχουμε τοποθετήσει, εμποδίζουν την διαφυγή αυτής της θερμότητας προς τα έξω (αυτή άλλωστε είναι και η «δουλειά» τους), με αποτέλεσμα αυτή να εγκλωβίζεται στο εσωτερικό του χώρου, δημιουργώντας συνθήκες δυσφορίας (θερμοκηπίου) και κατ' επέκταση ανάγκες περισσότερου κλιματισμού.

Το ζητούμενο σ' αυτές τις περιπτώσεις, είναι να υπάρξει φραγμός στην ελεύθερη προσπέλαση της ηλιακής ακτινοβολίας, στο εσωτερικό των χώρων. Την λύση προσεφεραν, οι εταιρίες παραγωγής υαλοπινάκων, οι οποίες δημιούργησαν μια κατηγορία Ενεργειακών Τζαμιών με πρόσθετες επιστρώσεις, ικανές να ελέγξουν την είσοδο της φωτεινής ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στα κτίρια. Πρόκειται για την κατηγορία των υαλοπινάκων **ηλιακού ελέγχου** (Solar Control) οι οποίοι είναι

γνωστοί στην αγορά και σαν **Υαλοπίνακες Τεσσάρων Εποχών** υπό την έννοια ότι λειτουργούν και όταν ο καυτός ήλιος «κτυπάει» τα τζάμια, ιδιαίτερα φυσικά το καλοκαίρι.

Το πρόσθετο χαρακτηριστικό των Ενεργειακών Υαλοπινάκων Τεσσάρων Εποχών είναι ότι πέρα από την ικανότητά τους να δυσχεραίνουν την μεταφορά της θερμότητας από την θερμότερη προς την ψυχρότερη πλευρά (Low-E), έχουν επιπλέον και την ικανότητα να εμποδίζουν την προσπέλαση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας προς το εσωτερικό των κτιρίων (Solar Control). Είναι προφανές ότι εφόσον ο ήλιος δεν «βλέπει» τα παράθυρα, είτε γιατί αυτά είναι βορεινά, είτε γιατί είναι κάτω από βεράντες, τέντες, σκίαστρα , δέντρα, κλπ, αρκούν οι απλοί Ενεργειακοί Υαλοπίνακες. Η τοποθέτηση των Solar Control ή τεσσάρων εποχών υαλοπινάκων, έχει νόημα μόνο εφ' όσον πρόκειται για ανοίγματα στα οποία «πέφτει» επάνω ο ήλιος, τα διαπερνά και θερμαίνει το εσωτερικό των κτιρίων. Σε αντίθεση με τις βόρειες χώρες στις οποίες η θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να είναι ευχάριστη ή έστω λίγο ενοχλητική, οι νότιες χώρες υποφέρουν από αυτήν, τους καλοκαιρινούς κυρίως μήνες

3.4 Γυαλί και Ανακύκλωση

Σήμερα, σχεδόν όλες οι εγκαταστάσεις παραγωγής υαλοπινάκων στην Ευρώπη είναι πιστοποιημένες σύμφωνα με το πρότυπο ISO-14001 και / ή το EMAS

Ένας από τους στόχους της ανταγωνιστικής οικονομίας, χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα του 2050, είναι η προστασία των φυσικών πόρων και η διασφάλιση της χρήσης τους, μόνο όταν είναι απαραίτητο. Στο πλαίσιο αυτό, η ανακύκλωση πρόκειται να είναι, ζωτικής σημασίας για τις βιομηχανίες. Στον τομέα του γυαλιού, η ανακύκλωσιμότητα αποτελεί ήδη πραγματικότητα, αλλά η διαχείριση του προϊόντος στο τέλος του κύκλου ζωής του, ενέχει περιθώρια βελτίωσης. Τα προϊόντα γυαλιού παλαιότερης τεχνολογίας είναι ανακυκλώσιμα και η βιομηχανία, εξασφαλίζει ότι και τα νέα προϊόντα που κυκλοφορούν στην αγορά, διατηρούν αυτό το θεμελιώδες χαρακτηριστικό. Πέραν της ανακυκλωσιμότητας, η βιομηχανία υαλοπινάκων, είναι διατεθειμένη να αυξήσει την ποσότητα ανακυκλωμένου γυαλιού, που ονομάζεται «σκουπίδια», στις διαδικασίες παραγωγής της. Η χρήση των σκουπιδιών βοηθά στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων, αλλά προσφέρει και επιπλέον πλεονεκτήματα, καθώς το ανακυκλωμένο γυαλί, απαιτεί λιγότερη ενέργεια για να λιώσει, ενώ παράλληλα συμβάλλει στην μείωση των εκπομπών CO2 από τις μονάδες παραγωγής. Σήμερα, ο υαλοπίνακας συνήθως εμπεριέχει κατ΄ ελάχιστον 20% σκουπίδια, τα οποία αντιπροσωπεύουν περισσότερους από 5 εκατομμύρια τόνους ανακυκλωμένου γυαλιού, που χρησιμοποιούνται ετησίως στις ευρωπαϊκές επιχειρήσεις υαλοπινάκων. Το μεγαλύτερο μέρος του σκουπιδιού, που χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή υαλοπινάκων, προέρχεται από τις διαδικασίες παραγωγής ή επεξεργασίας γυαλιού, όπως κοψίματα, απώλειες κατά την ελασματοποίηση, κάμψη, κατασκευή μονωτικών υαλοπινάκων κλπ. Αυτά τα «υποπροϊόντα» ή / και τα απόβλητα έχουν συνήθως τα απαιτούμενα επίπεδα ποιότητας για την ανακύκλωση και παραγωγή του ποιοτικού υαλοπίνακα. Παρά την ανακυκλωσιμότητά του, τα απορρίμματα μετά την κατανάλωση, στο τέλος

δηλαδή του κύκλου ζωής τους, δεν ανακυκλώνονται σε επιθυμητά επίπεδα. Σε πολλά κράτη μέλη, τα περισσότερα απορρίμματα γυαλιού κατασκευών, ανακαίνισης και κατεδαφίσεων, καταλήγουν απλώς σε χώρους υγειονομικής ταφής, λόγω της χαμηλής τους αξίας, του αδρανούς χαρακτηριστικού τους και της έλλειψης κατάλληλα οργανωμένων συστημάτων συλλογής. Η βιομηχανία υαλοπινάκων της Ευρώπης, είναι έτοιμη να συνεργαστεί στενά με τις ευρωπαϊκές αρχές, προκειμένου να αρθούν τα εμπόδια, να βελτιωθεί το σύστημα διαχείρισής τους και κατ΄ επέκταση να επιτευχθεί ο στόχος της ΕΕ για το 2020, που επιτάσσει να ανακυκλώνονται τα γυαλιά που προέρχονται από κατεδαφίσεις/ ανακαινίσεις, κατά 70% .

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ο κύκλος ανακύκλωσης του γυαλιού που προέρχεται από ανακαινίσεις/ κατεδαφίσεις. Τα γυαλιά αποσυναρμολογούνται, διαχωρίζονται, ταξινομούνται και αποστέλλονται πίσω στους ανακυκλωτές. Οι ανακυκλωτές, καθαρίζουν τα απορρίμματα από οποιαδήποτε ακαθαρσία και παράγουν σκουπίδια που ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές ποιότητας της βιομηχανίας. Σε μια διαδρομή κλειστού βρόχου, πρέπει να πληρούνται τα αυστηρότερα πρότυπα για την αποκομιδή σκουπιδιών στις βιομηχανίες υαλοπινάκων, λόγω της χαμηλής ανοχής που έχουν, στις ακαθαρσίες.

Εικόνα 32: Διαδικασία ανακύκλωσης γυαλιού
Πηγή: worldenergynews.gr

3.5 Νομικό και Θεσμικό πλαίσιο

Το νομικό πλαίσιο λειτουργίας του κλάδου αποτελείται από πολλούς νόμους, οι κυριότεροι από τους οποίους περιγράφονται κατωτέρω. Σημειώνεται ότι το νομικό πλαίσιο διέπεται από πολλούς νόμους και αποτελείται, ως επί το πλείστων από Οδηγίες της Ε.Ε., στις οποίες καλούνται τα κράτη-μέλη να εναρμονιστούν. Επιπλέον, αναλύεται το περιβαλλοντικό πρότυπο ISO 14001:2004, καθώς και τα πρότυπα πιστοποίησης του γυαλιού στη δόμηση.

3.5.1 Εθνική νομοθεσία

Ακολουθούν οι κυριότεροι νόμοι και προεδρικά διατάγματα (Π.Δ.) που διέπουν τον κλάδο του γυαλιού και ως επί το πλείστων βασίζονται σε Οδηγίες της Ε.Ε. και τις υποχρεώσεις που προκύπτουν ως κράτος-μέλος.

- ✓ Π.Δ. 334/94: Προϊόντα δομικών κατασκευών

Το εν λόγω Π.Δ. εναρμονίζει την ελληνική νομοθεσία με την κοινοτική Οδηγία 1989/106/ΕΚ, η οποία περιγράφει τις διαδικασίες και τις προδιαγραφές που εξασφαλίζουν την καταλληλότητα των προϊόντων δομικών κατασκευών, όπως είναι και το γυαλί.

- ✓ Κ.Υ.Α. 21475/4707/1998: Περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με τον καθορισμό μέτρων και όρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων

Στη συγκεκριμένη Κ.Υ.Α. εμπεριέχονται μέτρα πολιτικής για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και του μικροκλίματος. Συγκεκριμένα, θεσπίζεται ο Κανονισμός για την Ορθολογική Χρήση και Εξοικονόμηση Ενέργειας (Κ.Ο.Χ.Ε.Ε.) για όλα τα κτίρια, ενώ καθιερώνονται υποχρεωτικές ενεργειακές επιθεωρήσεις/έλεγχοι.

- ✓ Ν. 3661/2008: Μείωση ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων

Με το νόμο αυτό εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την κοινοτική Οδηγία 2002/91/ΕΚ. Αναλυτικότερα, εγκρίνεται ο Κανονισμός ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, ο οποίος καθορίζει τη μέθοδο υπολογισμού και τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Τόσο για τα νέα, όσο και για τα υφιστάμενα κτίρια είναι υποχρεωτική η έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, το οποίο έχει ισχύ για 10 έτη.

3.5.2 Ευρωπαϊκή νομοθεσία

Ακολουθούν οι σημαντικότερες Οδηγίες της Ε.Ε. που διέπουν τον κλάδο του γυαλιού και αφορούν σε θέματα όπως οι προδιαγραφές των προϊόντων, η προστασία του περιβάλλοντος και η ανακύκλωση.

- ✓ Οδηγία 1989/106/ΕΚ: Προσέγγιση νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών-μελών, όσον αφορά στα προϊόντα του τομέα των δομικών κατασκευών

Η Οδηγία ορίζει ότι τα προϊόντα των δομικών κατασκευών, μεταξύ των οποίων και το γυαλί, μπορούν να διατίθενται στην αγορά, μόνο εάν είναι κατάλληλα για τη χρήση για την οποία προορίζονται. Τα προϊόντα αυτά πρέπει, από την άποψη αυτή, να επιτρέπουν την κατασκευή έργων τα οποία πληρούν, επί μια χρονική διάρκεια που κρίνεται εύλογη από οικονομική άποψη, τις βασικές απαιτήσεις στα θέματα της μηχανικής αντοχής και ευστάθειας, της πυρασφάλειας, της υγιεινής, της υγείας και του περιβάλλοντος, της ασφάλειας χρήσης, της προστασίας κατά του θορύβου, της εξοικονόμησης ενέργειας και της συγκράτησης θερμότητας.

- ✓ Κανόνες χρήσης της σήμανσης "CE"

Όλα τα προϊόντα, μεταξύ των οποίων και το γυαλί, τα οποία καλύπτονται από τις Οδηγίες Τεχνικής Εναρμόνισης (Ο.Τ.Ε.), πρέπει να φέρουν το σήμα "CE", εκτός από εξαιρέσεις, οι οποίες προβλέπονται από ειδικές οδηγίες. Η σήμανση "CE" εξασφαλίζει ότι τα προϊόντα είναι πιστά προς το σύνολο των υποχρεώσεων που έχουν οι κατασκευαστές, βάσει των κοινοτικών Οδηγιών και πρέπει να τοποθετείται από τον κατασκευαστή ή από τον εντολοδόχο του που είναι εγκατεστημένος στην Ε.Ε. Οι Ο.Τ.Ε. ορίζουν τις βασικές απαιτήσεις προς τις οποίες πρέπει να εξασφαλίζεται πλήρης πιστότητα των προϊόντων, τις ενότητες οι οποίες περιγράφουν τις διαδικασίες αξιολόγησης της πιστότητας, τις διάφορες δυνατότητες που έχει ο κατασκευαστής για την αξιολόγηση αυτή, καθώς και τα κριτήρια επιλογής ανάμεσα στις διάφορες δυνατότητες.

- ✓ Οδηγία 2002/91/ΕΚ: Ενεργειακή απόδοση κτιρίων

Στόχος της παρούσας Οδηγίας είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων εντός της Κοινότητας, λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές κλιματολογικές και τις τοπικές συνθήκες, καθώς και τις κλιματικές απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων και τη σχέση κόστους/οφέλους. Επιπλέον, τα κράτη-μέλη εξασφαλίζουν ότι κατά την κατασκευή, την πώληση ή την εκμίσθωση κτιρίων θα διατίθεται πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης στον ιδιοκτήτη ή από τον ιδιοκτήτη στον υποψήφιο αγοραστή ή μισθωτή.

- ✓ Οδηγία 2003/87/ΕΚ: Σύστημα εμπορίας των δικαιωμάτων εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας

Σύμφωνα με την Οδηγία αυτήν, τα κράτη-μέλη της Ε.Ε. είναι δεσμευμένα να μειώσουν μέχρι το 2010 κατά 8% τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπής του 1990. Επιπλέον, ορίζεται ότι οι εταιρείες παραγωγής γυαλιού, με δυνατότητα λιωσίματος υαλόμαζας άνω των 20 τόνων ημερησίως, είναι υποχρεωμένες να δηλώνουν τις ημερήσιες εκπομπές τους σε διοξείδιο του άνθρακα.

- ✓ Οδηγία 2004/12/ΕΚ: Συσκευασίες και απορρίμματα συσκευασίας

Με την εν λόγω Οδηγία θέτονται οι στόχοι για τη διαχείριση των απορριμμάτων συσκευασίας έως το 2011. Συγκεκριμένα, κάθε κράτος-μέλος της Ε.Ε. πρέπει:
ο να αξιοποιεί τουλάχιστον 60% του βάρους των αποβλήτων συσκευασίας και
ο να ανακυκλώνει 55-80% του βάρους των αποβλήτων συσκευασίας (τουλάχιστον 60% κατά βάρος για το γυαλί, 60% κατά βάρος για το χαρτί και χαρτόνι, 50% κατά βάρος για τα μέταλλα, 22,5% κατά βάρος για τα πλαστικά, 15% κατά βάρος για το ξύλο).

- ✓ Οδηγία 2006/1907/ΕΚ: Καταχώριση, αξιολόγηση, αδειοδότηση και περιορισμοί χημικών προϊόντων (REACH)

Η Οδηγία αυτή έχει ισχύ από 1η Ιουνίου 2007 και θέτει τις διαδικασίες για την καταχώριση, την αξιολόγηση, την αδειοδότηση και τους περιορισμούς των χημικών προϊόντων, επηρεάζοντας και τις εταιρείες κατασκευής γυαλιού, οι οποίες χρησιμοποιούν χημικές ουσίες στην παραγωγική διαδικασία. Επίσης, με την Οδηγία αυτή ιδρύεται ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Χημικών Προϊόντων.

3.5.3 Περιβαλλοντικά πρότυπα ISO

Ακολουθούν τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά πρότυπα ISO που διέπουν τον κλάδο του γυαλιού.

- ✓ ISO 14001:2004

Το ISO 14001 είναι ένα διεθνές πρότυπο για την εφαρμογή ενός Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (Σ.Π.Δ). Το συγκεκριμένο πρότυπο καθορίζει τις απαιτήσεις ενός Σ.Π.Δ., έτσι ώστε η κάθε επιχείρηση να καταφέρει να μειώσει την περιβαλλοντική της επίδραση και να βελτιώνει συνεχώς την περιβαλλοντική της απόδοση. Το ISO 14001 έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί από κάθε επιχείρηση, ανεξάρτητα από το μέγεθός της και τον κλάδο που ανήκει. Η διαπίστευση με ISO 14001 προσφέρει στις επιχειρήσεις τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:
ο εξασφάλιση και εύκολη συμμόρφωση με την παρούσα και μελλοντική νομοθεσία,
ο πλεονέκτημα στον ανταγωνισμό, καθώς όλο και περισσότεροι μεγάλοι προμηθευτές ή οι πελάτες απαιτούν την περιβαλλοντική πιστοποίηση, έτσι ώστε να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του Συστήματος Περιβαλλοντικής διαχείρισης που έχουν οι ίδιοι,
ο βελτίωση της φήμης της εταιρείας και σημαντικό πλεονέκτημα από τους μη πιστοποιημένους με ISO ανταγωνιστές και
ο οικονομικά κέρδη από τη βελτίωση της απόδοσης των διεργασιών, τη μείωση του ρυθμιστικού κόστους (π.χ. πρόστιμα) και πιθανόν της χαμηλότερης δόσης σε ασφάλιστρα.

- ✓ ISO 9001:2000

Το ISO 9001:2000 είναι ένα διεθνές πρότυπο για την εφαρμογή ενός Συστήματος

Διαχείρισης Ποιότητας (Σ._.Π.). Περιλαμβάνει περιγραφή της οργάνωσης της εταιρείας, γραπτές οδηγίες για τις εργασίες που εκτελούνται και επηρεάζουν την ποιότητά της, έντυπα και έγγραφα που εφαρμόζονται, καθώς και εργαλεία ελέγχου και αξιολόγησης της λειτουργίας του Συστήματος. Η πιστοποίηση με ISO 9001:2000 εξασφαλίζει στην εταιρία αναγνωσιμότητα, όσον αφορά στη διαρκή προσπάθειά της για συνεχή βελτίωση των παρεχόμενων προϊόντων της. Επιπλέον, μέσω των επιθεωρήσεων που διενεργούνται από το φορέα πιστοποίησης, η εταιρεία έχει τη δυνατότητα να επωφεληθεί από διορθωτικές παρεμβάσεις και προτάσεις βελτίωσης που ενδέχεται να προκύψουν.
'Κλαδική μελέτη για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις' Βιοτεχνικό Επιμελητήριο Αθηνών

4.Εφαρμογή – Παράγοντες καθορισμού

Το παρόν κεφάλαιο, αφορά την διερεύνηση της επίδρασης των υαλοπινάκων, στην ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου. Η παρατεταμένη πλέον χρήση γυαλιού-υαλοπίνακα στα κτίρια, επιβάλλει την προσεκτική θεώρησή του, ως δομικό στοιχείο, σε σχέση με την ενεργειακή διαχείριση, καθώς αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα που καθορίζει την άνετη διαβίωση στον εσωτερικό χώρο, αλλά και τη δημιουργία μικροκλίματος κτιρίου. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα της θερμικής άνεσης, είναι κυρίως οι θερμικές απώλειες και το θερμικό κέρδος. Ο υπολογισμός των στοιχείων αυτών, δίνει τη δυνατότητα για βέλτιστη διαστασιολόγηση των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης, με ζητούμενο την εξοικονόμηση ενέργειας στο κτίριο. Για εύκρατα, θερμά μεσογειακά κλίματα όπως η Ελλάδα με μεγάλο ποσοστό ηλιοφάνειας ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, τα θερμικά κέρδη από τη ηλιακή ακτινοβολούμενη θερμότητα παίζουν κυρίαρχο ρόλο στην ενεργειακή διαχείριση, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι υποβιβάζεται η σημασία των θερμικών απωλειών σε ψυχρότερες κλιματικές ζώνες.

Οι παραπάνω παράγοντες παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- Θερμικές απώλειες

Οι θερμικές απώλειες σε υαλοστάσια εμφανίζονται με τρεις διαφορετικούς μηχανισμούς:

1) από τις επιφάνειες του εσωτερικού χώρου προς την εσωτερική επιφάνεια της υάλωσης
2) διαμέσου της μάζας του γυαλιού
3) από την εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού εξαιτίας των συνθηκών περιβάλλοντος

Οι θερμικές απώλειες συσχετίζονται με την τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας U-value ή K- value, μετρούμενου σε W/m^ °K. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας εκφράζει το ρυθμό απωλειών θερμότητας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας, σε

μόνιμες συνθήκες, για θερμοκρασιακή διαφορά εξωτερικής – εσωτερικής επιφάνειας ενός βαθμού της κλίμακας Κέλβιν (K) ή ενός βαθμού της κλίμακας Κελσίου (°C). Επιπρόσθετα οι θερμικές απώλειες μπορούν να ποσοτικοποιηθούν και από τον συντελεστή θερμικής αντίστασης των υλικών, όπου ορίζεται ως ο ανάστροφος του συντελεστή Θερμοπερατότητας.
Οι τρόποι αύξησης της θερμικής αντίστασης σε διπλές υαλώσεις είναι:

1. Αυξάνοντας το πλάτος του διάκενου Αυξάνοντας το πλάτος του διάκενου μπορούμε γενικά να βελτιώσουμε τη θερμική αντίσταση. Όμως υπάρχει ένα όριο στο μέγιστο πλάτος (15mm-16mn) πέραν του οποίου η θερμική αντίσταση δεν αυξάνεται σημαντικά.
2. Χρησιμοποιώντας υαλοπίνακες με επιστρώσεις χαμηλής εκπομπής (Low-E). Η χρήση επιστρώσεων χαμηλής εκπομπής (Low-E) μπορεί να μειώσει δραστικά τη μετάδοση θερμότητας, μέσω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, ανάμεσα στα δύο φύλλα γυαλιού. Το ποσό της θερμότητας που μεταδίδεται με τον τρόπο αυτό, είναι ιδιαίτερα σημαντικό και ανέρχεται στο 60% της συνολικής θερμότητας που διέρχεται διαμέσου του διάκενου. Η επίστρωση χαμηλής εκπομπής μειώνει αυτή την ποσότητα θερμότητας που μεταδίδεται μέσω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος κατά 75% και έτσι συνακόλουθα μειώνεται δραστικά και ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value). Η συνολική μείωση του συντελεστή αυτού μόνο από τη χρήση υαλώσεων χαμηλής εκπομπής, ξεπερνά το 30%. Η ιδιαίτερα υψηλή θερμομόνωση που επιτυγχάνεται από τη χρήση υαλώσεων χαμηλής εκπομπής, εξασφαλίζεται εξαιτίας της μεγάλης ανακλαστικότητας που παρουσιάζουν στις μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίες
3. Γεμίζοντας το διάκενο με αέρια χαμηλότερης αγωγιμότητας από αυτήν του ξηρού αέρα. Αέρια στο διάκενο με χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα από αυτή του αέρα όπως το αργόν (σχετικά συνηθισμένο), κρυπτόν (ιδιαίτερα ακριβή λύση με πολύ καλά όμως αποτελέσματα) μπορούν να μειώσουν περισσότερο το συντελεστή θερμοπερατότητας. Χρίζουν προσοχής οι περιπτώσεις απώλειας του αερίου του διάκενου (ποιότητα σφράγισης), αλλά και οι διαφορετικές πιέσεις που τυχόν να επικρατούν μέσα και έξω από τη διπλή υάλωση (μεγάλο υψόμετρο έργου, συμπιεστότητα αερίου κλπ)
4. Μειώνοντας τη συναγωγή στην περιοχή του διάκενο. Το φαινόμενο της μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή στην περιοχή του διάκενου, μπορεί να περιοριστεί χρησιμοποιώντας «κελιά» από πλαστικά μονωτικά διάφανα υλικά στο διάκενο, μειώνοντας έτσι τη δυνατότητα του αέρα ή αερίου να κινείται και άρα να συνάγει θερμότητα από το ένα φύλλο στο άλλο (σχετικά ακριβή λύση που ορισμένες φορές περιορίζει τη διαφάνεια αλλά αρκετά αποτελεσματική, σε περιπτώσεις που συνδέεται με μελέτη φωτισμού διάχυσης φωτός, από ανοίγματα όπου δεν απαιτείται διαφάνεια).
5. Δημιουργώντας συνθήκες μερικού ή ολικού κενού στο διάκενο. Αν καταφέρουμε να έχουμε κενό στο διάκενο, τότε ελαχιστοποιούμε ή και μηδενίζουμε τη μετάδοση θερμότητας με αγωγή και συναγωγή στο διάκενο. Όμως τέτοιες λύσεις είναι ιδιαίτερα δαπανηρές και όχι εμπορικά αξιοποιήσιμες σήμερα, μια και απαιτούν ειδικά υλικά που να αντέχουν στη

μεγάλη διαφορά πίεσης και να εξασφαλίζουν για μεγάλο χρόνο τη στεγανότητα του χώρου του διακένου.

Οι μηχανισμοί απωλειών θερμότητας από την εσωτερική επιφάνεια της υάλωσης που περιγράφηκαν παραπάνω, είναι ανάλογοι με αυτούς που ισχύουν και για την εξωτερική επιφάνεια, με μόνη ίσως διαφορά ότι εξωτερικά κυριαρχούν οι συνθήκες περιβάλλοντος όπως θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου και βροχή που επιτείνουν την μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία.

- Θερμικό κέρδος

Το θερμικό κέρδος, κυρίως το προερχόμενο από την ηλιακή ακτινοβολία, μπορεί να συνεισφέρει θετικά στη θέρμανση των κτιρίων, αλλά από την άλλη μεριά μπορεί να δημιουργήσει θερμική δυσφορία κατά τους θερινούς μήνες σε περιοχές με έντονο ηλιασμό, όπως σχεδόν το σύνολο της ελληνικής επικράτειας, επιβαρύνοντας έτσι τα φορτία κλιματισμού στον εσωτερικό χώρο. Για το λόγο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικοί υαλοπίνακες «ενεργειακής διαχείρισης και ελέγχου», οι οποίοι είτε απορροφούν είτε ανακλούν, μεγάλο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας και ενέργειας, μειώνοντας έτσι το συνολικό ποσό του θερμικού κέρδους για το κτίριο. Επιπρόσθετα η επιφάνεια του «ανοίγματος», ο προσανατολισμός αλλά και στοιχεία σκιασμού, επιδρούν στο τελικό ποσό του θερμικού κέρδους. Το ποσοστό από την ακτινοβολούμενη θερμότητα, που θα μεταφερθεί προς την έξω ή έσω πλευρά, καθορίζεται από τις ιδιότητες της υάλωσης και τις εξωτερικές επικρατούσες συνθήκες. Σαν αποτέλεσμα, όταν η εσωτερική επιφάνεια του γυαλιού έχει διαφορετικό (μικρότερο) συντελεστή εκπομπής, η μετάδοση θερμότητας προς τα έσω μειώνεται. Τόσο η ανάκλαση όσο και η περατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, επηρεάζονται από τη γωνία πρόσπτωσης. Τα διαφορετικά είδη υαλοπινάκων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, έτσι που να επιτύχουμε έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας είναι:

1. Χρωματιστά στη μάζα τους γυαλιά (αυξημένη απορροφητικότητα)
2. Γυαλιά ανακλαστικής επίστρωσης (αυξημένη ανακλαστικότητα και συνήθως και απορροφητικότητα)
3. Συνδυασμός των παραπάνω
4. Διπλές υαλώσεις με ενσωματωμένα σκιάδια, για χρήση στα εξωτερικά υαλοστάσια ενός κτιρίου όπου μπορούν δραματικά να μεταβάλλουν την περατότητα φωτός και ενέργειας. Διαθέσιμα σε διάκενο από 18mm έως 27mm και με λειτουργία τόσο μηχανικά όσο και ηλεκτρικά με τηλεχειρισμό.
5. Γυαλιά μεταβαλλόμενης περατότητας φωτός (τελευταία εμπορική εξέλιξη, ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες, με μεταβαλλόμενη περατότητα από 15% έως 50%). Η προσπάθειά για μείωση της περατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας όμως, οδηγεί εν γένει και στη μείωση της περατότητας του ορατού φωτός που είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις αρχές φυσικού φωτισμού που επιλέγει ο μελετητής.

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε ένας τύπος υαλοπίνακα, από κάθε μια από τις παραπάνω βασικές κατηγορίες, για τα ανοίγματα του υπό μελέτη κτιρίου. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι καταναλώσεις σε ψύξη/θέρμανση και τέλος συγκρίθηκαν

τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του κτιρίου και τον υπολογισμό των καταναλώσεων είναι το TRNSYS, το οποίο περιγράφεται αναλυτικά στην ενότητα που ακολουθεί.

4.1 Γνωριμία με το Λογισμικό Προσομοίωσης TRNSYS

Το TRNSYS αποτελεί ένα πρόγραμμα προσομοίωσης συστημάτων που μεταβάλλονται με το χρόνο. Αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες στο Πανεπιστήμιο του Wisconsin-Solar Energy Laboratory και είναι διαθέσιμο εμπορικά από το 1975. Συνεχίζει να αναπτύσσεται μέχρι σήμερα, μέσω της συνεργασίας του ανωτέρου Πανεπιστημίου με το Center Scientifique et Technique du Bâtiment, της Γαλλίας , και το TRANSSOLAR Energietechnik, της Γερμανία. Το TRNSYS, είναι μια δομή ανοικτού κώδικα, που χρησιμοποιείται παγκοσμίως από μηχανικούς και ερευνητές, για την αξιολόγηση νέων ενεργειακών συστημάτων, από ένα απλό οικιακό σύστημα θέρμανσης νερού, μέχρι τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτιρίων καθώς επίσης και του εξοπλισμού τους. Η προσομοίωση αυτή, περιλαμβάνει τη χρήση συστημάτων ελέγχου, λαμβάνει υπόψη τη συμπεριφορά των κατοίκων του κτιρίου και δίνει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως αιολικά, ηλιακά, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου κλπ. Ο πυρήνας του προγράμματος, καθώς και ο κώδικας των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει το TRNSYS, δίνονται στον χρήστη, ο οποίος μπορεί να τα τροποποιήσει κατάλληλα, ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής νέων μοντέλων που μπορεί να κατασκευάσει ο ίδιος ο χρήστης ή άλλοι προγραμματιστές χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN κ.α.). Αυτό είναι δυνατόν, χάρη στην αρχιτεκτονική του προγράμματος, η οποία είναι βασισμένη στα αρχεία DLL. Επιπλέον, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα, με πολλές άλλες εφαρμογές για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. Microsoft Excel, Matlab, COMIS κτλ.). Το TRNSYS έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς, για την προσομοίωση εφαρμογών ηλιακής ενέργειας, συμβατικών κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων και πολυζωνικών, ακόμη και βιολογικών διεργασιών.

Το TRNSYS αποτελείται από μια σειρά προγραμμάτων: Το στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio) με το εκτελέσιμο του TRNExe, το γραφικό περιβάλλον για τα δεδομένα του κτιρίου(Building) με το εκτελέσιμο του TRNBuild, και τον επεξεργαστή (Editor) για τη δημιουργία αυτόνομων συστημάτων αναδιανομής γνωστά ως TRNSED με το εκτελέσιμο του TRNEdit.

4.1.1 Στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio)

Το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS αποτελεί το στούντιο προσομοίωσης. Σε αυτό δημιουργούνται τα προγράμματα της προσομοίωσης σύροντας με το ποντίκι στο παράθυρο εργασίας τα επιλεγόμενα στοιχεία (types), συνδέοντάς τα και

θέτοντας τις μεταβλητές της προσομοίωσης. Όλα τα στοιχεία επιλέγονται από τις βιβλιοθήκες που βρίσκονται στη δεξιά πλευρά του Trnsys και παριστάνονται με τα εικονίδιά τους, στο παράθυρο εργασίας. Το στούντιο προσομοίωσης δημιουργεί το αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης του χρήστη (*.tpf). Επίσης δημιουργεί αρχείο εισόδου, το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης. Το στούντιο προσομοίωσης περιλαμβάνει επίσης έναν διαχειριστή των εξόδων του προγράμματος, με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ποιες μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στις εξόδους, ποιες θα εκτυπωθούν και ποιες θα χρησιμοποιηθούν στα διαγράμματα. Τέλος περιλαμβάνει έναν καταγραφέα/ διαχειριστή σφαλμάτων ο οποίος επιτρέπει την λεπτομερή μελέτη των γεγονότων κατά τη διάρκεια μίας προσομοίωσης. Τέλος, πολλές επιπρόσθετες εργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα από το στούντιο προσομοίωσης, όπως η δημιουργία νέων υπολογιστικών μοντέλων προς εισαγωγή στο TRNSYS χρησιμοποιώντας την επιλογή “Fortran Wizard” καθώς επίσης η ανάγνωση των εξαγόμενων αρχείων, η επεξεργασία της περιγραφής ενός μοντέλου τροποποιώντας τις παραμέτρους, τις εισόδους και τις εξόδους του μοντέλου κτλ.

4.1.1.3 Ρύθμιση των επιλεγμένων μοντέλων της προσομοίωσης

Η ρύθμιση των μοντέλων της προσομοίωσης γίνεται από τις καρτέλες: παραμέτρων, εισόδων, εξόδων και παραγώγων, όπου ρυθμίζονται οι τιμές όλων των στοιχείων του μοντέλου. Οι τιμές των εισόδων παραλείπονται αν το μοντέλο συνδεθεί με κάποιο άλλο μοντέλο.

4.1.1.4 Συνδέσεις

Η σύνδεση των μοντέλων πραγματοποιείται, ενώνοντας με την γραμμή σύνδεσης, τα δύο στοιχεία που επιθυμούμε να συνδέσουμε. Σε κατάλληλο παράθυρο, ο χρήστης επιλέγει, ποιες έξοδοι του ενός μοντέλου θα συνδεθούν με τις εισόδους του άλλου.

Τον προσδιορισμό των παραμέτρων ακολουθεί ο προσδιορισμός του τρόπου με τον οποίο ρέουν οι πληροφορίες από το ένα στοιχείο στο άλλο.

Στο στούντιο προσομοίωσης, η ροή αυτή, παρουσιάζεται σαν σύνδεσμος μεταξύ των δύο στοιχείων. Ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει τις λεπτομέρειες σύνδεσης μεταξύ των δύο στοιχείων, χρησιμοποιώντας το παράθυρο σύνδεσης. Η έξοδος του ενός στοιχείου, αποτελεί την είσοδο του άλλου. Εάν κάποια είσοδος ενός στοιχείου μείνει ασύνδετη, τότε λαμβάνει μια σταθερή τιμή , η οποία είναι προκαθορισμένη. Επιτέπεται μόνο η σύνδεση μεταβλητών του ίδιου μεγέθους πχ θρμοκρασία με θερμοκρασία.

4.1.1.5 Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων.

Κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης, πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί και προκύπτουν τα διαγράμματα, στην περίπτωση που έχει προστεθεί τουλάχιστον ένα μοντέλο ταυτόχρονης δημιουργίας διαγραμμάτων (Online Plotter). Το μοντέλο αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες που χρησιμεύουν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και αφού αυτή περατωθεί. Ενδεικτικά κάποιες από αυτές τις δυνατότητες είναι η παύση, το σταμάτημα και η επανέναρξη της

προσομοίωσης, η απόκρυψη και η εμφάνιση μιας μεταβλητής στο διάγραμμα, η επιλογή χρωμάτων και η προσαρμογή των αξόνων του διαγράμματος καθώς και η μεγέθυνση ενός μέρους του διαγράμματος.

4.1.2 TRNBuild

Το TRNbuild είναι το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων ενός πολυζωνικού κτιρίου, Επιτρέπει στον χρήστη τον λεπτομερή καθορισμό όλων των κατασκευαστικών στοιχείων του κτιρίου, των συστημάτων HVAC και το πρόγραμμα ψύξης και θέρμανσης που εφαρμόζεται στο κτίριο. Κάθε κτίριο που δημιουργεί ο χρήστης εμπλέκει πολλές παραμέτρους και αποτελεί ένα ειδικό αρχείο περιγραφής με επέκταση .bui.

4.1.2 TRNSED και TRNEdi

Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος επεξεργαστής που χρησιμοποιείται για την τροποποίηση των αρχείων εισόδου του TRNSYS. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών, οι οποίες ονομάζονται TRNSED εφαρμογές. Υπάρχει η δυνατότητα ελεύθερης διανομής αυτών των εφαρμογών μεταξύ χρηστών που δεν έχουν άδεια χρήσης του TRNSYS, με σκοπό να έχουν στη διάθεση τους ένα απλοποιημένο εργαλείο προσομοίωσης. Το πρόγραμμα TRNEdit παρέχεται με ένα κατάλληλο γραφικό περιβάλλον στο οποίο ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει το αρχείο εισόδου του TRNSYS εισάγοντας ειδικές εντολές, ώστε να προστεθούν στο πρόγραμμα που κατασκευάζεται στοιχεία όπως πολλαπλά παράθυρα και ενεργές εικόνες. Το περιβάλλον TRNEdit αποτελείται από δυο καρτέλες. Στην πρώτη φαίνεται ο κώδικας του αρχείου εισαγωγής και στην άλλη το γραφικό αποτέλεσμα που αποτελεί την TRNSED εφαρμογή.

4.2 Μεθοδολογική προσέγγιση

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, για την διεκπεραίωση της εργασίας στο λογισμικό Trnsys, διακρίνεται κυρίως σε δύο στάδια. Το πρώτο αφορά την δημιουργία του κτιριακού μοντέλου στο υποπρόγραμμα TRN Build και το δεύτερο στην εισαγωγή και την σύνδεσή του με άλλες παραμέτρους στο Simulation Studio, όπου και εξήχθησαν τα αποτελέσματα. Αναλυτικότερα η διαδικασία περιγράφεται στην συνέχεια.

TRN Build

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα νέο project, στο οποίο ορίστηκε η περιοχή χωροθέτησης του κτιρίου, καθώς και οι προσανατολισμοί του. Έπειτα δόθηκαν ορισμένες γενικές τιμές, που αφορούν διάφορες σταθερές όπως η πυκνότητα και η ειδική θερμότητα του αέρα, η θερμότητα ατμοποίησης του νερού, η σταθερά Boltzmann, η μέση θερμοκρασία επιφανειών, και ορισμένοι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας. Ακόμη ορίστηκαν οι είσοδοι και οι έξοδοι του μοντέλου, λαμβάνοντας υπόψη τα

αποτελέσματα που επιθυμούμε να εξάγουμε και τις συνδέσεις που θα υλοποιηθούν στο επόμενο στάδιο. Επόμενο βήμα, ήταν ο προσδιορισμός των ζωνών και η εισαγωγή των δεδομένων που αφορούν κάθε ζώνη. Πιο συγκεκριμένα ορίστηκε ο όγκος της κάθε ζώνης, η διάσταση και τα δομικά στοιχεία που απαρτίζουν την τοιχοποιία, κατηγοριοποιημένα με βάση τον προσανατολισμό κάθε τοίχου και την ιδιότητα του (δηλαδή αν είναι εφαπτόμενος σε άλλον, εσωτερικός ή εξωτερικός) και αντίστοιχα καθορίστηκε με λεπτομέρεια και το είδος των ανοιγμάτων. Σειρά είχαν τα συστήματα εξαερισμού, ψύξης, θέρμανσης, ζεστού νερού χρήσης και θερμικών κερδών. Να σημειωθεί ότι λόγω της χρήσης του κτιρίου τα συστήματα εξαερισμού και ζεστού νερού χρήσης, παραλείφθηκαν. Τέλος ορίστηκε ο αριθμός εργαζομένων και διαμορφώθηκε το πρόγραμμα λειτουργίας του γραφείου, με βάση το ωράριο τους. Οι παράμετροι που ορίστηκαν για όλα τα παραπάνω παρατίθενται στις ακόλουθες ενότητες.

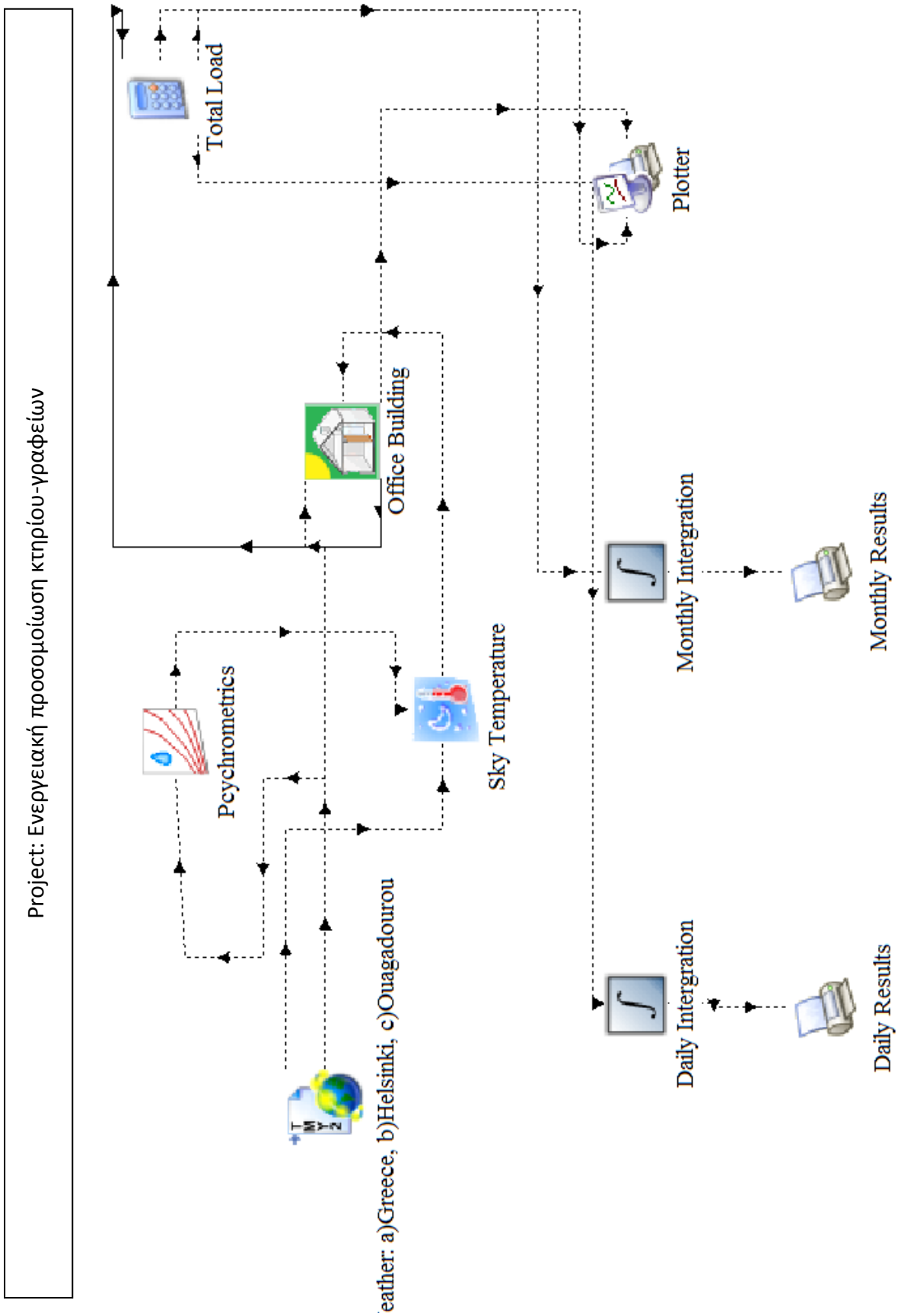
Στούντιο προσομοίωσης

Οι κυριότερες διεργασίες που υλοποιήθηκαν ήταν η δημιουργία ενός νέου project στο οποίο εισήχθησαν το κτιριακό μοντέλου που κατασκευάσαμε στο προηγούμενο στάδιο, καθώς και τα υπόλοιπα στοιχεία προσομοίωσης (types), των οποίων οι παράμετροι συνδέθηκαν μεταξύ τους, προκειμένου να υπολογιστεί η θερμοκρασία της ζώνης και οι καταναλώσεις σε ψύξη και θέρμανση σε ετήσια βάση. Όλα τα στοιχεία επιλέχθηκαν από την διαθέσιμη βιβλιοθήκη και στη συνέχεια επεξεργάστηκαν κατάλληλα. Τα types που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται ακολούθως:

- **Type 109**: Μοντέλο προσομοίωσης των δεδομένων καιρού (θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, υγρασία, ταχύτητα ανέμου κ.λπ.). Τα δεδομένα καιρού που χρησιμοποιήθηκαν ήταν διαφορετικά σε κάθε σενάριο. Επιγραμματικά αναφέρονταν, στην Ελλάδα, το Ελσίνκι και την Ουαγκαντουγκού.
- **Type 33:** Μοντέλου προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό διαφορετικών ιδιοτήτων του υγρού αέρα
- **Type 69b:** Μοντέλου προσομοίωσης που υπολογίζει μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία για τον ουρανό και με βάση αυτήν, υπολογίζεται η συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους των εξωτερικών επιφανειών του κτηρίου με το περιβάλλον.
- **Type 56:** Κτιριακό μοντέλο προσομοίωσης (περιεγράφηκε πιο πάνω)
- **Type 24**: Μοντέλο προσομοίωσης ενσωμάτωσης αποτελεσμάτων. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε για την ενσωμάτωση των ενεργειακών καταναλώσεων σε ημερήσια και ετήσια βάση.
- **Type 25c:** Μοντέλο προσομοίωσης για την δημιουργία αρχείου κειμένου. Το μοντέλο αυτό συνδυάστηκε με το type 24 για την παραγωγή αρχείου με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

- **Type 65c**: Μοντέλο προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο καθώς επιτρέπει στον χρήστη τον άμεσο έλεγχο των υπό μελέτη μεταβλητών κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης, αφού παρουσιάζει στην οθόνη τις επιλεγμένες μεταβλητές και σε καθορισμένες, από το χρήστη, χρονικές στιγμές, ενώ παράλληλα έχει την δυνατότητα εξαγωγής του αποτελέσματος σε μορφή εικόνας.

Τέλος συνδέθηκαν τα types με κατάλληλες συνδέσεις και υπολογίστηκαν οι ενεργειακές καταναλώσεις του ίδιου κτηρίου σε ψύξη και θέρμανση, για διαφορετικούς τύπους υαλοπινάκων. Το κτήριο χωροθετήθηκε σε τρεις χώρες, που υπάγονται σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες (Α,Β,Δ) και για διαφορετικούς προσανατολισμούς. Με τον τρόπο αυτό προέκυψαν τρία σενάρια, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται και συγκρίνονται μεταξύ τους στην επόμενη ενότητα. Στόχος είναι η διερεύνηση του κατάλληλου υαλοπίνακα, με βάση τις κλιματικές συνθήκες της χώρας που βρίσκεται το κτίριο, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τον προσανατολισμό του.

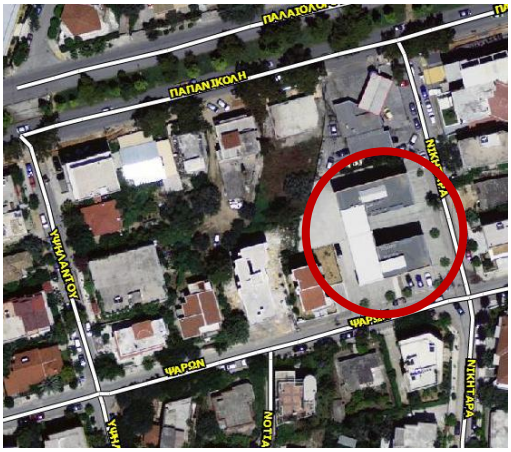


Εικόνα 33: Διάγραμμα ροής στο TRNSYS

4.2.1 Περιοχή μελέτης

Η μελέτη εφαρμόστηκε σε ένα κτήριο με αποκλειστική χρήση γραφεία, στην περιοχή του Χαλανδρίου. Οι εικόνες που ακολουθούν προέρχονται από τους χάρτες του Bing Maps και συγκεκριμένα την εφαρμογή Bird's Eye και από της Κτηματολόγιο Α.Ε αντίστοιχα. Σε αυτές φαίνονται η γεωμετρία κτιρίου και η ακριβή τοποθεσία του.

Εικόνα 35: Κτήριο Μελέτης, εφαρμογή Bird's Eye



Εικόνα 34: Κτήριο μελέτης, Κτηματολόγιο Α.Ε

4.2.2 Κάτοψη

Ακολουθεί η κάτοψη του υπό μελέτη κτιρίου. Τα σχέδια διατέθηκαν από την Πολεοδομική Υπηρεσία του δήμου Χαλανδρίου. Η συνολική επιφάνεια κάθε ορόφου είναι 480,28 τμ. Όλοι οι όροφοι είναι πανομοιότυποι. Στα πλαίσια της μελέτης, θεωρήθηκε ο ένας από τους τέσσερεις, του οποίου υπολογίστηκε η ενεργειακή κατανάλωση και εφαρμόστηκαν τα σενάρια.

Ανοίγματα

Β-Ν

Ποσότητα	**Πλάτος**	**Ύψος**	**Εμβαδόν Παραθύρου**
6 παράθυρα	1.20	0.80	0.96
1 παράθυρο	0.90	0.80	0.72
1πόρτα (γυάλινη)	1.20	2,10	2.52

Α

Ποσότητα	**Πλάτος**	**Ύψος**	**Εμβαδόν Παραθύρου**
2Γυάλινες όψεις	9.70	3.00	29.10
2 παράθυρα	1.20	0.80	0.96

Δ

Ποσότητα	Πλάτος	Ύψος	Εμβαδόν Παραθύρου
2 παράθυρα	1.50	0.80	1.20
2 παράθυρα	1.60	0.80	1.28

Εικόνα 36: Κάτοψη κτηρίου

4.2.3 Δομικά στοιχεία κελύφους

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα υλικά κατασκευής της εξωτερικής και εσωτερικής τοιχοποιίας, της οροφής και του δαπέδου.

	Υλικό	λ (W/m*K)	Πάχος (m)
Εξωτερική Τοιχοποιία	Θερμοσοβάς	0.056	0.040
	Οπτόπλινθοι	0.26	0.20
	Εξιλασμένη Πολυστερίνη	0.03	0.06
Εσωτερική Τοιχοποιία	Οπτόπλινθοι	0.26	0.050
	Θερμοσοβάς	0.056	0.024
Οροφή	Σοβάς	0.35	0.015
	Ασβεστοκονίαμα	0.17	0.020
	Περλιτόδεμα	0.094	0.100
	Εξιλασμένη Πολυστερίνη	0.03	0.060
	Σκυρόδεμα	2.5	0.200
Δάπεδο	Χαλίκι	0.7	0.200
	Σκυρόδεμα	2.5	0.250
	Εξιλασμένη Πολυστερίνη	0.03	0.060
	Ασβεστοκονίαμα	0.17	0.030
	Κεραμικό πλακάκι	1.184	0.010

4.2.4 Διείσδυση Αέρα από κουφώματα

Θεωρήθηκε ότι η αλλαγή του αέρα, πραγματοποιείται κάθε τρεις ώρες, από τα παράθυρα και τις πόρτες, λόγω της κινητικότητας των υπαλλήλων και των συνεργατών τους.

4.2.5 Πρόγραμμα λειτουργίας

Η χρήση του κτηρίου, είναι γραφείο. Για το λόγο αυτό, ορίστηκαν οι ώρες λειτουργίας, με βάση το ωράριο των εργαζομένων. Επομένως διαμορφώθηκε από τις 8πμ έως τις 5μμ, όλες τις μέρες τις εβδομάδας, καθ' ότι λόγω αυξημένου φόρτου εργασίας, ανά περιπτώσεις το γραφείο παραμένει ανοιχτό Σάββατα και Κυριακές.

4.2.6 Θερμικά κέρδη

Σύμφωνα με το ISO 7730, η συνολική θερμότητα που εκπέμπεται από κάθε άτομο για χρήση γραφείου ανέρχεται σε 150Watts και στον χώρο εργάζονται 5 άτομα. Ακόμη η ενέργεια από κάθε υπολογιστή είναι 140Watts. Τέλος η ισχύς που προέρχεται από τα φώτα ορίστηκε 10 Watt/m2.

4.2.7 Συστήματα ψύξης & θέρμανσης

Το σύστημα ψύξης και θέρμανσης είναι αντλίες θερμότητας με fan coils. Προκειμένου να προσδιοριστεί η κατανάλωση σε ψύξη και θέρμανση, το σύστημα θεωρήθηκε απεριόριστης ισχύς. Συγκεκριμένα, ορίστηκε σαν σημείο ενεργοποίησης

(temperature set point) του θερμαντικού μέσου στους 23 °C και του μέσου ψύξης στους 25°C.

4.3 Ενεργειακή κατανάλωση & σενάρια

Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται λεπτομερώς τα σενάρια που υλοποιήσαμε και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, με βάση τα οποία οδηγηθήκαμε στην βέλτιστη επιλογή υαλοπίνακα, για κάθε περίπτωση. Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν τα είδη υαλοπινάκων που εφαρμοστήκαν και τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους.

Υαλοπίνακας	Design	U-Value	G-Value	T_Sol	R_Sol	LT
Μονός	4	5.68	0.855	0.83	0.075	0.901
Απλός διπλός	4/16/4	2.83	0.775	0.693	0.126	0.817
Ενεργειακός_Low-emmisivity (Argon)	4/15/4	1.1	0.609	0.521	0.355	0.782
Ενεργειακός_Solar Control (Argon)	6/16/4	1.05	0.331	0.259	0.165	0.455

Φωτεινή Διαπερατότητα - Light Transmition

Είναι το ποσοστό επί τοις εκατόν (%) του φωτός που διαπερνά μέσω του υαλοπίνακα κατά τη διάρκεια της ημέρας και υποδηλώνει το πόσο φωτεινός θα είναι ο χώρος μας σύμφωνα με την χρήση του. Υαλοπίνακες με χαμηλό ποσοστό διαπερατότητας επηρεάζουν δυσμενώς το φυσικό φωτισμό του χώρου, τον οποίο καλύπτουν.

Άμεση ηλιακή διαπερατότητα- Solar Transmition

Είναι το ποσοστό επί τοις εκατόν (%) της ακτινοβολούμενης ενέργειας που διαπερνά μέσω του υαλοπίνακα.

Αντανάκαλαση ηλιακής ενέργειας- Solar Reflection

Είναι το ποσοστό επί τοις εκατόν (%) της ακτινοβολούμενης ενέργειας που προσκρούει στην επιφάνεια του υαλοπίνακα και αλλάζει πορεία.

Ηλιακός Συντελεστής - Solar Factor (G-Value)

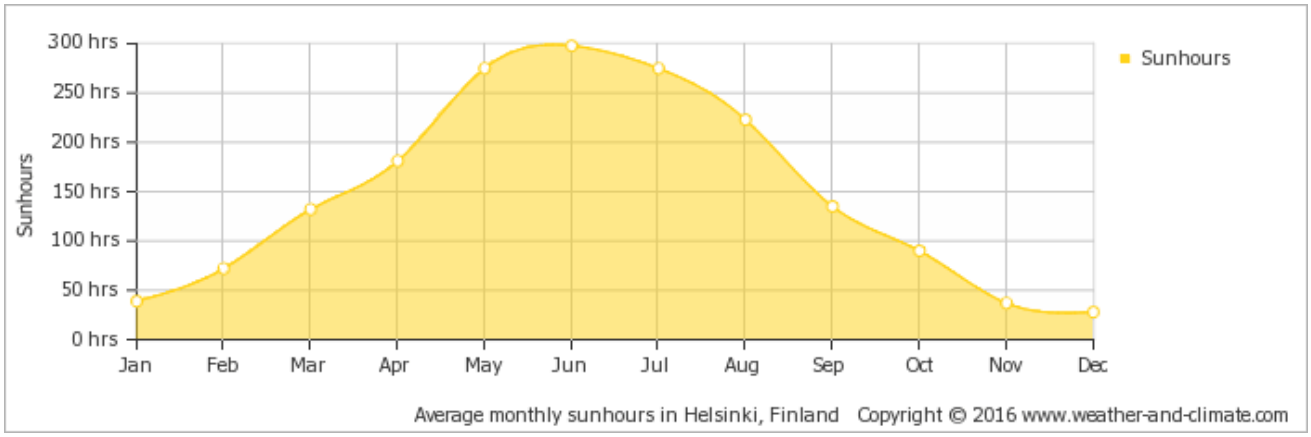
Είναι το ποσοστό της πλήρους ηλιακής ακτινοβολούμενης θερμικής ενέργειας που μπαίνει στο χώρο μέσα από το γυαλί. Αποτελείται το άθροισμα της ηλιακής ακτινοβολούμενης θερμικής ενέργειας που μπαίνει με απ΄ευθείας διάδοση, και στο ποσοστό της ενέργειας που απορροφάται και επανεκπέμπεται από τον εσωτερικό χώρο της υάλωσης.

Πλαίσιο: Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε πλαίσιο 30% και u-value 2.83 W/m^2*K.

4.3.1 Εφαρμογή 1ου σεναρίου: Χωροθέτηση κτηρίου στην κλιματική ζώνη Α

Περιοχή χωροθέτησης: Ελσίνκι, Φιλανδία.

Κλιματικά δεδομένα: Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ -7°C- 23°C.



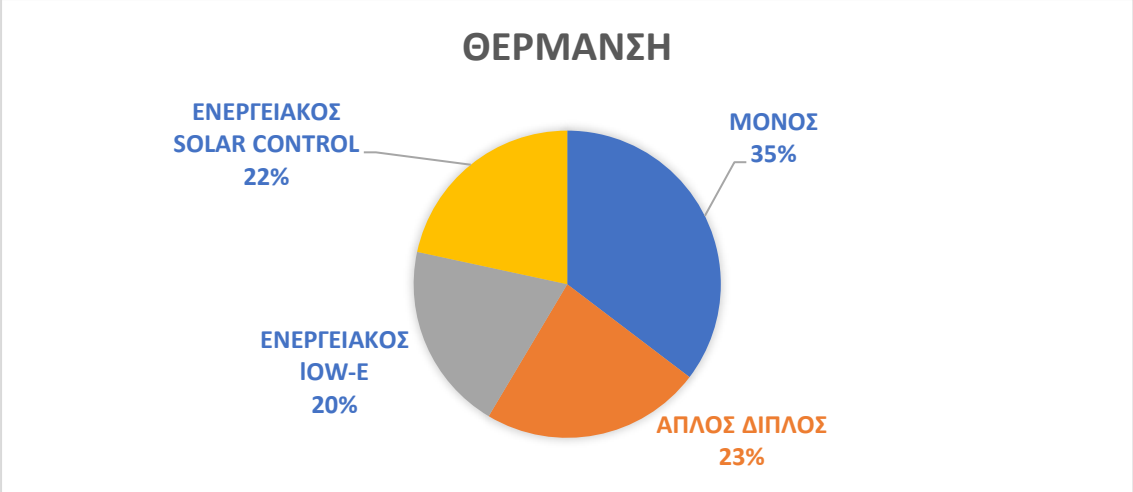
Εικόνα 37: Κλιματικά δεδομένα, Ελσίνκι weather-and-climate.com

Προσανατολισμός Γυάλινης όψης: Ανατολικός

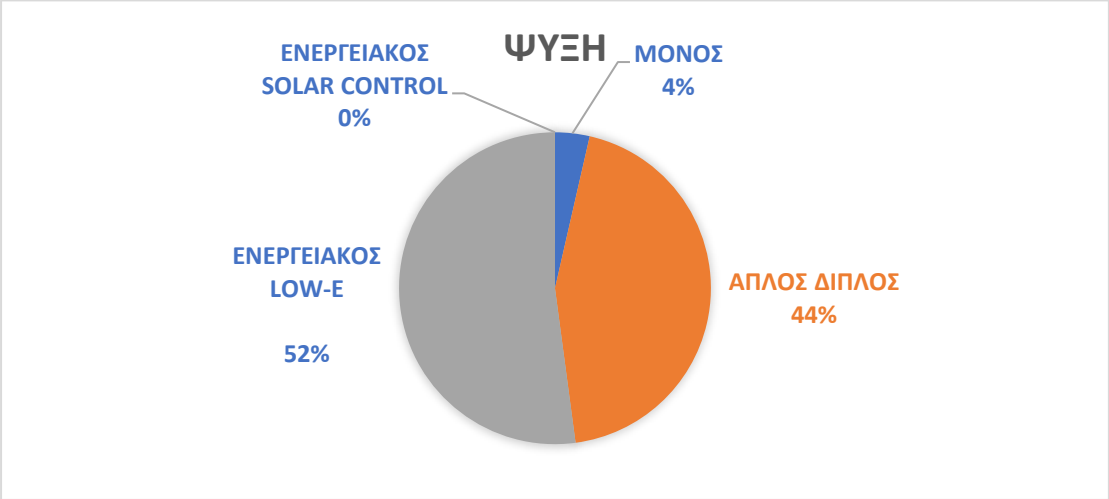
Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό, για τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου.

	Θέρμανση (kWh)	Ψύξη (kWh)	Συνολική Ενέργεια	
			(kWh)	(kWh/m2)
Μονός	9,20E+04	4,76E+01	9,20E+04	191,55
Απλός Διπλός	6,04E+04	5,88E+02	6,10E+04	127,01
Ενεργειακός Low_E	5,16E+04	6,92E+02	5,23E+04	108,89
Ενεργειακός Solar Control	5,63E+04	2,91E-02	5,63E+04	**117,22**

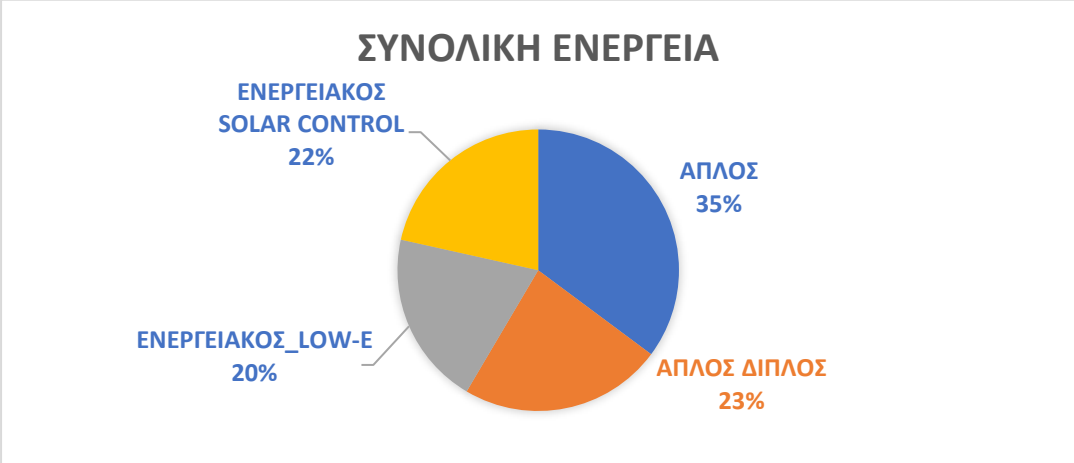
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καταναλώσεις σε θέρμανση, ψύξη και αθροιστικά μεταξύ τους, για τους υπό μελέτη τύπους υαλοπινάκων.



Εικόνα 38: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων θέρμανσης



Εικόνα 39: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης



Εικόνα 40: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων

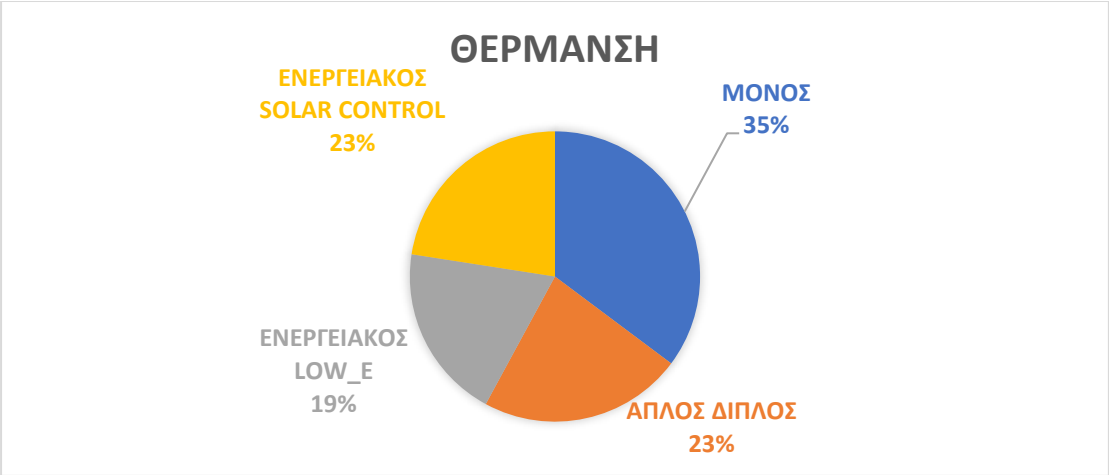
*****Βέλτιστη Επιλογή: Ενεργειακός Low-E*****

Προσανατολισμός Γυάλινης όψης: Νότος

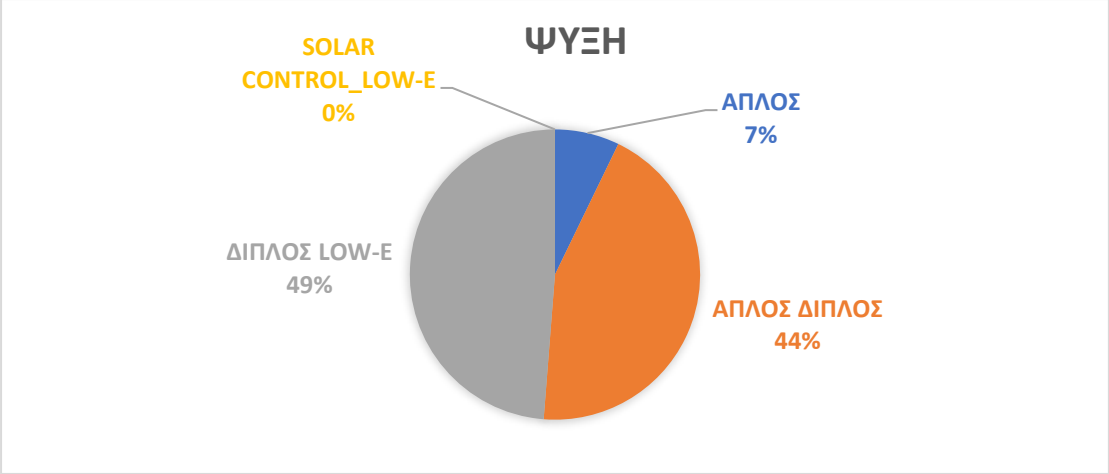
Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό, μεταβάλλοντας τον προσανατολισμό του κτιρίου, ώστε η γυάλινη όψη του να βρίσκεται στον Νότο. Επιγραμματικά στρέφοντας το κτίριο κατά 90° δεξιά.

	Θέρμανση (kWh)	Ψύξη (kWh)	Συνολική Ενέργεια kWh	kWh/m2
Μονός	8,65E+04	1,39E+02	8,66E+04	180,31
Απλός Διπλός	5,57E+04	8,49E+02	5,66E+04	117,85
Ενεργειακός Low_E	4,80E+04	9,39E+02	4,89E+04	**101,82**
Ενεργειακός Solar Control	5,54E+04	3,37E-02	5,54E+04	115,35

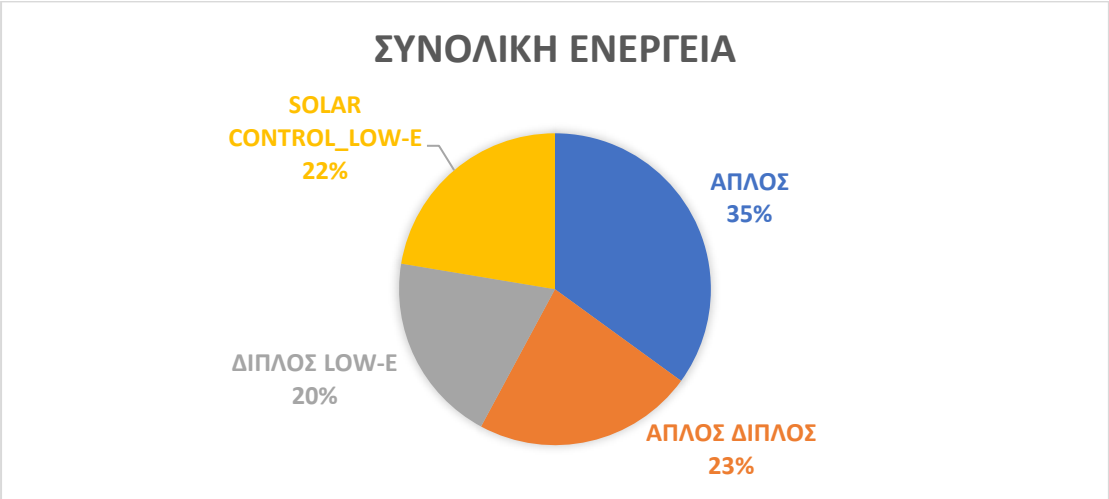
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καταναλώσεις σε θέρμανση, ψύξη και αθροιστικά μεταξύ τους, για τους υπό μελέτη τύπους υαλοπινάκων.



Εικόνα 41: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων θέρμανσης



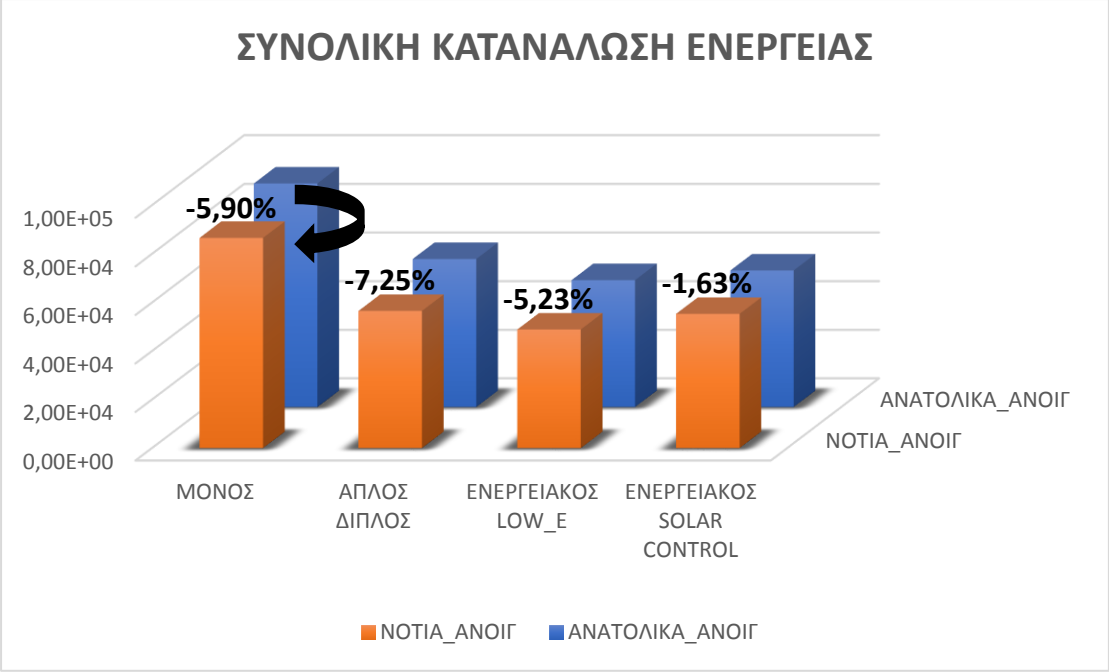
Εικόνα 42: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης



Εικόνα 43: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων

*****Βέλτιστη Επιλογή: Ενεργειακός Low-E*****

Στο κάτωθι διάγραμμα συγκρίνονται αθροιστικά οι καταναλώσεις σε ψύξη και θέρμανση, για τους εξεταζόμενους υαλοπίνακες σύμφωνα με τον προσανατολισμό του κτιρίου.



Εικόνα 44: Σύγκριση καταναλώσεων ενέργειας, συναρτήσει των υαλοπινάκων και του προσανατολισμού του κτηρίου, Ελσίνκι

Συμπεράσματα

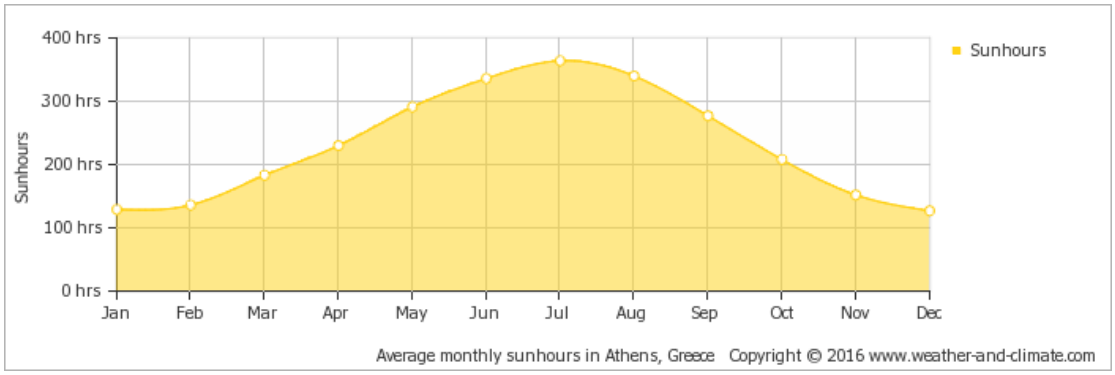
Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη κατανάλωση αφορά την θέρμανση και είναι αυτή που διαμορφώνει την συνολική, αποτέλεσμα αναμενόμενο, δεδομένου ότι πρόκειται για μια χώρα που βρίσκεται στην Α κλιματική ζώνη που επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, σχεδόν σε ετήσια βάση.
Όσον αφορά την θέρμανση πιο αποδοτικός είναι ο ενεργειακός υαλοπίνακας Low-E, ο οποίος έχει την δυνατότητα να επιτρέπει στην ακτινοβολία να εισέρχεται στο κτήριο, αλλά την εμποδίζει να εξέλθει. Ακολουθούν ο ενεργειακός Solar Control και ο απλός διπλός, ,με παρόμοια μεταξύ τους ποσοστά. Ο πρώτος, παρόλο που επιτρέπει λιγότερη ακτινοβολία να μπει, εμποδίζει την ανταλλαγή θερμοκρασιών στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον σε πολύ μεγάλο βαθμό, ενώ αντίθετα ο δεύτερος επιτρέπει περισσότερη ακτινοβολία να εισέλθει, αλλά εμποδίζει την ανταλλαγή θερμοκρασιών σε μικρότερο βαθμό. Επομένως επιτυγχάνουν τις ίδιες ενεργειακές καταναλώσεις για διαφορετικούς λόγους. Τελευταίος έρχεται ο απλός υαλοπίνακας, με μεγάλη διαφορά από τους άλλους, καθώς χαρακτηρίζεται από διπλάσια θερμοχωρητικότητα σε σχέση με τον απλό διπλό.
Όσον αφορά την ψύξη ιδανικός υαλοπίνακας είναι ο Solar Control, ο οποίος καλύπτει πλήρως τις ανάγκες για ψύξη, λόγω των ανωτέρω ιδιοτήτων του. Ακολουθεί ο απλός με πολύ μικρές ανάγκες ψύξης, καθώς η υψηλότερη κατά μέσω όρο θερμοκρασία που σημειώνεται στο Ελσίνκι είναι 23°C και το σημείο εκκίνησης του συστήματος ψύξης είναι 25°C, συνεπώς επιτρέπεται η ελεύθερη μεταφορά θερμότητας χωρίς ιδιαίτερη ενεργειακή επιβάρυνση. Τέλος, έρχονται ο Low-E και ο απλός διπλός με παρόμοια μεταξύ τους ποσοστά, καθώς και οι δύο αφήνουν μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας να εισέλθει στο εσωτερικό, χωρίς να την αφήνουν να εξέλθει δημιουργώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Βέλτιστος προσανατολισμός ανοιγμάτων για το Ελσίνκι, το οποίο βρίσκεται στο Βόρειο Ημισφαίριο είναι ο Νότιος. Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι μόνο με την αλλαγή προσανατολισμού, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας από 1.63% έως 7,25%.

4.3.2 Εφαρμογή 2ου σεναρίου: Χωροθέτηση κτηρίου στην κλιματική ζώνη Β

Περιοχή χωροθέτησης: Χαλάνδρι, Ελλάδα.

Κλιματικά δεδομένα: Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 5°C- 35°C.



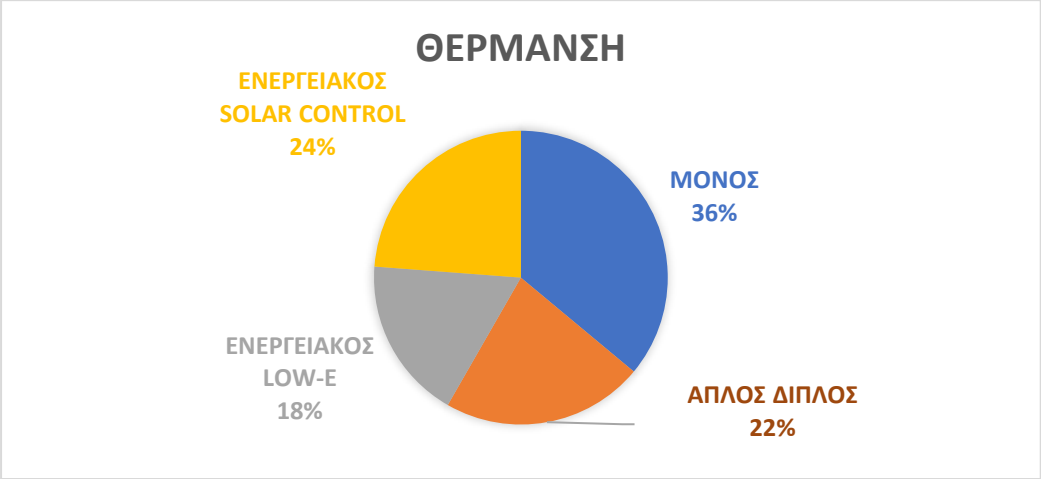
Εικόνα 45: Κλιματικά δεδομένα, Αθήνα
weather-and-climate.com

Προσανατολισμός Γυάλινης όψης: Ανατολικός

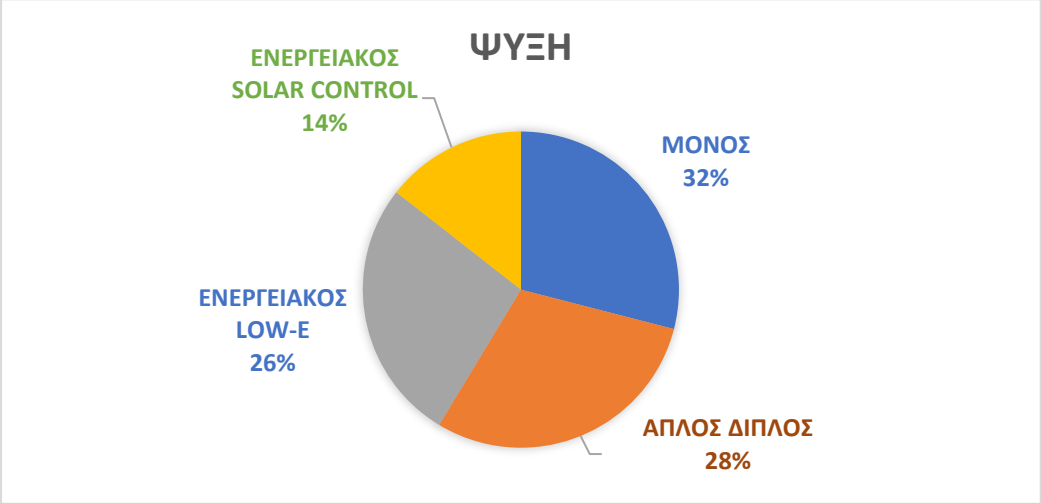
Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό, για τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου.

	Θέρμανση (kWh)	Ψύξη (kWh)	Συνολική Ενέργεια (kWh)	(kWh/m2)
ΜΟΝΟΣ	2,36E+04	1,38E+04	3,73E+04	77,66
ΑΠΛΟΣ ΔΙΠΛΟΣ	1,45E+04	1,35E+04	2,80E+04	58,30
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ LOW-E	1,17E+04	1,25E+04	2,42E+04	50,39
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ SOLAR CONTROL	1,56E+04	6,71E+03	2,23E+04	46,43

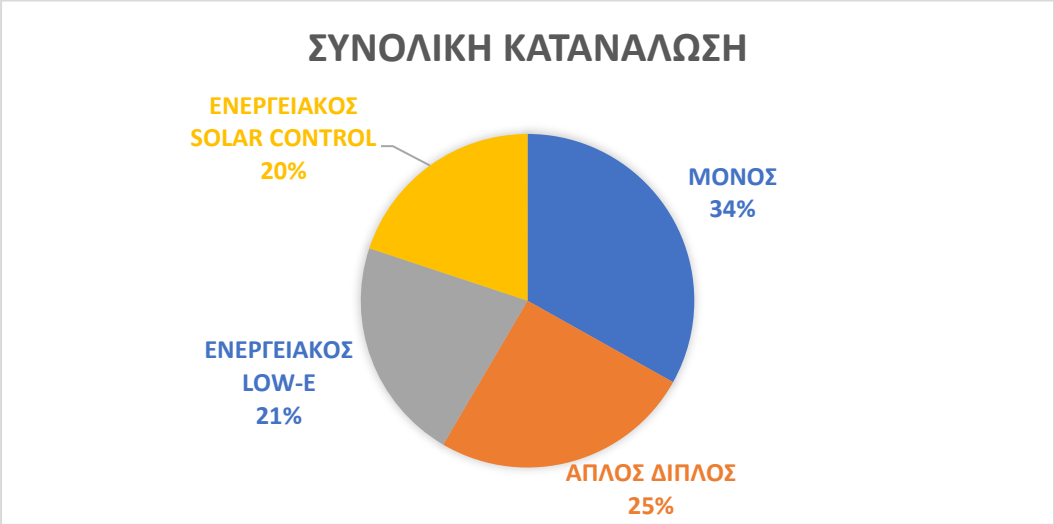
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καταναλώσεις σε θέρμανση, ψύξη και αθροιστικά μεταξύ τους, για τους υπό μελέτη τύπους υαλοπινάκων.



Εικόνα 46: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων θέρμανσης



Εικόνα 47: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης



Εικόνα 48: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων

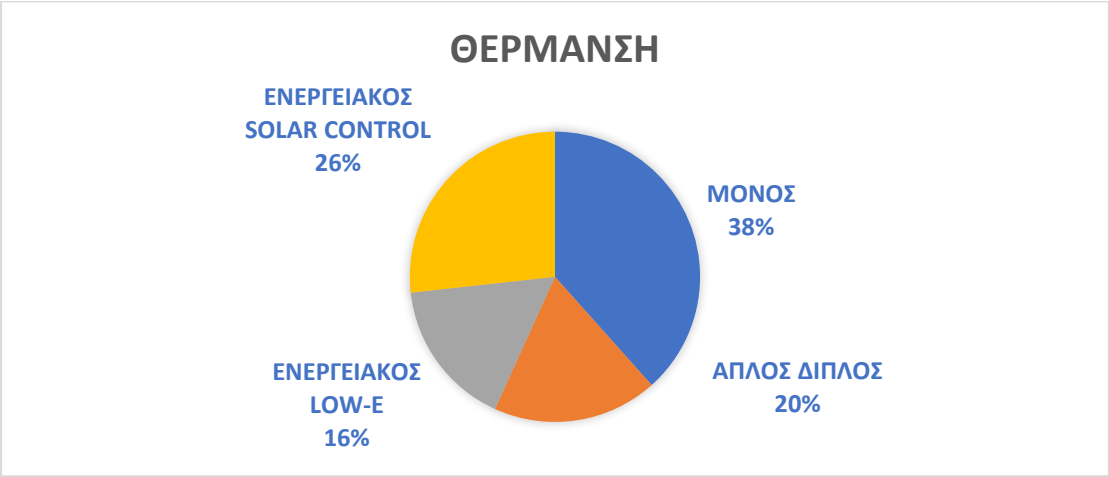
***** Βέλτιστη επιλογή ενεργειακός υαλοπίνακας solar control*****

Προσανατολισμός Γυάλινης όψης: Νότιος

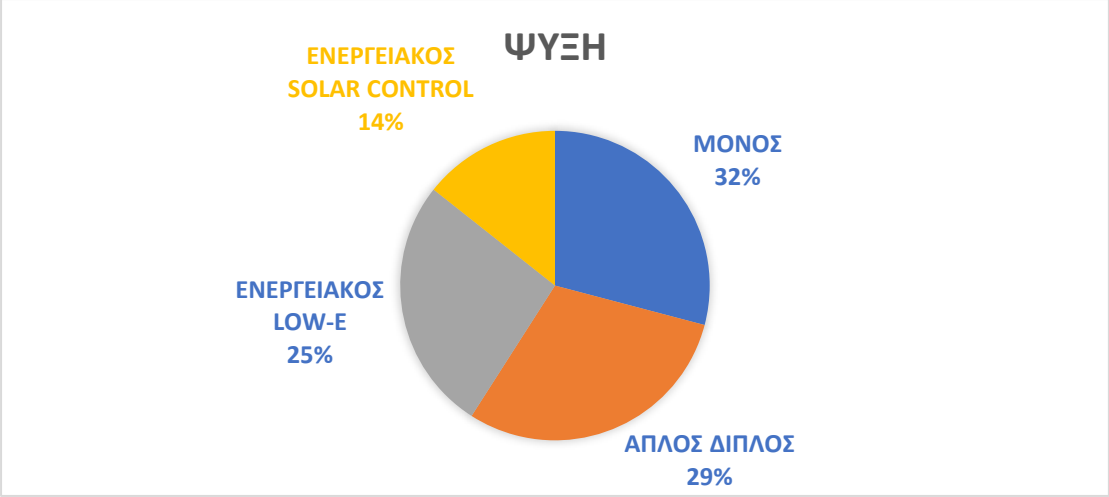
Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό, μεταβάλλοντας τον προσανατολισμό του κτιρίου, ώστε η γυάλινη όψη του να βρίσκεται στον Νότο. Επιγραμματικά στρέφοντας το κτίριο κατά 90° δεξιά.

	Θέρμανση	Ψύξη	Συνολική	Ενέργεια
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/m2)
ΜΟΝΟΣ	1,89E+04	1,33E+04	3,22E+04	67,04
ΑΠΛΟΣ ΔΙΠΛΟΣ	9,03E+03	1,37E+04	2,27E+04	47,26
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ LOW-E	8,09E+03	1,22E+04	2,02E+04	42,06
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ SOLAR CONTROL	1,31E+04	6,56E+03	1,97E+04	41,02

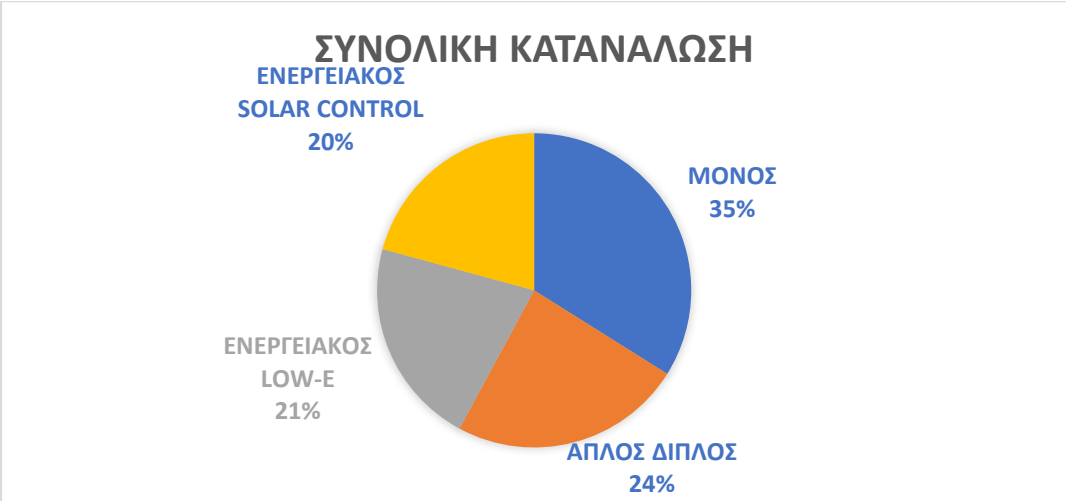
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καταναλώσεις σε θέρμανση, ψύξη και αθροιστικά μεταξύ τους, για τους υπό μελέτη τύπους υαλοπινάκων.



Εικόνα 49: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων θέρμανσης



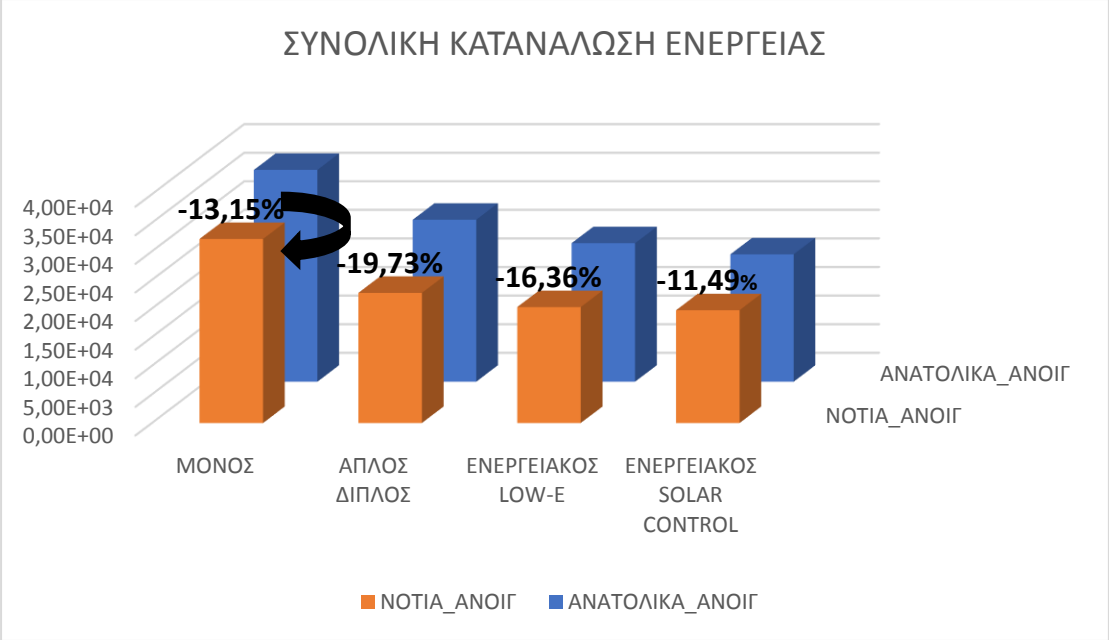
Εικόνα 50: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης



Εικόνα 51:Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων

***** Βέλτιστη επιλογή: ενεργειακός υαλοπίνακας solar control και Low-E*****

Στο κάτωθι διάγραμμα συγκρίνονται αθροιστικά οι καταναλώσεις σε ψύξη και θέρμανση, για τους εξεταζόμενους υαλοπίνακες σύμφωνα με τον προσανατολισμό του κτιρίου



Εικόνα 52: Σύγκριση καταναλώσεων ενέργειας, συναρτήσει των υαλοπινάκων και του προσανατολισμού του κτηρίου, Αθήνα

Συμπεράσματα

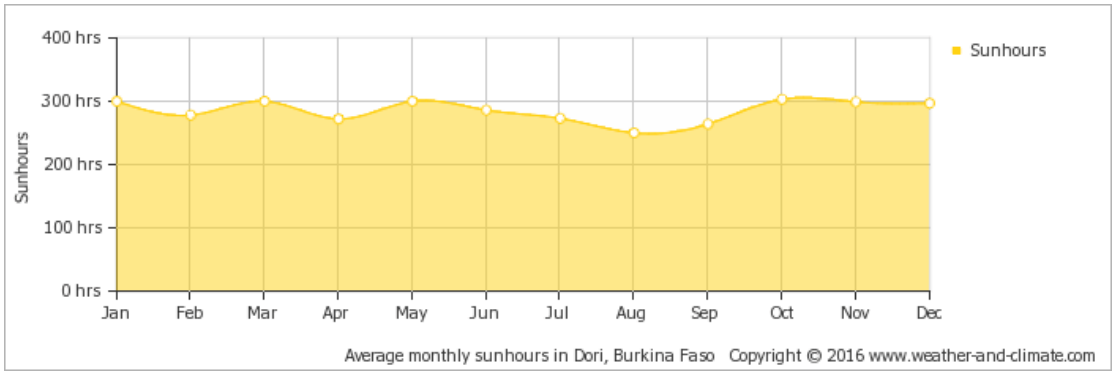
Παρατηρείται ότι η κατανάλωση για ψύξη και θέρμανση κυμαίνεται περίπου στα ίδια επίπεδα, επομένως η συνολική κατανάλωση διαμορφώνεται και από τις δύο καταναλώσεις. Το αποτέλεσμα είναι λογικό, δεδομένου ότι πρόκειται για μια χώρα που βρίσκεται στην Β κλιματική ζώνη και οι συνθήκες είναι εύκρατες.
Όσον αφορά την θέρμανση, πιο αποδοτικός είναι ο ενεργειακός υαλοπίνακας Low-E, ο οποίος έχει την δυνατότητα να επιτρέπει στην ακτινοβολία να εισέρχεται στο κτήριο, αλλά την εμποδίζει να εξέλθει. Ακολουθούν ο ενεργειακός Solar Control και ο απλός διπλός, ,με παρόμοια μεταξύ τους ποσοστά, όπως και στο προηγούμενο σενάριο και τελευταίος έρχεται ο απλός υαλοπίνακας, με μεγάλη διαφορά από τους άλλους, καθώς επιτρέπει μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας να εισέλθει στο εσωτερικό.
Όσον αφορά την ψύξη ιδανικός υαλοπίνακας είναι ο Solar Control, ο οποίος εξοικονομεί διπλάσια ενέργεια από τον αμέσως επόμενο καθώς δεν επιτρέπει σε μεγάλο βαθμό, στις ακτίνες του ηλίου να εισέλθουν στο εσωτερικό, ενώ παράλληλα δυσχεραίνει την μεταφορά θερμότητας, από την θερμότερη εξωτερική προς την ψυχρότερη εσωτερική πλευρά,. Ακολουθούν οι τρεις υπόλοιποι με παρόμοια ποσοστά.

Βέλτιστος προσανατολισμός ανοιγμάτων για την Ελλάδα, η οποία βρίσκεται στο Βόρειο Ημισφαίριο είναι ο Νότιος. Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι μόνο με την αλλαγή προσανατολισμού, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας από 11.49% έως 19.73%. Τέλος προτεινόμενος υαλοπίνακας και στους δύο προσανατολισμούς είναι ο Solar Control και δεύτερη επιλογή αποτελεί ο Low-E.

4.3.3 Εφαρμογή 3ου σεναρίου: Χωροθέτηση κτηρίου στην κλιματική ζώνη Δ

Περιοχή χωροθέτησης: Ουαγκαντουγκού, Μπουρκίνα Φάσο (Δυτική Αφρική).

Κλιματικά δεδομένα: Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 15°C- 42°C.



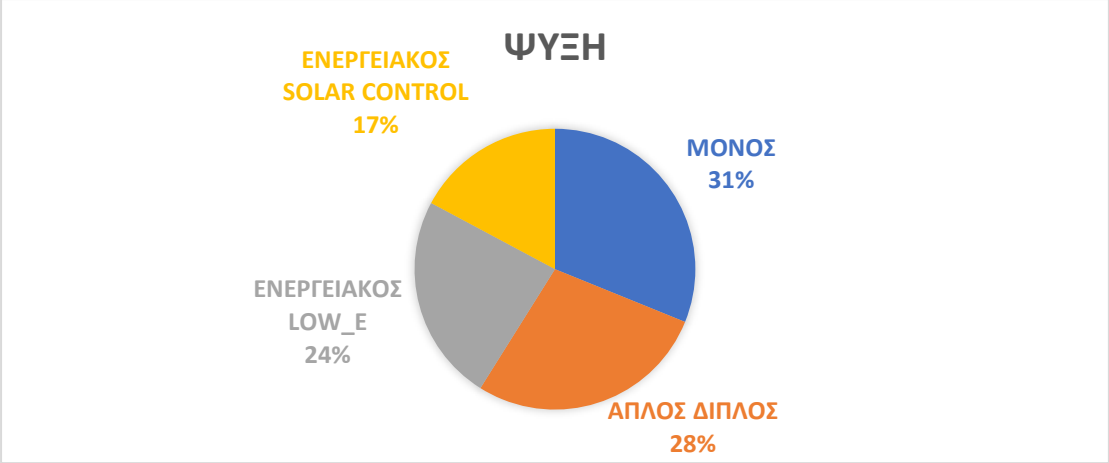
Εικόνα 53: Κλιματικά δεδομένα, Μπουρκίνα Φάσο
weather-and-climate.com

Προσανατολισμός Γυάλινης όψης: Ανατολικός

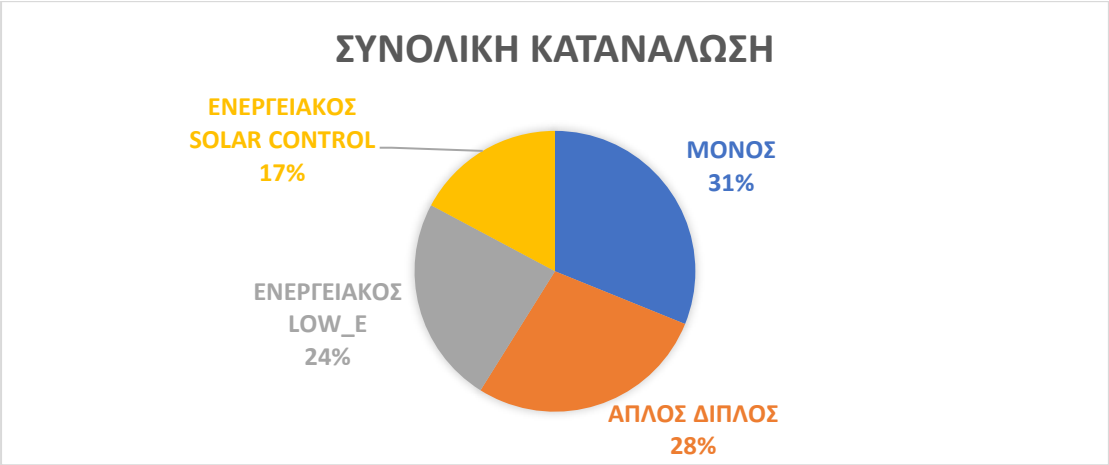
Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό, για τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου.

	Θέρμανση	Ψύξη	Συνολική Ενέργεια	
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/m2)
ΜΟΝΟΣ	7,00E+00	5,41E+04	5,41E+04	112,64
ΑΠΛΟΣ ΔΙΠΛΟΣ	1,14E+01	4,85E+04	4,85E+04	100,98
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ LOW_E	1,78E+01	4,24E+04	4,24E+04	88,28
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ SOLAR CONTROL	4,37E+01	2,96E+04	2,96E+04	**61,63**

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καταναλώσεις σε θέρμανση, ψύξη και αθροιστικά μεταξύ τους, για τους υπό μελέτη τύπους υαλοπινάκων.



Εικόνα 54: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης



Εικόνα 55: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων

******Βέλτιστη επιλογή: Ενεργειακός υαλοπίνακας SOLAR CONTROL******

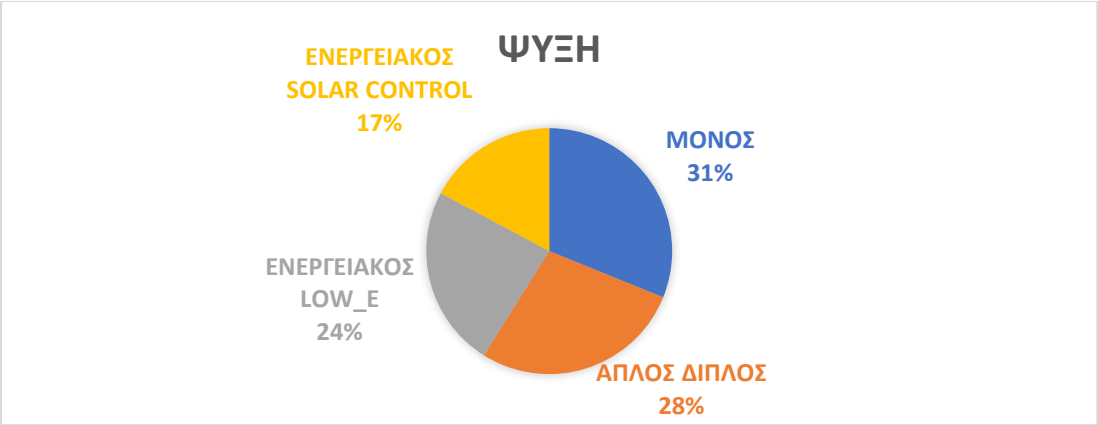
Προσανατολισμός Γυάλινης όψης: Νότιος

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό, μεταβάλλοντας τον προσανατολισμό του κτιρίου, ώστε η γυάλινη όψη του να βρίσκεται στον Νότο. Επιγραμματικά στρέφοντας το κτίριο κατά 90° δεξιά.

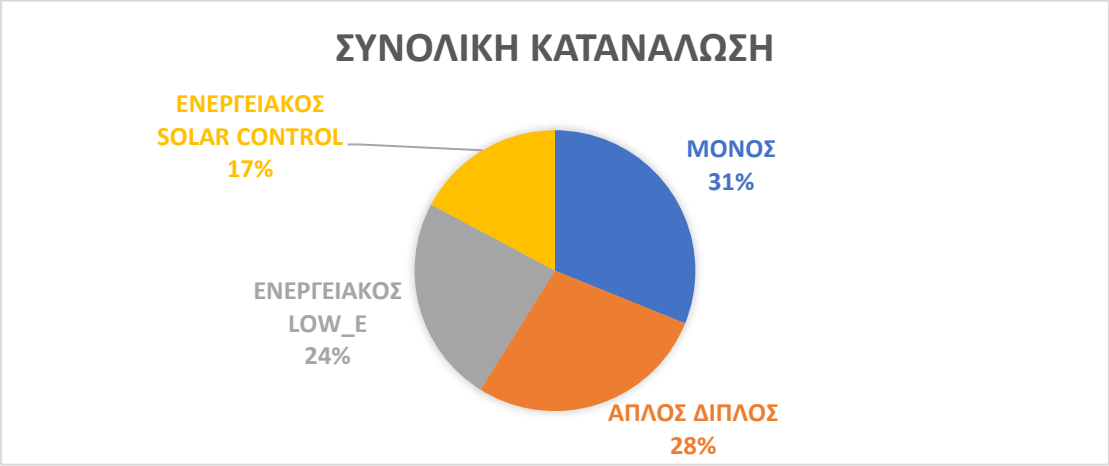
	Θέρμανση	Ψύξη	Συνολική Ενέργεια	
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/m2)
ΜΟΝΟΣ	1,00E+01	5,36E+04	5,37E+04	111,81
ΑΠΛΟΣ ΔΙΠΛΟΣ	1,38E+01	4,79E+04	4,79E+04	99,73

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ LOW_E	1,78E+01	4,12E+04	4,12E+04	85,78
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ SOLAR CONTROL	3,72E+01	2,96E+04	2,97E+04	61,84

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καταναλώσεις σε θέρμανση, ψύξη και αθροιστικά μεταξύ τους, για τους υπό μελέτη τύπους υαλοπινάκων.



Εικόνα 56: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης



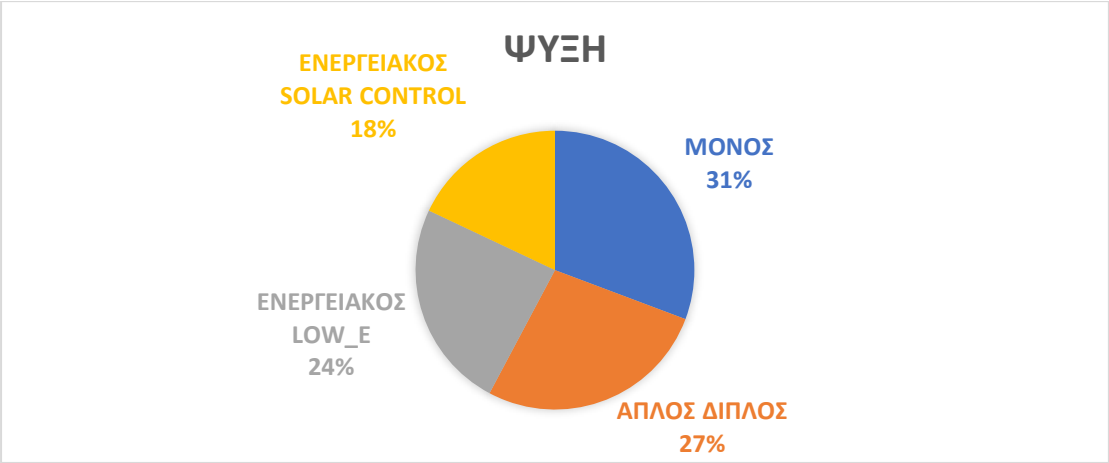
Εικόνα 57: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων

Προσανατολισμός Γυάλινης όψης: Βορράς

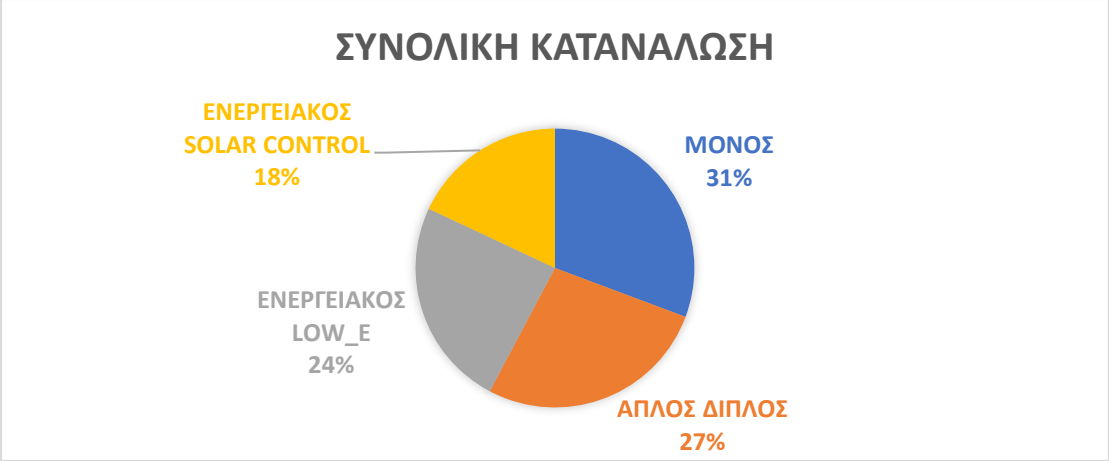
Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό, μεταβάλλοντας τον προσανατολισμό του κτιρίου, ώστε η γυάλινη όψη του να βρίσκεται στον Βορρά. Επιγραμματικά στρέφοντας το κτίριο κατά 90° αριστερά.

	Θέρμανση	Ψύξη	Συνολική Ενέργεια	
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/m2)
ΑΠΛΟΣ	2,77E+01	4,45E+04	4,45E+04	92,65
ΑΠΛΟΣ ΔΙΠΛΟΣ	3,74E+01	3,92E+04	3,92E+04	81,62
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ LOW_E	4,83E+01	3,51E+04	3,51E+04	73,08
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ SOLAR CONTROL	7,72E+01	2,60E+04	2,61E+04	**54,34**

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καταναλώσεις σε θέρμανση, ψύξη και αθροιστικά μεταξύ τους, για τους υπό μελέτη τύπους υαλοπινάκων.

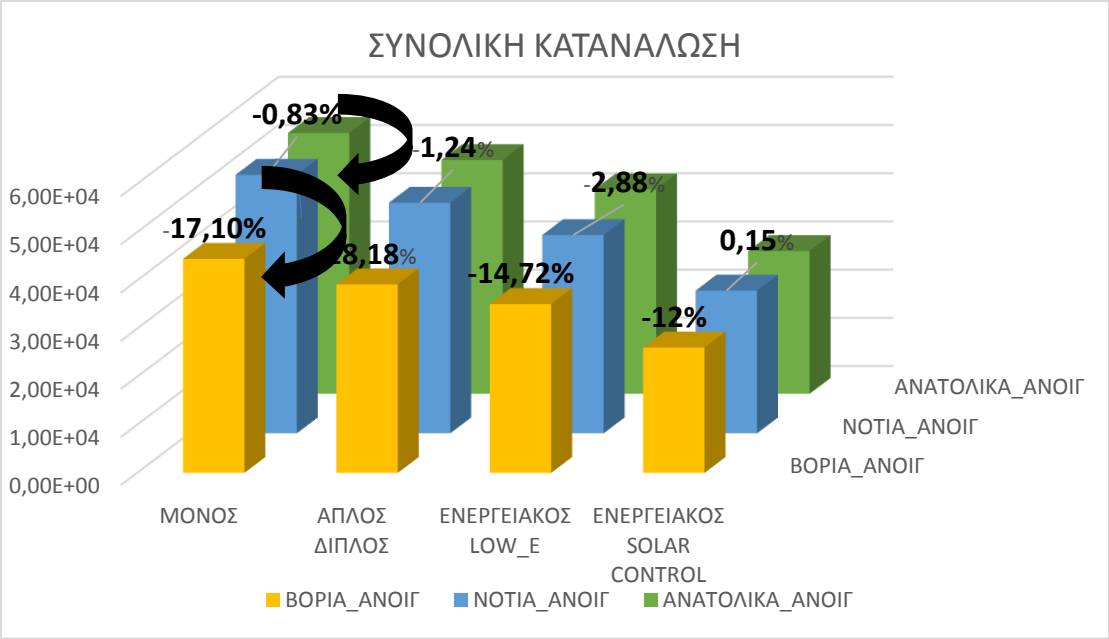


Εικόνα 58: Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των καταναλώσεων ψύξης



Εικόνα 59:Σύγκριση υαλοπινάκων συναρτήσει των συνολικών καταναλώσεων

Στο κάτωθι διάγραμμα συγκρίνονται αθροιστικά οι καταναλώσεις σε ψύξη και θέρμανση, για τους εξεταζόμενους υαλοπίνακες σύμφωνα με τον προσανατολισμό του κτιρίου



Εικόνα 60: Σύγκριση καταναλώσεων συναρτήσει του προσανατολισμού του κτιρίου

Συμπεράσματα

Παρατηρείται ότι η σχεδόν εξ' ολοκλήρου η κατανάλωση αφορά την ψύξη και είναι αυτή που διαμορφώνει την συνολική, αποτέλεσμα αναμενόμενο, δεδομένου ότι πρόκειται για μια χώρα που βρίσκεται στην Δ κλιματική ζώνη και επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, σχεδόν σε ετήσια βάση. Ανάγκες για θέρμανση εμφανίζονται μόνο τον Ιανουάριου και θεωρούνται αμελητέες.

Επομένως όσον αφορά την ψύξη ιδανικός υαλοπίνακας είναι ο Solar Control, ο οποίος όπως αναμένονταν ενδείκνυται για το ιδιαίτερο θερμό κλίμα της χώρας, καθώς λόγω της μεγάλης ηλιοφάνειας οι καταναλώσεις για ψύξη είναι αυξημένες και το κτίριο χρίζει ανάγκη προστασίας από την συνεχή θερμότητα του ηλίου. Ακολουθούν οι υπόλοιποι υαλοπίνακες με μικρές μεταξύ τους διαφορές οι οποίοι αφήνουν μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας να εισέλθει στο εσωτερικό, υπερθερμαίνοντάς το.

Βέλτιστος προσανατολισμός ανοιγμάτων για το Ουαγκαντουγκού, το οποίο βρίσκεται στο Νότιο Ημισφαίριο είναι ο Βορράς. Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι μόνο με την αλλαγή προσανατολισμού, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας από 12% έως 18.18%. Ο ανατολικός και ο νότιος προσανατολισμός επιφέρουν παρόμοια κατανάλωση ενέργειας.

5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Συνοπτικά τα παραπάνω αποτελέσματα ενσωματώθηκαν στον πίνακα που ακολουθεί. Να σημειωθεί ότι οι εν λόγω καταναλώσεις, αναφέρονται στον βέλτιστο προσανατολισμό κάθε πόλης.

	Ελσίνκι	**Αθήνα**	**Ουαγκαντουγκού**
	(kw/m2/year)	(kw/m2/year)	(kw/m2/year)
Μονός	180,31	67,04	92,65
Απλός Διπλός	117,85	47,26	81,62
Ενεργειακός Low-E	**101,82**	42,06	73,08
Ενεργειακός Solar Control	115,35	**41,02**	**54,34**

Το κυριότερο συμπεράσμα που εξάγεται, είναι ότι με μοναδική παρέμβαση την αλλαγή του υαλοπίνακα, από μονό σε ενεργειακό, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 40%. Ιδιαίτερα σημαντικό ποσοστό, δεδομένου ότι η αντικατάσταση των υαλοπινάκων, είναι εύκολα υλοποιήσιμη παρέμβαση, με μικρή περίοδο αποπληρωμής. Ακόμη, η βελτίωση της θερμικής άνεσης είναι αξιοσημείωτα αισθητή κατά την διάρκεια όλου του έτος, δεδομένου ότι εξαφανίζονται τα φαινόμενα συμπύκνωσης υδρατμών στα παράθυρα τον χειμώνα και μειώνεται η υπερθέρμανση του χώρου το καλοκαίρι. Κυρίως όσον αφορά τις κατοικίες, όπου λόγω δυσμενούς οικονομικής κατάστασης, οι συνθήκες εντός του κτηρίου απέχουν από τις επιθυμητές, η υλοποίηση αυτής της δράσης, κρίνεται απαραίτητη, καθώς αποτελεί σημαντικό βήμα προς την καταπολέμηση του φαινομένου, της ενεργειακής αποστέρησης. Το επόμενο συμπέρασμα που προκύπτει, αφορά στην απαίτηση ενέργειας κάθε πόλης. Περισσότερο ενεργοβόρος πόλη είναι το Ελσίνκι, με σχεδόν διπλάσια διαφορά, από την αμέσως επόμενη, που είναι η Ουαγκαντουγκού και ακολουθεί η Ελλάδα με σχετικά μικρή διαφορά από την τελευταία. Τόσο στο Ελσίνκι,

όσο και στην Ουαγκαντουγκού η κατανάλωση, αναφέρεται εξ΄ ολοκλήρου σχεδόν μόνο στην θέρμανση και στην ψύξη αντίστοιχα. Αντίθετα στην Αθήνα, η συνολική κατανάλωση διαμορφώνεται και από τις δύο. Ωστόσο είναι απαραίτητο να τονιστεί, ότι για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων, θεωρήθηκαν ίδιες συνθήκες άνεσης για όλες τις πόλης, γεγονός που στην πραγματικότητα δεν ισχύει, καθότι οι κάτοικοι τους έχουν προσαρμοστεί στο αντίστοιχο κλίμα και οι επιθυμητές θερμοκρασιακές συνθήκες είναι διαφορετικές. Ακόμη, ο προσανατολισμός είναι άλλος ένας παράγοντας που συνηγορεί στην ορθολογικότερη κατανάλωση ενέργειας. Για το λόγο αυτό άλλωστε, αποτελεί κυρίαρχο στοιχείο του βιοκλιματικό σχεδιασμό και εντάσσεται στο πλαίσιο της οικολογικής στρατηγικής. Βέβαια, όπως προκύπτει εύλογα, ο ως άνωθεν παράγοντας δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε υφιστάμενα κτήρια, παρά μόνο λαμβάνεται υπόψη κατά την διαδικασία σχεδιασμού. Τέλος, όπως αναμένονταν οι βέλτιστες επιλογές υαλοπίνακα είναι οι ενεργειακοί, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν άλλωστε και την εξέλιξη της τεχνολογίας. Σε ψυχρά κλίματα, τοποθετούνται υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής, ενώ για τα θερμά κλίματα οι υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου, για τους λόγους που αναφέρονται στα προηγούμενα κεφάλαια, όπου αναλύονται η σύνθεση και οι δυνατότητες τους.

5.1 Προτάσεις και προοπτικές

Στην παρούσα μελέτη, πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια ανάδειξης των διαθέσιμων τύπων υαλοπινάκων και του αντίστοιχου αντίκτυπου που επιφέρει καθένας από αυτούς, στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων. Η τεχνολογία έχει σημειώσει άλματα στην εξέλιξη του εν λόγω δομικού υλικού, σε σύντομο χρονικό διάστημα και αναμένεται ακόμα πιο αισιόδοξο το μέλλον, με την εφαρμογή του νόμου που αφορά στην τοποθέτηση ενεργειακών υαλοπινάκων, με αντικατάσταση των παλαιών, γεγονός που θα διαμορφώσει κατάλληλες συνθήκες για την αύξηση της ζήτησης. Επομένως, πρόκειται σύντομα, να συναντήσουμε μία εντονότερη επικέντρωση σε θέματα σχεδιασμού παραθύρων, με γνώμονα την ενεργειακή απόδοση, με τους κατασκευαστές γυαλιού να επενδύουν στη συνεχή έρευνα για επιστρώσεις και βαφές με βελτιωμένα χαρακτηριστικά.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Advancement of Electrochromic Windows, Pier Final Project Report, , Eleanor S. Lee and Stephen E. Selkowitz,Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), March 2006

Double Glazing in Southern Countries, XVII/4.1031/99-33, Τελική Έκθεση, Δεκέμβριος 2000, Πρόγραμμα SAVE, της DG XVII-Γενικής Διεύθυνσης για την Ενέργεια, της Ευρωπαϊκής Επιτροπής

Electronically tintable glass: the future of high performance facades is here, Helen Sanders, Lou Podbelski, Session WB9 –WB9.1 Fenestration 1

Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Glass Industry, Ernst Worrell, Christina Galitsky, Eric Masanet, and Wina Graus, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory March 2008

Europe's buildings under the microscope' –by Buildings Performance Institute Europe (BPIE) October 2011

Europe's flat glass industry in a competitive low carbon economy, glassforeurope April,2018

Future Advanced Windows for Zero-Energy Homes, Joshua Apte Dariush Arasteh, P.E Yu Joe Huang, December 2002

Glass Handbook G.James Austalia, *October 2000*

GLASS, GLASS TECHNOLOGY AND MANUFACTURING PROCESS, GLASSCUTTER educational European programme

Pilkington Glass Handbook 2010

Αρχές Ασφαλείας Εφαρμογής Υαλοπινάκων, Πανελλήνια Ομοσπονδία Εμπόρων και Βιοτεχνών Υαλοπινάκων

Ενεργειακός σχεδιασμός και ενεργειακή απόδοση κτιρίων -γενικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, βιβλιοθήκη ΤΕΕ Ιούλιος 2016

Η νανοτεχνολογία στην κατασκευή, κτίριο τεχνικές σελίδες, Αναστασιάδου Σ., πολιτικός μηχανικός, τεύχος 1/2009

Κλάδος κατασκευής γυαλιού και προϊόντα από γυαλί, Εθνικό Παρατηρητήριο για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις, Ιούλιος 2010

Διαδικτυακοί τόποι

www.4green.gr

www.commercialwindows.org

www.cres.gr

www.glassforeurope.com

www.lifo.gr

www.prismaglass.gr

www.saint-gobain-building-glass.com

www.trnsys.com/

yalodomi.gr

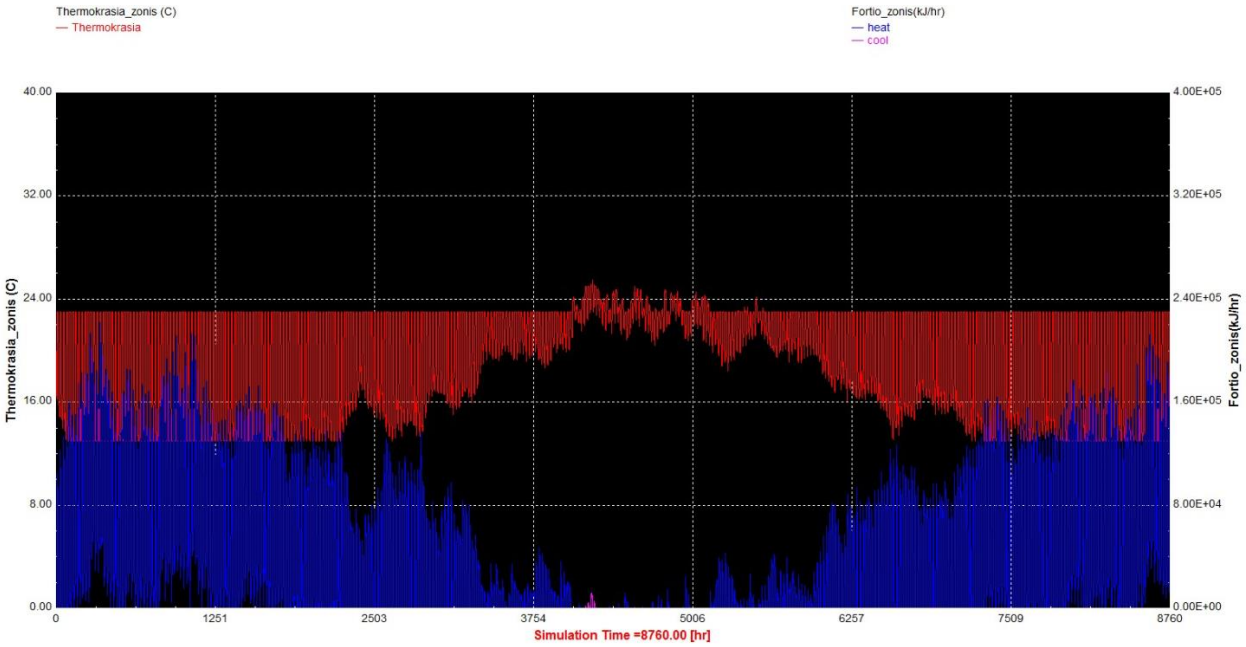
sel.me.wisc.edu/

weather-and-climate.com

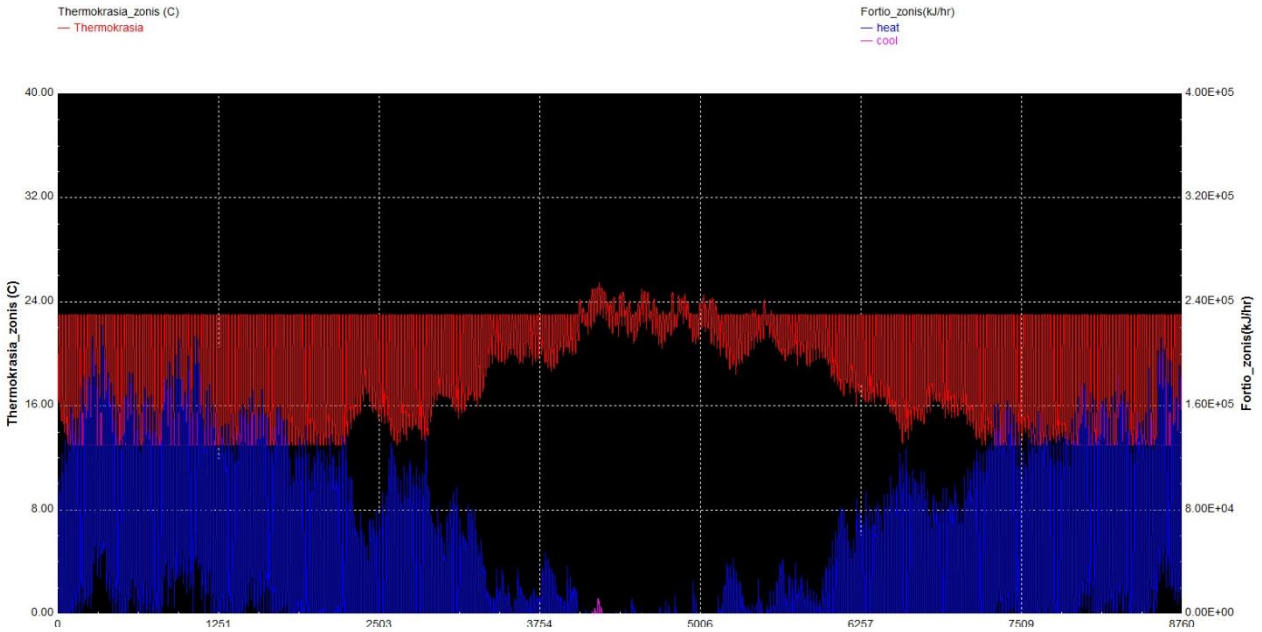
7.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Περιοχή χωροθέτησης κτηρίου : Ελσίνκι

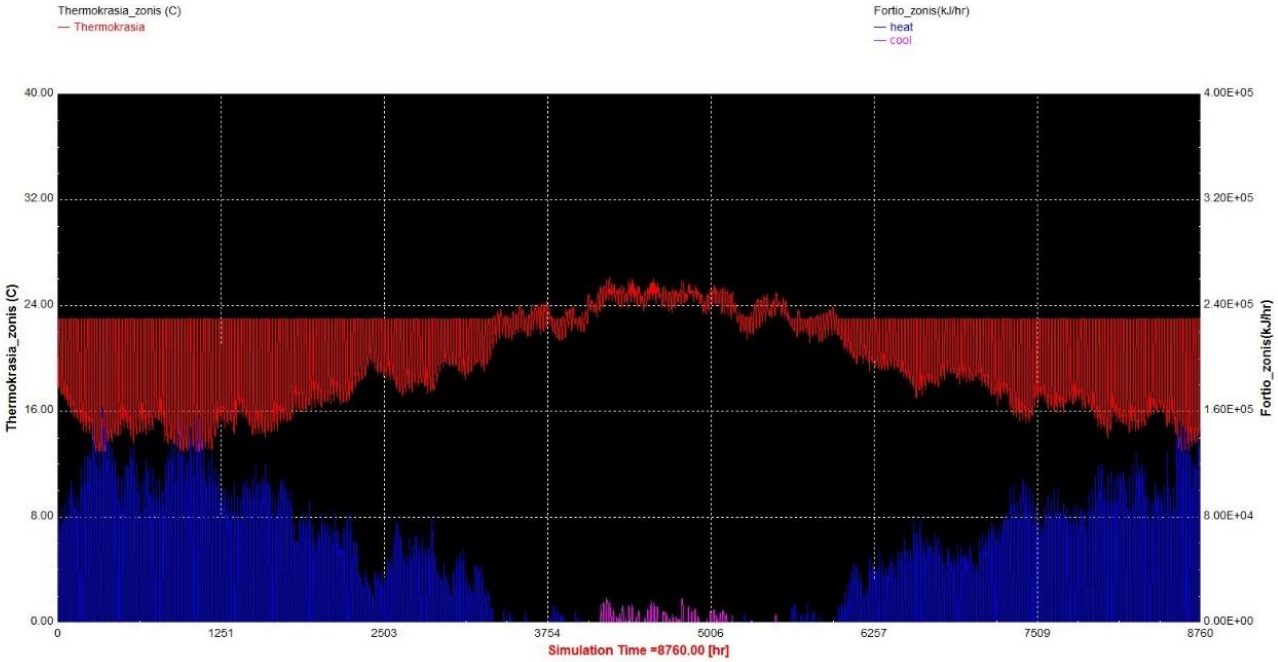
- **Προσανατολισμός γυάλινης όψης: Ανατολή**



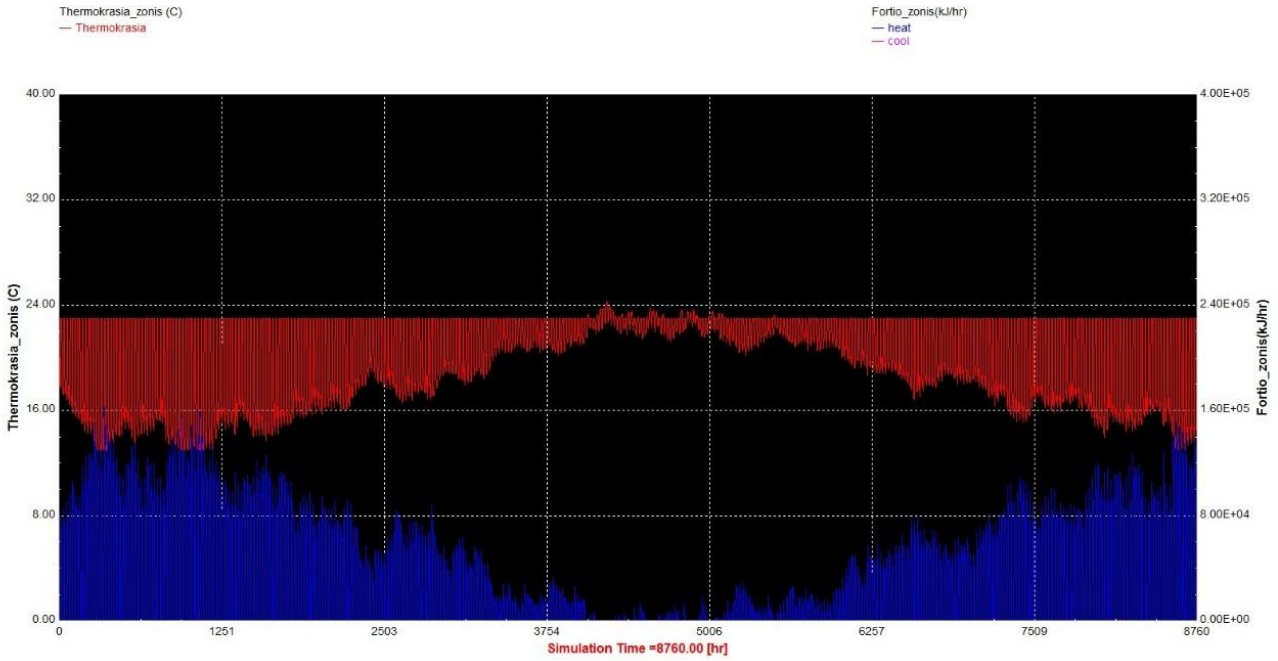
Μονός



Απλός διπλός

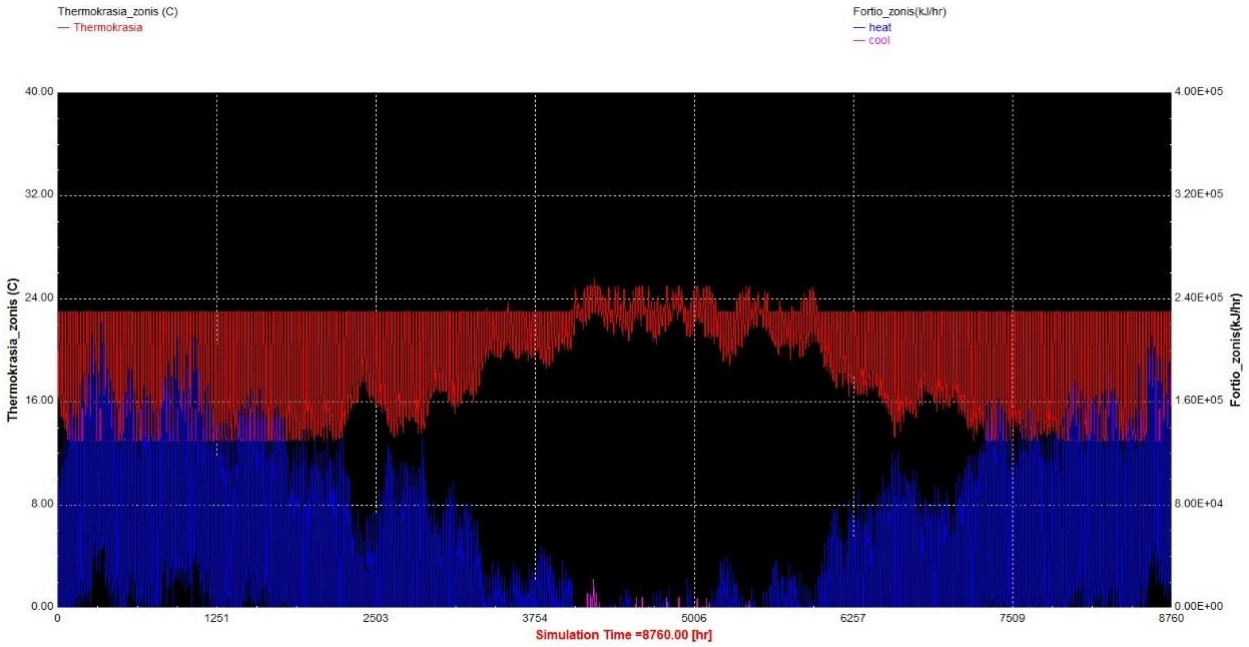


Ενεργειακός_Low-E

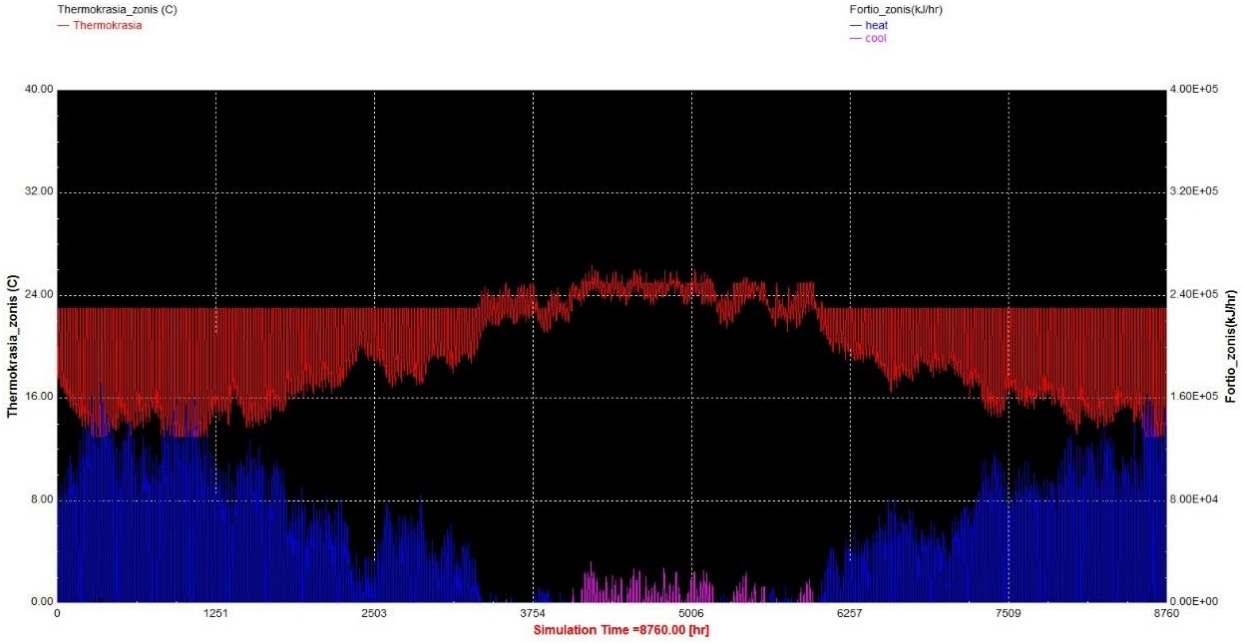


Ενεργειακός_Solar Control

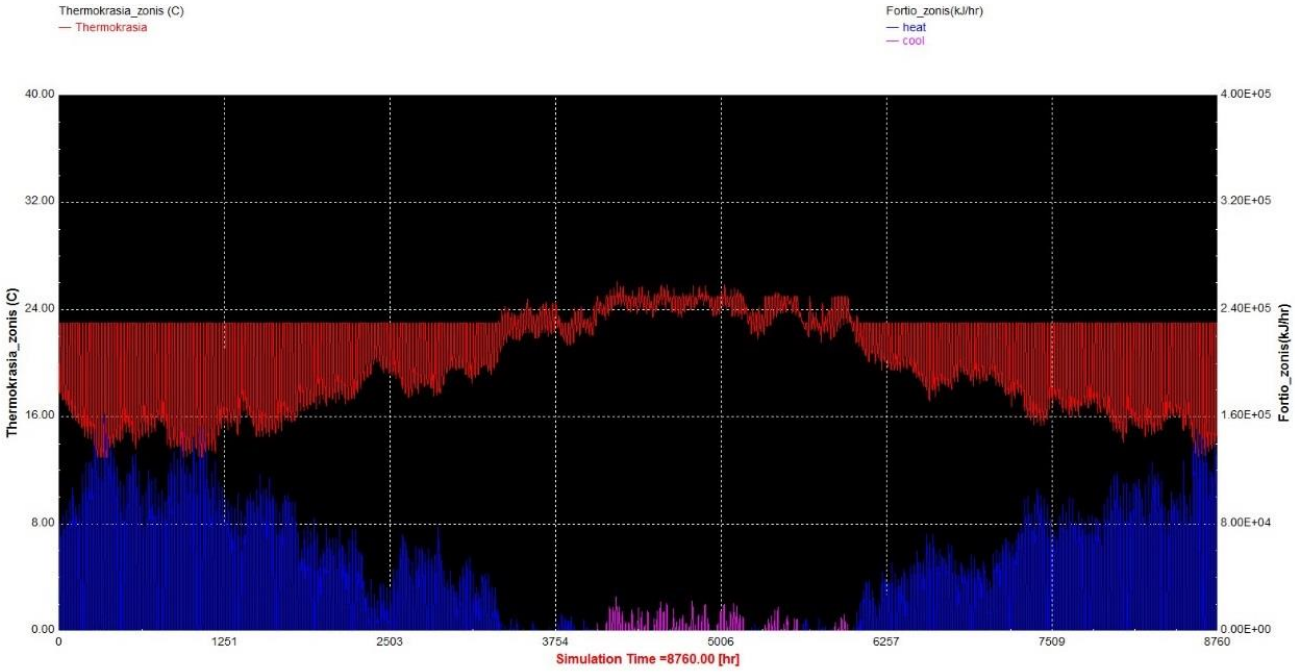
- **Προσανατολισμός γυάλινης όψης: Νότιος**



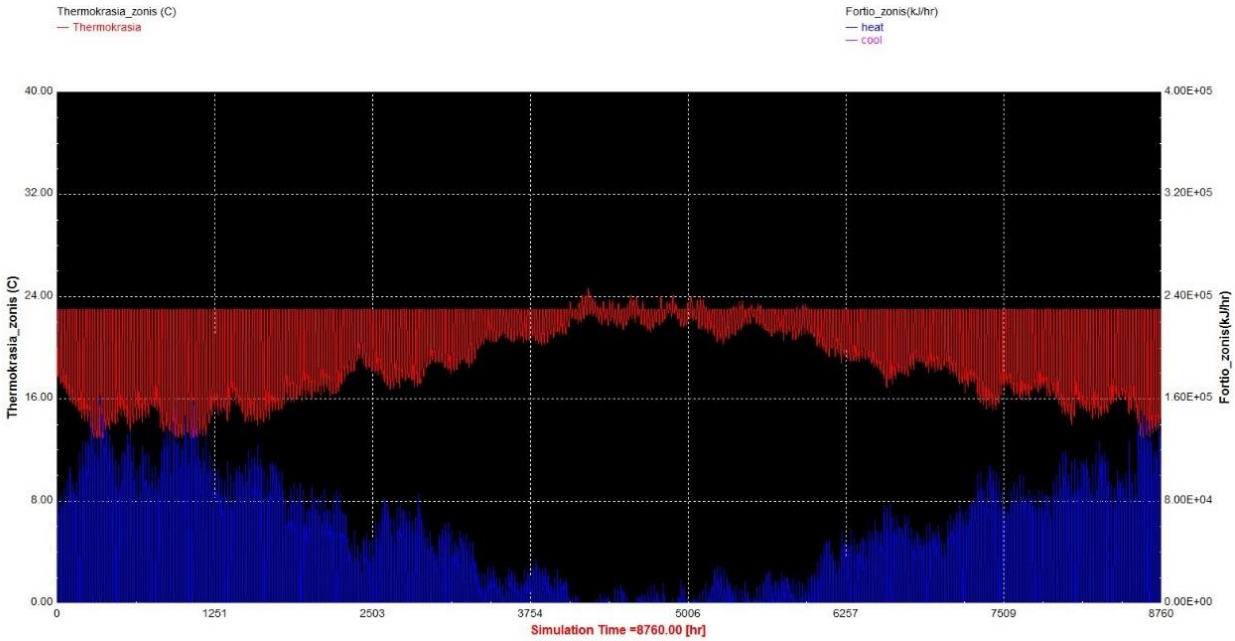
Μονός



Απλός Διπλός



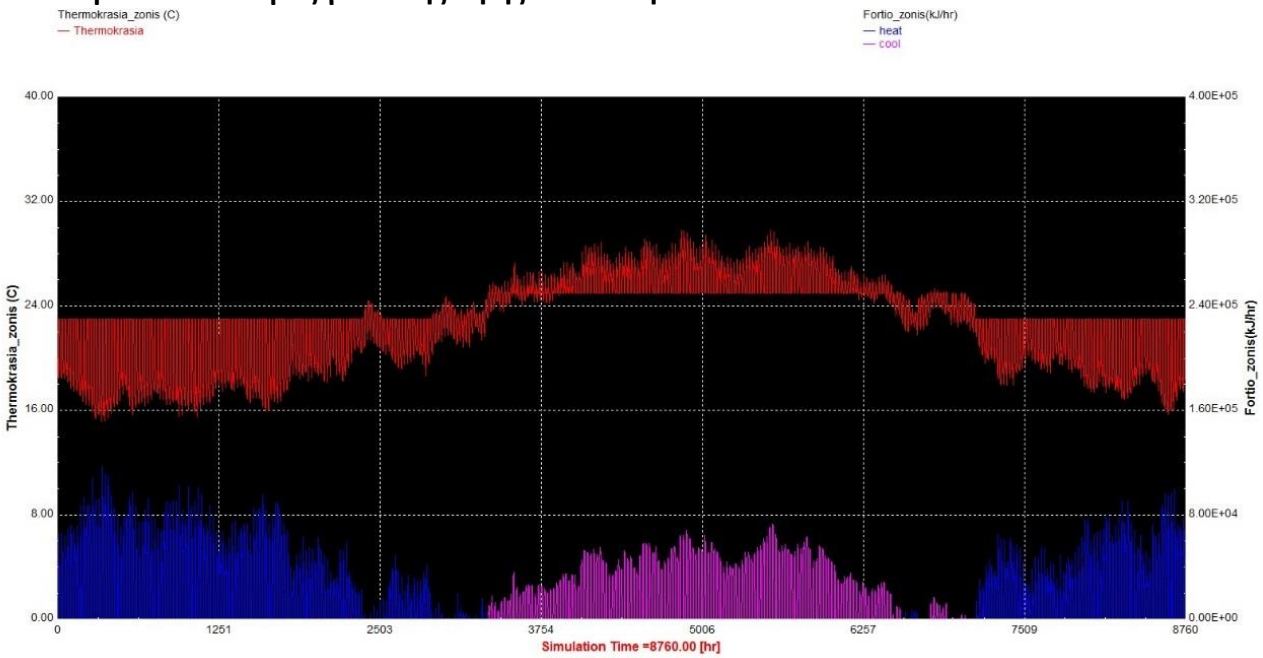
Ενεργειακός_Low-E



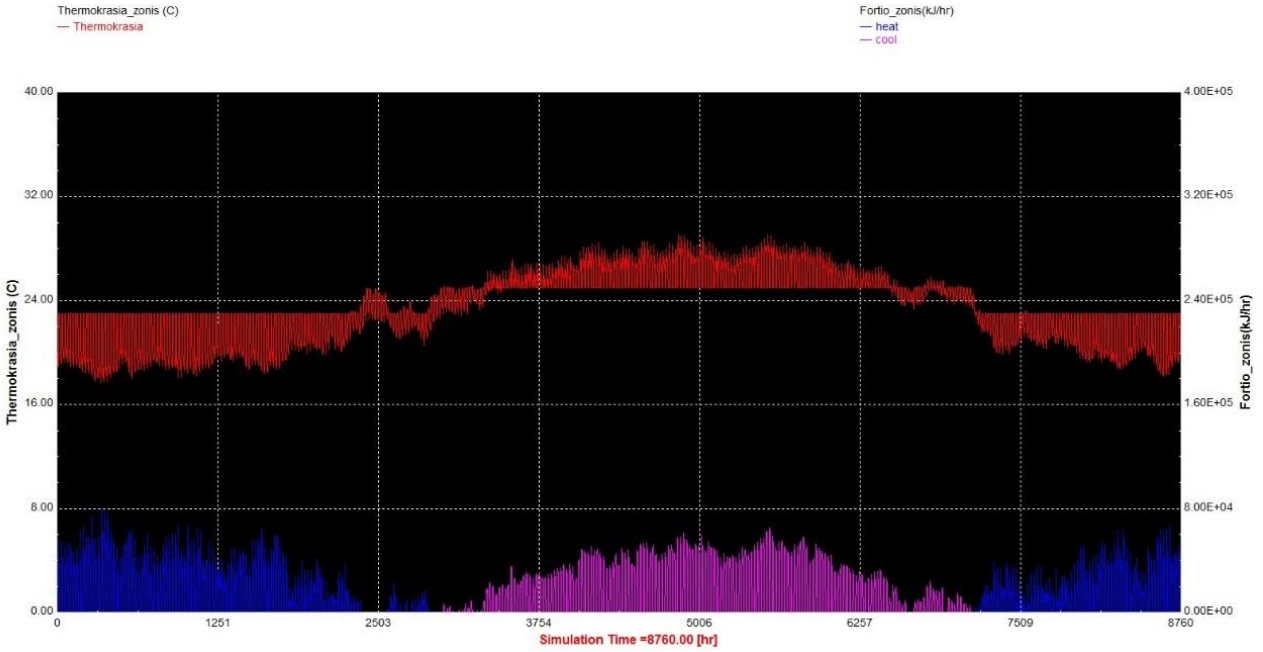
Ενεργειακός_Solar Control

Περιοχή χωροθέτησης κτηρίου : Ελλάδα

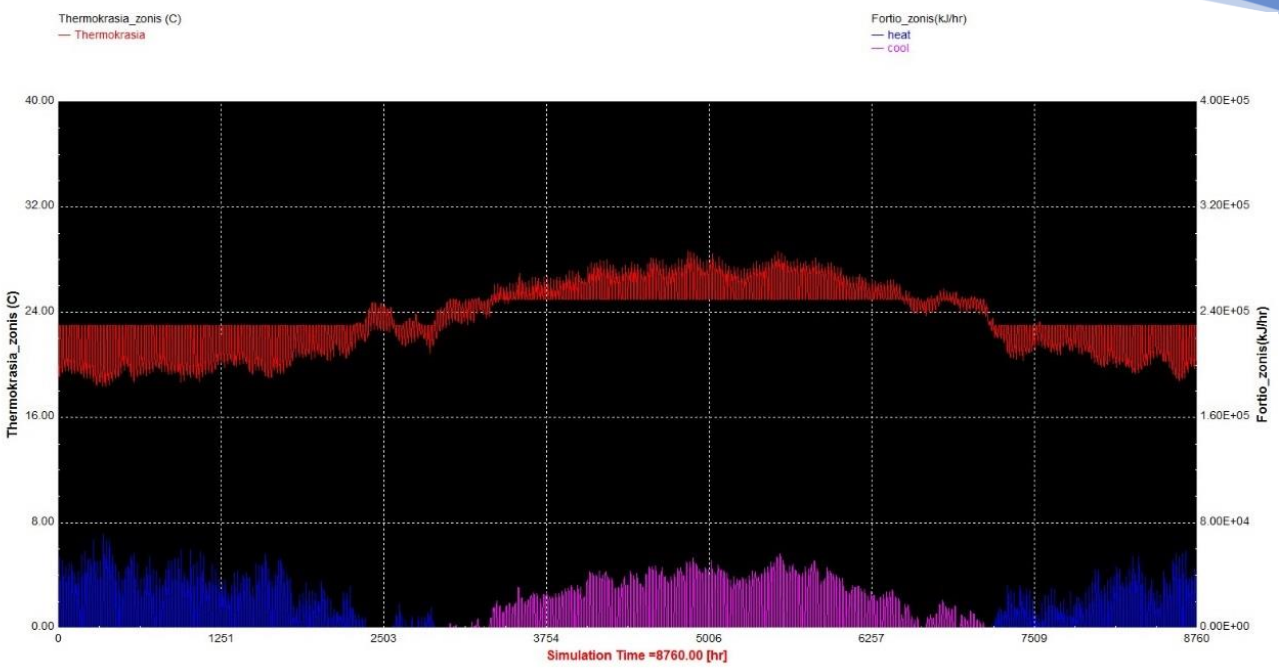
- **Προσανατολισμός γυάλινης όψης: Ανατολή**



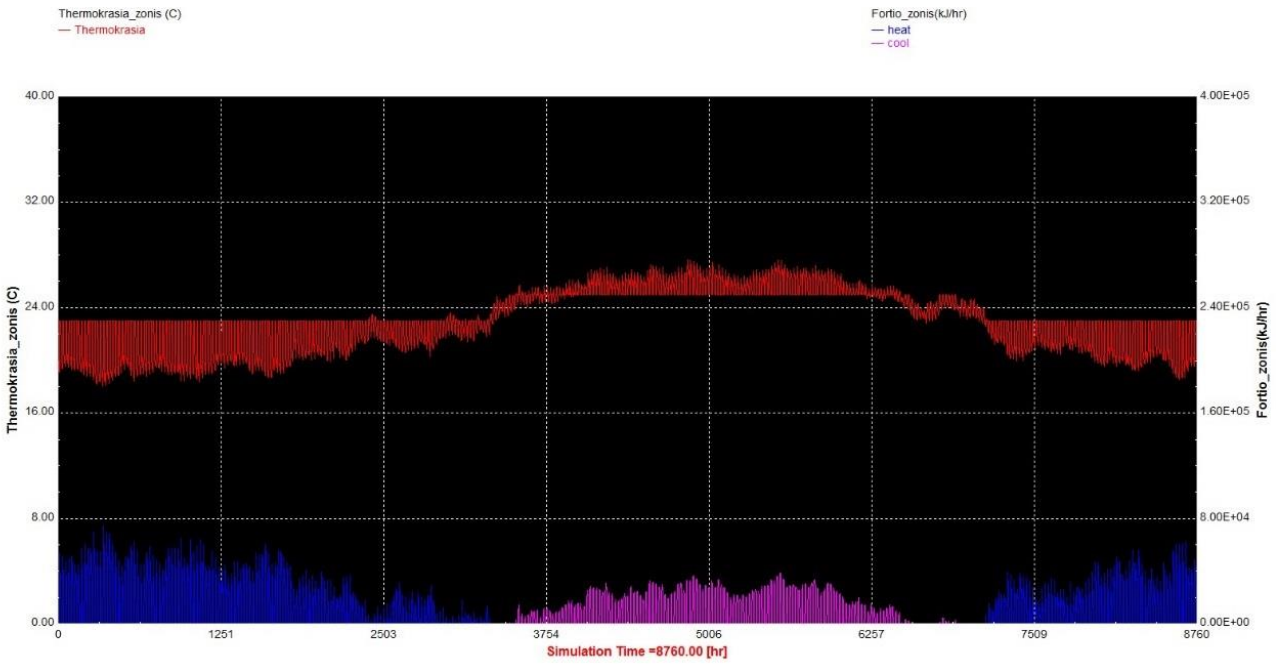
Μονός



Απλός Διπλός

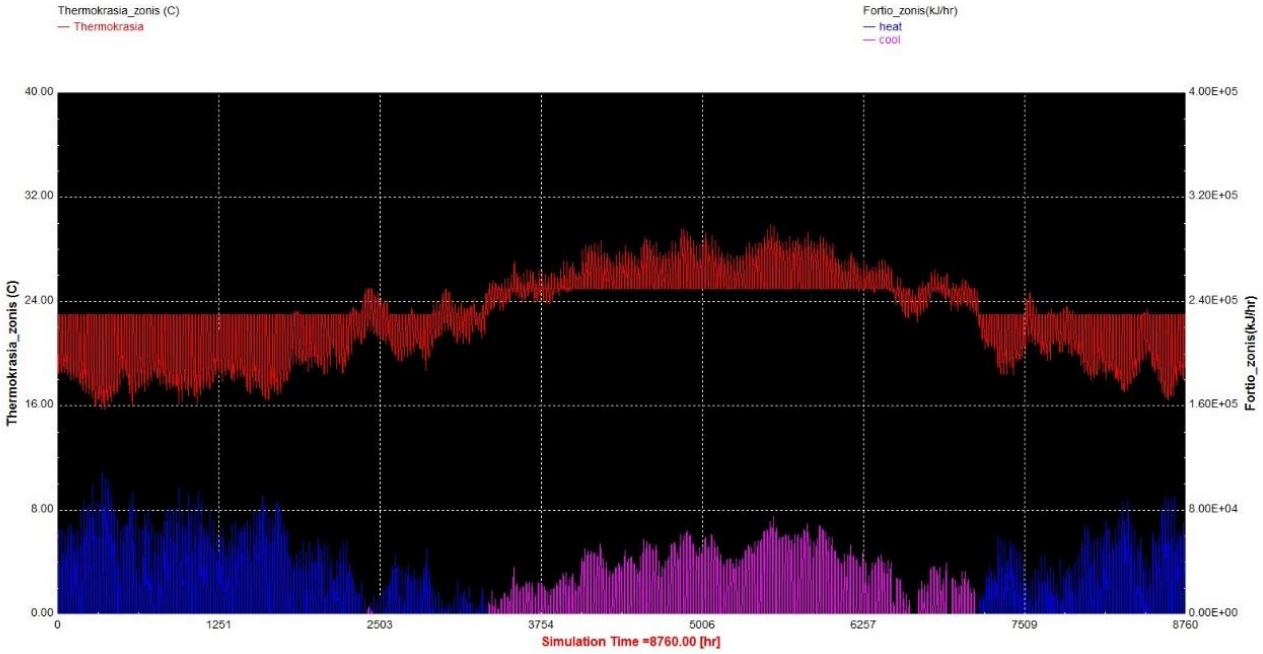


Ενεργειακός Low-E

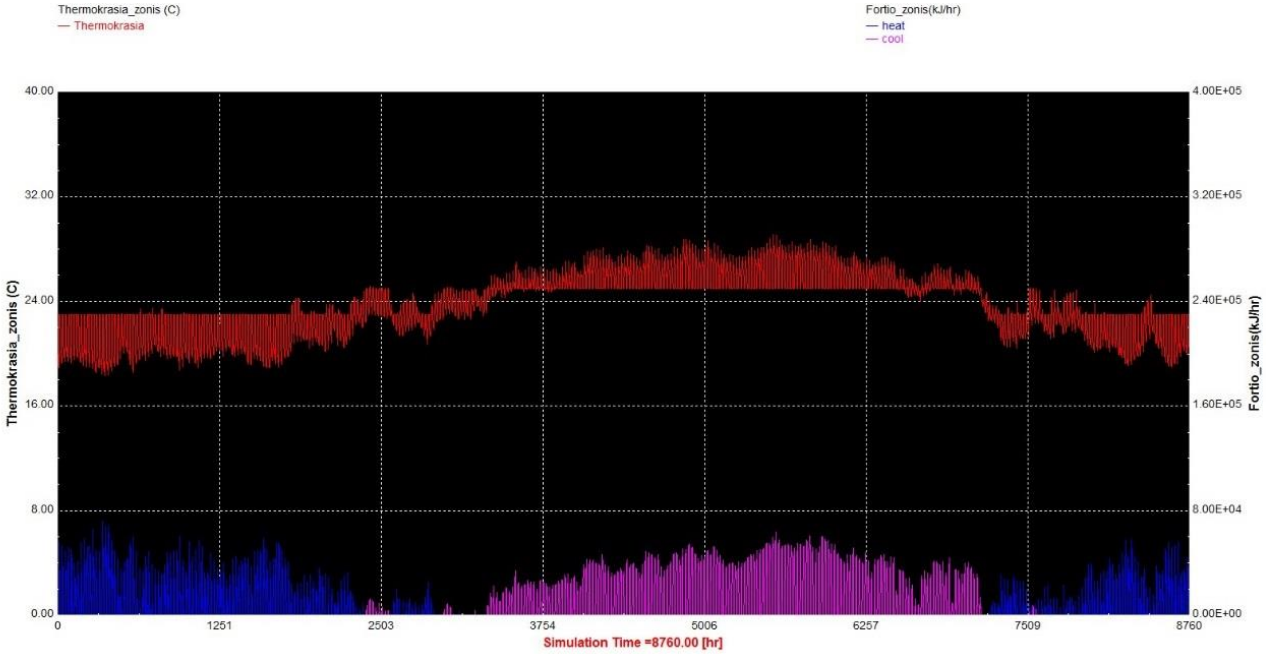


Ενεργειακός_Solar Control

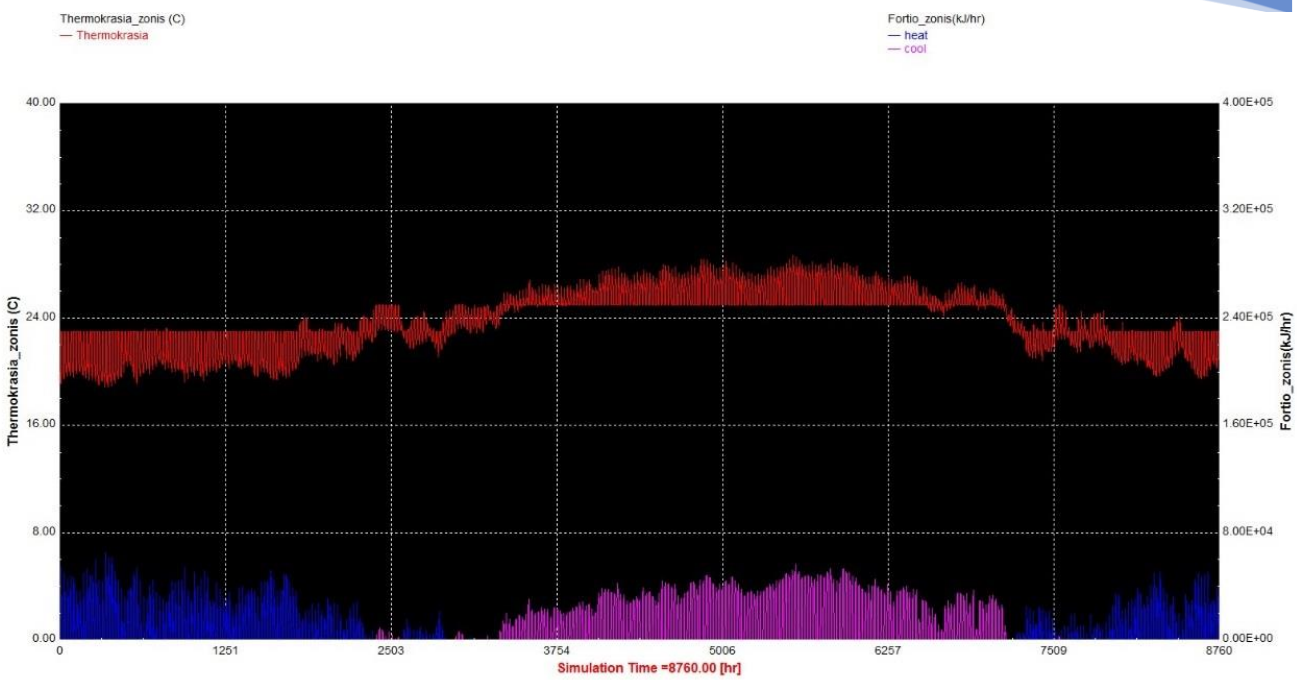
- **Προσανατολισμός γυάλινης όψης: Νότος**



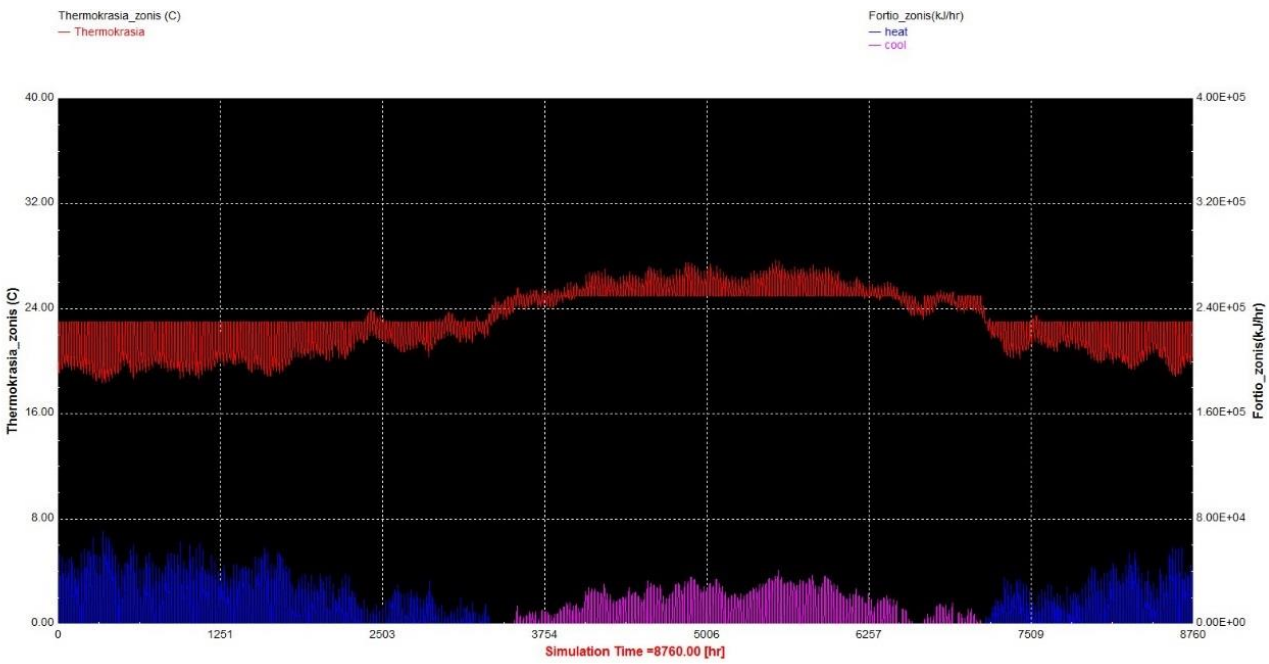
Μονός



Απλός Διπλός



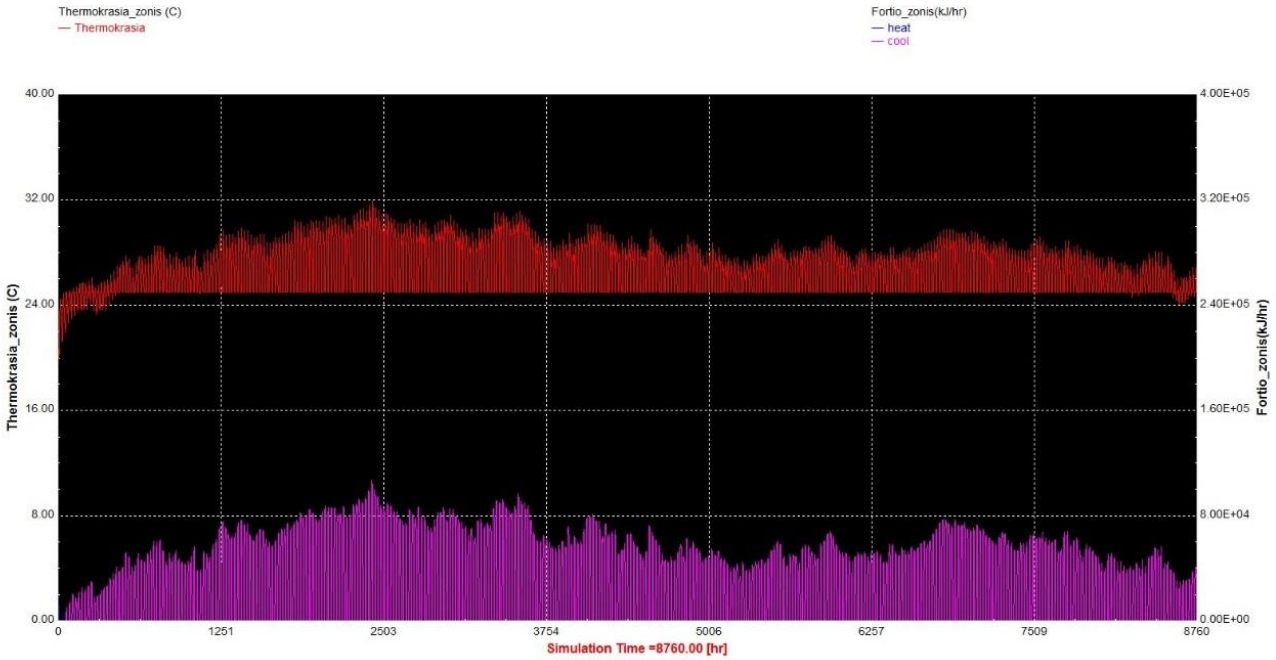
Ενεργειακός_Low-E



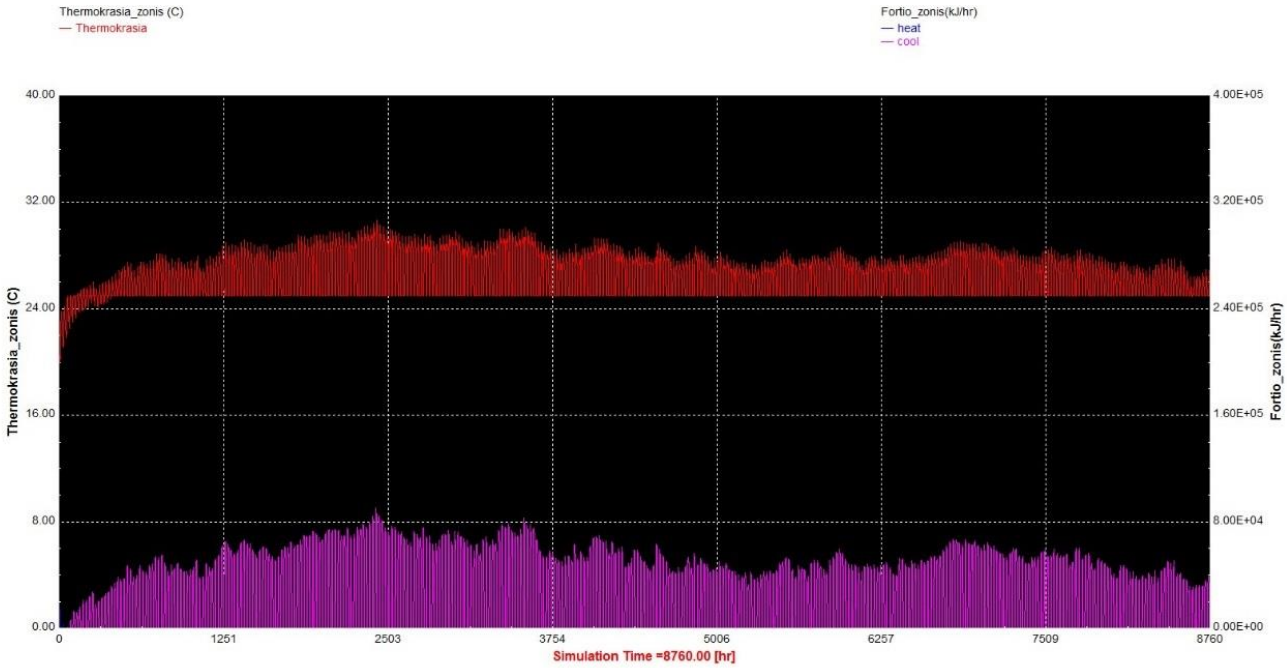
Ενεργειακός_Solar Control

Περιοχή χωροθέτησης κτηρίου : Ουαγκαντούρου

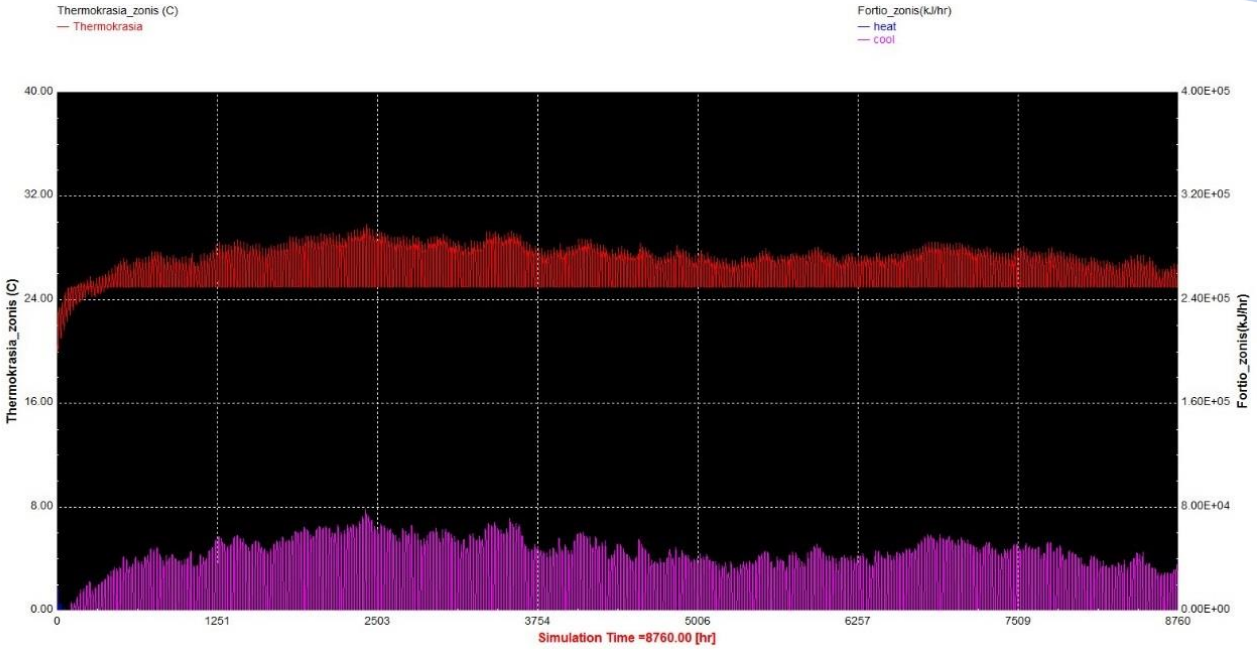
- **Προσανατολισμός γυάλινης όψης: Ανατολή**



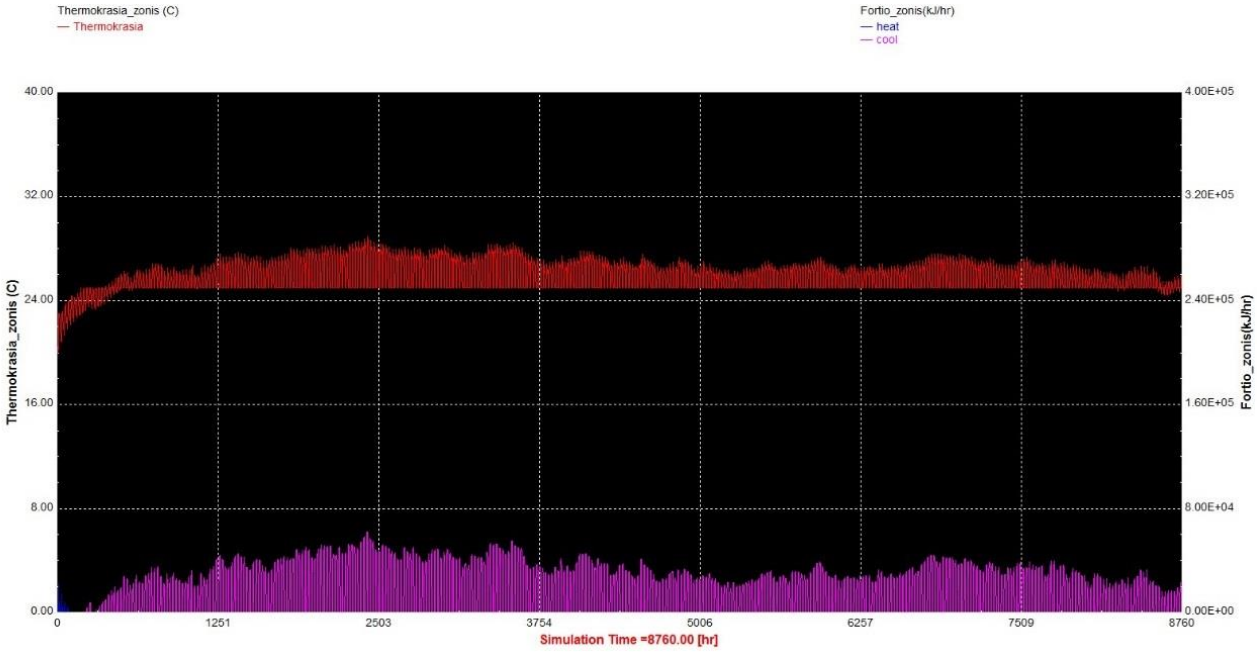
Μονός



Απλός Διπλός

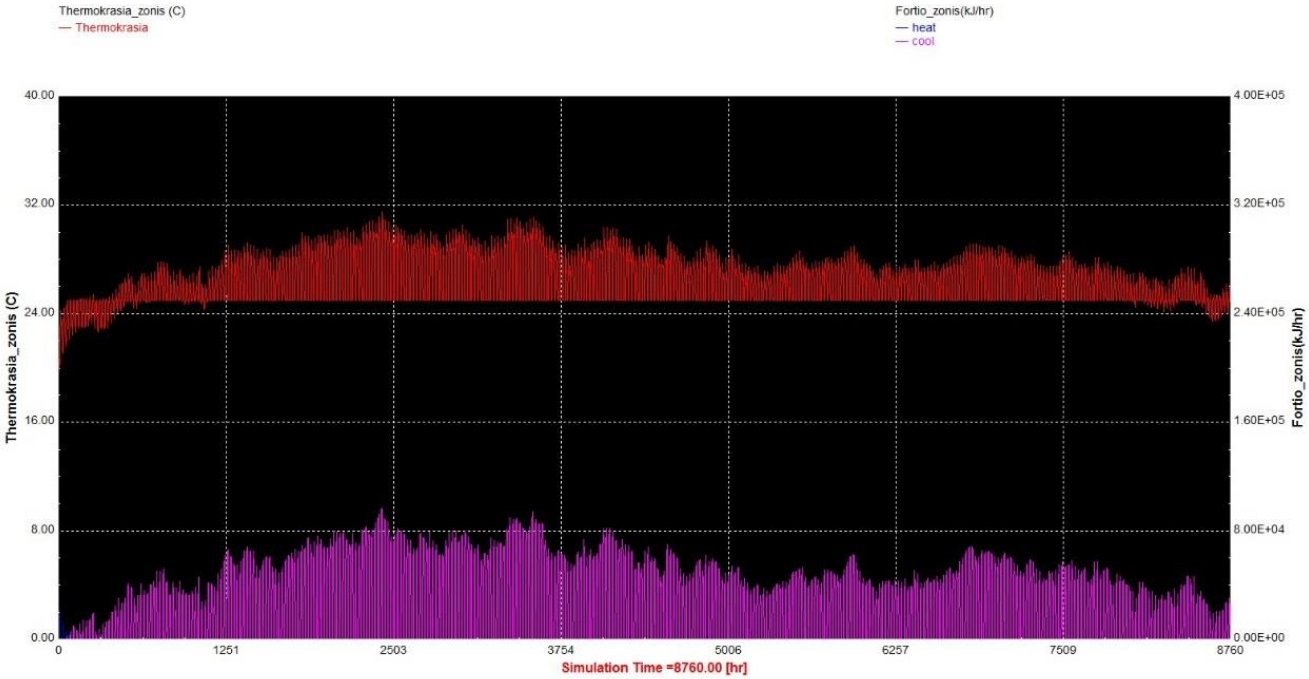


Ενεργειακός_Low-E

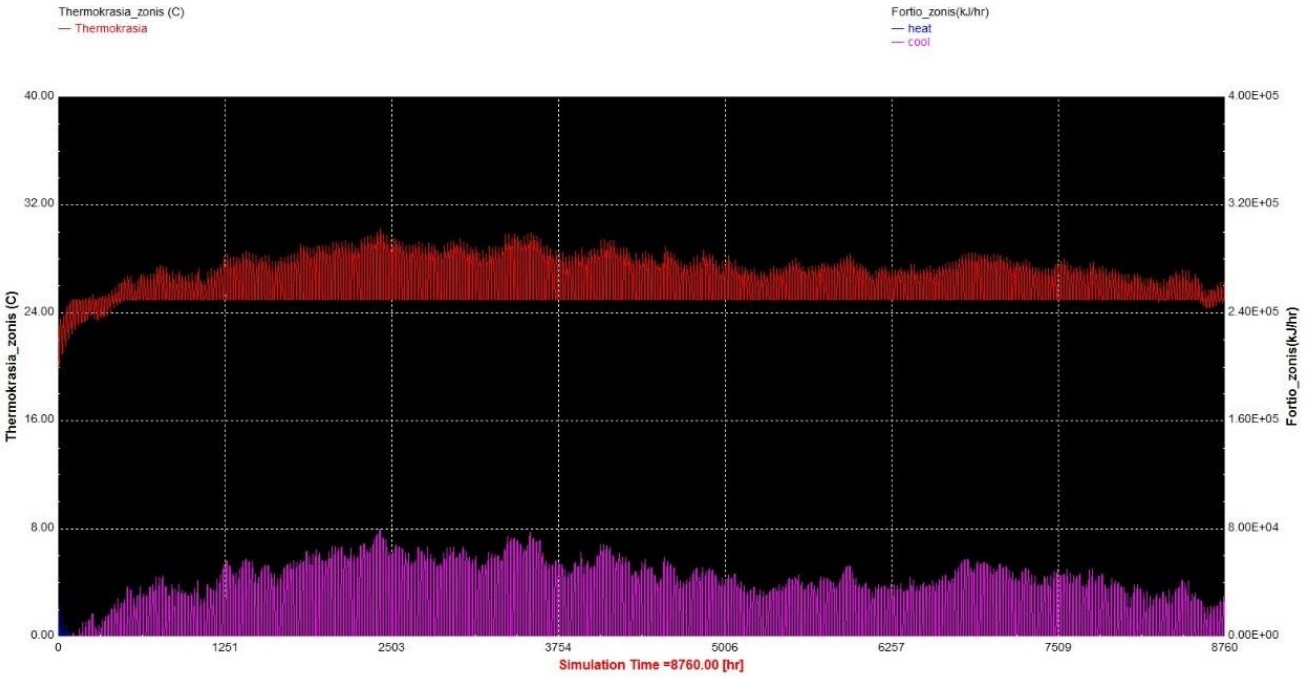


Ενεργειακός_Solar Control

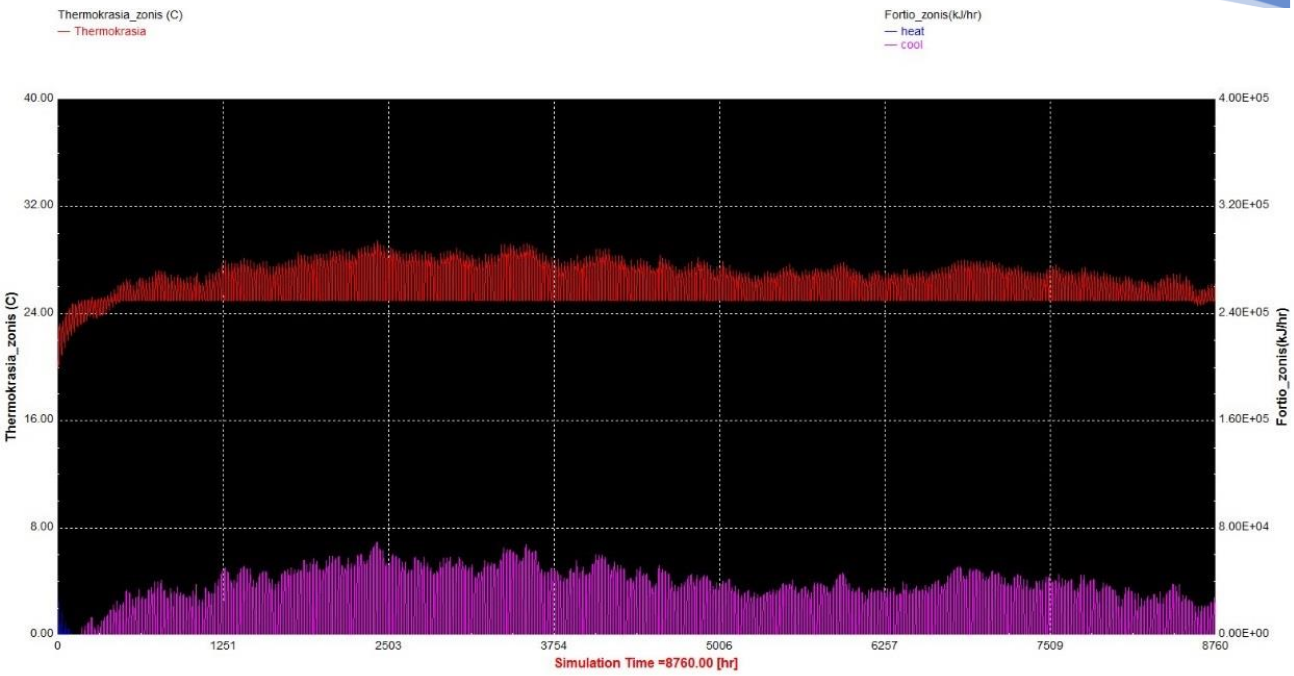
- **Προσανατολισμός γυάλινης όψης: Βορράς**



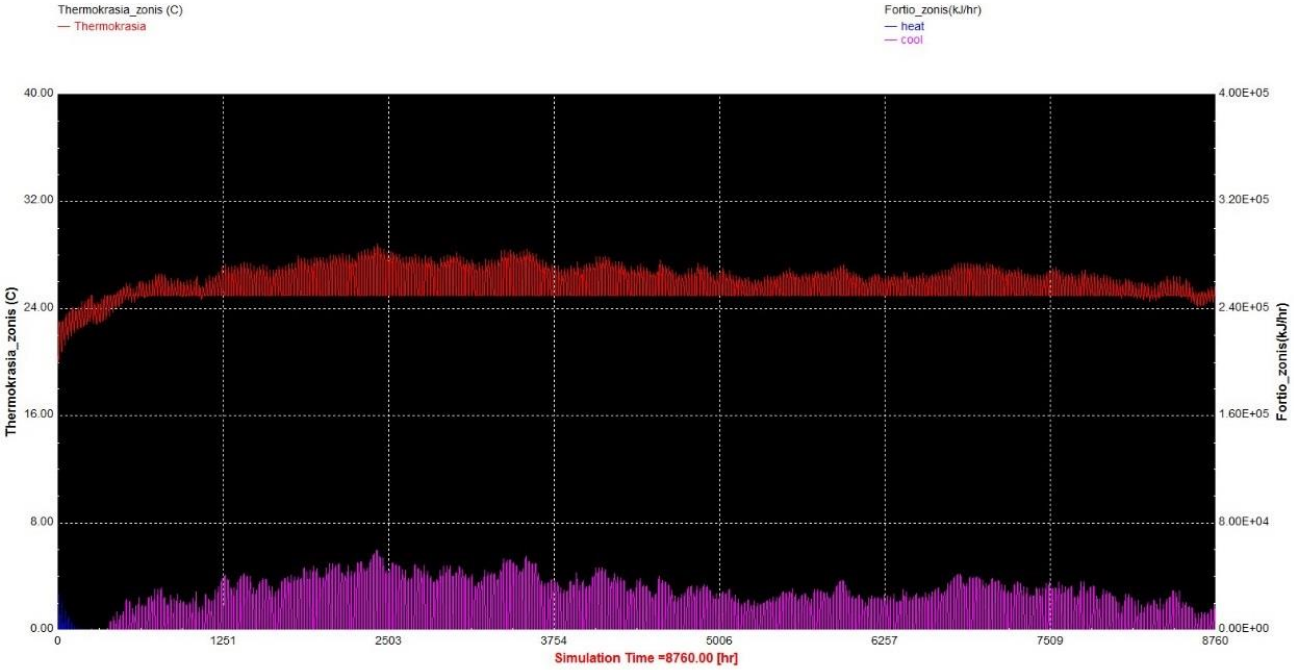
Μονός



Απλός Διπλός

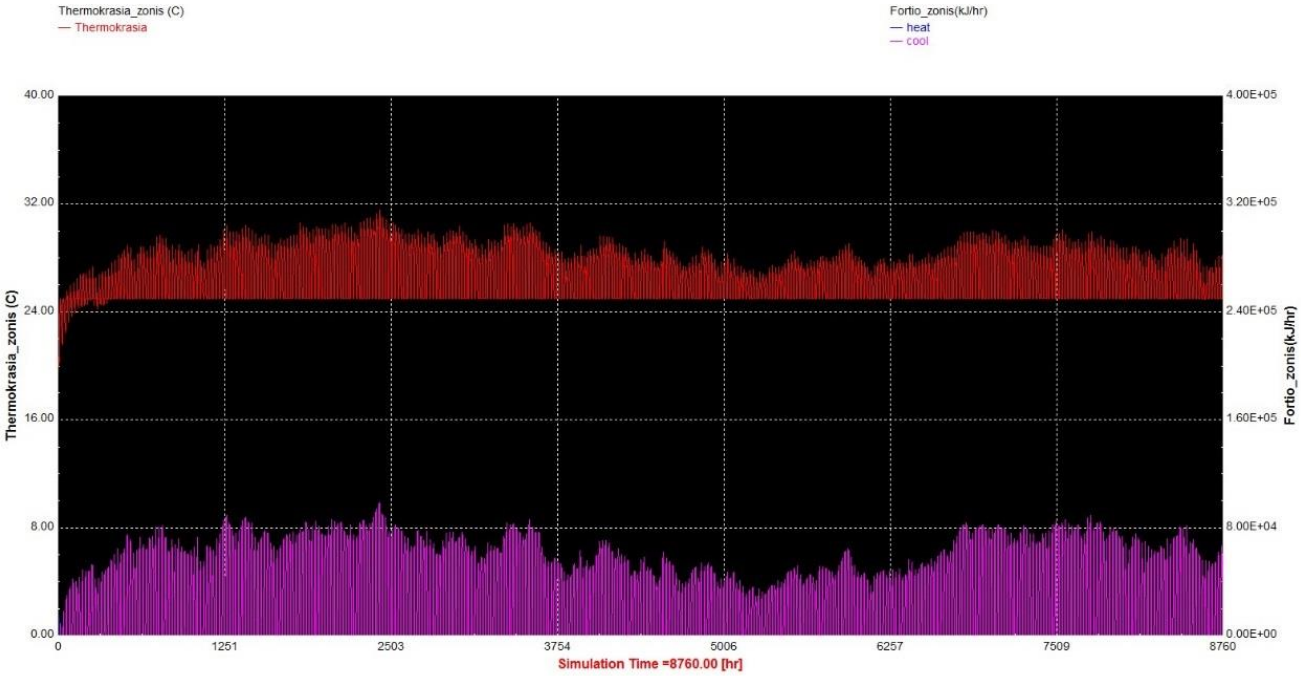


Ενεργειακός_Low-E

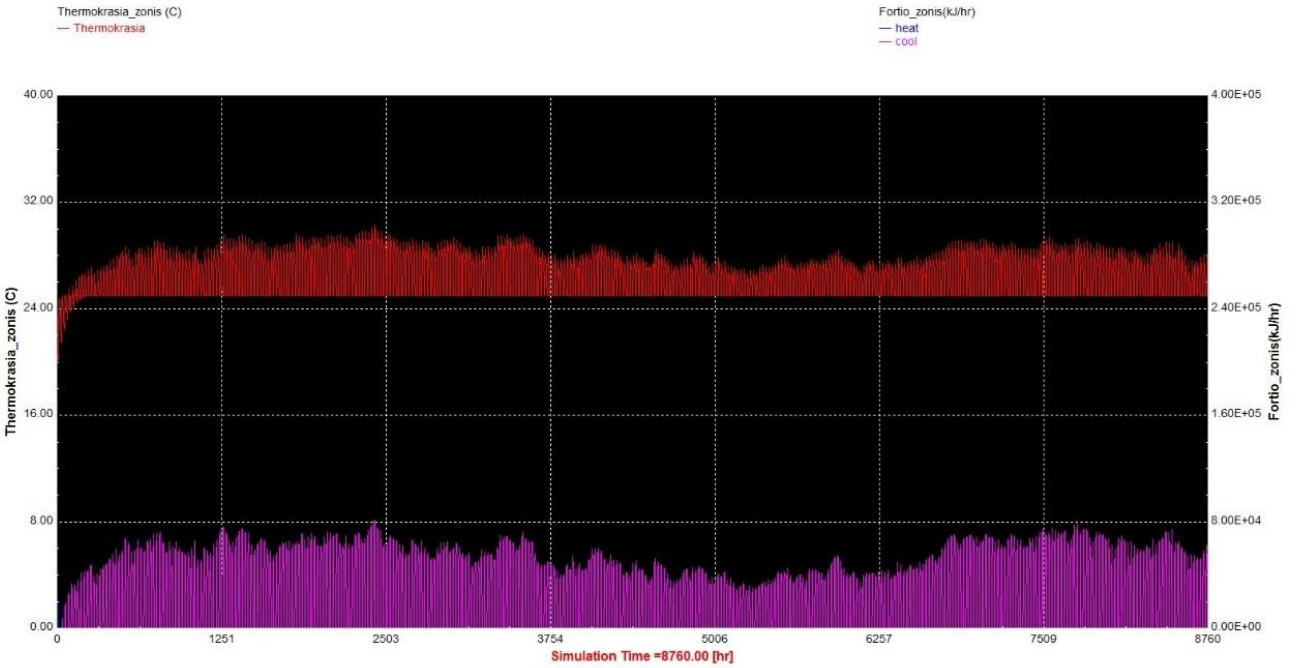


Ενεργειακός_Solar Control

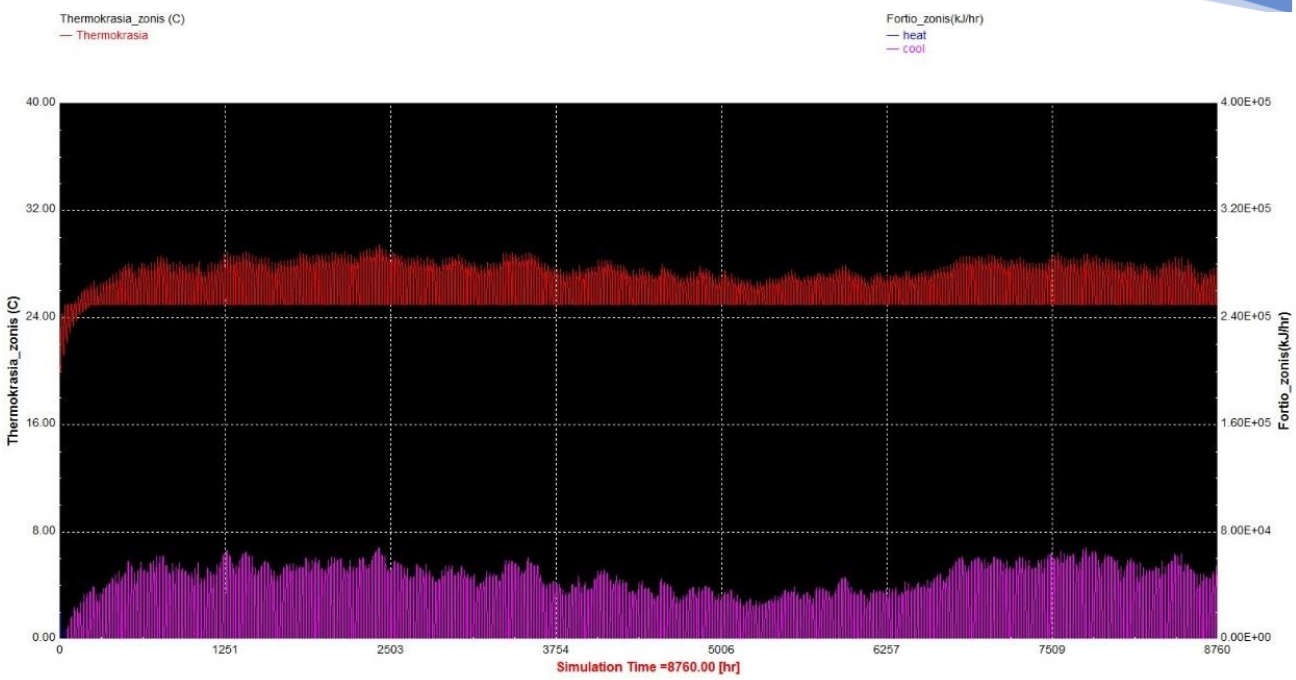
- **Προσανατολισμός γυάλινης όψης: Νότος**



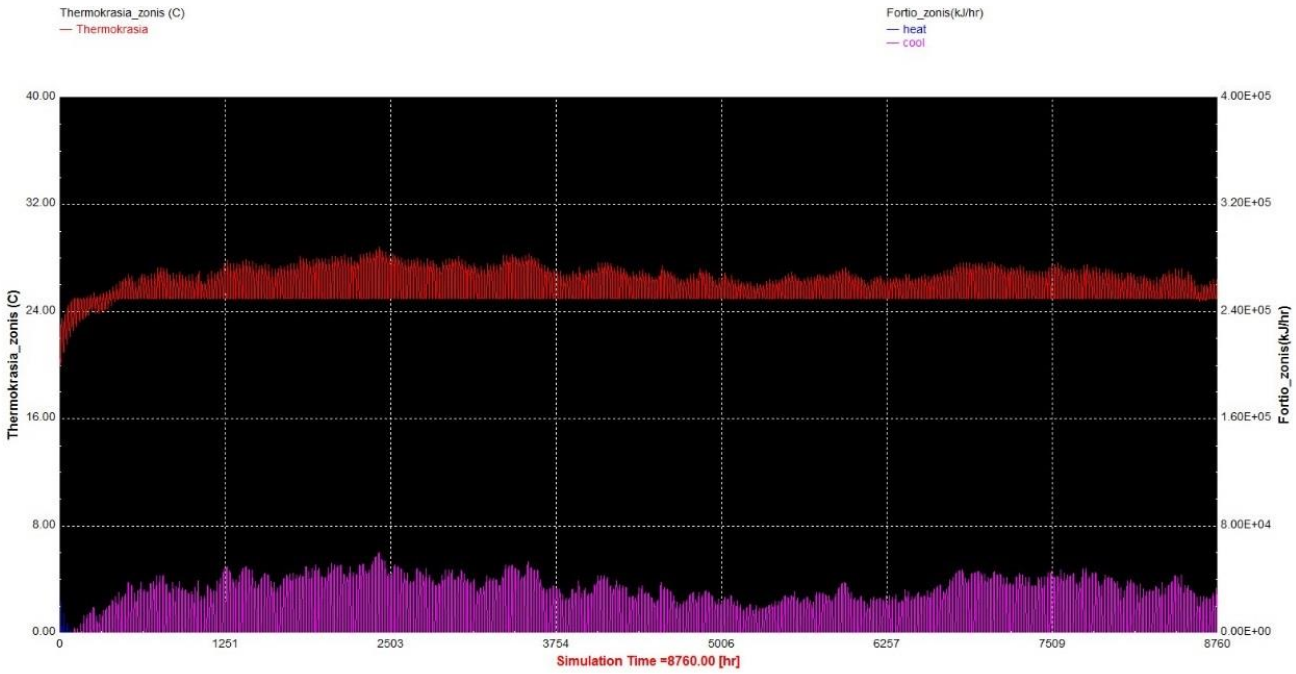
Μονός



Απλός Διπλός



Ενεργειακός_Low-E



Ενεργειακός_Solar Control