

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Μηχανολογίας



**Έξυπνα παράθυρα για εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια -
Περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη**



Όνομα/επώνυμο σπουδαστή: **ΜΑΝΕΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΒΕΡΝΑΡΔΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Αναγκαιότητα εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια.

1.1 Αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 4 βαθμούς Κελσίου.

1.2 Επιπτώσεις από την θερμοκρασιακή αύξηση για την Ελλάδα.

1.3 Το κτιριακό περιβάλλον.

1.3.1 Ενεργειακή κατανάλωση.

1.3.2 Το άρρωστο κτίριο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια.

2.1 Έννοια και περιεχόμενο της Εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια.

2.2 Κατηγορίες παραθύρων εξοικονόμησης ενέργειας.

2.3 Έξυπνα παράθυρα.

2.4 Εφαρμογές έξυπνων παραθύρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα.

3.1 Εισαγωγή.

3.2 Ιδιότητες ηλεκτροχρωμικών παραθύρων.

3.3 Λειτουργία ηλεκτροχρωμικών διατάξεων.

3.4 Πόσο γρήγορα αλλάζουν χρώμα τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα;

3.5 Κάτω από ποιες συνθήκες θα λειτουργήσουν τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα;

3.6 Ποιά είναι τα βασικά στοιχεία που συγκροτούν ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο;

3.7 Ποιο είναι το φάσμα μεταγωγής των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων;

3.8 Τι χρειάζεται για τον έλεγχο των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Εμπορικές ηλεκτροχρωμικές διατάξεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι διατάξεις των έξυπνων παραθύρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν στα έξυπνα παράθυρα.

6.1 Ηλεκτροχρωμικές διατάξεις "δεύτερης γενιάς".

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη με την μαζική παραγωγή έξυπνων.

7.1 Μείωση της απαιτούμενης ενέργειας λειτουργίας των κτιρίων.

7.2 Απόδοση της ενέργειας παραγωγής.

7.3 Μείωση των εκπομπών CO₂ και των τοξικών εκπομπών.

7.4 Ένταση κόστους.

7.5 Χρόνος Απόδοσης Ενέργειας.

7.6 Νέες θέσεις εργασίας.

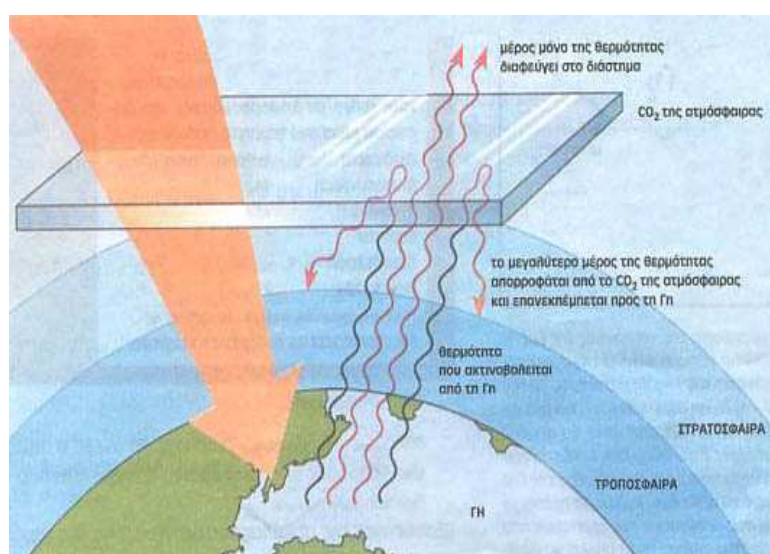
7.7 Καλύτερες συνθήκες εργασίας.

Περίληψη.

Η συγκεκριμένη εργασία δημιουργήθηκε για να δώσει στον αναγνώστη μια ολοκληρωμένη άποψη για την τεχνολογία των έξυπνων παραθύρων. Αναφέρονται η ανάγκη της εξοικονόμησης ενέργειας και οι τρόποι επίτευξης της. Στη συνέχεια τα χαρακτηριστικά των διατάξεων που έχουν αναπτυχθεί στην βιομηχανία με ιδιαίτερη έμφαση στην τεχνολογία των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων. Τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν αυτές οι διατάξεις και προτεινόμενες λύσεις για τις επόμενες και τέλος, τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη με την μαζική παραγωγή και την προώθηση τους στην αγορά.

Κεφάλαιο 1. Αναγκαιότητα εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια.

Οι κλιματικές αλλαγές που συμβαίνουν στον πλανήτη γίνονται όλο και πιο εμφανείς τα τελευταία χρόνια. Η ρύπανση και η αλόγιστη χρήση πηγών ενέργειας μας έχει φτάσει σε σημείο να μιλάμε για υπερθέρμανση του πλανήτη και για προβλήματα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου (εικ.1.1) και την τρύπα του όζοντος. Οι συστάσεις των ειδικών επιστημόνων μιλάνε για ανατροπή των ισορροπιών που υπάρχουν στην φύση και τα αποτελέσματα που θα μπορούσε να επιφέρει κάτι τέτοιο. [1]



Εικόνα 1.1 Λειτουργία φαινομένου του θερμοκηπίου ως καθρέφτης έτσι ώστε να περνάνε οι ακτίνες του ηλίου και να μην βγαίνουν από την ατμόσφαιρα. [2]

1.1 Αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 4 βαθμούς Κελσίου.

Η Γη ακολουθεί μια προδιαγραμμένη πορεία που οδηγεί σε μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 4 βαθμούς Κελσίου, σύμφωνα με την ανάλυση των στόχων της παγκόσμιας κοινότητας.

Όπως αναφέρει δημοσίευμα της εφημερίδας Guardian, μια τέτοια άνοδος θα οδηγούσε στην «κατάρρευση» των πάγων της Γροιλανδίας, στην εξαφάνιση πολλών ειδών χλωρίδας και πανίδας και θα έφερνε εκτεταμένες πλημμύρες και εντονότερες

ξηρασιές. Στη Σύνοδο της Κοπεγχάγης, 120 κράτη συμφώνησαν σε μια εθελοντική δράση για να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (εικ. 1.2), ώστε η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη να μην ξεπεράσει τους δύο βαθμούς Κελσίου. Η Climate Interactive Scoreboard, κατέγραψε τις εκπομπές ρύπων παγκοσμίως (εικ. 1.3) και σύμφωνα με τους υπολογισμούς της, κατέληξε ότι η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα έχει αυξηθεί κατά 4 βαθμούς Κελσίου, μέχρι το 2100. Η εν λόγω αύξηση είναι διπλάσια του στόχου των 2 βαθμών Κελσίου.

Μια άλλη ανάλυση που έγινε από κλιματολόγους του Ινστιτούτου Potsdam στη Γερμανία, έδειξε ότι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη θα ανέλθει στους 3,5 βαθμούς Κελσίου, μέχρι το τέλος του αιώνα. Οι επιστήμονες του Ινστιτούτου τονίζουν ότι δεν υπάρχει πιθανότητα οι κυβερνήσεις παγκοσμίως να λάβουν μέτρα τα οποία θα συγκρατούσαν την αύξηση κάτω από 2 βαθμούς Κελσίου.

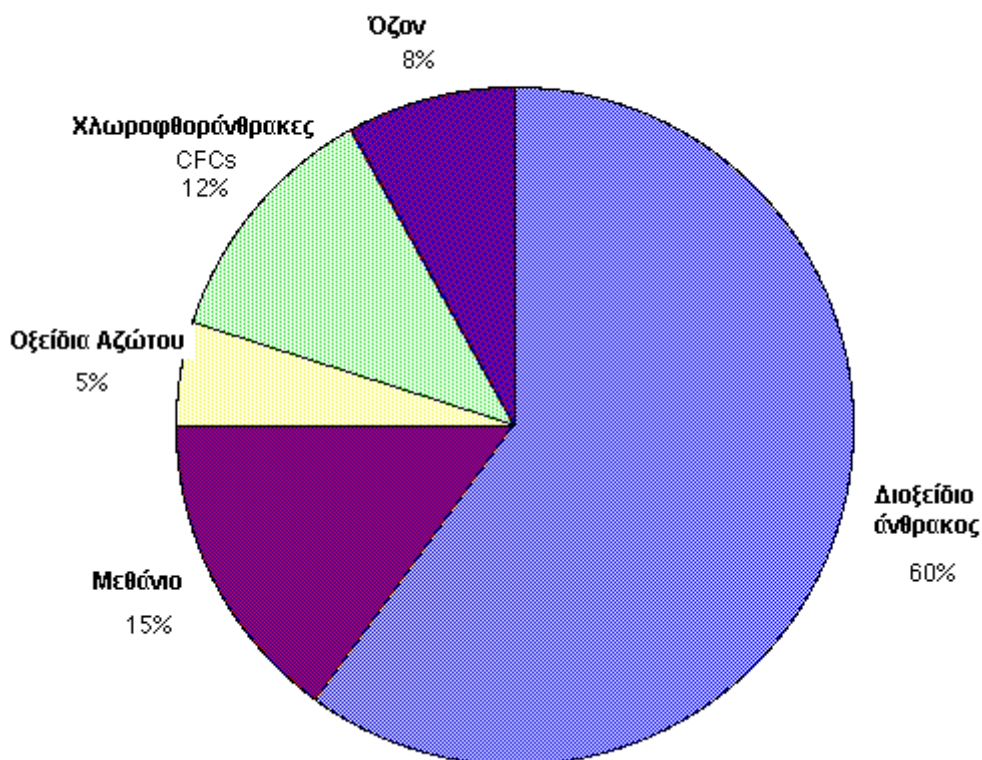
Η Διακυβερνητική Επιτροπή του ΟΗΕ για τη Κλιματική Αλλαγή (IPCC) στην έκθεση της το 2007, αναφέρει ότι αν η μέση θερμοκρασία αυξηθεί άνω των 2 βαθμών Κελσίου, τότε το 20% - 30% όλων των ειδών θα εξαφανιστούν. Παράλληλα, επισημαίνεται ότι θα υπάρχουν εντονότερες ξηρασιές και εκτεταμένες πλημμύρες και θα υπάρξει τεράστια κρίση στην παραγωγή τροφίμων.

Έτσι, ο πλανήτης αντιμετωπίζει τη σοβαρή απειλή της κλιματικής αλλαγής, γι' αυτό επιβάλλεται η υπογραφή μιας παγκόσμιας δεσμευτικής συμφωνίας, καθώς είναι η τελευταία ευκαιρία για τη σωτηρία του. [3]

| Κράτος μέλος | 1990 (εκστ. τόνοι) | Έτος βάσης ¹⁾ (εκστ. τόνοι) | 2005 (εκστ. τόνοι) | Μεταβολή 2004-2005 (εκστ. τόνοι) | Μεταβολή 2004-2005 (%) | Μεταβολή 1990-2005 (%) | Μεταβολή έτος βάσης- 2005 (%) | Στόχοι 2008-12 βάσει Κότο και απαιτητικού των βερών ΕΕ (%) |
|-------------------------|-----------------------|---|-----------------------|--|------------------------------|------------------------------|--|--|
| Αυστρία | 79,1 | 79,0 | 93,3 | 2,1 | 2,3% | 18,0% | 18,1% | -13,0% |
| Βέλγιο | 146,8 | 146,9 | 143,8 | -3,8 | -2,9% | -1,3% | -2,1% | -7,5% |
| Βουλγαρία | 116,1 | 132,1 | 69,8 | 0,9 | 1,3% | -59,9% | -47,2% | -8,0% |
| Κύπρος | 6,0 | 6,0 | 9,9 | 0,0 | 0,2% | 63,7% | 63,7% | - |
| Ταχτική Δημοκρατία | 196,2 | 196,3 | 146,6 | -1,5 | -1,0% | -25,8% | -25,8% | -8,0% |
| Δανία | 69,0 | 69,3 | 63,9 | -4,3 | -6,3% | -7,4% | -7,3% | -21,0% |
| Εσθονία | 43,6 | 40,0 | 20,7 | -0,5 | -2,3% | -52,6% | -52,0% | -8,0% |
| Φινλανδία | 71,2 | 71,1 | 69,3 | -11,9 | -14,8% | -2,7% | -2,8% | 0,0% |
| Γαλλία | 564,2 | 563,9 | 553,4 | -2,7 | -0,5% | -1,9% | -1,9% | 0,0% |
| Γερμανία | 1.227,9 | 1.232,5 | 1.001,5 | -23,5 | -2,3% | -18,4% | -18,7% | -21,0% |
| Ελλάδα | 109,7 | 111,1 | 139,2 | 1,6 | 1,2% | 28,0% | 25,4% | 25,0% |
| Ουγγαρία | 98,7 | 123,0 | 80,5 | 1,0 | 1,2% | -18,4% | -34,5% | -6,0% |
| Ιρλανδία | 55,4 | 55,8 | 69,9 | 1,3 | 1,9% | 26,3% | 25,4% | 13,0% |
| Ιταλία | 519,6 | 519,5 | 582,2 | 1,7 | 0,3% | 12,1% | 12,1% | -6,5% |
| Λετονία | 26,4 | 26,9 | 16,9 | 0,2 | 1,5% | -58,0% | -68,0% | -8,0% |
| Λιθουανία | 48,1 | 48,1 | 22,8 | 1,5 | 7,2% | -53,0% | -53,1% | -8,0% |
| Λουξεμβούργο | 12,7 | 12,7 | 12,7 | -0,1 | -0,4% | 0,4% | 0,4% | -28,0% |
| Μάλτα ²⁾ | 2,2 | 2,2 | 3,4 | 0,2 | 6,1% | 64,8% | 64,8% | - |
| Κάτω Χώρες | 213,0 | 214,6 | 212,1 | -6,3 | -2,9% | -0,4% | -1,1% | -6,0% |
| Πολωνία | 466,2 | 506,9 | 399,0 | 2,3 | 0,8% | -18,0% | -32,0% | -6,0% |
| Πορτογαλία | 59,9 | 60,9 | 95,5 | 0,9 | 1,0% | 42,8% | 40,4% | 27,0% |
| Ρουμανία | 249,7 | 282,5 | 153,7 | -6,4 | -4,0% | -38,2% | -46,8% | -8,0% |
| Σλοβακική Δημοκρατία | 73,0 | 73,4 | 48,7 | -0,8 | -1,8% | -33,3% | -33,6% | -8,0% |
| Σλοβενία | 18,4 | 20,2 | 20,3 | 0,4 | 2,1% | 10,2% | 0,4% | -8,0% |
| Ισπανία | 287,4 | 289,4 | 440,6 | 15,4 | 3,8% | 53,3% | 52,3% | 15,0% |
| Σουηδία | 72,2 | 72,3 | 67,0 | -2,7 | -3,9% | -7,3% | -7,4% | 4,0% |
| Ηνωμένο Βασίλειο | 771,4 | 779,9 | 657,4 | -3,0 | -0,5% | -14,8% | -15,7% | -12,5% |
| EU-15 | 4.257,2 | 4.278,8 | 4.182,0 | -35,2 | -0,8% | -1,5% | -2,0% | -8,0% |
| EU-27 | 5.620,8 | Δεν υπάρχει ³⁾ | 5.177,0 | -37,8 | -0,7% | -7,9% | Δεν υπάρχει ³⁾ | Δεν υπάρχει ³⁾ |

Εικόνα 1.2 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε ισοδύναμα CO₂ (εξαιρουμένων των εστιών απορρόφησης άνθρακα) και στόχοι του Πρωτοκόλλου του Κιότο για την περίοδο 2008 – 2012. [4]

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ



Εικόνα 1.3 Ανθρωπογενείς ρύποι. [5]

1.2 Επιπτώσεις από την θερμοκρασιακή αύξηση για την Ελλάδα.

Ειδικότερα στην Ελλάδα, η άνοδος της θερμοκρασίας θα έχει επιπτώσεις κατά κύριο λόγο στον οικολογικό τομέα αλλά και σε άλλους τομείς. Πιο συγκεκριμένα:

- Μείωση των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα της τάξης 30% - 40% της μέσης βροχόπτωσης.
- Η Νότια Ελλάδα μπορεί να είναι μια από τις περιοχές που θα επηρεαστούν περισσότερο από την αύξηση, από χρόνο σε χρόνο, των εναλλαγών στο κλίμα τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό σημαίνει συχνότερη εμφάνιση κυμάτων καύσωνα και περιόδων ξηρασίας. Οι περίοδοι ξηρασίας στη Μεσόγειο θα ξεκινούν νωρίτερα μέσα στο χρόνο και θα διαρκούν περισσότερο.
- Η τουριστική περίοδος στην Ελλάδα θα επιμηκυνθεί και θα εξομαλυνθεί έως το 2030. Λόγω της παρατεταμένης τουριστικής περιόδου, η τουριστική ζήτηση θα εξαπλωθεί σε χρόνο, καλύπτοντας όλες τις εποχές. Πιθανότατα θα μετριαστούν οι πιέσεις στη παροχή νερού και ενέργειας το καλοκαίρι, όμως δεν γνωρίζουμε ακόμα τι σημαίνει η αύξηση της ζήτησης τις άλλες εποχές του χρόνου.

- Στην Ελλάδα οι τρεις ισχυροί καύσωνες του καλοκαιριού του 2007, αλλά και οι καταστροφικές και φονικές για δεκάδες ανθρώπους, φωτιές, έδειξαν ότι οι αλλαγές στο κλίμα είναι εδώ και επηρεάζουν άμεσα τη ζωή μας.
- Εκτίμηση των επιστημόνων είναι ότι τα φαινόμενα αυτά θα ενταθούν τα επόμενα χρόνια, καθώς η περιοχή της Μεσογείου θα εμφανίζει όλο και περισσότερα επεισόδια καύσωνα.
- Οι ημέρες με θερμοκρασία άνω των 40 βαθμών θα πολλαπλασιαστούν και θα πλήττουν κυρίως τις ηπειρωτικές περιοχές. Στα νησιά, αντίθετα, θα αυξάνονται οι τροπικές νύχτες με τον υδράργυρο να δείχνει πάνω από 25 βαθμούς. Την ίδια στιγμή, το κλίμα θα γίνεται πολύ πιο ξηρό, καθώς η μέση βροχόπτωση θα μειώνεται σταδιακά, με αποτέλεσμα να φθάσουμε το 2100 σε πτώση 20% - 30% σε σύγκριση με τα σημερινά επίπεδα.
- Η βροχή, ωστόσο, δεν θα πέφτει ισοκατανομημένη, αλλά σε ακραία, κυρίως, επεισόδια, καθώς τα ακραία καιρικά φαινόμενα - καταιγίδες, θύελλες κ.λπ.- θα είναι συχνότερα, πράγμα καθόλου ευεργετικό για τις καλλιέργειες.
- Η Αθήνα αναμένεται να αποκτήσει το κλίμα της Λευκωσίας. Η ελληνική πρωτεύουσα θα αποκτήσει χαρακτηριστικά που έχει σήμερα η Κύπρος - σχεδόν έρημος, με μεγάλο πρόβλημα στα υδατικά αποθέματα και πολύ περισσότερη ζέστη από τη σημερινή Αθήνα.
- Η πιθανότητα ερημοποίησης είναι υπαρκτή για τη Νότια Ευρώπη. Ήδη η Βόρεια Αφρική αντιμετωπίζει μεγάλο πρόβλημα - σε ορισμένες περιοχές φτιάχνουν φράγματα για να προστατέψουν το έδαφος από τη μεταφορά άμμου.
- Παράλληλα λόγω του λιωσίματος των πάγων στους πόλους η στάθμη της Μεσογείου αναμένεται να ανέβει 20 - 60 εκ. έως το 2100. Πρόβλημα θα αντιμετωπίσουν περιοχές με χαμηλό υψόμετρο όπως ο Αμβρακικός κόλπος, τα Δέλτα του Νέστου και του Έβρου, ενώ από πόλεις, περισσότερο απειλείται η Θεσσαλονίκη.
- Άνοδος της θαλάσσιας στάθμης σημαίνει επίσης υφαλμύρωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, υποβάθμιση υδατικών πόρων κ.λ.π.
- Οι συνέπειες αναμένεται να αγγίξουν και τον τουρισμό, καθώς θα υποβαθμιστούν παραλίες - σήμα κατατεθέν για το ελληνικό καλοκαίρι, ενώ ισχυροί και παρατεταμένοι καύσωνες θα αποτρέπουν τους Βορειοευρωπαίους από το να έρθουν στην Ελλάδα το καλοκαίρι. Ίσως ωφεληθεί ο τουρισμός μας άλλους μήνες, το Φθινόπωρο και την Άνοιξη. [6]

1.3 Το κτιριακό περιβάλλον.

Ο κτιριακός τομέας μπορεί να δώσει λύση στο πρόβλημα της ενέργειας καθώς παρέχει τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας και παράλληλα ενισχύει την οικονομία μιας χώρας. Αποτελεί ίσως τον σημαντικότερο οικονομικό χώρο της Ευρώπης, παρουσιάζοντας ετήσιο κύκλο εργασιών που ξεπερνά τα 400 δις Ευρώ. Καθημερινά, η παγκόσμια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση που σχετίζεται με τα κτίρια ξεπερνάει τα 17 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου, ποσότητα η οποία είναι περίπου ίση με την συνολική παραγωγή των χωρών του ΟΠΕΚ.

Ο τομέας των κτιρίων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης απορροφά κατά μέση τιμή το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Στην Πορτογαλία φτάνει το 20%, στην Ιρλανδία το 45% και στην Ελλάδα φτάνει περίπου το 30%.

Γνωρίζοντας πως ο κάτοικος των αστικών κέντρων βιώνει το 80% της ζωής του στο εσωτερικό των κτιρίων, είναι προφανής η επίδραση της ποιότητας του εσωτερικού κλίματος τόσο στην υγεία και την άνεση όσο και στην παραγωγικότητά του. Η κατά τα τελευταία χρόνια δραματική υποβάθμιση του ατμοσφαιρικού προβλήματος καθώς και η χρήση υλικών και συσκευών μη φιλικών προς το περιβάλλον έχουν συντελέσει στην εμφάνιση σημαντικών, ποιοτικά και ποσοτικά, περιβαλλοντικών και ενεργειακών προβλημάτων στα κτίρια. Ειδικότερα, η απαιτούμενη ενέργεια για τον δροσισμό των κτιρίων το καλοκαίρι έχει δραματική αύξηση λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στα μεγάλα αστικά κέντρα. Στην Αθήνα η ενέργεια για τον δροσισμό ενός κτιρίου είναι σχεδόν διπλάσια από την απαιτούμενη ενέργεια σε ένα κτίριο της περιφέρειας.

Παράλληλα η αύξηση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και οι υψηλές εκπομπές μέρους των σύγχρονων δομικών υλικών συντελούν στην αύξηση της συγκέντρωσης ρυπαντών στο εσωτερικό των κτιρίων, με ιδιαίτερα σημαντικές συνέπειες τόσο στην υγεία όσο και την παραγωγικότητα των ενοίκων. Σύμφωνα με μετρήσεις σε κτίρια γραφείων και νοσοκομεία στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών έδειξαν ιδιαίτερα

αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων στο εσωτερικό των κτιρίων καθώς και αυξημένα ποσοστά παθολογίας των ενοίκων.

Τα παραπάνω καθορίζουν το πλαίσιο εξέτασης και ανάλυσης του όλου ενεργειακού και περιβαλλοντικού προβλήματος των κτιρίων. Η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων δεν θα πρέπει να αποσυνδέεται από τα προβλήματα περιβάλλοντος και θα πρέπει να μελετάται σαν μια ενότητα μαζί με το συγκεκριμένο εξωτερικό μικροκλίμα στον χώρο του κτιρίου, καθώς και το διαμορφούμενο εσωτερικό περιβάλλον. [7]

1.3.1 Ενεργειακή κατανάλωση.

Τα κτίρια καταναλώνουν ενέργεια για την επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων, καθώς και για την χρήση ειδικών συσκευών. Η τελική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι της τάξης των 350 Mtoe ανά έτος, χωρίς να υπολογίζεται η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων καλύπτεται από το φυσικό αέριο, 116 Mtoe, το πετρέλαιο 99 Mtoe, τον ηλεκτρισμό 91 Mtoe και τα στερεά καύσιμα με 11 Mtoe.

Οι πραγματικές ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων στην Ευρώπη καλύπτονται σε μεγάλο ποσοστό από την έμμεση χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας και των άλλων ατμοσφαιρικών πηγών. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων υπολογίζεται σε 740 Mtoe πρωτογενούς ενέργειας. Η κατανομή των διαφόρων πλέον καυσίμων είναι; 43% διάφορα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, 20% από άμεση χρήση πετρελαίου, 18% από άμεση χρήση φυσικού αερίου, 6% από άλλα στερεά καύσιμα και 15% από ηλιακή ενέργεια.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι αντιστοιχεί περίπου ένας τόνος ισοδύναμου πετρελαίου ανά έτος και ανά κάτοικο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων στην Ευρώπη. Η διαχρονική μεταβολή κατά τα τελευταία χρόνια είναι ελαφρά αυξητική και η ετήσια αύξηση του ρυθμού κατανάλωσης στα κτίρια είναι ίση με 0,7%. Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στην Ελλάδα, είναι της τάξης των 4,6 Mtoe, και αντιστοιχούν 0,55 Mtoe ενέργειας ανά κάτοικο το έτος, δηλαδή περίπου το μισό της αντίστοιχης κατανάλωσης στην υπόλοιπη Ευρώπη. Η διαχρονική μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στην Ελλάδα είναι καθαρά αυξητική και ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων είναι περίπου 1,8%.

| Τύπος Κτιρίου | Δροσισμός | Θέρμανση | Φωτισμός | Συσκευές | Σύνολο |
|---------------|-----------|----------|----------|----------|--------|
| Γραφεία | 24 | 95 | 20 | 48 | 187 |
| Εμπορικά | 18 | 74 | 19 | 41 | 152 |
| Σχολεία | 2 | 66 | 16 | 8 | 92 |
| Νοσοκομεία | 3 | 299 | 52 | 53 | 407 |
| Ξενοδοχεία | 11 | 198 | 24 | 40 | 273 |

Πίνακας 1.1 Μέση ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων τύπων κτιρίων ανά είδος χρήσης. Όλες οι τιμές είναι σε kWh ανά τετραγωνικό μέτρο το χρόνο.

Η ειδική ενεργειακή των διαφόρων τύπων κτιρίων στην Ελλάδα, μετρήθηκε στα πλαίσια πρόσφατου ερευνητικού προγράμματος (πίνακας 1.1). Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής επέτρεψαν την γνώση της τελικής κατανάλωσης ανά χρήση. Όπως παρατηρείται η θέρμανση των χώρων αποτελεί την σημαντικότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση για όλα τα κτίρια στην χώρα. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μια σειρά από παραμέτρους που σχετίζονται με το πλήθος των εγκαταστημένων συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού, το είδος της προστασίας των κτιρίων κατά την διάρκεια του χειμώνα και του θέρους, καθώς και στο γεγονός ότι για τον δροσισμό των χώρων χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια και συσκευές με συντελεστή απόδοσης κατά πολύ μεγαλύτερο της μονάδας.

Μια πλέον ρεαλιστική εικόνα της πραγματικής σημασίας κάθε επιμέρους κατανάλωσης δίνεται εάν η σύγκριση περιορισθεί μόνο για τα κτίρια που διαθέτουν ταυτόχρονα σύστημα θέρμανσης και δροσισμού. Στοιχεία μιας τέτοιας σύγκρισης δίνονται και για τα σχολικά κτίρια (πίνακας 1.2). Όπως παρατηρείται η ύπαρξη συστημάτων μηχανικού κλιματισμού αυξάνει δραματικά την συνολική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων.

| Τύπος Κτιρίου | Δροσισμός | Θέρμανση | Φωτισμός | Συσκευές | Σύνολο |
|---|-----------|-----------|-----------|----------|------------|
| Μέση κατανάλωση των Σχολείων | 2 | 67 | 16 | 8 | 93 |
| Κατανάλωση των Σχολείων με θέρμανση και κλιματισμό | 42 | 99 | 30 | 9 | 180 |

Πίνακας 1.2 Κατανομή της άμεσης ενεργειακής κατανάλωσης των σχολικών κτιρίων, καθώς και των συγκροτημάτων με παράλληλη εγκατάσταση θέρμανσης και κλιματισμού. Όλες οι τιμές είναι σε kWh ανά τετραγωνικό μέτρο το χρόνο.

Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι η κατανάλωση των κλιματιστικών συσκευών επιφέρει αύξηση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης κατά 40 kWh ανά τετραγωνικό μέτρο και έτος. Η κατανάλωση αυτή αποτελεί και την μέση ενεργειακή κατανάλωση των κλιματιστικών συσκευών στην χώρα.

Παρακάτω παρουσιάζονται και αναλύονται θέματα σχετικά με την αλληλεπίδραση του εσωτερικού και ατμοσφαιρικού χώρου με την όλη ενεργειακή και ατμοσφαιρική ποιότητα των κτιρίων. [7]

1.3.2 Το άρρωστο κτίριο.

Σύμφωνα με μετρήσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος της Αθήνας, η κεντρική περιοχή της Αθήνας είναι κατά πολύ θερμότερη από τον περίγυρο της. Κατά την διάρκεια της ημέρας οι θερμοκρασιακές διαφορές κυμαίνονται περί τους 5 - 12 °C και κατά την

διάρκεια της νύχτας γύρω στους 2 - 5 °C. Έτσι, διαπιστώνεται ότι το φορτίο κλιματισμού στις κεντρικές περιοχές της Αθήνας είναι σχεδόν διπλάσιο από ότι στις αντίστοιχες περιφερειακές περιοχές. Ο διπλασιασμός του ενδεικτικού αυτού φορτίου οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην αύξηση της θερμοκρασίας στις κεντρικές αστικές περιοχές. Η αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε συνδυασμό με την χρήση δομικών υλικών και προϊόντων καθημερινής χρήσης που επιβαρύνουν το περιβάλλον έχουν συντελέσει στην αύξηση της συγκέντρωσης ειδικών χημικών ρυπαντών και βιολογικών παραμέτρων στο εσωτερικό του κτιρίου. Το φαινόμενο αυτό γνωστό σαν φαινόμενο του άρρωστου κτιρίου, είναι υπεύθυνο για μια σειρά από προβλήματα υγείας και αδιαθεσίας των ενοίκων.

Ικανοποιητική ποιότητα αέρα και υγιεινό εσωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό των κτιρίων μπορεί να επιτευχθεί εάν εξασφαλισθεί η παρακάτω προϋπόθεση: Να μην υπάρχουν ή να απομακρυνθούν πηγές που προκαλούν εσωτερική ρύπανση, όπως πηγές φορμαλδεΐδης, πτητικών οργανικών ουσιών κλπ. Οι πηγές αυτές είναι γνωστές και περιγράφονται στις αντίστοιχες προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας. [7]

Ο κίνδυνος της υπερθέρμανσης πλησιάζει τον πλανήτη μας απειλητικά. Είναι λοιπόν αναγκαίο να λάβουμε τα μέτρα μας με κάθε τρόπο. Η εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια συνιστά μια πολύ καλή προοπτική που είναι ικανή να βγάλει από το αδιέξοδο αρκετά κράτη.

Κεφάλαιο 2. Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια.

2.1 Έννοια και περιεχόμενο της Εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια.

Η εξοικονόμηση ενέργειας έχει δυο περιεχόμενα και εξετάζεται από ενεργειακή και από οικονομική σκοπιά.

Ο ενεργειακός ορισμός περιλαμβάνει α) μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας τελικής χρήσης αλλά χωρίς αυτό να συνοδεύεται από στέρηση ενέργειας ούτε και από υποβάθμιση των παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών για τα οποία χρησιμοποιείται, β) βελτίωση του βαθμού απόδοσης στη χρήση της ενέργειας, γ) υποκατάσταση συμβατικών μορφών ενέργειας (κυρίως πετρελαίου) με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (κυρίως αιολική και ηλιακή) και δ) δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας. Από ενεργειακή σκοπιά εκείνο που ενδιαφέρει είναι η ενέργεια που μπορεί να εξοικονομηθεί ανά μονάδα προϊόντος.

Ο οικονομικός ορισμός περιλαμβάνει α) μείωση του κόστους της ενέργειας ανά μονάδα ενός προϊόντος ή μιας παραγωγικής διαδικασίας, β) υποκατάσταση της ενέργειας, ως συντελεστή της παραγωγής, από άλλους συντελεστές (εργασία, κεφάλαιο, έρευνα/τεχνολογία), ιδιαίτερα όταν το κόστος του πρώτου συντελεστή αυξάνεται γρηγορότερα από τους άλλους. Από οικονομική σκοπιά αυτό που ενδιαφέρει είναι η συμμετοχή της ενέργειας στο συνολικό κόστος μιας παραγωγικής διαδικασίας.

Στη σημερινή πραγματικότητα, σε οποιαδήποτε επένδυση για εξοικονόμηση ενέργειας λαμβάνονται υπόψη τόσο οι εξοικονομούμενες μονάδες ενέργειας όσο και τα οικονομικά μεγέθη. Ακόμη το συναλλαγματικό όφελος που επιφέρεται στην εθνική οικονομία, η αξιοποίηση εγχώριων πηγών ενέργειας, η αύξηση απασχόλησης, η προώθηση

καινοτομιών, σε συνεργασία με τους παραπάνω, είναι κάποιοι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν στην απόφαση αν είναι μια επέμβαση συμφέρουσα. [8]

2.2 Κατηγορίες παραθύρων εξοικονόμησης ενέργειας.

Το παράθυρο είναι εκείνο το δομικό υλικό από το οποίο προκύπτουν οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας. Ενδεικτικά, η Πανελλήνια Ομοσπονδία Εμπόρων και Βιοτεχνών Υαλοπινάκων αναφέρει σε ανακοίνωσή της με αφορμή τη διοργάνωση ημερίδας για το θέμα ότι για μια κατοικία 100 τ.μ. με συνολική έκταση υαλοπινάκων 15 τ.μ. εξοικονομούνται από 75-1.000 λίτρα πετρελαίου και από 1.000 έως 1.300 κιλοβάτ κάθε καλοκαίρι από τη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας στα κλιματιστικά, αντικαθιστώντας απλά τους παλιούς υαλοπίνακες με νέους ενεργειακούς.

Η χρήση βελτιωμένων ειδικών υαλοπινάκων μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων και στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης που διαμορφώνονται στους εσωτερικούς χώρους. Οι ιδιότητες αυτές μπορεί να είναι σταθερές, μεταβαλλόμενες (ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες) ή ρυθμιζόμενες. Κατηγορίες ειδικών υαλοπινάκων, οι οποίοι διαφοροποιούνται από τους κοινούς ως προς τα θερμικά και τα φωτομετρικά τους χαρακτηριστικά, είναι:

❖ **Ανακλαστικοί υαλοπίνακες:** Ανακλούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών, αλλά μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο και στα γύρω κτίρια.

❖ **Έγχρωμοι υαλοπίνακες:** Με τη βοήθεια χημικής επεξεργασίας παρουσιάζουν χαμηλή θερμοπερατότητα, αλλά και μειωμένη φωτοδιαπερατότητα και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου.

❖ **Απορροφητικοί υαλοπίνακες:** Απορροφούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας (περιορίζουν τη θερμοπερατότητα χωρίς να μειώνουν σημαντικά τη φωτοδιαπερατότητα) και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου. Έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τους ανακλαστικούς, ότι δεν δημιουργούν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου.

- ✦ Επιλεκτικοί υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-e): Εμποδίζουν μεγάλο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας είτε να εισέρχεται προς το κτίριο, είτε να εκπέμπεται προς το εξωτερικό περιβάλλον (ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται). Συνιστώνται για τη μείωση των θερμικών απωλειών (το χειμώνα) ή κερδών (το καλοκαίρι) των κτιρίων, ανάλογα με τις θερμικές απαιτήσεις του κτιρίου και το κλίμα της περιοχής στην οποία βρίσκεται.
- ✦ Θερμομονωτικοί υαλοπίνακες: Αυξημένη θερμομονωτική ικανότητα που στο διάκενό τους περιέχουν άλλο αέριο (π.χ. αργό) αντί για αέρα. Συνιστώνται σε κτίρια με μεγάλα ανοίγματα, όπου απαιτείται υψηλή θερμομόνωση του κελύφους.
- ✦ Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες: Μεταβαλλόμενες ιδιότητες (οπτικά χαρακτηριστικά, διαπερατότητα) με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος.
- ✦ Φωτοχρωμικοί υαλοπίνακες: Μεταβαλλόμενες οπτικές ιδιότητες ανάλογα με το ποσό της προσπίπτουσας σε αυτούς ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοδιαπερατότητά τους μειώνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας.
- ✦ Θερμοχρωμικοί υαλοπίνακες: Μεταβαλλόμενες οπτικές ιδιότητες ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία.
- ✦ Υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων: Με την εφαρμογή τάσης μετατρέπονται από γαλακτόχρωμοι σε διαφανείς.

Για την επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα θα πρέπει να εξετάζεται η χρήση του κτιρίου (εικ. 2.1), η συνεισφορά του υαλοπίνακα στην εξοικονόμηση ενέργειας σε ετήσια βάση και η συνεπαγόμενη οικονομικότητα του συστήματος (κόστος-όφελος, χρόνος απόσβεσης). Ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή απαιτείται ώστε τα θερμικά και οπτικά χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα (εικ. 2.2), τα οποία θα επιλεγούν με κριτήριο τη συμπεριφορά του στη θέρμανση και στο δροσισμό του κτιρίου, να εξασφαλίζουν, μαζί με το συνολικό σχεδιασμό των ανοιγμάτων και τις απαιτήσεις σε φυσικό φωτισμό των χώρων. [9]



Εικόνα 2.1 Τελική Έκθεση, Δεκέμβριος 2000, Πρόγραμμα SAVE, της DG XVII-Γενικής Διεύθυνσης για την Ενέργεια, της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. [10]

| ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ | | | |
|---|---|----------------|---|
| Τύπος υαλοπίνακα | Πάχος υαλοπίνακα-διακένου-υαλοπίνακα (mm) | Αέριο διακένου | Συντελεστής Θερμοπερατότητας (W/m ² K) |
| Μονός | 6 | - | 5,7 |
| Μονός | 8 | - | 5 |
| Διπλός | 4-6-4 | Αέρας | 3,4 |
| Διπλός | 4-12-4 | Αέρας | 2,9 |
| Διπλός - χαμηλής εκπομπής | 4-10-4 | Αέρας | 2,0 - 2,4 |
| Διπλός - χαμηλής εκπομπής | 4-12-4 | Αέρας | 1,7 - 2,4 |
| Διπλός - χαμηλής εκπομπής | 4-6-4 | Αργό | 2,1 - 2,6 |
| Διπλός - χαμηλής εκπομπής | 4-12-4 | Αργό | 1,3 - 1,7 |

Εικόνα 2.2 Συντελεστής θερμοπερατότητας για διαφορετικούς τύπους υαλοπινάκων (μονών-διπλών, απλών ή χαμηλής εκπομπής, με πλήρωση αέρα ή αργό στο διάκενο). [10]

2.3 Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα.

Τα ηλεκτροχρωμικά ανήκουν στα λεγόμενα "έξυπνα" παράθυρα και είναι διατάξεις δυναμικού ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας. Έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με αντίστοιχες παθητικές και συμβατικές διατάξεις (δες παραπάνω). Δεν εμποδίζουν την ορατότητα όπως οι κουρτίνες ή οι περσίδες, ενώ ταυτόχρονα προσφέρουν έλεγχο της οπτικής όχλησης που προέρχεται από τις διάχυτες ηλιακές ακτίνες και μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία κατάλληλου κλίματος στον εσωτερικό χώρο των κτιρίων. Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα δεν έχουν κινητά μέρη και άρα ελάχιστο κόστος συντήρησης. Απαιτούν μικρή κατανάλωση ενέργειας (μπορούν να λειτουργούν και με φωτοβολταϊκά) και ο έλεγχος της λειτουργίας τους μπορεί να ενσωματωθεί στο σύστημα κεντρικής διαχείρισης ενέργειας του κτιρίου. Μπορούν να έχουν άπειρες καταστάσεις ανάμεσα στη διαφανή και τη χρωματισμένη τους κατάσταση. Εμποδίζουν την είσοδο τόσο της άμεσης όσο και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας σε αντίθεση με τα παθητικά συστήματα σκίασης. Προσφέρουν δυνατότητα καλύτερης χρήσης του φυσικού φωτός ελαττώνοντας το κόστος για τεχνητό φωτισμό.

Από τα παραπάνω λοιπόν φαίνεται ότι ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο υπερτερεί σημαντικά σε σχέση με τα καλύτερα σύγχρονα θερμομονωτικά παράθυρα. Τα πρωτογενή ενεργειακά του κέρδη είναι: μειωμένα ενεργειακά φορτία για ψύξη, θέρμανση και αερισμό, καθώς και η δυνατότητα ελάττωσης της ανάγκης για τεχνητό φωτισμό με κατάλληλη μεταβολή των οπτικών ιδιοτήτων του παραθύρου και διαχείριση του εισερχόμενου ηλιακού φωτός. Ως τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα θα αναφέρουμε την αισθητική έλξη που προσφέρει η δυνατότητα ενός δυναμικά μεταβαλλόμενου μανδύα σε αρχιτεκτονικές εφαρμογές. Πολλές σχεδιαστικές αποφάσεις λαμβάνονται με βασικό γνώμονα όχι τα ανταποδοτικά οφέλη ή το κόστος της εγκατάστασης αλλά με βάση το στυλ και την εμφάνιση.

Η ενσωμάτωση των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων στα κτίρια αποτελούσε εξεζητημένη λύση καθώς το κόστος κατά κύριο λόγο και η διάρκεια ζωής, η οποία δεν ξεπερνούσε τα 10 χρόνια των υπαρχόντων τότε εμπορικών διατάξεων (Pilkington E-Control, Sage Glass, Gentex Corporation) δεν επέτρεπε την μαζική εφαρμογή τους. Πιο πρόσφατες έρευνες δίνουν διαφορετικά στοιχεία για την διάρκεια ζωής των παραθύρων καθώς δείχνουν ότι η αντοχή τους ξεπερνά τα 15 χρόνια. Το μέλλον τους όμως προβλέπεται εξαιρετικά

ευοίωνο καθώς τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν στους χρήστες τους είναι πολύ σημαντικά. [11, 12]

2.4 Εφαρμογές ηλεκτροχρωμικών παραθύρων.

Η καινούργια βιβλιοθήκη του αμερικανικού κολεγίου Century στη Μινεσότα (εικ. 2.3) συγκαταλέγεται στα κτίρια με την καλύτερη ενεργειακή απόδοση χάρη στα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα με τα οποία έχει εξοπλιστεί. Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα ρυθμίζουν απόλυτα αν το φως και η ακτινοβολία του ήλιου θα περάσουν μέσα στο κτίριο. Η λειτουργία των παραθύρων το χειμώνα αφήνει τις ακτίνες να περάσουν και το καλοκαίρι πατώντας ένα κουμπί σκουραίνουν μπλοκάροντας έως και το 96,5% του φωτός και της θερμότητας που μεταφέρουν. Με αυτό τον τρόπο η βιβλιοθήκη εξοικονομεί μεγάλα ποσά ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζεται ότι το κτίριο εξοικονομεί το 20% του ρεύματος που θα χρειαζόταν για την ψύξη και την θέρμανση του αν διέθετε συμβατικά παράθυρα. Η συγκεκριμένη τεχνολογία βοηθά στο να χρησιμοποιούνται οι κάθε λογής λαμπτήρες του κτιρίου όσο το δυνατόν λιγότερο. Εκτιμάται πως η βιβλιοθήκη καταναλώνει επίσης έως και 60% λιγότερο ρεύμα για τον τεχνητό φωτισμό της.

Άλλες εφαρμογές αφορούν: κράνη, στα οποία ο μοτοσικλετιστής μπορεί να σκουρύνει το προστατευτικό κάλυμμα όταν τον «τυφλώνει» ο ήλιος, και σε ηλιοροφές πολυτελών μοντέλων Ι.Χ. [13]

Ακόμα μερικές εφαρμογές ηλεκτροχρωμικών παραθύρων από διάφορες εταιρίες φαίνονται στις επόμενες εικόνες, εκτός από εξοικονόμηση ενέργειας όπως θα δούμε στις εικόνες τα έξυπνα παράθυρα προσφέρουν και υψηλή αισθητική. Μια από τις εφαρμογές είναι το εργοστάσιο της SAGE Electrochromics με έδρα το Faribault στη Μινεσότα (εικ. 2.4), το οποίο καταναλώνει λιγότερη ενέργεια και εντυπωσιάζει με την αισθητική του. Το κολέγιο Chabot, Hayward (εικ. 2.5) είναι κι αυτό ένα εντυπωσιακό κτίριο στο οποίο εγκατέστησε ηλεκτροχρωμικά παράθυρα η Sage Glass. Το κτίριο στο Γκρήνουιτς, Conn (εικ. 2.6) από την Sage Electrochromics δείχνει την εναλλαγή των χρωμάτων με το πάτημα ενός κουμπιού.



Εικόνα 2.3 Αμερικανικό κολεγίου Century στη Μινεσότα.



Εικόνα 2.4 Εργοστάσιο της SAGE Electrochromics με έδρα το Faribault, Μινεσότα. [14]



Εικόνα 2.5 Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα από την SageGlass στο Κολέγιο Chabot, Hayward, CA. [15]



Εικόνα 2.6 Παράθυρα της Sage Electrochromics με ηλεκτροχρωμικό γυαλί που μπορούν να χρωματιστούν σε λίγα λεπτά με το πάτημα ενός κουμπιού. Το κτίριο αυτό στο Γκρήνουιτς, Conn, δείχνει πόσο διαφορετικά μπορούν να χρωματιστούν τα παράθυρα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. [16]

Κεφάλαιο 3. Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα.

3.1 Εισαγωγή.

Οι επιφάνειες των κτιρίων αντιμετωπίζουν μια τεράστια ποικιλία κλιματολογικών συνθηκών, λόγω προσανατολισμού, ημερησίων μεταβολών και ετησίων κύκλων. Έτσι, το υλικό επένδυσης θα αλλάξει τις ιδιότητες του ανταποκρίνοντας εξωτερικά σε περιβαλλοντικές καταστάσεις και εσωτερικά στις ανάγκες των κατόχων.

Ένα υλικό που έχει αναπτυχθεί με την ικανότητα να αλλάζει τις ενεργειακές του ιδιότητες είναι ο υαλοπίνακας. Οι εναλλασσόμενοι υαλοπίνακες αλλάζουν τις ιδιότητες τους, όπως το συντελεστή σκίασης και την περατότητα, είτε σε ένα ηλεκτρικό είτε σε ένα περιβαλλοντικό σήμα, όπως τα επίπεδα φωτός. Εξαιτίας της δυνατότητας τους να εξοικονομούν ενέργεια, αυτές οι τεχνολογίες έχουν μελετηθεί σε εργαστήρια έρευνας και λίγα προϊόντα είναι διαθέσιμα στο εμπόριο. Οι εναλλασσόμενοι υαλοπίνακες διακρίνονται σε 3 κατηγορίες που διακρίνονται από το μηχανισμό που δίνει το σημάδι για να αλλάξουν ιδιότητες: θερμοχρωμικοί, φωτοχρωμικοί και ηλεκτροχρωμικοί. [17]

Στην συγκεκριμένη εργασία θα δώσουμε περισσότερη έμφαση στα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα.

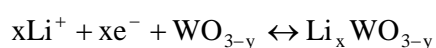
3.2 Ιδιότητες ηλεκτροχρωμικών παραθύρων.

Τα ηλεκτροχρωμικά υλικά, τα οποία αντιδρούν σε ένα εφαρμοσμένο ηλεκτρικό σήμα, μπορούν να ελεγχθούν με απόλυτη ευελιξία. Ένα σύνολο αισθητήρων θερμότητας και φωτός που συνδέονται με έναν υπολογιστή διαχείρισης κτιρίων θα μπορούσε να διαλέξει το καλύτερο πρόγραμμα για ένα ηλεκτροχρωμικό παραθυρόφυλλο. Το κύριο μειονέκτημα ενός ηλεκτροχρωμικού παραθύρου σε σχέση με τα θερμοχρωμικά ή τα φωτοχρωμικά παράθυρα είναι η επιπλέον πολυπλοκότητα του παραθύρου από την άποψη της κατασκευής, της συναρμολόγησης και της εγκατάστασης.

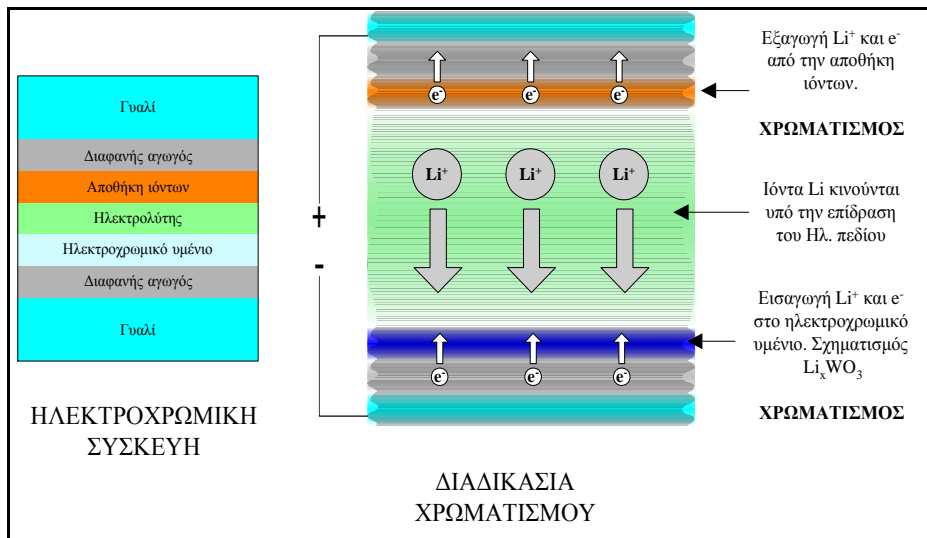
3.3 Λειτουργία ηλεκτροχρωμικών διατάξεων.

Ηλεκτροχρωμισμός ονομάζεται το φαινόμενο της αντιστρεπτής μεταβολής των οπτικών χαρακτηριστικών ενός υλικού που προκαλείται από την εισαγωγή-εξαγωγή ιόντων σε αυτό υπό την επίδραση εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Το ηλεκτροχρωμικό φαινόμενο εμφανίζεται ιδιαίτερα έντονο στα οξειδία των μετάλλων μεταπτώσεως και κυρίως στα οξειδία των: βολφραμίου (WO_3), μολυβδενίου (MoO_3), νικελίου (NiO) και βαναδίου (V_2O_5).

Οι ηλεκτροχρωμικές διατάξεις αποτελούνται από επάλληλα στρώματα υλικών μεταξύ δύο διαφανών και ηλεκτρικά αγώγιμων υμενίων. Η τυπική μορφή αυτών των διατάξεων, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1, είναι: γυαλί / αγώγιμη επίστρωση / ηλεκτροχρωμικό υλικό / αγωγός ιόντων / αποθήκη ιόντων / αγώγιμη επίστρωση / γυαλί. Ο χρωματισμός της διάταξης οφείλεται στη μεταβολή των οπτικών χαρακτηριστικών του ενεργού ηλεκτροχρωμικού υμενίου, που συμβαίνει κατά τη διάρκεια εφαρμογής συνεχούς τάσης στα άκρα της διάταξης. Με την εφαρμογή του εξωτερικού δυναμικού εισάγονται στο ηλεκτροχρωμικό υμένιο ιόντα Li^+ από τον ηλεκτρολύτη και ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα. Η μεταβολή στην ηλεκτρονική πυκνότητα του ηλεκτροχρωμικού υμενίου είναι υπεύθυνη για τη μεταβολή των οπτικών του ιδιοτήτων. Η παρακάτω σχηματική αναπαράσταση περιγράφει φαινομενολογικά αυτή τη διαδικασία για την περίπτωση του οξειδίου του βολφραμίου:



Η διαδικασία χρωματισμού μίας ηλεκτροχρωμικής διάταξης είναι πλήρως αντιστρεπτή με την αλλαγή της πολικότητας του εφαρμοζόμενου δυναμικού. Η απόδοση χρωματισμού της διάταξης αυξάνεται με τη χρήση του υμενίου αποθήκης ιόντων το οποίο χρωματίζεται συμπληρωματικά με το βασικό ηλεκτροχρωμικό υμένιο. Στις συγκεκριμένες διατάξεις είναι δυνατή η μεταβολή του χρώματος από διαφανές σε σχεδόν πλήρως αδιαφανές με εφαρμογή συνεχούς τάσης 1-4 Volt.



Εικόνα 3.1 Ηλεκτροχρωμική διάταξη και διαδικασία χρωματισμού.[11]

3.4 Πόσο γρήγορα αλλάζουν χρώμα τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα;

Η ταχύτητα μεταγωγής ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος και την εξωτερική θερμοκρασία επιφάνειας του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου (η οποία υπαγορεύεται από τυχαία επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας, από την ταχύτητα του ανέμου και τη θερμοκρασία του αέρα).

Εάν η επιφάνεια του παραθύρου είναι μικρή, τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα αλλάζουν γρηγορότερα, γιατί η απόσταση μεταξύ των ράβδων είναι μικρή. Για παράδειγμα, για ένα παράθυρο με απόσταση 18 ιντσών μεταξύ των ράβδων, ο ταχύτερος χρόνος μεταγωγής είναι μεταξύ 1-4 λεπτών υπό ηλιόλουστες ή και θερμές συνθήκες. Για μεγαλύτερα παράθυρα, ο χρόνος μεταγωγής μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερος. Ταχύτερη μετάβαση μεγάλης επιφάνειας ηλεκτροχρωμικού γυαλιού επιτυγχάνεται με την εφαρμογή πρόσθετης λεπτής γραμμής αγωγού, επιτρέποντας έτσι την ταχύτερη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος πάνω από το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο. Με έναν πρόσθετο αγωγό υπάρχει επίσης η δυνατότητα ανεξάρτητου ελέγχου των τμημάτων μέσα σε ένα μεγαλύτερο παράθυρο που προσφέρει το δυναμικό για την εφαρμογή καλύτερων στρατηγικών ηλιακού φωτός. Τα μεγαλύτερα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα με πρόσθετους αγωγούς προσφέρονται από την SAGE Electrochromics, Inc.

Αν τα παράθυρα είναι καυτά εξαιτίας υψηλών θερμοκρασιών του αέρα ή και επειδή το φως του ήλιου χτυπάει την πρόσοψη, τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα θα αλλάξουν γρήγορα απόχρωση. Καθώς, τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία της επιφάνειάς του και στη συνέχεια τις ταχύτητες μεταγωγής τους. Σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας, όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι χαμηλή, (π.χ., νωρίς το πρωί, ή όταν ο ουρανός είναι θολός), τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα χρειάζονται αρκετό χρόνο για να μετατραπούν από πλήρως λευκασμένα σε πλήρως χρωματισμένα.

Κατά τη μετάβαση από καθαρά σε πλήρως χρωματισμένα, η ταχύτητα στην αρχή είναι γρήγορη, στη συνέχεια όσο πάμε προς το τέλος γίνεται βραδύτερη. Αν είναι κρύα, τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα μπορούν να αλλάξουν σχεδόν το 80% του φάσματος μεταγωγής τους γρήγορα, ωστόσο στη συνέχεια μπορεί να πάρει πολύ χρόνο για να φτάσουν το τελικό 20% του ολόκληρου χρωματισμού. Για παράδειγμα, για ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο οξειδίου του βολφραμίου 35X18 ιντσών οι εν λόγω μεταβάσεις μετρήθηκαν:

- ✚ Όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου είναι μεγαλύτερη από περίπου 10 βαθμούς Κελσίου, η ταχύτητα των αλλαγών είναι λιγότερο από 5-6 λεπτά. Όταν υπάρχει ηλιοφάνεια, σε θερμές συνθήκες, η ταχύτητα της αλλαγής μπορεί να είναι μικρότερη από 4 λεπτά.
- ✚ Αν η θερμοκρασία της επιφάνειας του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου είναι μεταξύ -3 και -1 βαθμών Κελσίου, μπορεί να χρειαστούν 37 λεπτά για τον χρωματισμό ή την λεύκανση ανάμεσα στην περατότητα του $T_v=0,56$ και $T_v=0,13$. Μπορεί να πάρει περισσότερο χρόνο ακόμη για να πιάσουμε την ελάχιστη διαπερατότητα του ($T_v=0,05$). Σε χαμηλότερη διαπερατότητα, τα σκοτεινότερα επίπεδα απόχρωσης είναι χρήσιμα εάν το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αντανάκλασης από τον άμεσο ήλιο. Έτσι σε χαμηλές ταχύτητες μεταγωγής, οι κάτοικοι θα χρειαστεί ίσως να καταφύγουν σε εσωτερική χρήση κάθε είδους περσίδων για να εμποδίσει το άμεσο ηλιακό φως από το πεδίο της θέας τους. [18]

3.5 Κάτω από ποιες συνθήκες θα λειτουργήσουν τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα;

Οι LBNL και NREL εναλλάσσουν ηλεκτροχρωμικά παράθυρα, μεταξύ λευκασμένων και χρωματισμένων σε θερμοκρασία επιφάνειας που κυμαίνεται από -10 έως 95 βαθμούς Κελσίου. Οι ταχύτητες μεταγωγής των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων επιβραδύνονται σημαντικά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, η θερμοκρασία επιφάνειας των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων δεν θα φτάσει τα επίπεδα των 95 βαθμών σε τυπικά κατακόρυφα παράθυρα και σε εφαρμογές φεγγίτη. Οι SAGE Electrochromics, Inc. παρακολουθούν θερμοκρασίες επιφάνειας των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων έως και 76 βαθμούς σε υπαίθριες εφαρμογές. (έρημος της Αριζόνα). Οι LBNL μέτρησαν την εξωτερική θερμοκρασία στη γυάλινη επιφάνια του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου IGU με διαφανή γυάλινα υποστρώματα μέχρι 65 βαθμούς Κελσίου τις ηλιόλουστες μέρες για ένα κάθετο παράθυρο με νότιο προσανατολισμό στο Μπέρκλεϋ της Καλιφόρνια.

Η εξωτερική θερμοκρασία της επιφάνειας του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου μπορεί να είναι αρκετά υψηλή, επειδή το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία όταν είναι έγχρωμο. Με μια low-e επίστρωση και μονωτικό γυαλί η εσωτερική θερμοκρασία της επιφάνειας του παραθύρου μπορεί να είναι κοντά σε θερμοκρασία δωματίου. Ακριβείς τιμές μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας το λογισμικό WINDOW 5. Εάν δεν υπάρχει low-e επίστρωση, τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα θα μπορούσαν να προκαλέσουν σημαντική δυσφορία.[19]

3.6 Ποια είναι τα βασικά στοιχεία που συγκροτούν ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο;

Ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο αποτελείται από ένα μονωτικό γυαλί και το πλαίσιο του παραθύρου. Το μονωτικό γυαλί αποτελείται από δύο υαλοπίνακες ή φύλλα συναρμολογούμενα με spacer, στη συνέχεια σφραγίζονται στα τέσσερα άκρα, όπου το εξωτερικό στρώμα γυαλιού έχει την ηλεκτροχρωμική επίστρωση στη δεύτερη εσωτερική επιφάνεια (Οι γυάλινες επιφάνειες ενός παραθύρου αριθμούνται από το εξωτερικό προς

το εσωτερικό), εικόνα 3.2 . Στη συνέχεια περιγράφεται ότι είναι εφικτό με την ηλεκτροχρωμική IGU, όχι απαραίτητα ότι είναι εμπορικά διαθέσιμο αυτή τη στιγμή.

1. το εξωτερικό στρώμα από γυαλί μπορεί να χρωματιστεί. Αν αυτό το στρώμα είναι σε μεγάλο βαθμό φιμέ, η απόχρωση και η ηλεκτροχρωμική επίστρωση σε φιμέ κατάσταση μεταγωγής θα αυξήσει την θερμική πίεση και την πιθανότητα θραύσης του γυαλιού.

2. το εξωτερικό του υποστρώματος μπορεί να έχει μια επιφανειακή επεξεργασία στην εσωτερική επιφάνεια, αλλά όχι για την εσωτερική επιφάνεια με την ηλεκτροχρωμική επίστρωση.

3. το εξωτερικό υπόστρωμα μπορεί να είναι από οποιουδήποτε τύπου γυαλί, αλλά πιθανότατα θα πρέπει να μετριάσει ή να ενισχυθεί θερμικά επειδή το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο όταν είναι έγχρωμο αυξάνει την θερμική πίεση. Η πλαστικοποίηση είναι δυνατή, αλλά θα εξαλείψει τις low-e ιδιότητες της ηλεκτροχρωμικής επίστρωσης. (εάν έχει τέτοιες ιδιότητες).

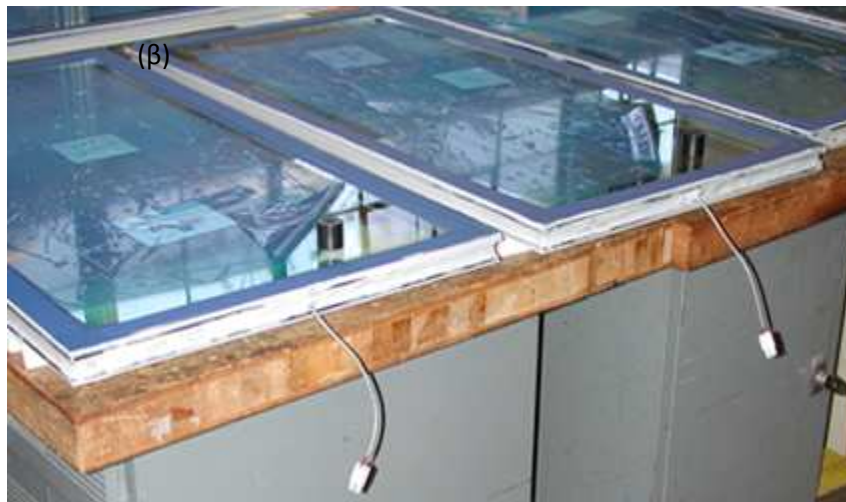
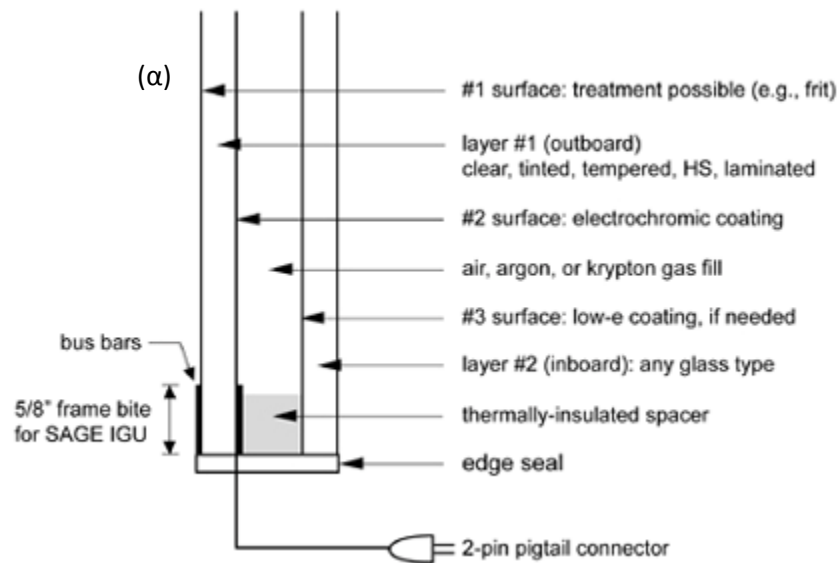
4. το εξωτερικό στρώμα υαλοπινάκων θα έχει δύο μεταλλικές ράβδους που βρίσκονται σε δύο παράλληλες άκρες. Α2 σύρμα αγωγού θα εκτείνεται από το άκρο και θα τελειώνει με ένα συνδετήρα πλεξίδα περίπου 5 με 10 εκατοστά σε μήκος.

5. το εσωτερικό στρώμα του γυαλιού μπορεί να είναι από οποιαδήποτε τύπο γυαλιού. Αν η επίστρωση του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου δεν έχει ιδιότητες χαμηλής εκπομπής, τότε το εσωτερικό στρώμα πρέπει να έχει μια low-e επίστρωση. Για τη λειτουργία IGU, η low-e επίστρωση πρέπει να είναι στην επιφάνεια για να μειώσει τη μεταφορά θερμότητας προς το εσωτερικό.

6. Η συμπλήρωση αερίου μεταξύ των δύο υαλοπινάκων μπορεί να είναι οποιουδήποτε τύπου φυσικό αέριο, δηλαδή με αέρα ή αδρανές αέριο όπως το αργό ή το κρυπτό.

7. Το εσωτερικό των δύο υαλοπινάκων θα πρέπει να είναι μονωμένο ώστε να εμποδίζεται η θερμική αγωγιμότητα και η συμπύκνωση.

8. Οι ηλεκτροχρωμικές επιστρώσεις αποικοδομούνται γρήγορα εάν οι υδρατμοί επιτρέπεται να εισέλθουν στο κενό αέρος ανάμεσα στους δύο υαλοπίνακες. Η βιομηχανία IGU είναι ώριμη, ώστε η αποτυχία είναι σπάνια και απίθανο να συμβεί, σύμφωνα με τους εμπειρογνώμονες του κλάδου.



Εικόνα 3.2 (α) Διάγραμμα ενός τυπικού ηλεκτροχρωμικού γυαλιού μόνωσης και (β) Φωτογραφία τυπικών ηλεκτροχρωμικών μονωτικών πλακών από γυαλί με βύσμα πλεξίδα που βγαίνει από το ένα άκρο της IGU. Η πραγματική 2-pin υποδοχή της κεφαλής μπορεί να γίνει μικρότερη και αδιάβροχη. [20]

3.7 Ποιο είναι το φάσμα μεταγωγής των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων;

Το εύρος της περατότητας και του συντελεστή κέρδους θερμότητας από τον ήλιο των ηλεκτροχρωμικών επιστρώσεων ποικίλλει ανάλογα με τη σύνθεση των υλικών. Ο παράγοντας U δεν επηρεάζεται από την αλλαγή της απόχρωσης. Γενικά, όσο πιο ευρεία

είναι η περιοχή της μεταγωγής, τόσο μεγαλύτερο έλεγχο έχει κανείς υπό μεταβλητές συνθήκες ουρανού και ήλιου. Έτσι ισχύει ότι:

α) Μια κατάσταση υψηλής διαπερατότητας αφήνει περισσότερο φως της ημέρας όταν είναι νεφελώδης ή νωρίς το πρωί ή αργά το απόγευμα.

β) Μια έγχρωμη κατάσταση χαμηλής διαπερατότητας μειώνει τη φωτεινότητα του παραθύρου και της επιφάνειας που μπορεί να προκαλέσει οπτικές ενοχλήσεις. Μια διαπερατότητα χαμηλότερη από 0,01 απαιτείται για να μειωθεί η φωτεινότητα της σφαίρας του ήλιου κάτω από άνετα επίπεδα.

γ) Σε γενικές γραμμές τα εμπορικά κτίρια στις Η.Π.Α. τείνουν να είναι κτίρια που έχουν εσωτερικό φορτίο εξαιτίας της υψηλής πυκνότητας κατοίκων και εξοπλισμού και να λειτουργούν σε κρύες συνθήκες κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Γι' αυτούς τους τύπους των κτιρίων, ο συντελεστής κέρδους θερμότητας πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερος σε σύγκριση με την περατότητα.

δ) Ακόμα κι αν τα παράθυρα είναι μεγάλα ή μικρά, ένα ευρύ φάσμα μεταγωγής είναι σημαντικό.

Το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο πωλείται ως μονάδα μονωτικού γυαλιού με διπλό παράθυρο όταν η ηλεκτροχρωμική επίστρωση εφαρμόζεται στην εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού υαλοπίνακα. Το εύρος μεταγωγής του παραθύρου δεν καθορίζεται μόνο από την ηλεκτροχρωμική επίστρωση, αλλά και τα στρώματα υαλοπινάκων της IGU. Το εξωτερικό στρώμα υαλοπίνακα (ή υπόστρωμα) μπορεί από μόνο του να γίνεται έγχρωμο και καθαρό. Το εσωτερικό στρώμα υαλοπίνακα μπορεί να είναι οποιοδήποτε είδος γυαλιού. Ένα παράδειγμα από το κέντρο του κύκλου του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου εάν τα δύο στρώματα της IGU είναι καθαρό γυαλί ισχύει το εξής:

περατότητα = 0,60 - 0,05

κέρδος θερμότητας = 0,48 - 0,9

συντελεστής $U = 1,59 - 1,87 \text{ W/m}^2\text{C}$ με 90% αργό ή συμπλήρωμα αέρα αντίστοιχα. Ο παράγοντας U παραμένει σταθερός ανεξάρτητα από το επίπεδο μεταγωγής. Η εκπομπή του στρώματος ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων πιθανολογείται ότι είναι 0,84 στην

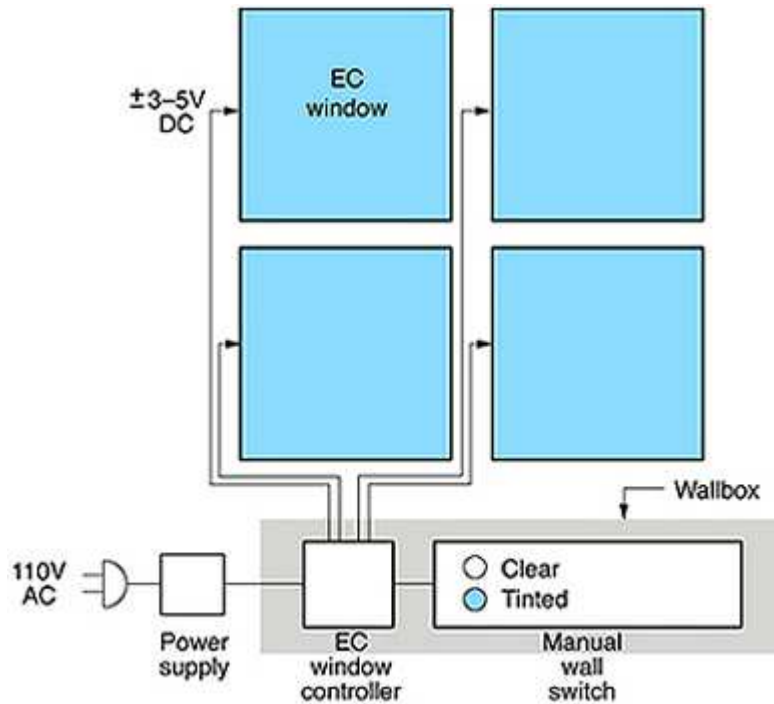
εξωτερική επιφάνεια χωρίς επένδυση και 0,15 για την επιφάνεια της εσωτερικής επίστρωσης.[21]

3.8 Τι χρειάζεται για τον έλεγχο των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων;

Διπλός έλεγχος (πλήρως λευκασμένα ή πλήρως χρωματισμένα)

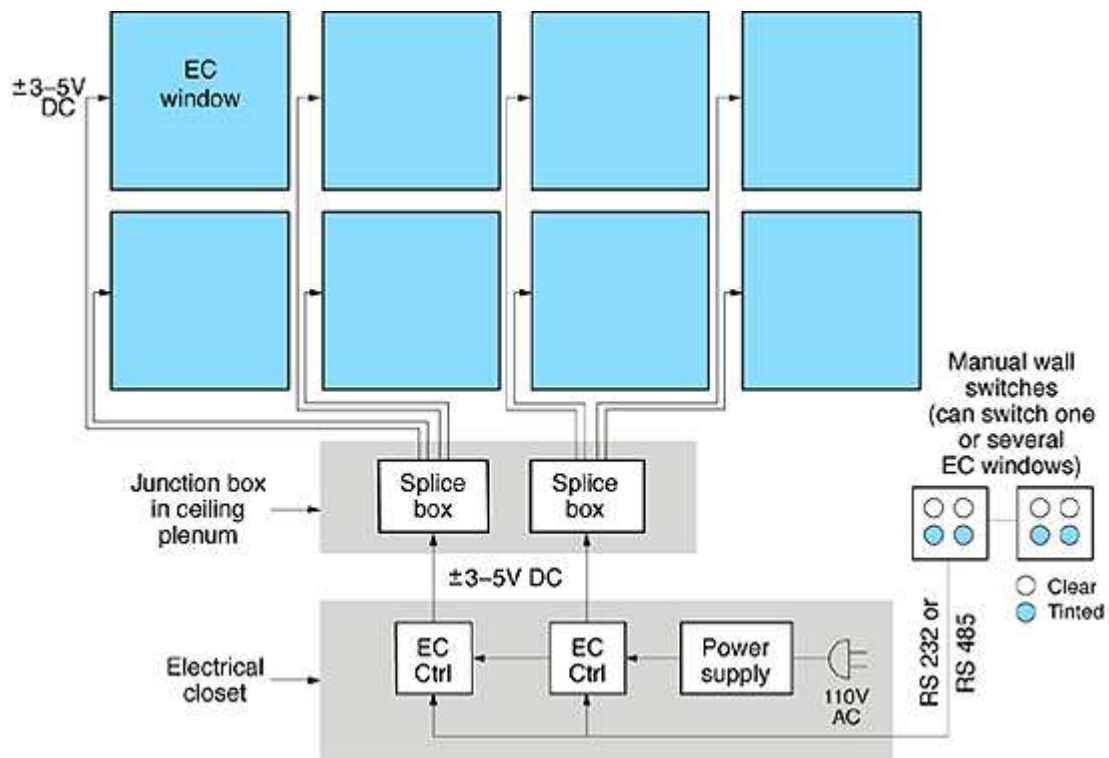
Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα συνήθως πωλούνται με χειροκίνητο διακόπτη που επιτρέπει στον κάτοχο να αλλάζει το επίπεδο χρωματισμού του παραθύρου ανάμεσα σε πλήρως λευκασμένα και πλήρως χρωματισμένα. Για παράδειγμα, η SAGE electrochromics παρέχει έναν επιτοίχιο διακόπτη με φώτα LED που αναβοσβήνουν για να δείξουν τη μετάβαση που υφίσταται. Για ένα προϊόν που προηγουμένως έχει προσφερθεί με άμεσο έλεγχο, ένας ελεγκτής είχε τοποθετηθεί κοντά στον τοίχο που βρίσκεται το παράθυρο. Ένας χρήστης θα μπορούσε λοιπόν να σπρώξει ένα κουμπί επάνω ή προς τα κάτω για να ρυθμίσει το παράθυρο σε ένα από τα πέντε επίπεδα απόχρωσης. Τα φωτάκια LED για κάθε ένα επίπεδο απόχρωσης θα αναβοσβήνουν κατά την αλλαγή, θα σταματάνε όταν ολοκληρώνεται η αλλαγή και θα απενεργοποιούνται μετά από μερικά λεπτά. Για τα δικτυωμένα συστήματα, κάθε ηλεκτροχρωμικό παράθυρο μπορεί να ελεγχθεί μέσω μιας επιφάνειας εργασίας χρήστη υπολογιστή, όπως έγινε και στις δοκιμές πεδίου LBNL.

Οι ελεγκτές των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων οφείλουν να μεταβάλουν τα παράθυρα. Ο ελεγκτής του παραθύρου ρυθμίζει το ρεύμα και την τάση που παραδίδεται σε κάθε παράθυρο. Για on-off έλεγχο, ένας μόνο ηλεκτροχρωμικός ελεγκτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία πολλαπλών παραθύρων (εικόνα 3.3). Ο ηλεκτροχρωμικός ελεγκτής μπορεί να βρίσκεται στο ίδιο σημείο με τον διακόπτη on-off, εάν υπάρχει ένας μικρός αριθμός παραθύρων που ελέγχεται από τον διακόπτη. Οι καλωδιώσεις από τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα και η τροφοδοσία χαμηλής τάσης τροφοδοτούνται στο wallbox.



Εικόνα 3.3 Διάγραμμα μιας μικρής εγκατάστασης ηλεκτροχρωμικού παραθύρου με χειροκίνητο διακόπτη τοίχου.

Για μεγαλύτερους τοίχους με παράθυρα που αποτελούνται από πολλές μονάδες παραθύρων, η καλωδίωση χαμηλής τάσης του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου μπορεί να περατωθεί σε ένα κουτί σύνδεσης στην οροφή (εικόνα 3.4), έπειτα ένα πολύ αγωγίμο καλώδιο ρεύματος μπορεί να λειτουργήσει στο ηλεκτρικό κουτί ή στην τοποθεσία όπου στεγάζονται οι ελεγκτές του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου. Η τροφοδοσία χαμηλής τάσης θα βρίσκεται στο ηλεκτρικό κουτί με τους ελεγκτές του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου. Το σήμα από τον διακόπτη on-off θα μπορούσε να λειτουργήσει για το ηλεκτρικό κουτί με το χωριστό σειριακό καλώδιο επικοινωνίας.



Εικόνα 3.4 Διάγραμμα μιας μεγάλης εγκατάστασης ηλεκτροχρωμικού παραθύρου με χειροκίνητο διακόπτη τοίχου και ηλεκτροχρωμικών ελεγκτών που βρίσκονται πάνω σε ένα ηλεκτρικό κουτί.

Έλεγχος ενδιάμεσης κατάστασης (πλήρως λευκασμένα, πλήρως χρωματισμένα και επίπεδα από ενδιάμεση απόχρωση).

Ενδιάμεσα, ο έλεγχος απαιτεί την προσεκτική αξιολόγηση των ρευμάτων και τάσεων στο παράθυρο. Για το σύστημα SAGE, η καλωδίωση και το σύστημα ελέγχου θα είναι τα ίδια όπως και για τον διπλό έλεγχο. Η εγκατάσταση και η ανάθεση του συστήματος των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων πρέπει να διεξάγεται προσεκτικά για να διασφαλιστεί ότι τα παράθυρα συνδέονται με ορισμένο ελεγκτή.

Για μελλοντικές εφαρμογές, τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα θα έχουν έλεγχο της διαπερατότητας και θα ενσωματωθούν με άλλα συστήματα κτιρίων, όπως ένα αμυδρό σύστημα ηλεκτρικού φωτισμού. Αυτό θα αποτρέψει την επίτευξη του βέλτιστου ελέγχου του δομημένου περιβάλλοντος.

Αυτόματος έλεγχος.

Ο αυτόματος έλεγχος των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων θα απαιτήσει ένα εποπτικό σύστημα ελέγχου και ενδεχομένως αισθητήρες, ανάλογα με τον στόχο του ελέγχου. Προς το παρόν, η SAGE Electrochromics προσφέρει τη δυνατότητα επαφής με εποπτικό σύστημα ελέγχου, αλλά κανένας κατασκευαστής δεν προσφέρει αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου. Η εφαρμογή λογισμικού θα μπορούσε να αναπτυχθεί από τη μηχανική κατασκευή ή την ομάδα ελέγχου. Μια τιμή διαπερατότητας θα μπορούσε να υπολογιστεί από τα εποπτικά συστήματα ελέγχου και στη συνέχεια να διαβιβαστεί ως εντολή στον ελεγκτή των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων, παρόμοια με τον διακόπτη on-off. Το εποπτικό σύστημα ελέγχου θα μπορούσε να είναι ένα ανεξάρτητο ιδιόκτητο σύστημα ελέγχου του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου ή να διασυνδεθεί με τα άλλα ιδιόκτητα συστήματα διαχείρισης κτιρίων μέσω μιας πύλης-συνδέσμου. Ένα χειροκίνητο πληκτρολόγιο που βρίσκεται εντός του χώρου θα πρέπει να παρέχεται ώστε να παρακάμπτεται το αυτόματο σύστημα. Η LNBL επινόησε ένα ολοκληρωμένο ηλεκτροχρωμικό παράθυρο και σύστημα ελέγχου με φυσικό φωτισμό. Το σύστημα αυτό περιγράφεται στην τελική έκθεση του έργου.

Έλεγχος μόνο έναντι ομαδοποιημένων παραθύρων.

Για έναν τοίχο-παράθυρο που αποτελείται από πολλαπλές μονάδες παραθύρου, επιμέρους ηλεκτροχρωμικά παράθυρα θα μπορούσαν να ελέγχονται χωριστά (εικόνα 3.5). Εάν ο τοίχος-παράθυρο αποτελείται από τέσσερις θυρίδες για παράδειγμα, ο διακόπτης της επιτοίχιας εγκατάστασης on-off θα διέθετε τέσσερις διακόπτες με την κατάλληλη σήμανση έτσι ώστε ο χρήστης θα μπορούσε να διαπιστώσει τη θέση του παραθύρου. Επιμέρους παράθυρα θα μπορούσαν επίσης να χωριστούν σε ζώνες, έτσι ώστε όλα τα παράθυρα στην πάνω σειρά, για παράδειγμα να μπορούν να ελέγχονται ξεχωριστά από τα παράθυρα στην κάτω σειρά. Εάν τα παράθυρα ελέγχονται μέσω ενός δικτύου, η ομαδοποίηση των παραθύρων μπορεί να ρυθμιστεί σε λογισμικό όταν γίνονται οι αλλαγές στο χώρο, σε αντίθεση με τις φυσικές εκ νέου καλωδιώσεις.



Εικόνα 3.5 Η εικόνα εμφανίζει χωρισμένες τις ζώνες περατότητας ενός ηλεκτροχρωμικού παραθύρου. [22]

Κεφάλαιο 4. Εμπορικές ηλεκτροχρωμικές διατάξεις.

Παρακάτω αναφέρονται εμπορικά ηλεκτροχρωμικά παράθυρα με τα βασικά τους χαρακτηριστικά:

1. Pilkington E-Control™. Αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια παραγωγής ηλεκτροχρωμικού παραθύρου και προώθησής του στην αγορά. Στο συγκεκριμένο παράθυρο χρησιμοποιούνται υμένια WO_3 (ενεργό ηλεκτροχρωμικό υλικό) και Li,V_2O_5 (αποθήκη ιόντων) που παρασκευάζονται με τη μέθοδο της αποσάθρωσης ανόδου ενώ ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται άλας λιθίου διαλυμένο σε οργανικό πολυμερές. Το E-Control ενσωματώνει και ένα θερμομονωτικό τμήμα με διάκενο που περιέχει αδρανές αέριο (αργόν). Η οπτική διαπερατότητα στη διαφανή και χρωματισμένη κατάσταση της διάταξης είναι 50 και 15 % αντίστοιχα. Ο χρόνος για τον πλήρη χρωματισμό (ή αποχρωματισμό) είναι περίπου 8 λεπτά/ m^2 και η καταναλισκόμενη ισχύς λιγότερη από 0,5 Wh/ m^2 ή 8 W/ m^2 (εφαρμοζόμενη τάση < 3 Volt). Οι διαστάσεις των παραγόμενων παραθύρων ξεκινούν από τα 40×40 cm και φτάνουν το μέγιστο των 120×200 cm, ενώ η αντοχή τους δεν ξεπερνά" τη μέγιστη χρήση των 6000 ηλεκτροχρωμικών κύκλων ανά πέντε έτη". Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του Fraunhofer Institute for Building Physics (Holzkirchen, Germany) που δίνει η εταιρεία η ενσωμάτωση του E-Control σε κτίρια μπορεί να βοηθήσει στην εξοικονόμηση 50 % του πρωτεύοντος ποσού ενέργειας που καταναλώνεται για κλιματισμό. Το κόστος του E-Control ήταν περίπου 900 €/m².

2. Asahi Glass. Η ιαπωνική εταιρεία Asahi είναι η πρώτη εταιρεία που εφάρμοσε ηλεκτροχρωμικά παράθυρα σε κτίριο μεγάλης κλίμακας το 1988 (Seto Bridge Museum, Japan). Η εταιρεία αυτή τη στιγμή δεν κυκλοφορεί στο εμπόριο κάποιο ηλεκτροχρωμικό παράθυρο αλλά μελετά δύο λύσεις: ένα παράθυρο με οργανικό ηλεκτρολύτη πολυμερούς και τελευταία μία εξελιγμένη συμμετρική ηλεκτροχρωμική διάταξη με υμένια WO_3 , NiO και με ανόργανο ηλεκτρολύτη Ta_2O_5 σε μορφή λεπτού υμενίου. Η συγκεκριμένη διάταξη η οποία θα αποτελέσει την πιθανότερη εμπορική πρόταση της εταιρείας μπορεί να μεταβάλει τη διαπερατότητά της από το 73% στο 18% με διάρκεια ζωής πάνω από 100.000 κύκλους ή περισσότερο από 10 χρόνια. Ωστόσο, δεν έχουν λυθεί ακόμη τα προβλήματα με τα παράθυρα μεγάλου μεγέθους.

3. SAGE Glass. Η αμερικανική εταιρεία SAGE έχει προχωρήσει σε μαζική παραγωγή του πρωτοτύπου ηλεκτροχρωμικού της παραθύρου με κωδικό όνομα SAGE Glass™. Πριν βγάλει το προϊόν στην αγορά είχε προχωρήσει σε σημαντικό βαθμό τις πειραματικές μελέτες, κυρίως σε ότι αφορά στα θέματα αντοχής και αξιοπιστίας. Το ηλεκτροχρωμικό

παράθυρο της εταιρείας στηρίζεται στην τεχνολογία αποσάθρωσης ανόδου για την παρασκευή των υμενίων και χρησιμοποιεί στερεό ηλεκτρολύτη σε μορφή υμενίου. Η μεταβολή στη διαπερατότητά του είναι από 55% έως 8%.

4. Gentex. Η εταιρεία παράγει ηλεκτροχρωμικούς καθρέπτες για αυτοκίνητα, ενώ δεν έχει προχωρήσει στην παραγωγή ηλεκτροχρωμικού παραθύρου. Χρησιμοποιεί υμένια που κατασκευάζονται με την τεχνολογία sol-gel και ηλεκτρολύτη πολυμερούς για ελασματοποίηση της τελικής διάταξης.

Στις παραπάνω εταιρείες θα πρέπει να προσθέσουμε και άλλες μεγάλες πολυεθνικές εταιρείες όπως η Glaverbell, Saint Gobain και η Interpane, οι οποίες δραστηριοποιούνται με επενδύσεις σημαντικών κεφαλαίων προς τη μελέτη και παραγωγή ηλεκτροχρωμικών διατάξεων.[11]

Κεφάλαιο 5. Τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι διατάξεις των έξυπνων παραθύρων.

Οι διατάξεις των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων αντιμετωπίζουν ορισμένα προβλήματα λόγω του ότι δεν έχουν τελειοποιηθεί ακόμα. Οι επιστήμονες πειραματίζονται ακόμα συνεχώς έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσουν όσο μπορούν τα προβλήματα.

Μερικά από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει μια ηλεκτροχρωμική διάταξη είναι τα ακόλουθα:

1. Δεν θα είναι ποτέ εντελώς αδιαφανής.
2. Εισέρχεται υπέρυθρη ηλιακή ακτινοβολία που δεν είναι επιθυμητή.
3. Μειώνει την φωτεινότητα του χώρου όταν βρίσκεται σε πλήρη χρωματισμό.
4. Δεν μεταβάλλει τη διαπερατότητά της στιγμιαία αλλά χρειάζεται αρκετό χρόνο για να εισέρθει από το διαφανές στάδιο στον πλήρη χρωματισμό.
5. Δεν προσφέρει τόση μόνωση ώστε να μην επηρεάζεται καθόλου από τις εξωτερικές μεταβολές της θερμοκρασίας.
6. Μειωμένη διάρκεια ζωής.
7. Κόστος συντήρησης.
8. Το κόστος αγοράς και εγκατάστασης. Η τιμή των ήδη υπάρχοντων υψηλής ποιότητας θερμομονωτικών παραθύρων είναι περίπου 80 €/m², ενώ η τιμή για τα απλά ηλεκτροχρωμικά παράθυρα υπολογίζεται να είναι περίπου 800-900 €/m². Η αντίστοιχη τιμή λιανικής πώλησης για το E-Control της Pilkington (συνδυασμός ηλεκτροχρωμικού και θερμομονωτικού παραθύρου) είναι περίπου 900 €/m².
9. Η επιπλέον πολυπλοκότητα του παραθύρου από την άποψη της κατασκευής, της συναρμολόγησης και της εγκατάστασης. [11]

Κεφάλαιο 6.Βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν στα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα.

6.1 Ηλεκτροχρωμικές διατάξεις "δεύτερης γενιάς"

Οι ηλεκτροχρωμικές διατάξεις που αναφέρονται στις προηγούμενες ενότητες θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως η πρώτη γενιά των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων. Σχεδόν όλες οι αναφερόμενες εταιρείες μελετούν πειραματικά πρωτότυπα ηλεκτροχρωμικών παραθύρων έτσι ώστε να προχωρήσουν στην παραγωγή της επόμενης γενιάς βελτιωμένων διατάξεων. Πιο αναλυτικά ένα μελλοντικό εμπορικά προσιτό ηλεκτροχρωμικό παράθυρο θα μπορεί να προσφέρει στο χρήστη του:

1. ελεγχόμενη απομόνωση από τις εξωτερικές συνθήκες: ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο δεν θα είναι ποτέ εντελώς αδιαφανές. Έτσι ανεξάρτητα από την ένταση χρωματισμού ο χρήστης που βρίσκεται στον εσωτερικό χώρο μπορεί πάντα να βλέπει διαμέσου του παραθύρου. Ο στόχος των ηλεκτροχρωμικών διατάξεων δεν είναι η δημιουργία συνθηκών πλήρους απομόνωσης αλλά η ελεγχόμενη μεταβολή των οπτικών του χαρακτηριστικών (διαπερατότητα) και ταυτόχρονα η αποτροπή εισόδου στον εσωτερικό χώρο της ηλιακής θερμικής ακτινοβολίας.
2. ελαχιστοποίηση της εισερχόμενης υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας: μπορεί να επιτευχθεί με χρήση ειδικών επιστρώσεων χαμηλής εκπεμπιμότητας.
3. βελτιστοποίηση του φωτισμού των εσωτερικών χώρων: Η βελτίωση της φωτεινότητας μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων λόγω αυξημένης παραγωγικότητας από τους εργαζομένους.
4. γρήγορη μεταβολή των οπτικών χαρακτηριστικών: ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο δε μεταβάλλει τη διαπερατότητά του στιγμιαία. Αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα καθώς η γρήγορη μεταβολή των οπτικών ιδιοτήτων μπορεί να προκαλέσει θερμικά σοκ σε επιμέρους τμήματα του παραθύρου. Ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο πρέπει να παρέχει δυνατότητα μεταβολής των οπτικών του παραμέτρων με ταυτόχρονη

ελάττωση των θερμικών κερδών. Αυτό επιτυγχάνεται με την απορρόφηση σημαντικού ποσοστού υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας από τα επιμέρους υμένια της ηλεκτροχρωμικής διάταξης. Εάν η μεταβολή αυτή είναι πολύ γρήγορη είναι πιθανό να συμβεί θερμικό σοκ. Για αυτόν ακριβώς το λόγο πρέπει η μεταβολή των οπτικών ιδιοτήτων των παραθύρων να γίνεται με ελεγχόμενο τρόπο έτσι ώστε να ελέγχονται οι θερμοκρασιακές μεταβολές και ταυτόχρονα να έχουμε ομοιόμορφη εμφάνιση σε ολόκληρο το παράθυρο.

5. ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών/κερδών με ταυτόχρονη ελάττωση των εξόδων κλιματισμού: η συνδυασμένη χρήση ηλεκτροχρωμικών διατάξεων και υμενίων χαμηλής εκπεμφιμότητας μπορεί να οδηγήσει στην κατασκευή παραθύρων που θα προστατεύουν τον εσωτερικό χώρο από τις θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντος μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος κλιματισμού. Η βέλτιστη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας για ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο αναμένεται κάτω από το $1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ και με χρήση ειδικών τεχνολογιών να φτάσει το $0,6 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Η ανάπτυξη και ενσωμάτωση βελτιστοποιημένων ηλεκτροχρωμικών παραθύρων σε κτίρια μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (25% σε ανακαινιζόμενα και 35-50% σε νέα κτίρια). Μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μείωση σε ποσοστό 30% της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας. Μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό μπορεί επίσης να επιτευχθεί με τον έλεγχο των θερμικών κερδών κατά την περίοδο του καλοκαιριού λόγω της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

6. αυξημένη διάρκεια ζωής: η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής για τις ηλεκτροχρωμικές διατάξεις δεύτερης γενιάς αναμένεται να ξεπερνά τους 100.000 συνεχείς κύκλους χρωματισμού-αποχρωματισμού χωρίς ίχνη γήρανσης. Αυτό αντιστοιχεί σε 10 κύκλους ανά ημέρα για περίπου 29 χρόνια ή δύο κύκλους την ημέρα για 142 χρόνια!

7. μειωμένο κόστος συντήρησης: τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα δεν έχουν κινητά μέρη και έτσι σε σχέση με αντίστοιχα συστήματα όπως π.χ. παράθυρα με ενσωματωμένα μηχανικά συστήματα σκίασης (ηλεκτρικές περσίδες), θα παρουσιάζουν μειωμένο κόστος συντήρησης. Πρέπει να αναφέρουμε ότι στη συνολική διάρκεια ζωής ενός κτιρίου το κόστος κατασκευής αποτελεί περίπου το 15% του συνόλου ενώ το υπόλοιπο 85% αντιστοιχεί στα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης. Έτσι μπορούμε να κατανοήσουμε πόσο σημαντικό είναι να έχουμε κτίρια με ελαχιστοποίηση των εξόδων συντήρησης.

8. εξαιρετικά χαμηλό κόστος λειτουργίας: όπως αναφέρεται από κατασκευαστές

ηλεκτροχρωμικών διατάξεων η ισχύς που θα καταναλώνεται για τη λειτουργία μίας οικίας με ηλεκτροχρωμικά παράθυρα θα είναι λιγότερη από την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία μίας λάμπας πυρακτώσεως 75 W, ή λιγότερη από 0,5 Wh/m² ή 8 W/m².

9. σχετικά χαμηλό κόστος αγοράς και εγκατάστασης: το κόστος των ηλεκτροχρωμικών διατάξεων πρέπει να γίνει ανταγωνιστικό για να μπορέσει να ικανοποιήσει τις προσδοκίες της αγοράς για οικονομικά "έξυπνα" παράθυρα ελέγχου των ηλιακών κερδών-απωλειών. Η τιμή των ήδη υπάρχοντων υψηλής ποιότητας θερμομονωτικών παραθύρων είναι περίπου 80 €/m², ενώ η τιμή για τα απλά ηλεκτροχρωμικά παράθυρα υπολογίζεται να είναι περίπου 800-900 €/m². Η αντίστοιχη τιμή λιανικής πώλησης για το E-Control της Pilkington (συνδυασμός ηλεκτροχρωμικού και θερμομονωτικού παραθύρου) είναι περίπου 900 €/m². Η είσοδος αυτών των προϊόντων στην πολύ ανταγωνιστική αγορά του παραθύρου για αρχιτεκτονικές εφαρμογές, η οποία παγκοσμίως υπολογίζεται σε 6 δισεκατομμύρια €, θα απαιτήσει μία περισσότερο επιθετική πολιτική με πολύ πιο χαμηλές τιμές για να μπορέσουν οι εταιρείες να οδηγηθούν σε αύξηση των πωλήσεων. Για να έχουμε σημαντική διείσδυση των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων στην αγορά, η τιμή τους θα πρέπει να μειωθεί περίπου μία τάξη μεγέθους φθάνοντας περίπου τα 100-150 €/m², τιμή χαμηλότερη από τα ήδη υπάρχοντα θερμομονωτικά παράθυρα με μηχανικά συστήματα σκίασης. Αυτή η τιμή μπορεί να επιτευχθεί μακροπρόθεσμα με σωστό σχεδιασμό και παραγωγή μεγάλης κλίμακας. [11]

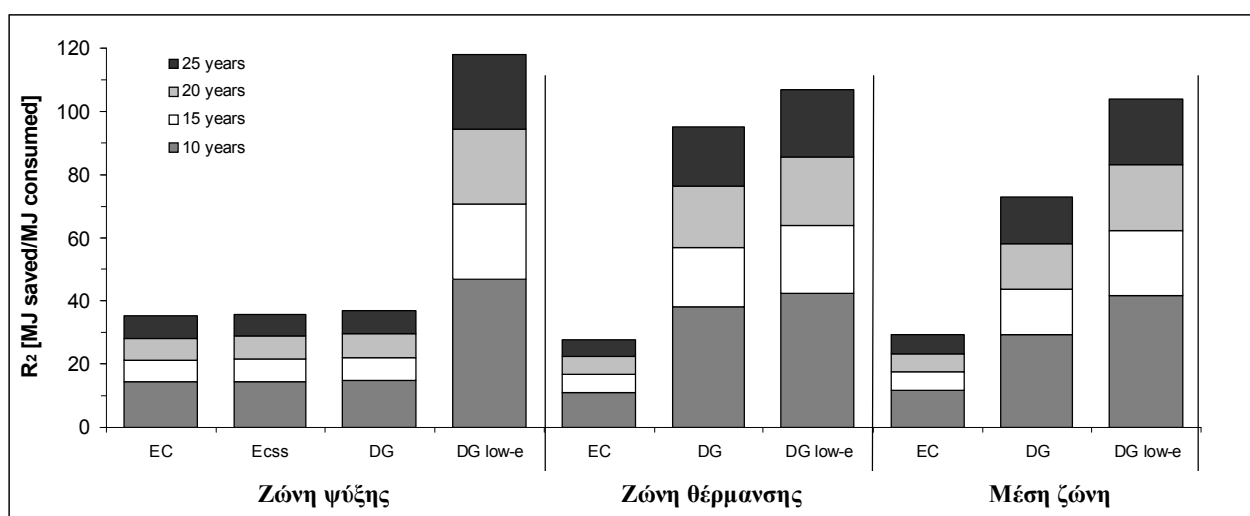
Κεφάλαιο 7. Περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη με την μαζική παραγωγή έξυπνων παραθύρων.

7.1 Μείωση της απαιτούμενης ενέργειας λειτουργίας των κτιρίων.

Σύμφωνα με υπολογισμούς με την χρήση ηλεκτροχρωμικών παραθύρων επιτυγχάνουμε μείωση των φορτίων ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου και στις τρεις κλιματικές ζώνες. Με την χρήση ηλεκτροχρωμικών παραθύρων βλέπουμε ότι η μείωση της απαιτούμενης ενέργειας φτάνει το 56% στη ζώνη ψύξης, ενώ στη ζώνη θέρμανσης το παράθυρο με την διπλή υάλωση παρουσιάζει μείωση 27%.

7.2 Απόδοση της ενέργειας παραγωγής.

Η απόδοση της ενέργειας παραγωγής είναι ο λόγος της ενέργειας που εξοικονομείται προς τη συνολική ενέργεια που δαπανάται στην διάρκεια ζωής του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου (EC). Συγκρίνοντας ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο και ένα παράθυρο διπλής υάλωσης (DG) στο σχήμα 7.1 βλέπουμε πως η εξοικονόμηση ενέργειας είναι 30 με 35 φορές περισσότερη από την ενέργεια που δαπανήθηκε για την παραγωγή και την λειτουργία του πρώτου σε σχέση με το δεύτερο παράθυρο. Στο παράθυρο διπλής υάλωσης παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές λόγω των βιομηχανοποιημένων διαδικασιών παραγωγής.



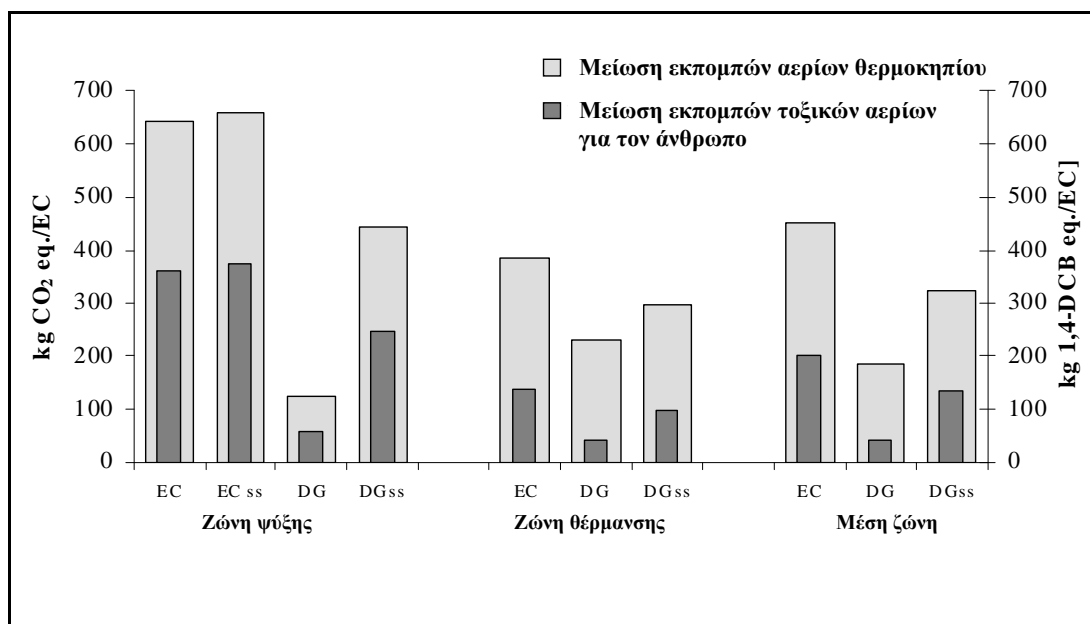
$$R_2 = \frac{\text{Εξοικονόμηση ενέργειας}}{\text{Συνολική εισροή ενέργειας}} = \frac{E_s}{E_{in,net}}, \quad [\text{MJ saved} / \text{additional MJ consumed}]$$

Σχήμα 7.1 Μεταβολή της ενεργειακής απόδοσης παραγωγής.

7.3 Μείωση των εκπομπών CO₂ και των τοξικών εκπομπών.

Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα καθώς εξοικονομούν ενέργεια, συνεισφέρουν στην μείωση και των ρύπων της ατμόσφαιρας. Λόγω εξοικονόμησης φορτίων ψύξης έχουμε μείωση εκπομπών από κατανάλωση ηλεκτρισμού, ενώ αποφεύγονται και οι εκπομπές από την καύση φυσικού αερίου λόγω της εξοικονόμησης φορτίων θέρμανσης. Οι τιμές που μας δείχνει το σχήμα 7.2 είναι αρκετά ενδιαφέρουσες. Οι εκπομπές περίπου 650 kg ισοδυνάμου CO₂ αποφεύγονται κατά την εφαρμογή του ηλεκτροχρωμικού παραθύρου (EC) για 25 χρόνια σε ζώνες ψύξης. Επίσης η μείωση των τοξικών εκπομπών είναι γύρω στα 360 kg δηλαδή 1,4 DCB ενώ το ECss αποδίδει ακόμα καλύτερα, και η χρήση διπλής υάλωσης DGss και DG θα οδηγούσε σε περισσότερες εκπομπές κατά 210

έως 520 kg CO₂ eq. αντίστοιχα. Και στις τρεις κλιματικές ζώνες φαίνεται το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο να υπερισχύει, καθώς παρέχει πολύ σημαντική μείωση των εκπομπών (380-450 kg CO₂) σε σύγκριση με τις διπλές υαλώσεις. Η μείωση των τοξικών εκπομπών από τη χρήση του ηλεκτροχρωμικού σε ζώνες ψύξης είναι 360 kg 1,4 DCB eq., ενώ από τα παράθυρα διπλής υάλωσης, DG και DGss είναι περίπου 60 kg και 250 ισοδύναμα kg 1,4 DCB αντίστοιχα. Αν λάβουμε υπόψη ότι στη ζώνη ψύξης αντιστοιχούν σε ισοδύναμες εκπομπές CO₂ από τη χρήση 521 kWh ηλεκτρισμού και σε ισοδύναμες εκπομπές 1,4-DCB από τη χρήση 510.3 kWh ηλεκτρισμού αντίστοιχα, βλέπουμε την σπουδαία σημασία αυτών των εκπομπών που αποφεύγονται.

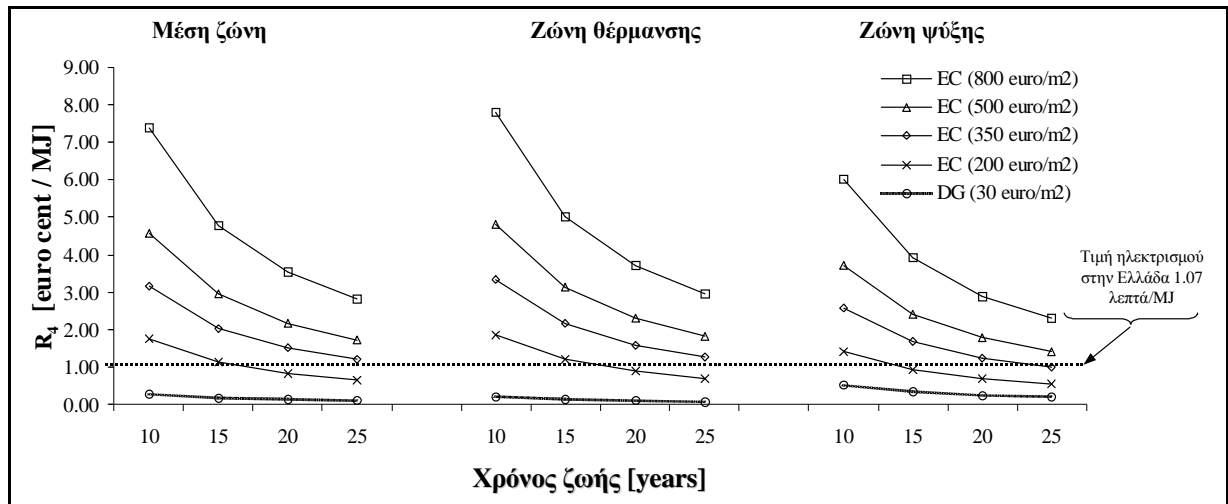


Σχήμα 7.2 Μεταβολή της μείωσης εκπομπών για τον EC και τον DG υαλοπίνακα.

7.4 Ένταση κόστους.

Σε αυτή την παράγραφο θα υπολογίσουμε το κόστος των συνολικών ενεργειών σε ευρώ ανά MJ της ενέργειας που κερδίζεται. Το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο (EC) κοστίζει από 200 έως 800 €/m² (σχήμα 7.3), αυτό αποτελεί ενδιαφέρον μειονέκτημα για την επέκταση της αγοράς τους, αντίθετα το παράθυρο διπλής υάλωσης (DG) κοστίζει μόνο 30 €/m². Αν το κόστος αγοράς μειωθεί στα 350 €/m² και ο χρόνος ζωής ξεπεράσει τα 25 χρόνια ή στην περίπτωση που το κόστος αγοράς μειωθεί στα 200 €/m² και ο χρόνος ζωής επεκταθεί πάνω από 15 χρόνια, τότε το κόστος κάθε MJ ενέργειας που εξοικονομείται μειώνεται σημαντικά και γίνεται χαμηλότερο από την ισχύουσα τιμή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα

δηλαδή 1.07 euro cent/MJ.

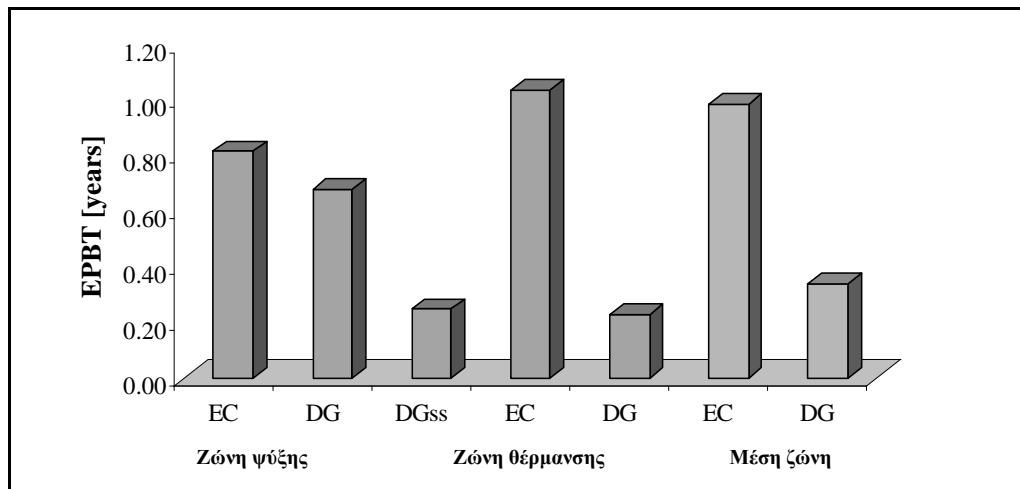


$$R_p = \frac{\text{Συνολικό κόστος αγοράς}}{\text{Ενεργειακό κέρδος}} = \frac{C_{EC} - C_{SG}}{E_g}, \quad [\text{euro cent / MJ}]$$

Σχήμα 7.3 Μεταβολές της έντασης κόστους.

7.5 Χρόνος Απόδοσης Ενέργειας.

Εδώ θα μιλήσουμε για τον χρόνο που χρειάζεται για να αντισταθμιστεί μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας η ενέργεια που καταναλώθηκε σε όλο τον κύκλο ζωής του σε σύγκριση με ένα παράθυρο μονής υάλωσης. Στην ζώνη ψύξης τα 0,8 χρόνια λειτουργίας είναι αρκετά για ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο ώστε να αντισταθμίσει την ενέργεια που χρειάστηκε για την παρασκευή του, στη ζώνη θέρμανσης αρκούν 1,04 χρόνια (σχ. 7.4) και στους διπλούς υαλοπίνακες τώρα ο χρόνος που χρειάζεται είναι από 0,23-0,68 χρόνια.



$$R_{S(energy)} = \frac{\text{Συνολική εισροή ενέργειας}}{\text{Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας}} \times \text{Εκτιμώμενος χρόνος ζωής} = \frac{E_{in,net}}{E_s} \times LT, \text{ [years]}$$

Σχήμα 7.4 Μείωση των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων για τους EC και DG υαλοπίνακες.

7.6 Νέες θέσεις εργασίας.

Υπολογίζεται πως με την αύξηση της παραγωγής σε βιομηχανικό επίπεδο αυτής της καινούργιας τεχνολογίας, θα υπάρξει καταπολέμηση της ανεργίας. Γενικώς ο τομέας του περιβάλλοντος δίνει τη δυνατότητα λόγω αναγκών να δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας. Τα έξυπνα παράθυρα είναι μια τεχνολογία πολύ συμφέρουσα αν μειωθεί το κόστος παραγωγής οπότε πολύ αναπτυσσόμενη και υποσχόμενη.

7.7 Καλύτερες συνθήκες εργασίας.

Τα έξυπνα παράθυρα βελτιώνουν τις συνθήκες περιβάλλοντος. Σε ένα γραφείο αποτελούμενο από αυτά, βελτιώνεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος καθώς και ο φωτισμός. Με αυτό τον τρόπο ο χώρος εργασίας έχει ένα ευχάριστο κλίμα κι ο επωφελούμενος είναι ο εργαζόμενος. [11]

Βιβλιογραφία

- [1] <http://www.24gr.gr/?p=586>
- [2] <http://politikokafeneio.com/Forum/viewtopic.php?p=86356&sid=935c7a6e315c7448f25134f4768f04b6>
- [3] <http://www.econews.gr>
- [4] <http://www.eea.europa.eu/el/pressroom/newsreleases/meiosi-ton-ekpompn-aerion-thermokipioy-stin-ee-to-2005>
- [5] <http://users.att.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/FainThermoKip.htm>
- [6] http://www.atticanet.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=584:2009-12-11-17-00-34&catid=94:2009-03-11-11-30-52&Itemid=811
- [7] http://www.buildings.gr/greek/aiforos/exikonomisi/m_santamouris.htm
- [8] http://library.tee.gr/digital/dkr/dkr_m432/dkr_m432_kef4a.pdf
- [9] http://www.odp.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=504&Itemid=40
- [10] ΚΑΠΕ, Έργο “Double Glazing in Southern Countries”
- [11] <http://vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/126.doc>
- [12] <http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/209/1/265.pdf>
- [13] http://www.kathimerini.gr/4dcgi/w_articles_oiko1_2_10/05/2010_1291657
- [14] <http://www.sage-ec.com/pages/sagebldg.html>
- [15] <http://www.prlog.org/10692402-sage-electrochromics-dynamic-glass-selected-for-chabot-college-community-student-services-cente.html>
- [16] <http://www.djc.com/news/en/12014997.html>
- [17] http://www.pge.com/includes/docs/pdfs/about/edusafety/training/pec/inforesource/switchable_glazings.pdf
- [18] http://windows.lbl.gov/comm_perf/Electrochromic/ec_tech_swsp.html

- [19] http://windows.lbl.gov/comm_perf/Electrochromic/ec_tech_opco.html
- [20] http://windows.lbl.gov/comm_perf/Electrochromic/ec_desi.html
- [21] http://windows.lbl.gov/comm_perf/Electrochromic/ec_tech_swra.html
- [22] http://windows.lbl.gov/comm_perf/Electrochromic/ec_desi_cont.html