



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιολόγηση σπατάλης ενέργειας  
Υπερθέρμανσης – υπέρψυξης και υπερφωτισμού χώρων



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΞΕΝΙΑ ΡΗΓΑΚΟΥ ΑΜ:6041  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΣ ΣΑΚΚΑΣ

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**  
**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΠΑΤΑΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**  
**ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗΣ-ΥΠΕΡΨΥΞΗΣ-ΥΠΕΡΦΩΤΙΣΜΟΥ**

Αρχικά η εργασία αναλύει το φαινόμενο της υπερθέρμανσης χώρων όπου αναφέρει τις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης, την ανθρώπινη ευθύνη καθώς και μέτρα επίλυσης του προβλήματος. Έπειτα εστιάζει στο φαινόμενο υπέρψυξης χώρων, τα προβλήματα που προκαλεί καθώς και λύσεις. Τέλος αναλύει το φαινόμενο του υπερφωτισμού και την κατάλληλη επιλογή φωτιστικών-φωτισμού για την αποφυγή προβλημάτων. Κλείνοντας αναφέρεται στην εξοικονόμηση ενέργειας μέσα από σενάρια με βασικό κριτήριο την ανθρώπινη συμπεριφορά.

**ASSESSING THE ENERGY WASTAGE DUE TO**  
**OVERHEATING/ OVERCOOLING/ OVER LIGHTING**  
**OF BUILDING SPACES**

Intially the tsesis analyzes the phenomenon of space overheat that will mention the consequences of overheating that will mention the consequences of overheating, human responsibility as well us measures for the problem to be solved. Then it focuses on the phenomenon of space overcooling, the problems that are caused as well a solutions. Then finally the phenomenon of overlighting as well us the oppropriate choice of lighting in different spaces for any avoidance of problems is analyzed. Concluding energy saving through scenarios with the basic criterion being human behavior, is mentioned.

**Λέξεις κλειδιά- Key Words:** υπερθέρμανση, υπέρψυξη, υπερφωτισμός – Overheating, overcooling, overlighting.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΠΑΤΑΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΕΡΘΕΜΑΝΣΗ ΧΩΡΩΝ**

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 1.1       | Τι ονομάζουμε υπερθέρμανση(1).....   | 3  |
| 1.1.1.    | Φαινόμενο της υπερθέρμανσης χώρων(2,3) .....   | 3  |
| 1.1.2     | Οι επιπτώσεις της υπερθέρμανσης(3,4,5) .....   | 4  |
| 1.2       | Ανθρώπινη ευθύνη(1).....   | 5  |
| 1.3       | Μέτρα- διεθνείς συμβάσεις και λύσεις του φαινομένου της υπερθέρμανσης(5,6,7,8,9,10,11,12)..... | 6  |
| 1.4       | Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων(6,9,10) .....   | 19 |
| 1.4.2     | Θερμική άνεση(12,13,17,18).....  | 22 |
| 1.4.2.1   | Ορισμός.....   | 22 |
| 1.4.2.2   | Η φυσιολογία της θερμικής άνεσης(12).....  | 22 |
| 1.4.2.3   | Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση .....  | 23 |
| 1.4.2.3.1 | Θερμοκρασία(11,12,13) .....  | 23 |
| 1.4.2.3.2 | Υγρασία.....   | 25 |

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΠΑΤΑΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΕΡΨΥΞΗΣ ΧΩΡΩΝ(19 έως 72)**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.1   | Τι ονομάζουμε υπέρψυξη(19) .....                    | 28 |
| 2.2   | Το φαινόμενο της υπέρψυξης χώρων(19,20) .....       | 29 |
| 2.2.1 | Εύτηκτα μίγματα οργανικών και ανόργανων υλικών..... | 36 |
| 2.3   | Προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισης.....            | 36 |
| 2.3.1 | Διαχωρισμός Φάσεων.....                             | 36 |
| 2.3.2 | Υπόψυξη/Υπέρψυξη (subcooling/supercooling).....     | 37 |
| 2.3.3 | Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα.....                     | 38 |

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΠΑΤΑΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΕΡΦΩΤΙΣΜΟΥ ΧΩΡΩΝ**

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.1   | Τι ονομάζουμε υπερφωτισμό(73,74,75,76).....  | 57  |
| 3.2   | Το φαινόμενο του υπερφωτισμού χώρων(75,76,77,78).....  | 57  |
| 3.3   | Οι επιπτώσεις του υπερφωτισμού.....  | 58  |
| 3.4   | Κατάλληλη επιλογή φωτιστικών-λαμπτήρων για την αποφυγή υπερφωτισμού χώρων.....   | 59  |
| 3.4.1 | Κατάλληλη επιλογή φωτιστικών-λαμπτήρων για την αποφυγή υπερφωτισμού σε επαγγελματικούς χώρους(78,79,80).....             | 60  |
| 3.4.2 | Κατάλληλη επιλογή φωτιστικών-λαμπτήρων για την αποφυγή υπερφωτισμού σε χώρους γραφεία διδασκαλίας(78,79,80).....         | 60  |
| 3.4.3 | Κατάλληλη επιλογή φωτιστικών-λαμπτήρων για την αποφυγή υπερφωτισμού σε χώρους καταστημάτων(80).....                      | 71  |
| 3.4.4 | Κατάλληλη επιλογή φωτιστικών-λαμπτήρων για την αποφυγή υπερφωτισμού σε χώρους εκθέσεων, μουσείων και γκαλερί(79,80)..... | 85  |
|       | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....   | 94  |
|       | ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....   | 95  |
|       | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....   | 99  |
|       | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....  | 100 |

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΠΑΤΑΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ** **ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗ ΧΩΡΩΝ**

### *1.1 Τι ονομάζουμε υπερθέρμανση (1)*

Ο όρος παγκόσμια θέρμανση(global warming) δηλώνει μια ειδική περίπτωση κλιματικής μεταβολής και αναφέρεται στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης και των ωκεανών. Αποδίδεται συχνά με διαφορετικό τρόπο, ως πλανητική (υπέρ) θέρμανση ή παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ άλλες φορές ταυτίζεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου που αποτελεί έναν μηχανισμό παγκόσμιας θέρμανσης.

Για την ικανοποίηση των ολοένα αυξανόμενων αναγκών των ανθρώπων σε ενέργεια παρατηρείται αύξηση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων (κυρίως γαιάνθρακα και πετρελαίου) η καύση των οποίων προκαλεί την παρατηρούμενη υπερθέρμανση του πλανήτη μέσω της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου.

Η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει μεταβολή του κλίματος τόσο σε πλανητικό όσο και σε τοπικό επίπεδο. Αυτή η μεταβολή έχει ως αποτέλεσμα την τροποποίηση της ζωής στον πλανήτη προκαλώντας ανωμαλίες στις εποχές του έτους, αύξηση της μέσης θερμοκρασίας και της ξηρασίας, άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων ολοένα και συχνότερα.

#### *1.1.1. Φαινόμενο της υπερθέρμανσης χώρων(2,3)*

Υπάρχουν αυξανόμενες ενδείξεις αυξημένης συχνότητας υπερθέρμανσης κατά τη διάρκεια θερμών καιρικών συνθηκών σε κτίρια χωρίς κλιματισμό, ιδιαίτερα σπίτια σε εύκρατα κλίματα, όπου η συγκράτηση της χειμερινής θερμότητας αποτέλεσε το επίκεντρο του θερμικού σχεδιασμού. Η υπερθέρμανση ήταν ιδιαίτερα αξιοσημείωτη στα νέα σπίτια και στα υπάρχοντα αποθέματα. Η υπερβολική θερμότητα επηρεάζει την υγεία και την ευημερία των επιβατών, ειδικά εάν υποβαθμίζεται ο ύπνος.

Σε τελική ανάλυση, το θερμικό στρες που προκαλείται μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη θνησιμότητα, ιδίως μεταξύ των πιο ευάλωτων μελών της κοινωνίας. Το πρόβλημα έρχεται έντονα στο προσκήνιο κατά τη διάρκεια του καταστροφικού πανευρωπαϊκού καύσωνα του 2003, το οποίο προκάλεσε 15.000 πρόωρους θανάτους .

Σε περιοχές όπου χρησιμοποιείται ήδη κλιματισμός ή ακόμα και απαραίτητο για τη διατήρηση της άνεσης, υπάρχει ενδιαφέρον για τις εσωτερικές θερμοκρασίες που μπορεί να προκύψουν σε περίπτωση αποτυχίας του μηχανικού εξοπλισμού ψύξης ή της ηλεκτρικής τροφοδοσίας. Η ανησυχία εδώ είναι η επιβίωση σε σχετικά σπάνιες και απρόβλεπτες συνθήκες.

Επί του παρόντος, δεν υπάρχει ισχυρός, και παγκοσμίως αποδεκτός ορισμός της υπερθέρμανσης είτε για χρήση στην αξιολόγηση προτεινόμενων κατοικιών, για παράδειγμα, με μοντελοποίηση ή με βάση την αξιολόγηση. Gupta et al. σε αυτό το τεύχος παρέχουν μια χρήσιμη λίστα μερικά κριτήρια υπερθέρμανσης που χρησιμοποιούνται συνήθως στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ωστόσο, η αξιολόγηση των υφιστάμενων, κατεχόμενων κατοικιών είναι η πιο ενοχλητική. Κατά συνέπεια, τα έγγραφα που περιέχουν μελέτες παρακολούθησης χρησιμοποιούν διαφορετικά κριτήρια για να αξιολογήσουν εάν έχει σημειωθεί ή όχι υπερθέρμανση. Οι διαφορές έγκεινται τόσο στα ουσιαστικά κριτήρια που έχουν επιλεγεί, όσο και στη λεπτομερή εφαρμογή. Τα προβλήματα προκύπτουν εξαιτίας του τρόπου εξέλιξης των κριτηρίων.

### 1.1.2 Οι επιπτώσεις της υπερθέρμανσης (3,4,5)

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση ο κτηριακός τομέας (τα νοικοκυριά και ο τριτογενής τομέας) αντιπροσωπεύει το σημαντικότερο τομέα κατανάλωσης της τελικής ενέργειας σε απόλυτες τιμές (40%). Έχει καταγραφεί ότι η θέρμανση των κτηρίων κατέχει σημαντικό μέρος των συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων τους (69%), ακολουθούμενη από την παραγωγή ζεστού νερού (15%), τις ηλεκτρικές συσκευές και το φωτισμό (11%). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στις Ευρωπαϊκές Βόρειες χώρες όπως η Φινλανδία και η Δανία, όπου οι δριμείς χειμώνες είναι μεγάλης διάρκειας, η θέρμανση κατοικιών ανέρχεται στα 1,5 Τόνους Ισοδύναμου Πετρελαίου (ΤΠΠ)/κατοικία (1997), ενώ στην Ελλάδα το αντίστοιχο ποσό είναι 0,9 ΤΠΠ/κατοικία. Η μέση κατανάλωση ενέργειας μιας τυπικής κατοικίας για θέρμανση έχει ελαφρά μειωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 1990, ενώ η θεωρητική ειδική κατανάλωση των νέων κατοικιών στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι κατά 22% μικρότερη από το 1985. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο οι κατοικίες, όσο και οι ηλεκτρικές συσκευές είναι ενεργειακά πιο αποδοτικές, αν και οι απαιτήσεις σε άνεση είναι αυξημένες. Επί πλέον, υπάρχουν αυστηρότερα κριτήρια ενεργειακής απόδοσης που έχουν θεσπιστεί σε αρκετές χώρες την τελευταία πενταετία. Στην Ελλάδα, χώρα Μεσογειακή με πολύ λιγότερες απαιτήσεις σε θέρμανση κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο

αποκλειστικά το πετρέλαιο, αντιστοιχούν στο 36% του συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο, 12% ηλεκτρικό ρεύμα και 18% καυσόξυλα. Σε αντίθεση με το συνολικό της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στην Ελλάδα η κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια παρουσιάζει αυξητική τάση. Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας είναι ιδιαίτερα εμφανής στον κτηριακό τομέα, ο οποίος καλύπτει το 36% περίπου της συνολικής τελικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ελλάδα, με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 7%. Επιπλέον, τα κτήρια ευθύνονται για πάνω από το 45% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, βασικού αερίου του φαινόμενου του θερμοκηπίου.

## *1.2 Ανθρώπινη ευθύνη (1)*

Ανατρέχοντας λίγο στο κοντινό παρελθόν, παρατηρούμε πως από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, οι άνθρωποι ξεκίνησαν να καίνε ορυκτά καύσιμα σε μαζικές ποσότητες για να κινήσουν οχήματα, να θερμάνουν τις κατοικίες τους, να εκτελέσουν τις επαγγελματικές τους δραστηριότητες, να τροφοδοτήσουν τα εργοστάσια με ενέργεια. Ενέργεια που είχε αποθηκευτεί στα ορυκτά αυτά μέσα σε διάστημα εκατομμυρίων ετών. Τα τελευταία 200 χρόνια έχουμε καταναλώσει ένα μεγάλο μέρος των αποθεμάτων αυτών των ορυκτών καυσίμων, με αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα(CO<sub>2</sub>)στην ατμόσφαιρα. Ταυτόχρονα, μέσα από την συνεχιζόμενη αποψίλωση των δασών απελευθερώνονται οι ποσότητες διοξειδίου που είναι αποθηκευμένο στα δέντρα και το έδαφος. Με αυτόν τον τρόπο επέρχεται μια γενική αύξηση στις ποσότητες των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς το CO<sub>2</sub> αποτελεί ίσως το κυριότερο αυτών.

Η επίσημη επιστημονική θέση πάνω στις κλιματικές μεταβολές, είναι πως η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί 0.4- 0.8 °C από τα τέλη του 19ου αιώνα και πως η αύξηση αυτή οφείλεται σημαντικά στην ανθρώπινη δραστηριότητα των τελευταίων 50 ετών. Μία μειοψηφία επιστημόνων, διαφοροποιείται σε σχέση με την άποψη αυτή, αμφισβητώντας την καταλυτική επίδραση που ενδέχεται να έχει η ανθρώπινη δραστηριότητα σε σχέση με την παγκόσμια θέρμανση.

Δεδομένα από το World Resources Institute δείχνουν ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν προσθέσει στην ατμόσφαιρα 2.3 τρισεκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> τα τελευταία 200 χρόνια. Η μεγαλύτερη απόλυτη αύξηση στις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάστηκε το 2004, όταν μόνο από την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων προστέθηκαν στην ατμόσφαιρα πάνω από 28 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα. Συνολικά, η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 31% από το 1750, δηλαδή από τη Βιομηχανική Επανάσταση. Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα είναι πλέον περίπου 12 φορές υψηλότερες σε σχέση με το 1900, καθώς οι ανθρώπινες κοινωνίες ανά την υφήλιο καίνε αυξημένες ποσότητες γαιάνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου για την παραγωγή ενέργειας.

Σήμερα, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι η υψηλότερη που έχει παρατηρηθεί τα τελευταία 420.000 χρόνια. Το 2005 μαζί με το 1998, ήταν οι πιο θερμές χρονιές που έχουν καταγραφεί ποτέ. Ίσως ακόμα πιο

ανησυχητικό είναι το γεγονός ότι τα 10 θερμότερα χρόνια που έχουν καταγραφεί παγκοσμίως από το 1856 παρατηρήθηκαν τα τελευταία 15 χρόνια. Στοιχεία από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό δείχνουν ότι τα 11 θερμότερα χρόνια με φθίνουσα σειρά ήταν: 1998 & 2005 (μαζί), 2002 και 2003 (μαζί), 2001, 1997, 1995, 1990 και 1999 (μαζί), 1991 & 2000 (μαζί).

Σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες της ΔΕΑΚ (Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος), το καλύτερο σενάριο ως προς την μελλοντική αύξηση των εκπομπών CO<sub>2</sub> προβλέπει διπλάσιες συγκεντρώσεις αυτού του αερίου στην ατμόσφαιρα το 2100 σε σχέση με τις συγκεντρώσεις που παρατηρούνταν πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση. Σύμφωνα με το χειρότερο σενάριο, αυτός ο διπλασιασμός αναμένεται νωρίτερα, περίπου το 2045. Η Τρίτη αναφορά αξιολόγησης της ΔΕΑΚ προβλέπει αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας μεταξύ 1,4°C και 5,8°C εντός της χρονικής περιόδου 1990 και 2100. Μίας τέτοια ενδεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας δύναται να έχει τρομερές συνέπειες στο οικοσύστημα της γης που θα έχουν αντίκτυπο σε όλους μας.

### 1.3 Μέτρα - Διεθνείς Συμβάσεις και Λύσεις του Φαινομένου της Υπερθέρμανσης (5,6,7,8,9,10,11)

#### Αντιμετώπιση του φαινομένου

Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη εμφανείς. Ακόμη κι αν μειωθούν δραστικά οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη θα συνεχιστεί για δεκαετίες, και οι επιπτώσεις θα είναι εμφανείς για αιώνες εξαιτίας των μέχρι σήμερα εκπομπών. Γι' αυτό τον λόγο, η προσαρμογή και ο μετριασμός θα πρέπει να λειτουργήσουν συμπληρωματικά. Ο όρος «Μετριασμός» περιγράφει μέτρα που έχουν να κάνουν κυρίως με τα αίτια της κλιματικής αλλαγής, ενώ η «Προσαρμογή» εστιάζει σε μέτρα που σχετίζονται με τα αποτελέσματα της.

#### Προσαρμογή

Ο όρος «προσαρμογή» (adaptation) αναφέρεται σε όλες εκείνες τις ενέργειες και παρεμβάσεις στα φυσικά και ανθρωπογενή συστήματα ως αντίδραση στις επιπτώσεις που επέρχονται ή πρόκειται να επέλθουν λόγω της μεταβολής του κλίματος (IPCC, 2007a). Προσαρμογή δηλαδή σημαίνει να προλάβουμε τις αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, να λάβουμε τα κατάλληλα μέτρα πρόληψης ή ακόμα και η ελαχιστοποίηση των ζημιών που ίσως προκληθούν και να ενισχύσουμε την ανθεκτικότητα της κοινωνίας. Έχει αποδειχτεί ότι με μια καλά σχεδιασμένη, έγκαιρη δράση προσαρμογής θα μπορούσαμε αργότερα να μειώσουμε το κόστος και να σώσουμε ζωές.

#### Ανάλυση των κατηγοριών «προσαρμογής»

Προληπτική ή προπαρασκευαστική προσαρμογή (proactive or anticipatory adaptation), είναι η προσαρμογή, η οποία λαμβάνει χώρα πριν να εκδηλωθούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Αυτόνομη προσαρμογή (autonomous adaptation) είναι η προσαρμογή, η οποία δεν αποτελεί συνειδητή αντίδραση σε ένα κλιματικό γεγονός αλλά επιτυγχάνεται μέσα από φυσικές αλλαγές στις οποίες προβαίνουν τα οικολογικά συστήματα, καθώς και μέσα από αυτόνομες αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στα ανθρώπινα συστήματα(κοινωνικές δομές, αγορά).

Σχεδιασμένη προσαρμογή (planned adaptation) είναι η προσαρμογή, η οποία είναι αποτέλεσμα πολιτικής απόφασης βασισμένη στη συνειδητοποίηση του γεγονότος, ότι οι συνθήκες έχουν αλλάξει ή πρόκειται να αλλάξουν και χρειάζονται συγκεκριμένες δράσεις για να επανέλθει ή να διατηρηθεί ή να επιτευχθεί η επιθυμητή κατάσταση.

Τέλος, ως δυνατότητα προσαρμογής (adaptive capacity) ορίζεται η ικανότητα ενός συστήματος να προσαρμόζεται επιτυχώς στις κλιματικές διακυμάνσεις και αλλαγές, και να περικλείει τις ανάλογες προσαρμογές, τόσο στη συμπεριφορά και στους πόρους, όσο και στις τεχνολογίες.

Θα άξιζε να σημειωθεί πως η προσαρμογή υποδηλώνει την ανάγκη πρόβλεψης των μελλοντικών αλλαγών, με απώτερο σκοπό την αποτελεσματική μείωση του ρίσκου και των ζημιών, ελαχιστοποιώντας το κόστος δράσης και μεγιστοποιώντας τα όποια δυνατά οφέλη σε κοινωνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς όρους.

## Μετριασμός

Με τον όρο «μετριασμός των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής» ή απλά «μετριασμός», νοείται το σύνολο των δράσεων οι οποίες στοχεύουν στον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων είτε μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είτε μέσω της αύξησης των δυνατοτήτων απορρόφησης και αποθήκευσης αυτών των αερίων, που είναι υπεύθυνα για την κλιματική αλλαγή.

## Εφαρμογή μετριασμού

Η γεωργία, εκτός από τη σημαντική συμβολή στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, είναι και μεγάλη «δεξαμενή» αποθήκευσης τέτοιων αερίων, μέσω της δέσμευσής τους στα φυτά και στο έδαφος. Σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση, στην ευρωπαϊκή γεωργία υπάρχει αναξιοποίητο δυναμικό για οικονομικά αποδοτικές ενέργειες μετριασμού. Η βιωσιμότητα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων είναι η απαραίτητη βάση για να διαδοθούν κλιματικά φιλικές δράσεις και να υιοθετηθούν τεχνικές μετριασμού από τους γεωργούς. Για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να δοθούν κίνητρα ώστε: να επεκταθεί η βιολογική γεωργία και κτηνοτροφία, που συμβάλλει στην αύξηση της οργανικής ουσίας των εδαφών, να εγκατασταθούν σύγχρονα συστήματα διαχείρισης ζωικών αποβλήτων, να γίνει ορθολογική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων (μείωση μέχρι και 30% των σημερινών), να προωθηθούν γεωργικές πρακτικές ολοκληρωμένης διαχείρισης για τη μείωση της νιτρορύπανσης καθώς και να προωθηθεί η χρήση ανανεώσιμων πηγών



ενέργειας, τόσο για κάλυψη αγροτικών αναγκών όσο και για διάθεση σε άλλες παραγωγικές διαδικασίες.

## Πρωτόκολλο του Κιότο και UNFCCC

Στα πλαίσια λοιπόν της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, τέθηκαν σε ισχύ διεθνείς συμβάσεις και περιβαλλοντικές συνθήκες, τις οποίες οφείλουν όλοι να ακολουθούν και συμβάλουν στην μακροπρόθεσμη επίλυση του προβλήματος.

## Πρωτόκολλο του Κιότο

Το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι μια διεθνής συμφωνία που συνδέεται με τη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή, η οποία δεσμεύει τα συμβαλλόμενα μέρη της θέτοντας διεθνώς δεσμευτικούς στόχους μείωσης των εκπομπών.

Αναγνωρίζοντας ότι οι ανεπτυγμένες χώρες είναι κυρίως υπεύθυνες για τα σημερινά υψηλά επίπεδα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, ως αποτέλεσμα της πάνω από 150 χρόνια βιομηχανικής δραστηριότητας, το πρωτόκολλο θέτει μια μεγαλύτερη επιβάρυνση για τα ανεπτυγμένα έθνη με βάση την αρχή των “κοινών αλλά διαφοροποιημένων ευθυνών”.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο υιοθετήθηκε στο Κιότο της Ιαπωνίας, στις 11 Δεκεμβρίου 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005. Οι λεπτομερείς κανόνες για την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου υιοθετήθηκαν κατά την COP 7 στο Μαρακές, στο Μαρόκο, το 2001, και αναφέρονται ως η «Μαρακές». Η πρώτη περίοδο δέσμευσης του ξεκίνησε το 2008 και τελείωσε το 2012.

Το Πρωτόκολλο προβλέπει τρεις (3) μηχανισμούς μέσω των οποίων οι χώρες δύνανται να επιτύχουν μείωση των εκπομπών τους. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ), τα προγράμματα Κοινής Εφαρμογής και οι Μηχανισμοί "Καθαρής" Ανάπτυξης.

ΣΕΔΕ (Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής) - (emissions trading).

Το ΣΕΔΕ είναι το μεγαλύτερο σύστημα μείωσης εκπομπών στον κόσμο και τέθηκε σε ισχύ στα κράτη-μέλη της ΕΕ το 2005. Οι περισσότερες αεροπορικές εταιρίες βέβαια αντιτίθενται στη συμμετοχή στο ΣΕΔΕ, δεδομένου ότι ο κλάδος προτιμά παγκόσμιες, τομεακές λύσεις για τη μείωση των εκπομπών ρύπων των αεροπορικών μεταφορών, κάτι που θα μειώσει τα οικονομικά τους ωφέλη.

Όπως προβλέπεται από το άρθρο 17, κράτη που έχουν αναλάβει δεσμεύσεις από το Πρωτόκολλο του Κιότο (Παράρτημα Β') δύνανται να συμμετέχουν σε σύστημα εμπορίας(trading)εκπομπών προκειμένου να εκπληρώσουν τον στόχο τους, αλλά μόνο συμπληρωματικά των εθνικών δράσεων τους.

Προγράμματα Κοινής Εφαρμογής-(joint implementation)

Το άρθρο 6 δίνει τη δυνατότητα υλοποίησης κοινών προγραμμάτων και δραστηριοτήτων μεταξύ των χωρών του Παραρτήματος Ι της Σύμβασης. Η χώρα που χρηματοδοτεί τις δραστηριότητες αυτές επωφελείται από τη μείωση των εκπομπών που θα προκύψει από την υλοποίηση του προγράμματος στην άλλη συμβαλλόμενη χώρα. Βασική προϋπόθεση οι δραστηριότητες αυτές να επιφέρουν επιπλέον μείωση εκπομπών στην χώρα εφαρμογής.

#### Μηχανισμός «καθαρής» ανάπτυξης-(clean development mechanism)

Το άρθρο 12 προβλέπει τη δυνατότητα υλοποίησης προγραμμάτων από ανεπτυγμένες χώρες σε άλλες αναπτυσσόμενες . Με προϋπόθεση την εθελοντική συμμετοχή, οι ανεπτυγμένες χώρες επωφελούνται από τις μειώσεις των εκπομπών που προκύπτουν, για εκπλήρωση μέρους των υποχρεώσεών τους, ενώ οι αναπτυσσόμενες ωφελούνται από την υλοποίηση των προγραμμάτων (χρηματοδότηση, τεχνολογία κλπ.). Απαραίτητη είναι η πιστοποίηση επιπλέον μείωσης εκπομπών και υπαρκτά οφέλη για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών στην αναπτυσσόμενη χώρα.

Οι ευέλικτοι μηχανισμοί βασίζονται στο σκεπτικό ότι οι εκπομπές αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου αποτελούν παγκόσμιο πρόβλημα και ότι ο τόπος όπου επιτυγχάνεται ο περιορισμός τους έχει δευτερεύουσα σημασία. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να επέλθουν μειώσεις εκεί όπου το κόστος είναι χαμηλότερο, τουλάχιστον στην πρώτη φάση της καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής. Ειδικότερα, ο μηχανισμός "καθαρής" ανάπτυξης(CDM), δεδομένου ότι καλύπτει έργα σε χώρες που δεν έχουν αναλάβει συγκεκριμένες υποχρεώσεις, στοχεύει επιπλέον στην προώθηση της "βιώσιμης ανάπτυξης" στις αναπτυσσόμενες χώρες, μέσω έργων που χρηματοδοτούνται από ανεπτυγμένες χώρες και οδηγούν σε μείωση εκπομπών η σε αντιμετώπιση των αλλαγών του κλίματος. Επιπλέον, μέσω εισφορών που επιβάλλονται στα έργα αυτά, τροφοδοτείται ειδικό Ταμείο για την βοήθεια των αναπτυσσομένων χωρών.

#### UNFCCC (1992)

Η Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) είναι μια διεθνής περιβαλλοντική συνθήκη διαπραγματεύσεων στη Σύνοδο Κορυφής της Γης στο Ρίο ντε Τζανέιρο, που έγινε στις 3-14 Ιουνίου 1992 και τέθηκε σε ισχύ στις 21 Μαρτίου 1994. Ο στόχος της UNFCCC είναι η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, σε ένα επίπεδο που θα καθιστούσε την ανθρωπογενή παρέμβαση στο κλιματικό σύστημα ως ακίνδυνη. Το πλαίσιο δεν θέτει δεσμευτικά όρια για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για τις επιμέρους χώρες και δεν περιέχει μηχανισμούς επιβολής. Αντιθέτως, το πλαίσιο περιγράφει πώς συγκεκριμένες διεθνείς συνθήκες, που ονομάζονται "πρωτόκολλα" ή «συμφωνίες», μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο διαπραγμάτευσης ώστε να θέσουν δεσμευτικά όρια για τα αέρια του θερμοκηπίου.

#### Γεωμηχανική

Μέσα στο κλίμα της προσπάθειας αντιμετώπισης της υπερθέρμανσης του πλανήτη, ακόμη και ιδέες οι οποίες ως τώρα θεωρούνταν "γραφικές" ή επικίνδυνες (όπως η σκίαση του πλανήτη με κάτοπτρα στο Διάστημα ή ο βομβαρδισμός της ατμόσφαιρας με σωματίδια τα οποία θα αντανάκλουν το φως του ηλίου), έχουν αρχίσει να εξετάζονται

υπό νέο πρίσμα. Οι περισσότερες από αυτές υπάγονται σε έναν τομέα ο οποίος τα τελευταία χρόνια έχει γίνει γνωστός ως «γεωμηχανική» (geoengineering). Αποτελούν μεγάλης, αν όχι τεράστιας, κλίμακας τεχνικές παρεμβάσεις οι οποίες έχουν ως στόχο να επιτρέψουν τον τεχνητό έλεγχο της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Ως τώρα αντιμετωπίζονταν με μεγάλη καχυποψία, όχι μόνο γιατί κάποιες από αυτές αγγίζουν τα όρια ταινιών επιστημονικής φαντασίας αλλά και επειδή το κυριότερο, κανείς δεν είναι σε θέση να σταθμίσει τους κινδύνους τους. Η γεωμηχανική παρεμβαίνει συνολικά στον πλανήτη και τέτοιου είδους παρεμβάσεις δεν μπορεί να είναι χωρίς συνέπειες, και μάλιστα επώδυνες, επισημαίνουν οι περισσότεροι ειδικοί. Επίσης προσάπτουν στη “νέα επιστήμη” ότι προσπαθεί απλώς να καλύψει τεχνητά το πρόβλημα απαλείφοντας το σύμπτωμα αλλά δεν θεραπεύει την αιτία. Ενα άλλο, όχι επιστημονικό αλλά ουσιαστικό επιχείρημα εναντίον της, το οποίο προτείνεται από όλους σχεδόν τους κλιματολόγους, είναι αυτό του “ψυχολογικού” παράγοντα. Από τη στιγμή που θα έχουμε μια έστω και τεχνητή λύση, επισημαίνουν, οι περισσότεροι άνθρωποι θα θεωρήσουν ότι δεν χρειάζεται να λαμβάνονται μέτρα καταπολέμησης του φαινομένου του θερμοκηπίου και της ρύπανσης του περιβάλλοντος και οι ήδη πενιχρές προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση θα ατονήσουν.

Παρ' όλα αυτά, υπό το βάρος των τελευταίων εξελίξεων, οι αντιρρήσεις φαίνεται να κάμπτονται και η τάση των «πραγματιστών απαισιόδοξων» οι οποίοι υποστηρίζουν ότι πρέπει να εξετάσουμε και τις γεωμηχανικές λύσεις ώστε να είμαστε προετοιμασμένοι να αντιμετωπίσουμε μια ενδεχόμενη καταστροφή φαίνεται να κερδίζει έδαφος. Αν τα πράγματα φθάσουν σε αδιέξοδο, υποστηρίζουν, καλό είναι να έχουμε αξιολογήσει σοβαρά όλες αυτές τις προτάσεις ώστε να ξέρουμε ποιες είναι εφαρμόσιμες και με ποιες συνέπειες· αν πάλι αποδειχθούν επικίνδυνες, καλύτερα να τις απορρίψουμε τώρα παρά όταν κάποιος ίσως αποπειραθεί να τις εφαρμόσει.

Για τον λόγο αυτόν η NASA σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Κάρνεγκι του Πανεπιστημίου Στάνφορντ διοργάνωσε το πρώτο «εργαστήριο» γεωμηχανικής. Στόχος ήταν να διερευνηθούν όλα τα σχέδια που έχουν προταθεί και να εξεταστούν όλες οι παράμετροι αυτής της προσέγγισης και οι ενδεχόμενοι κίνδυνοί της. Η έκθεση με τα συμπεράσματα της συνάντησης αναμένεται να δημοσιευθεί ως το τέλος του μήνα, οι πρώτες εντυπώσεις όμως όσων συμμετείχαν σε αυτήν είναι ότι η γεωμηχανική βρίσκεται ακόμη στα πρώτα της βήματα και ότι, αν θέλουμε να την εξετάσουμε ως λύση, θα πρέπει να φροντίσουμε τη διευθέτηση πολλών ζητημάτων προτού προχωρήσουμε στην υλοποίηση κάποιας από τις προτάσεις της.

Οι προτάσεις αυτές μπορούν να χωριστούν κατ' αρχήν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: αυτές που επιχειρούν να ελέγξουν τη θερμοκρασία της Γης μειώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία και αυτές που στρέφονται προς τον καθαρισμό του διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Η πρώτη κατηγορία, η οποία είναι και η πιο πλούσια σε ιδέες, μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις επί μέρους «στρατηγικές». Η πρώτη και πιο εντυπωσιακή αλλά λιγότερο πρακτική, συνίσταται στην προσπάθεια σκίασης του πλανήτη με τη βοήθεια αντικειμένων τοποθετημένων στο Διάστημα. Η δεύτερη επιχειρεί να μειώσει την ηλιακή ακτινοβολία με σωματίδια στη στρατόσφαιρα και η τρίτη με παρεμβάσεις σε χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και τα σύννεφα. Η τέταρτη, τέλος, εξετάζει την αύξηση της ανακλαστικότητας του εδάφους προτείνοντας να βάψουμε άσπρες τις στέγες των σπιτιών και τους δρόμους, να

βάλουμε λευκά αντικείμενα να επιπλέουν στους ωκεανούς και άλλες ανάλογες πρακτικές.

Καμία από όλες αυτές τις στρατηγικές δεν στρέφεται εναντίον των αιτιών, δηλαδή της ρύπανσης και του φαινομένου του θερμοκηπίου. Όλες στοχεύουν στο να «ψυχράνουν» με κάποιον τρόπο τον πλανήτη χωρίς να επιδιώκουν να αντιμετωπίσουν τη ρίζα του προβλήματος, τους παράγοντες δηλαδή, που οδηγούν στην υπερθέρμανση.

Προς το παρόν καμία χώρα δεν χρηματοδοτεί έρευνες στον τομέα της γεωμηχανικής. Οι περισσότερες προέρχονται από μεμονωμένους ερευνητές οι οποίοι ασχολούνται με αυτές με δική τους πρωτοβουλία. Κανείς δεν μπορεί να αποκλείσει ωστόσο ότι στο μέλλον κάποιες κυβερνήσεις δεν θα εξετάσουν σοβαρά τέτοιου είδους σχέδια.

Οι πλέον ενδιαφέρουσες από τις προτάσεις της γεωμηχανικής

Γιγαντιαίες «ομπρέλες» για το ηλιακό φως

Η ιδέα του ελέγχου της θερμοκρασίας της Γης με την προστασία της από την ηλιακή ακτινοβολία προτάθηκε για πρώτη φορά από τον πατέρα της βόμβας υδρογόνου Εντουαρντ Τέλερ, ο οποίος σκέφτηκε να διασκορπίσει στην ατμόσφαιρα μικροσκοπικά θραύσματα από μέταλλο που θα αντανάκλασαν συγκεκριμένα μήκη κύματος του ηλιακού φωτός. Η πρώτη αυτή πρόταση, εξαιρετικά δύσκολη στην εφαρμογή της και υπέρογκα δαπανηρή, αντιμετωπίστηκε τουλάχιστον με καχυποψία. Ο Τέλερ όμως επανήλθε αργότερα μαζί με τον Λόουελ Γουντ, συνεργάτη του στο Εθνικό Εργαστήριο της Καλιφόρνιας Λόρενς Λίβερμορ.

Βελτιώνοντας την προηγούμενη ιδέα τους οι δύο ερευνητές υποστήριξαν ότι η σκίαση του πλανήτη θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη βοήθεια ενός εκατομμυρίου σφαιριδίων από αλουμίνιο γεμισμένων με υδρογόνο, τα οποία θα μπορούσαν να κατασκευαστούν και να αποσταλούν στη στρατόσφαιρα με ένα λογικό συνολικό κόστος (1 δισ. δολάρια). Σε μια πρώτη εξέταση με προσομοιώσεις σε ηλεκτρονικό υπολογιστή η πρότασή τους έδειξε ότι είναι σε θέση να διατηρήσει τη θερμοκρασία της Γης σταθερή ακόμη και με διπλάσιο διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, χωρίς ιδιαίτερα επικίνδυνες επιπτώσεις για το κλίμα, τουλάχιστον σε πρώτη φάση. Οι ερευνητές που διεξήγαγαν τη σχετική έρευνα τόνισαν ωστόσο ότι τα μοντέλα που διαθέτει αυτή τη στιγμή η επιστήμη δεν είναι σε θέση να εξετάσουν με αξιοπιστία εγχειρήματα ανάλογου μεγέθους και πολυπλοκότητας.

Ο Λόουελ Γουντ έχει καταθέσει μία ακόμη εκδοχή: την τοποθέτηση ανάμεσα στη Γη και στον Ήλιο ενός γιγαντιαίου κατόπτρου, σαν δίχτυ από αλουμίνιο, έκτασης εκατοντάδων χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων και βάρους 3.000 τόνων, το οποίο θα εκτρέπει την ηλιακή ακτινοβολία αποτρέποντας την αύξηση της θερμοκρασίας της Γης ακόμη και σε περίπτωση διπλασιασμού του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Μια τέτοια κατασκευή απαιτεί, όπως τόνισαν δηκτικά ορισμένοι, ένα εργοστάσιο στη Σελήνη, ενώ το κόστος της ανέρχεται σε εκατοντάδες δισεκατομμύρια δολάρια. Ο αμερικανός φυσικός θεωρεί ότι η λύση του είναι ιδιαίτερα ασφαλής και χωρίς συνέπειες για το κλίμα και το περιβάλλον του πλανήτη,

τονίζει όμως ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κυριολεκτικά σαν “δίχτυ ασφαλείας” μόνο σε περίπτωση που όλα τα άλλα μέτρα για την αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης αποτύχουν μέσα στις αμέσως επόμενες δεκαετίες.

Η πρόταση ωστόσο που φαίνεται να προσελκύει αυτή τη στιγμή το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και την υποστήριξη της NASA είναι αυτή του επιφανούς αστρονόμου και ειδικού της Οπτικής Ρότζερ Εϊντζελ. Η ιδέα του καθηγητή του Πανεπιστημίου της Αριζόνας, η οποία δημοσιεύθηκε τον περασμένο Νοέμβριο στην επιθεώρηση «Proceedings of the National Academies of Science», δεν βασίζεται στην ανάκλαση αλλά στη διάθλαση. Στηρίζεται στην τοποθέτηση τρισεκατομμυρίων διάφανων μικροσκοπικών δίσκων στο σημείο Λαγκράντζ (L1) ανάμεσα στη Γη και στον Ηλιο, σε απόσταση 1,5 εκατ. χλμ. από τον πλανήτη μας.

Σε αυτό το σημείο οι δίσκοι, αν η πορεία τους δεν διαταραχθεί από κάποιον εξωτερικό παράγοντα, θα παραμένουν σταθεροί ακολουθώντας την τροχιά της Γης γύρω από τον Ηλιο. Ακριβώς για να αποφευχθούν οι εξωτερικές διαταραχές, όπως η ανάκλαση του ηλιακού φωτός η οποία θα μπορούσε να τους εκτρέψει από την ιδανική τροχιά, οι δίσκοι θα είναι διάφανοι ώστε να διαθλούν τις ακτίνες του Ηλιου αλλάζοντας ελαφρά την πορεία τους και μη επιτρέποντας σε κάποιες από αυτές να φθάσουν ως τη Γη.

Για να είναι αποτελεσματικό, προστατεύοντας τον πλανήτη από την υπερθέρμανση ακόμη και σε περίπτωση διπλασιασμού του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, το σχέδιο του Ρότζερ Εϊντζελ απαιτεί τη χρήση 20 ηλεκτρομαγνητικών εκτοξευτήρων, οι οποίοι θα εκτοξεύουν 800.000 δίσκους ο καθένας ανά πέντε λεπτά επί δέκα χρόνια. Το κόστος είναι παραπάνω από αστρονομικό: μερικά τρισεκατομμύρια δολάρια για τα επόμενα 25 χρόνια. Όπως επισημαίνουν ωστόσο ορισμένοι, αυτό ωχριά μπροστά στο κόστος από την υπερθέρμανση του πλανήτη, το οποίο η έκθεση Στερν που παρουσιάστηκε πρόσφατα στη Βρετανία εκτιμά στα 5,5 τρισ. ευρώ ή 7 τρισ. Δολάρια. Ο ειδικός υπογραμμίζει πάντως ότι η πρότασή του πρέπει να εξετάζεται ως “έσχατη” και όχι ως “εύκολη” λύση.

### Θείο στη στρατόσφαιρα

Η έκθεση του Πολ Κρούτσεν, ερευνητή του Ινστιτούτου Μαξ Πλανκ και βραβευμένου με το Νομπέλ Χημείας για τις μελέτες του σχετικά με τη μείωση του όζοντος στην ατμόσφαιρα, δημοσιεύθηκε στην επιθεώρηση “Climate Change” τον περασμένο Αύγουστο και θεωρείται σταθμός για τη γεωμηχανική επειδή έδωσε νέο βάρος στην καινούργια αυτή επιστήμη. Ο Ολλανδός χημικός προτείνει την ψύχρανση του πλανήτη με τη βοήθεια σωματιδίων θείου τα οποία θα εισαχθούν στη στρατόσφαιρα για να διώξουν το ηλιακό φως. Η πρότασή του είναι η πλέον αποτελεσματική, η πιο εύκολα υλοποιήσιμη και η πιο οικονομική από όσες έχουν παρουσιαστεί ως τώρα.

«Ως πριν από μερικά χρόνια ήμουν και εγώ εναντίον της γεωμηχανικής» δήλωσε ο καθηγητής Κρούτσεν σε αυστραλιανή εφημερίδα. Οι συνθήκες όμως και κυρίως η ολιγωρία στις προσπάθειες για την καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου τον έκαναν, όπως λέει, να πιστεύει ότι πρέπει να αρχίσουμε να εξετάζουμε

παράλληλα και κάποιες λύσεις ανάγκης στο πλαίσιο αυτής της προσέγγισης. Υπογραμμίζει ότι η τεχνική που προτείνει αποτελεί έσχατη επιλογή και “δεν θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να δικαιολογήσει ελλείψεις και ανεπάρκειες στις πολιτικές λύσεις για το κλίμα”.

Η ιδέα της εισαγωγής θείου στην ατμόσφαιρα ως μέσου ελέγχου της θερμοκρασίας του πλανήτη δεν είναι καινούργια. Προτάθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1970 από τον ρώσο επιστήμονα Μιχαήλ Μπουντίκο και επανήλθε στο προσκήνιο μετά τις μεγάλες εκρήξεις των ηφαιστειών Ελ Τσιτσόν(1982)και Πινατούμπο (1991), οι οποίες είχαν επηρεάσει τη θερμοκρασία της Γης εξαιτίας της εκβολής θείου στην ατμόσφαιρα.

Ο καθηγητής Κρούτσεν προτείνει την τεχνητή δημιουργία ενός ανάλογου φαινομένου. Βάσει του σχεδίου του, ένα εκατομμύριο τόνοι θείου ή θειούχου υδρογόνου σε υγρή μορφή μπορεί να αποσταλούν στη στρατόσφαιρα με μετεωρολογικά αερόστατα και να απελευθερωθούν ώστε να αντιδράσουν χημικά με το οξυγόνο δημιουργώντας διοξείδιο του θείου. Αυτό με τη σειρά του θα αντιδράσει με το νερό δημιουργώντας θειούχα σταγονίδια, τα οποία θα ανακλούν ή θα διαθλούν το ηλιακό φως μειώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στο έδαφος.

Όπως και οι άλλες μέθοδοι, η τεχνική αυτή δεν μειώνει την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα στους ωκεανούς και στο περιβάλλον αλλά, όπως έχει αποδειχθεί με πειράματα, στη σωστή ποσότητα είναι σε θέση να διατηρήσει σταθερή τη θερμοκρασία της Γης ακόμη και σε περίπτωση διπλασιασμού του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Ο Τομ Γουίγκλεϊ του αμερικανικού Εθνικού Κέντρου Ατμοσφαιρικών Ερευνών έδειξε μάλιστα ότι, αν συνδυαστεί με μέτρα για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, μπορεί να αποδώσει τα καλύτερα αποτελέσματα από κάθε άλλη μέθοδο που έχει προταθεί ως τώρα. Το κόστος της είναι λογικό (25 δισ. δολάρια) και οι τεχνικές δυσκολίες της κρίνονται αντιμετωπίσιμες. Ερευνητές ωστόσο επισημαίνουν ότι ακόμη δεν υπάρχει τρόπος να ελέγξουμε τις ευρύτερες επιπτώσεις που θα μπορούσε να έχει στο περιβάλλον και στο κλίμα του πλανήτη και κυρίως στο όζον, ενώ ο ίδιος ο καθηγητής Κρούτσεν αρνείται προς το παρόν την υλοποίησή της έστω και σε δοκιμαστικό στάδιο, θεωρώντας ότι θα πρέπει να εξεταστεί μόνο σε περίπτωση πραγματικής και έκτακτης ανάγκης.

### Τεχνητοί πάγοι για να σωθεί το Ρεύμα του Κόλπου

Ένας από τους μεγάλους φόβους των επιστημόνων είναι ότι η κλιματική μεταβολή μπορεί να εξασθενήσει το Ρεύμα του Κόλπου, έναν από τους σημαντικούς ρυθμιστές του κλίματος του πλανήτη, βυθίζοντας την Ευρώπη σε πολικό ψύχος. Πολλοί μάλιστα από όσους έχουν εκπονήσει σχέδια γεωμηχανικής αναφέρουν ως μία από τις περιπτώσεις ανάγκης εφαρμογής τους το ενδεχόμενο της ξαφνικής διακοπής της κυκλοφορίας των ρευμάτων των ωκεανών.

Για την αντιμετώπιση μιας τέτοιας εφιαλτικής προοπτικής ο Πίτερ Φλιν, χημικός μηχανικός στο Πανεπιστήμιο της Αλμπέρτα του Καναδά, και ο συνεργάτης του Σονγκτζιάν Ζου προτείνουν την ενίσχυση των πάγων της Αρκτικής στα ανοιχτά της Γροιλανδίας και της Ισλανδίας, εκεί από όπου ξεκινά ένα ψυχρό υπόγειο ρεύμα το

οποίο κατεβαίνει τον Ατλαντικό Ωκεανό προς τα νότια για να ενισχύσει τον σχηματισμό του θερμού ρεύματος στον Κόλπο του Μεξικού.

Οι δύο ερευνητές μελέτησαν διάφορες μεθόδους για να επιτύχουν κάτι τέτοιο και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η καλύτερη είναι η εξής: 8.000 μαούνες θα διαπλέουν το φθινόπωρο τον Βόρειο Παγωμένο Ωκεανό και θα επιταχύνουν τον σχηματισμό πάγου αντλώντας νερό από τον ωκεανό και ψεκάζοντάς το στον αέρα. Μόλις σχηματιστεί ένα πρώτο λεπτό στρώμα πάγου θα συνεχίζουν τον ψεκασμό επάνω σε αυτό, παγιδεύοντας αλάτι στο εσωτερικό του και κάνοντάς το να αποκτήσει πάχος επτά μέτρων. Την άνοιξη τα σκάφη θα εξακολουθούν να ρίχνουν νερό επάνω στις τεχνητές νησίδες πάγου ώστε να τις κάνουν να λιώνουν και να απελευθερώνουν ψυχρό νερό το οποίο θα ενισχύει το υπόγειο ρεύμα.

Το κόστος της μεθόδου αυτής υπολογίζεται στα 50 εκατ. δολάρια, τα αποτελέσματά της είναι ωστόσο ακόμη αβέβαια. Κατ' αρχήν, όπως τονίζουν οι ίδιοι οι ερευνητές, πρέπει να εξασφαλιστεί ότι το αλάτι θα παγιδεύεται στο εσωτερικό του πάγου κατά τον σχηματισμό του, διαφορετικά το λιώσιμο των τεχνητών παγονησίδων θα προκαλεί αραίωση στο νερό του ωκεανού. Επίσης, όπως και με τα περισσότερα σχέδια της γεωμηχανικής, δεν μπορεί να προσδιοριστεί ακόμη ποιες θα είναι οι πλήρεις, μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες, συνέπειες μιας τόσο μεγάλης κλίμακας ενέργειας όχι μόνο στον σύνθετο σχηματισμό των ωκεάνιων ρευμάτων, αλλά και στο περιβάλλον και στο κλίμα του πλανήτη.

#### Λευκότερα σύννεφα

Η πρόταση του Τζον Λέιθαμ, φυσικού του αμερικανικού Εθνικού Κέντρου Ερευνών είναι από τις πλέον «συμπαθείς» στους κλιματολόγους διότι, τουλάχιστον σε πρώτη φάση, φαίνεται να είναι από αυτές που ενέχουν τους λιγότερους κινδύνους. Ο αμερικανός ερευνητής υποστηρίζει ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να αντιμετωπιστεί σε σημαντικό βαθμό αν αυξήσουμε την ανακλαστικότητα της Γης, κάνοντας τα σύννεφα πιο λευκά ώστε να αντανακλούν μεγαλύτερο μέρος του ηλιακού φωτός.

Η ιδέα του Τζον Λέιθαμ είναι μια παραλλαγή της σποράς των νεφών για τον σχηματισμό βροχής. Η βροχή προκαλείται από σταγονίδια νερού τα οποία σχηματίζονται στο εσωτερικό των νεφών από τη συγκέντρωση υδρατμών γύρω από τους λεγόμενους “πυρήνες συμπύκνωσης”. Στη σπορά των νεφών για την πρόκληση βροχής πολλαπλασιάζονται οι πυρήνες συμπύκνωσης τόσο ώστε να σχηματιστούν περισσότερα σταγονίδια, τα οποία μόλις φθάσουν σε ένα ικανό μέγεθος πέφτουν στο έδαφος. Αν οι πυρήνες πολλαπλασιαστούν περισσότερο από όσο είναι απαραίτητο, τότε σχηματίζονται ακόμη περισσότερα σταγονίδια τα οποία όμως δεν μπορούν να αυξηθούν σε μέγεθος τόσο ώστε να πέσουν: το σύννεφο γίνεται πιο πυκνό και πιο λευκό χωρίς να προκαλείται βροχή.

Στόχος του Λέιθαμ είναι οι θαλάσσιοι στρωματοσφαιρίτες, χαμηλά υπόλευκα και γκριζα νέφη τα οποία καθημερινά καλύπτουν περίπου το ένα τρίτο των ωκεανών. Αν τα σταγονίδια σε αυτά τα σύννεφα αυξηθούν κατά 10%, η ανακλαστικότητά τους θα

ενισχυθεί τόσο ώστε να διατηρήσει τη θερμοκρασία του πλανήτη στα ίδια επίπεδα ακόμη και αν το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα διπλασιαστεί.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί όπως υποστηρίζει σε συνεργασία με τον Στίβεν Σόλτερ του Πανεπιστημίου του Εδιμβούργου, ο οποίος αναπτύσσει την τεχνική πλευρά της πρότασης με τη βοήθεια πλοίων εξοπλισμένων με ανεμογεννήτριες που θα ψεκάζουν το θαλασσινό νερό προς τα σύννεφα έτσι ώστε το αλάτι να ενεργεί ως πυρήνας συμπύκνωσης αυξάνοντας τα σταγονίδια στο εσωτερικό τους.

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει ακόμη αρκετές τεχνικές δυσκολίες, είναι όμως “ήπια” για το περιβάλλον και έχει χαμηλό κόστος. Το δυνατό σημείο της είναι το γεγονός ότι είναι ελέγξιμη. “Αν τη δοκιμάσουμε και δούμε ότι έχει κάποιο καταστρεπτικό αποτέλεσμα” τονίζει ο κ. Λέιθαμ «μπορούμε εύκολα να τη σταματήσουμε και μέσα σε τέσσερις με πέντε ημέρες όλες οι επιδράσεις της θα έχουν εξαφανιστεί».

### Φίλτρα για το διοξείδιο του άνθρακα

Το σχέδιο του Κλάους Λάκνερ του Πανεπιστημίου Κολούμπια της Νέας Υόρκης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί “δονκιχωτικό”. Στηρίζεται στην κατασκευή ανεμόμυλων οι οποίοι θα φιλτράρουν τον αέρα αφαιρώντας του το διοξείδιο του άνθρακα. Στην ουσία πρόκειται για μικρές μονάδες καθαρισμού της ατμόσφαιρας οι οποίες θα λειτουργούν ως εξής: ένας έλικας θα διοχετεύει τον αέρα προς το εσωτερικό της μονάδας στέλνοντάς τον να περάσει μέσα από ένα χημικό (υδροξείδιο του ασβεστίου ή υδροξείδιο του νατρίου) το οποίο θα διασπά το διοξείδιο του άνθρακα και στη συνέχεια θα το επαναφέρει στην ατμόσφαιρα. Το αφαιρεθέν διοξείδιο του άνθρακα θα παραμένει στο εσωτερικό της μονάδας και θα απομακρύνεται ως απόβλητο με την κατάλληλη επεξεργασία. Κάθε πόλη ή κάθε γειτονιά θα μπορεί να έχει τον δικό της ανεμόμυλο ώστε να φιλτράρει το διοξείδιο του άνθρακα που παράγει διατηρώντας την τοπική αλλά και τη συνολική ατμόσφαιρα του πλανήτη καθαρή.

Η ιδέα ακούγεται ιδανική, παρουσιάζει όμως σημαντικά προβλήματα. Κατ' αρχήν πολλοί επιστήμονες εκφράζουν αμφιβολίες ως προς το κατά πόσον ο αποχωρισμός του διοξειδίου του άνθρακα από τον αέρα μπορεί να επιτευχθεί χωρίς την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Γενικώς το κόστος μιας τέτοιας επιχείρησης θεωρείται υπέρογκο, ενώ για να καταστεί δυνατόν να φιλτραριστούν οι τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες θα χρειαστεί να καλυφθούν με ανεμόμυλους εκτάσεις τουλάχιστον πενταπλάσιες σε μέγεθος από την Ελλάδα.

### Σιδηρούχο «λίπασμα» στους ωκεανούς που θα παγιδεύει το διοξείδιο του άνθρακα

Είναι η μόνη από τις προτεινόμενες μεθόδους γεωμηχανικής που έχει δοκιμαστεί πειραματικά, συναντά όμως και αυτή ποικίλες αντιρρήσεις. Εδώ και μερικά χρόνια ομάδες ερευνητών από πολλά κράτη έχουν αρχίσει να πραγματοποιούν μελέτες σκορπίζοντας στην επιφάνεια του ωκεανού σίδηρο ο οποίος λειτουργεί σαν λίπασμα, ενισχύοντας την ανάπτυξη του πλαγκτόν. Οι μελέτες γίνονται στον Νότιο Ωκεανό, ο οποίος λόγω βιοχημικών ιδιαιτεροτήτων παρουσιάζει μεγάλη έλλειψη σιδήρου.



Η ιδέα είχε ξεκινήσει πριν από περισσότερο από μία δεκαετία από τον ωκεανολόγο Τζον Μάρτιν, ο οποίος είχε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι ο Νότιος Ωκεανός δεν διαθέτει πολύ πλαγκτόν και επομένως δεν χειρίζεται ικανοποιητικά το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρά του, επειδή είναι “αναιμικός”. “Δώστε μου μισό τάνκερ σίδηρο” είχε δηλώσει “και θα σας φέρω την εποχή των παγετώνων”. Το πλαγκτόν απορροφά μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα από τον αέρα και οι υποστηρικτές της συγκεκριμένης προσέγγισης πιστεύουν ότι η ενίσχυση της ανάπτυξής του στον Νότιο Ωκεανό θα καθαρίσει σημαντικά την ατμόσφαιρα, καθώς με τον θάνατο των θαλάσσιων μικροοργανισμών το επικίνδυνο για τη θερμοκρασία του πλανήτη αέριο θα παρασυρθεί στον βυθό της θάλασσας και θα παγιδευτεί εκεί για εκατοντάδες χρόνια.

Η μέθοδος έχει χαμηλό κόστος και είναι εύκολη στην εφαρμογή της. Ωστόσο οι επιστήμονες δεν γνωρίζουν ακόμη με βεβαιότητα αν λειτουργεί ακριβώς όπως προβλέπουν τα μοντέλα και οι προσομοιώσεις. Κατ' αρχάς δεν είναι βέβαιο ότι όλο το διοξείδιο του άνθρακα θα οδηγηθεί στον βυθό. Αυτό συμβαίνει όταν καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς που ζουν σε μεγαλύτερο βάθος, το πλαγκτόν όμως της επιφανείας αποθηκεύει το διοξείδιο του άνθρακα τον χειμώνα αλλά το απελευθερώνει ξανά την άνοιξη επιστρέφοντάς το στον αέρα. Ερευνητές οι οποίοι έχουν ασχοληθεί με τη μελέτη της συγκεκριμένης πρότασης, όπως ο Κεν Μπούσλερ του Ωκεανογραφικού Ινστιτούτου Γουντς Χόουλ, υπογραμμίζουν ότι για τον λόγο αυτόν δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε πόσο ακριβώς διοξείδιο του άνθρακα θα απορροφηθεί.

Επίσης κανένας δεν μπορεί να προβλέψει, ούτε οι ίδιοι οι υπέρμαχοι της πρότασης, αν αυτή η παρέμβαση θα έχει ευρύτερες συνέπειες στη διατροφική αλυσίδα και στην ισορροπία των άλλων ωκεανών με ανυπολόγιστες συνέπειες για το οικοσύστημα. Αν, για παράδειγμα, τα θαλάσσια ρεύματα παρασύρουν πλούσια σε θρεπτικά συστατικά νερά προς τα βόρεια, σε περιοχές όπου ζουν ψάρια και άλλοι οργανισμοί που τρέφονται με αυτά, οι ωκεανοί αντί για πλουσιότεροι μπορεί να γίνουν άγονοι.

#### Εξοικονόμηση ενέργειας - Ενεργειακή απόδοση κτιρίων

Η ενέργεια είναι συνυφασμένη με την καθημερινή μας ζωή. Το σύνολο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων παράγει, καταναλώνει, και δεσμεύει τεράστια, μη φυσιολογικά ποσά ενέργειας. Κάθε πολίτης των αναπτυγμένων κρατών καταναλώνει ημερησίως τόση ενέργεια όση παράγουν οι μύες 100 μεγαλόσωμων ανδρών ή 12 δυνατών αλόγων.

Οι όροι εξοικονόμηση ενέργειας και ενεργειακή απόδοση είναι δύο συσχετιζόμενες αλλά διαφορετικές έννοιες. Υπάρχουν πολλά μέτρα που μπορούν να ληφθούν για να χρησιμοποιούμε λιγότερη ενέργεια (εξοικονόμηση) με έξυπνο τρόπο (αποδοτικά). Η Εξοικονόμηση Ενέργειας αποτελεί σήμερα θέμα ζωτικής σημασίας, όχι μόνο για την μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη, αλλά και γενικότερα για την προστασία του περιβάλλοντος ή την εξοικονόμηση πόρων ενέργειας.

Εξοικονόμηση Ενέργειας: είναι η συμπεριφορά που οδηγεί στο αποτέλεσμα λιγότερης κατανάλωσης ενέργειας. Το κλείσιμο των φώτων του δωματίου όταν φεύγουμε, είναι μια συμπεριφορά που βοηθά στη εξοικονόμηση ενέργειας.

Ενεργειακή Απόδοση: είναι η χρήση τεχνολογίας που παράγει το ίδιο αποτέλεσμα με λιγότερη ενέργεια. Η χρήση λαμπτήρων φθορισμού αντί των συνήθων λαμπτήρων πυρακτώσεων, οι οποίοι παράγουν την ίδια ποσότητα φωτός χρησιμοποιώντας λιγότερη ενέργεια, είναι ένα παράδειγμα ενεργειακής απόδοσης.

## Κτίρια

Τα κτίρια αποτελούν ένα μεγάλο ενεργειακό καταναλωτή που, ταυτοχρόνως, διαθέτει υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και οικονομικά αποτελεσματικών τεχνολογιών είναι δυνατή η επίτευξη σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων με αντίστοιχα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.

Ιδιαίτερη σημασία για την ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου έχει η χρήση τεχνικών βιοκλιματικού σχεδιασμού. Με τον όρο αυτό περιγράφεται ο σχεδιασμός, ο οποίος λαμβάνοντας υπόψη το τοπικό κλίμα, επιδιώκει την επίτευξη των βέλτιστων συνθηκών εσωτερικής άνεσης, με την αξιοποίηση των διαθέσιμων φυσικών πηγών και την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Βασικές τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν:

- η θερμική προστασία του κτιριακού κελύφους
- τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης
- τα παθητικά συστήματα δροσισμού και
- η χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας για συστήματα φυσικού φωτισμού

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

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των χώρων ενός κτιρίου. Για το σκοπό αυτό, το πλέον σημαντικό στοιχείο είναι ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων. Για παράδειγμα, τα ανοίγματα με νότιο προσανατολισμό είναι αυτά που δέχονται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα και συνιστώνται για χώρους με μεγαλύτερη ανάγκη για θέρμανση. Εκτός, όμως, από αυτό το σύστημα άμεσου κέρδους, υπάρχουν και συστήματα έμμεσου κέρδους, όπως οι ηλιακοί τοίχοι, οι ηλιακοί χώροι (θερμοκήπια) και τα ηλιακά αίθρια.

Με τα παθητικά συστήματα δροσισμού επιδιώκεται η μείωση των θερμικών φορτίων του κτιρίου κατά τους θερινούς μήνες και επιτυγχάνεται με κατάλληλη σκίαση των ανοιγμάτων, ανάλογα με τον προσανατολισμό τους. Μεγάλη συμβολή στο δροσισμό του κτιρίου έχει και ο φυσικός αερισμός του, που εξαρτάται επίσης από

τη θέση των ανοιγμάτων και ο οποίος μπορεί να ενισχύεται με τη χρήση μηχανικών μέσων όπως οι ανεμιστήρες οροφής (υβριδικά συστήματα) και να επιφέρει το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα με πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας. Η ελεύθερη ψύξη (free cooling) ή αλλιώς ο νυκτερινός δροσισμός, συνίσταται στην ανανέωση του αέρα με φυσικό ή τεχνητό τρόπο τις νυκτερινές ή πρωινές ώρες, κατά τις οποίες η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου, είναι ευρύτατα χρησιμοποιούμενη τεχνική εξοικονόμησης. Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να εξυπηρετήσει με φυσικό τρόπο και τις ανάγκες για φωτισμό.

Η επάρκεια του φυσικού φωτισμού και η κατανομή του εξαρτώνται από τη γεωμετρία των ανοιγμάτων και του φωτιζόμενου χώρου, αλλά και από τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά των αδιαφανών επιφανειών, όπως το χρώμα τους.

Τέλος, εκτός από την εφαρμογή αυτών των τεχνικών, δυνατότητες εξοικονόμησης υπάρχουν και στα συστήματα που καταναλώνουν ενέργεια για να καλύψουν τις ανάγκες για θέρμανση και ψύξη.

Για τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης ιδιαίτερη σημασία έχει η σωστή διαστασιολόγησή τους, η τακτική συντήρησή τους καθώς και η κατάλληλη μόνωση των μερών τους. Επίσης, η χρήση αυτοματισμών, όπως οι θερμοστατικοί διακόπτες και οι χρονοδιακόπτες, εξασφαλίζουν, με χαμηλό κόστος αγοράς, σημαντική μείωση στην κατανάλωση καυσίμου.

Αντίστοιχα, τα συστήματα ψύξης πρέπει να διαστασιολογούνται και να συντηρούνται σωστά. Εξάλλου, οι κλιματιστικές συσκευές, όπως και όλες σχεδόν οι οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, φέρουν ειδική ενεργειακή σήμανση, που βοηθά στην επιλογή της πλέον κατάλληλης και ενεργειακά αποδοτικής.

#### 1.4 Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων(6,9,10)

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ονομάζεται ο σχεδιασμός των κτηρίων που λαμβάνει υπ' όψη το τοπικό κλίμα μιας περιοχής και εξασφαλίζει τις κατάλληλες εσωκλιματικές συνθήκες με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, αξιοποιώντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Δηλαδή, χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση των κτηρίων, τους δροσερούς ανέμους για την ψύξη, τη βλάστηση για τη σκίαση και το φυσικό φως για το φωτισμό. Συνεπώς, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αντιμετωπίζει το κτήριο, τον αστικό χώρο και το κλίμα της περιοχής ως μία ενότητα, στοχεύοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας και συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος. Η θέρμανση, η ψύξη, ο μηχανικός αερισμός και ο τεχνητός φωτισμός χρησιμοποιούνται μόνο για να συμπληρώσουν όσα η φύση έχει ήδη προσφέρει. Πολλοί θεωρούν ότι ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελεί μία νέα θεώρηση στην αρχιτεκτονική, που έχει σχέση περισσότερο με την οικολογία και λιγότερο με την εξοικονόμηση ενέργειας. Όμως, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι γνωστός από την εποχή που πρωτοεμφανίστηκαν οι άνθρωποι στην γη. Η προσωπική παρατήρηση των κλιματικών μεταβολών στη φύση σε ετήσια βάση και η μελέτη των επιπτώσεων που είχαν στα άλλα έμβια όντα, οδήγησε τους πρωτόγονους λαούς αλλά και άλλους ζωικούς πληθυσμούς σε εκπληκτική αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρει η φύση, για την αντιμετώπιση των ακραίων θερμοκρασιακών μεταβολών. Η επιλογή των σπηλαιών ως πρώτη κατοικία, η κατασκευή κτηρίων με πέτρινους τοίχους πάχους 60 – 80 cm πολύ αργότερα, η επινόηση διαφόρων ιδιοκατασκευών για την αντιμετώπιση της ζέστης (καμινάδες αερισμού, πέργκολες, στέγαστρα κ.λπ.), η χρήση του ασβέστη για τη βαφή των τοίχων, αλλά και όσες παραδοσιακές κατοικίες σώζονται μέχρι σήμερα, αποτελούν εντυπωσιακά δείγματα συμπυκνωμένης εμπειρίας βιοκλιματικού σχεδιασμού. Οι προϋποθέσεις για την ενεργοβόρα μηχανική φάση της θέρμανσης και του κλιματισμού εμφανίστηκαν το 19ο αιώνα με τη βιομηχανοποίηση της παραγωγής ενέργειας. Οι μελετητές και οι κατασκευαστές πίστεψαν ότι η θέρμανση, ο κλιματισμός και ο ηλεκτροφωτισμός, που προσέφεραν τα φθηνά καύσιμα, θα εξασφάλιζαν καλές εσωκλιματικές συνθήκες σε οποιοδήποτε κλίμα από την κατασκευή του κτηρίου. Έτσι, σιγά-σιγά, τα κτήρια έμειναν στο έλεος του κλίματος και κατάντησαν κατοικήσιμες 17 μηχανές. Λειτουργικότητα σήμαινε το πόσο καλά κρυμμένος ήταν, σε ψευδοροφές, ντουλάπια και υπόγεια, ο τεράστιος όγκος των μηχανολογικών εγκαταστάσεων. Οι ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του '70 (1973, 1979) βοήθησαν στο να γίνει αντιληπτή η τεχνολογική κατάχρηση. Παράλληλα, λειτούργησαν καταλυτικά στην εφαρμογή μέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας (πχ: θερμομόνωση κτηρίων). Στα μέσα της δεκαετίας του '80 η Ευρώπη ανακάλυψε τη βιοκλιματική αρχιτεκτονική, η οποία απαιτεί όχι μόνο τη θερμομόνωση των κτηρίων, αλλά και το σωστό προσανατολισμό τους σε σχέση με τον ήλιο και τους ανέμους της περιοχής. Τέλος, λίγα χρόνια αργότερα, στις αρχές της δεκαετίας του '90, εμφανίζεται στην Ευρώπη η έννοια της οικολογικής δόμησης, η οποία θέτει το εύλογο ερώτημα: «Τι νόημα έχει η εξοικονόμηση ενέργειας, όταν τα θερμομονωτικά ή άλλα οικοδομικά υλικά είναι καρκινογόνα;»

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στο σχεδιασμό κτηρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών - υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτήρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών (πχ: ήλιο, αέρα - άνεμο, βλάστηση, νερό, έδαφος, ουρανό), για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτηρίων. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός εξαρτάται από το τοπικό κλίμα και βασίζεται στις παρακάτω αρχές:

- ▣ Θερμική προστασία των κτηρίων τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών που εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος των κτηρίων, ιδιαίτερα με την κατάλληλη θερμομόνωση και αεροστεγάνωση του κτηρίου και των ανοιγμάτων του
- ▣ Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτηρίων τη χειμερινή περίοδο και για φυσικό φωτισμό όλο το χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προσανατολισμό των χώρων και ιδιαίτερα των ανοιγμάτων (ο νότιος προσανατολισμός είναι ο καταλληλότερος) και τη διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων ανάλογα με τις θερμικές τους ανάγκες και με τα παθητικά ηλιακά 18 συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και αποτελούν «φυσικά» συστήματα θέρμανσης, αλλά και φωτισμού.
- ▣ Προστασία των κτηρίων από τον καλοκαιρινό ήλιο, κυρίως μέσω της σκίασης, αλλά και της κατάλληλης κατασκευής του κελύφους.
- ▣ Απομάκρυνση της θερμότητας που το καλοκαίρι συσσωρεύετε μέσα στο κτήριο με φυσικό τρόπο προς το εξωτερικό περιβάλλον με συστήματα και τεχνικές παθητικού δροσισμού, όπως ο φυσικός αερισμός, κυρίως, κατά τις νυχτερινές ώρες.
- ▣ Βελτίωση - ρύθμιση των περιβαλλοντικών συνθηκών μέσα στους χώρους έτσι ώστε οι άνθρωποι να νιώθουν άνετα και ευχάριστα.
- ▣ Εξασφάλιση επαρκούς ηλιασμού και ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας για φυσικό φωτισμό των κτηρίων, ο οποίος θα πρέπει να εξασφαλίζει επάρκεια και ομαλή κατανομή του φωτός μέσα στους χώρους.
- ▣ Βελτίωση του κλίματος έξω και γύρω από τα κτήρια, με το βιοκλιματικό σχεδιασμό των χώρων γύρω και έξω από τα κτήρια και εν γένει, του δομημένου περιβάλλοντος, ακολουθώντας όλες τις παραπάνω αρχές.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτηρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των συστημάτων, ώστε να συνδυάζουν θερμικά και

οπτικά οφέλη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Σημεία που θα πρέπει να συγκρατήσουμε:

- Τα κτήρια είναι σημαντικοί καταναλωτές ενέργειας και συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή, προκαλώντας σοβαρή περιβαλλοντική επιβάρυνση. Ζώντας μέσα στα κτήρια, μπορούμε να κάνουμε τη ζωή μας πιο άνετη, να προστατεύσουμε το περιβάλλον και την υγεία μας και να βελτιώσουμε την ποιότητα διαβίωσής μας. Μπορούμε λοιπόν να τα χρησιμοποιούμε ορθολογικά για το σκοπό αυτό.
- Η ενέργεια που καταναλώνουμε στα κτήρια κοστίζει. Αξίζει να αναρωτηθούμε για το ποιος πληρώνει αυτή την κατανάλωση και για ποιο σκοπό. Όλοι επηρεάζουμε την ενεργειακή συμπεριφορά των κτηρίων στα οποία διαβιούμε. Εφόσον γνωρίζουμε για το σωστό σχεδιασμό, τα υλικά και τη χρήση των τεχνολογιών 19 μπορούμε να εφαρμόσουμε ότι είναι εφικτό σε κάθε περίπτωση. Κάθε ενέργεια, ακόμα και η πιο απλή, μπορεί να έχει ενεργειακό όφελος για το κτήριο μας.
- Ο ήλιος θερμαίνει και τα κτήρια. Μπορούμε να αξιοποιήσουμε τη γνώση αυτή με τα παθητικά ηλιακά συστήματα και το βιοκλιματικό σχεδιασμό. Προστατεύουμε τα κτήρια από το κρύο και τη ζέστη με την κατάλληλη μόνωση. Όπως προστατευόμαστε από τον ήλιο το καλοκαίρι, μπορούμε και να προστατεύσουμε τα κτήρια μας.
- Ο φυσικός δροσισμός, σε σχέση με τα κλιματιστικά (air condition), δεν έχει μόνο ενεργειακά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, αλλά αποτελεί και μια διαφορετική προσέγγιση με στόχο την ανθρώπινη άνεση και ευεξία. Μπορούμε να αξιοποιούμε τις φυσικές πηγές, μειώνοντας παράλληλα τα εσωτερικά φορτία των κτηρίων. Μπορούμε να αξιοποιήσουμε το φυσικό φως του ήλιου, αλλά πρέπει να κατανοούμε και να αντιμετωπίζουμε το φαινόμενο της θάμβωσης.
- Τα κτήρια θα πρέπει να λειτουργούν ορθολογικά για να εξασφαλίζεται η απόδοση των παθητικών συστημάτων και των τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας. Να μην ξεχνάμε να ανοίγουμε και να κλείνουμε παράθυρα και τα στόρια όποτε πρέπει. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η κατανάλωση ενέργειας προκαλεί περιβαλλοντική υποβάθμιση. Αντίθετα, τα βιοκλιματικά και

χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης κτήρια βελτιώνουν την ποιότητα ζωής των ανθρώπων μέσα σε αυτά.

#### 1.4.2 Θερμική άνεση(12,13,17,18)

##### 1.4.2.1 Ορισμός

Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός ενός κτιρίου θα πρέπει να έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση των περιβαλλοντολογικών παραμέτρων στο εσωτερικό του. Οι παράμετροι που θα μας απασχολήσουν σε αυτή την εισήγηση οριοθετούν τη θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου. Σύμφωνα με την Αμερικανική Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού , ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες. Όπως είναι προφανές η κατάσταση στην οποία ένα άτομο αισθάνεται θερμικά άνετα έχει υποκειμενικό χαρακτήρα. Έτσι στον ίδιο χώρο είναι δυνατόν κάποιο άτομο να εκφράζει την ικανοποίησή του για τις θερμικές συνθήκες, ενώ κάποιο άλλο άτομο τη δυσαρέσκειά του. Η λέξη άνεση εμπεριέχει ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων που την ορίζουν κάθε φορά για κάθε άτομο. Πέρα από τους παράγοντες που συνδέονται με την κοινωνική και ψυχολογική κατάσταση του ατόμου, προκειμένου να αξιολογηθεί επιστημονικά η θερμική άνεση και επομένως να αποκτήσει και αντικειμενικό χαρακτήρα, ορίστηκαν οι φυσικές παράμετροι οι οποίες και την επηρεάζουν

##### 1.4.2.2 Η φυσιολογία της θερμικής άνεσης(12)

Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει ένα αποτελεσματικό σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας, η οποία διατηρείται περίπου στους 37 0 C. Όταν η θερμοκρασία του σώματος αρχίσει να αυξάνεται, είτε λόγω κλιματολογικών συνθηκών είτε λόγω έντονης δραστηριότητας, δύο μηχανισμοί ενεργοποιούνται για την ελάττωσή της. Πρώτον, τα αιμοφόρα αγγεία διαστέλλονται, αυξάνοντας τη ροή του αίματος στο δέρμα, ώστε να αυξηθούν οι απώλειες μέσω αγωγής και ακτινοβολίας και δευτερευόντως αρχίζει η λειτουργία της εφίδρωσης. Η εφίδρωση και το αποτέλεσμά της, η ψύξη μέσω εξάτμισης, είναι ο βασικός μηχανισμός ψύξης του δέρματος. Αύξηση ενός βαθμού στη θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος, μπορεί να ενεργοποιήσει το μηχανισμό της εφίδρωσης που τετραπλασιάζει τη μετάδοση

θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον. Όταν η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος αρχίσει να μειώνεται, τα αιμοφόρα αγγεία συστέλλονται, μειώνοντας τη ροή του αίματος στο δέρμα, ώστε να μειωθεί η απώλεια θερμότητας μέσω αγωγής και ακτινοβολίας. Στη συνέχεια, η θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος αυξάνεται με την αύξηση των εσωτερικών καύσεων, την ενεργοποίηση των μυών και την εμφάνιση ρίγους. Η κίνηση αυτή των μυών αυξάνει τις καύσεις, άρα και την παραγόμενη από το σώμα θερμότητα. Το σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος λαμβάνει υπόψη εκτός από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και τα αισθητήρια όργανα του υποθαλάμου. Τα αισθητήρια όργανα του υποθαλάμου είναι υπεύθυνα για την ενεργοποίηση των μηχανισμών ψύξης του σώματος, όταν η θερμοκρασία του ξεπεράσει τους 37 0 C. Τα αισθητήρια όργανα του δέρματος ενεργοποιούν τους αμυντικούς μηχανισμούς του σώματος, όταν η θερμοκρασία του μειωθεί κάτω από τους 34 0 C. Τα αποτελέσματα λοιπόν της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων γίνονται αισθητά από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του δέρματος και το είδος των σημάτων που λαμβάνει ο εγκέφαλος από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος. Ο άνθρωπος θεωρεί το περιβάλλον του ως θερμικά άνετο όταν δεν υπάρχει κάποιο σήμα από τα αισθητήρια όργανα για πτώση ή άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος. Αυτή η κατάσταση μπορεί να περιγραφεί ως θερμική ισορροπία Έτσι, σε μια τέτοια κατάσταση ένα άτομο δεν αισθάνεται ούτε κρύο ούτε ζέστη.

Σύμφωνα με τη φυσιολογία, η θερμοκρασία του δέρματος είναι ο κατάλληλος δείκτης για τη θερμική αίσθηση του περιβάλλοντος. Η θερμική άνεση όμως είναι μια ολοκληρωτική μονάδα και απεικονίζει τη συνολική θερμική κατάσταση του σώματος. Συμπληρωματικά, έχει προταθεί η εισαγωγή και άλλων φυσικών παραμέτρων για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης όπως: ο Μέση θερμοκρασία δέρματος. ο Ρυθμός εφίδρωσης. ο Ξηρότητα του δέρματος.

#### 1.4.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση

##### 1.4.2.3.1 Θερμοκρασία(11,12,13)

Η θερμοκρασία του αέρα είναι αναμφισβήτητα καθοριστική παράμετρος όταν αναφερόμαστε στο εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Επηρεάζει την άνεση με



πολλούς τρόπους και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες αποτελεί το κλειδί για το ενεργειακό ισοζύγιο μας, την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος, την άνεση, τη δυσφορία και την αίσθηση της ποιότητας εσωτερικού αέρα. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτιρίων μπορούν να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες: το εξωτερικό περιβάλλον, το σχεδιασμό του κτιρίου και το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού.

Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου:

- Το εξωτερικό περιβάλλον
- Ο προσανατολισμός του κτιρίου
- Τα υλικά κατασκευής και τα υλικά θερμομόνωσης του κτιρίου
- Ο τρόπος αερισμού του κτιρίου (μηχανικός ή φυσικός)
- Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης ενός μηχανικά αεριζόμενου κτιρίου
- Ο τρόπος σχεδιασμού ενός φυσικά αεριζόμενου κτιρίου
- Ο τρόπος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης του κτιρίου
- Ο τύπος και ο αριθμός των ηλεκτρικών συσκευών, μηχανημάτων ή εξοπλισμού γραφείων που υπάρχουν στο κτίριο και παράγουν θερμότητα (π.χ. οθόνες H/Y)
- Ο τρόπος λειτουργίας του κτιρίου και των συστημάτων αερισμού, θέρμανσης και ψύξης από τους χρήστες του κτιρίου

Το πρόβλημα που εντοπίζεται στη μελέτη της θερμοκρασίας ως παραμέτρου της θερμικής άνεσης έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει μια τιμή της θερμοκρασίας που να αποτελεί τη βέλτιστη λύση, αλλά ένα πεδίο τιμών της ως συνάρτηση και άλλων παραγόντων.

Το σώμα μας αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του αέρα (και των άλλων παραμέτρων του θερμικού περιβάλλοντος) από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του. Πιο αναλυτικά, η θερμοκρασία επηρεάζει το ανθρώπινο σώμα και τις λειτουργίες ανταλλαγής ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας με το περιβάλλον. Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα τείνει να μειώσει τις απώλειες θερμότητας με αγωγή και ακτινοβολία, ενώ αυξάνονται οι

απώλειες θερμότητας λόγω εφίδρωσης. Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει και τη μέση θερμοκρασία του δέρματος. Το φυσικό αυτό μέγεθος έχει εισαχθεί για την πληρέστερη αξιολόγηση της θερμικής άνεσης. Έρευνες του P. Horpe που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του μαθηματικού μοντέλου M.E.M.I., κατέληξαν στη συσχέτιση της θερμοκρασίας του αέρα και της

μέσης θερμοκρασίας του δέρματος. Όπως παρατηρήθηκε στα πλαίσια μελέτης, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα τα οδηγεί σε συνεχόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος έως και τους 21 0 C. Η περαιτέρω αύξηση της τα ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης με άμεση συνέπεια την ψύξη του δέρματος και γι' αυτό το λόγο η κλίση της ευθείας του Διαγράμματος 1 μειώνεται σημαντικά μετά τους 21 0 C. Η μέση θερμοκρασία δέρματος που θεωρείται ως φυσιολογική, σε αντιστοιχία με τη θερμοκρασία ισορροπίας του σώματός μας στους 37,6 0 C, είναι κοντά στους 33,5 0 C. Για τη διατήρηση αυτής της μέσης θερμοκρασίας δέρματος η θερμοκρασία του αέρα θα πρέπει να είναι κοντά στους 20 0 C. Δύο μεγέθη που επηρεάζουν επίσης ισχυρά τη θερμοκρασία άνεσης είναι ο τύπος του ρουχισμού και η μεταβολική δραστηριότητα. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς είναι το MEMI. Η προδιαγραφή της θερμοκρασίας άνεσης γενικότερα είναι δύσκολη εξαιτίας κυρίως του μεγάλου αριθμού παραγόντων που επηρεάζουν τη διατήρηση μιας θερμοκρασίας σ' ένα χώρο και των παραγόντων που επηρεάζουν την «καταγραφή» αυτής της θερμοκρασίας ως άνετης ή όχι από το σώμα μας.

#### 1.4.2.3.2 Υγρασία

Η υγρασία, μαζί με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, αποτελούν τα δυσκολότερα μεγέθη κατά την αξιολόγηση του εσωκλίματος και εκφράζεται με σχετικούς και απόλυτους όρους. Ως ορισμός η υγρασία είναι το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Η σχετική υγρασία, που χρησιμοποιείται συχνότατα στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, εκφράζεται ως ποσοστό του κορεσμένου αέρα σε υδρατμούς. Η σχετική υγρασία επενεργεί στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος. Συνοπτικά, η υγρασία του αέρα επηρεάζει τους εξής τρεις μηχανισμούς του σώματός μας: ο το μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό τη μορφή αερίων του

σώματός μας μέσω του δέρματος, ο μηχανισμός εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος και ο μηχανισμός ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα. Οι μηχανισμοί της διάχυσης και της εξάτμισης εξαρτώνται άμεσα από τη σχετική υγρασία του αέρα. Αν το περιεχόμενο του αέρα είναι υψηλό σε υδρατμούς (σχετική υγρασία > 60 – 70%) και η θερμοκρασία του αέρα υψηλή, το σώμα μας ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης. Ωστόσο, η εξάτμιση του ιδρώτα είναι αδύνατη σε αέρα με υψηλό περιεχόμενο υδρατμών, και έτσι ο ιδρώτας παραμένει στο δέρμα διαβρέχοντάς το. Η κατάσταση αυτή οδηγεί το σώμα μας να αισθάνεται τον αέρα πιο ζεστό απ' όσο πραγματικά είναι και η ατμόσφαιρα μοιάζει να είναι κολλώδης. Αντίθετα, το μικρό περιεχόμενο υδρατμών του αέρα (σχετική υγρασία < 30%) καθιστά εφικτή την εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων υγρών, άρα και του ιδρώτα του δέρματος. Πέρα από τις παραπάνω επιδράσεις της υγρασίας, περαιτέρω έρευνες έχουν γίνει για τη σχέση των τιμών της σχετικής υγρασίας με το δέρμα και την αναπνευστική οδό. Σε γενικές γραμμές, η ανοσοποιητική ικανότητα του δέρματος μειώνεται όταν το δέρμα δεν υγραίνεται επαρκώς. Απ' την άλλη μεριά το αίσθημα της δυσαρέσκειας εμφανίζεται όταν το δέρμα είναι έντονα βρεγμένο, υπό την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών, υψηλής σχετικής υγρασίας και δραστηριότητας εντονότερης της καθιστικής. Η έννοια της διαβροχής του δέρματος μελετάται από το 1937, χρόνια όπου ο Gagge έδωσε το παρακάτω ορισμό: 'η διαβροχή του δέρματος είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματικής απώλειας θερμότητας λόγω εξάτμισης του ιδρώτα, προς τη μέγιστη που μπορεί να επιτευχθεί υπό τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες'. Εναλλακτικά, η διαβροχή του δέρματος μπορεί να οριστεί λαμβάνοντας υπόψη την επιφάνεια του σώματος που είναι καλυμμένο με ιδρώτα λόγω εφίδρωσης. Η διαβροχή του δέρματος δηλώνει την ένταση που επιβάλλεται στο θερμορυθμιστικό σύστημα του σώματος και αποτελεί πολύ καλό δείκτη δυσαρέσκειας. Οι παραπάνω μηχανισμοί και μεγέθη μελετήθηκαν από τους John Toftum et al. Για με στόχο τον προσδιορισμό του ορίου διαβροχής του δέρματος και των άνω ορίων σχετικής υγρασίας, ώστε να αποφευχθεί το αίσθημα της δυσαρέσκειας. Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης απέδειξαν ότι η κατάσταση του δέρματος είναι λιγότερη αποδεκτή καθώς αυξάνεται η σχετική υγρασία του δέρματος. Η επίδραση της υγρασίας του αέρα στην αναπνευστική οδό λαμβάνει χώρα για δύο λόγους. Πρώτον, οι βλεννώδεις μεμβράνες της αναπνευστικής οδού ψύχονται κατά την εισπνοή του αέρα. Η ψύξη αυτή παίζει κυρίαρχο ρόλο στην αντίληψη του θερμικού περιβάλλοντος. Δεύτερον, η αναπνευστική οδός δρα ως ένα σύστημα κλιματισμού που ρυθμίζει την υγρασία και

τη θερμοκρασία του εισπνεόμενου αέρα, πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες. Το σημείο της αναπνευστικής οδού στο οποίο γίνεται ο κλιματισμός του αέρα, εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το περιεχόμενο σε υδρατμούς του εισπνεόμενου αέρα. Σε χαμηλούς ρυθμούς αναπνοής και τυπικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας, ο κλιματισμός του αέρα γίνεται στο άνω μέρος της αναπνευστικής οδού. Να σημειωθεί ότι ο μηχανισμός της ψύξης μέσω του εισπνεόμενου αέρα είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός, όπου έχουμε ανταλλαγή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας μέσω εξάτμισης και μεταφοράς. Σε υψηλή θερμοκρασία και υγρασία η ικανότητα της αναπνευστικής οδού για ψύξη του εισπνεόμενου αέρα μειώνεται και ο αέρας μοιάζει να είναι αποπνικτικός και θερμότερος απ' όσο πραγματικά είναι. Στην περίπτωση όπου η υγρασία του αέρα είναι πολύ χαμηλή, ο κίνδυνος να ξηραθούν οι βλεννώδεις μεμβράνες είναι μεγάλος. Η ξηρότητα των μεμβρανών μειώνει την προστατευτική τους ισχύ και ο καθαρισμός του αέρα, μαζί με τον κλιματισμό του πριν αυτός φτάσει στους πνεύμονες, που γίνεται στην αναπνευστική οδό δεν είναι δυνατός. Η δυσαρέσκεια αφορά σ' αυτή την περίπτωση μόνο την αίσθηση που προκαλεί ο αέρας στην αναπνευστική οδό. Τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας του αέρα είναι λιγότερο σαφή από αυτά της θερμοκρασίας και το ανώτερο επιτρεπτό επίπεδο της εξακολουθεί ακόμη να βρίσκεται υπό μελέτη. Ωστόσο, όπως και στην περίπτωση της θερμοκρασίας του αέρα, τα αποδεκτά όρια της σχετικής υγρασίας για την επίτευξη θερμικής άνεσης εξαρτώνται από συνδυασμό παραμέτρων. Το ζήτημα της θερμικής άνεσης είναι λοιπόν πολυπαραγοντικό με τη θερμοκρασία του αέρα, ιδιαίτερα, να παίζει κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό της αποδεκτής σχετικής υγρασίας. Ως αποτέλεσμα του παραπάνω γεγονότος τα διαγράμματα θερμικής άνεσης όπως αυτά της σχετικής υγρασίας σε συνάρτηση της θερμοκρασίας οριοθετούν το πεδίο θερμικής ευεξίας και προσδιορίζουν το κατάλληλο ζεύγος τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Με βάση τη θεωρία της θερμικής άνεσης πολλοί οργανισμοί έχουν εκδώσει οδηγίες και κανονισμούς για τα επιτρεπτά επίπεδα των τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΠΑΤΑΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΕΡΨΥΞΗΣ ΧΩΡΩΝ

### 2.1. Ορισμός υπέρψυξης(19)

Υπερψύξη, επίσης γνωστή ως undercooling, είναι η διαδικασία της μείωσης της θερμοκρασίας ενός υγρού ή αερίου κάτω από το σημείο ψύξης του χωρίς αυτό να γίνει ένα στερεό. Ένα υγρό κάτω από το τυπικό σημείο πήξης του θα αποκρυσταλλωθεί με την παρουσία ενός κρυστάλλου σπόρου ή πυρήνα γύρω από τον οποίο μια δομή κρυστάλλου μπορεί να σχηματιστεί.

### 2.2. Το φαινόμενο της υπέρψυξης χώρων(19,20)

Κατά τη φάση λειτουργίας, τα κτίρια καταναλώνουν περισσότερο από το 40% της πρωτογενούς ενέργειας και εκπέμπουν το ένα τρίτο των αερίων του θερμοκηπίου σε πλανητική κλίμακα και ετήσια βάση . Ο συμβατικός κλιματισμός είναι σήμερα η κύρια τεχνολογία για να αντισταθμίσει τις αυξημένες θερμοκρασίες εσωτερικού χώρου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Έχει την κύρια συμβολή στην αιχμή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε χώρες με ζεστό κλίμα ή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (π.χ. 40% του φορτίου αιχμής στη Σαγκάη , η οποία μπορεί να αυξηθεί έως και 100%, λόγω της Θερμικής Νησίδας . Ως εκ τούτου, η μέση μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα αυξήθηκε κατά 23% τον Ιούλιο του 2011 σε σύγκριση με τη μέση ετήσια ενώ το ωριαίο φορτίο του μια τυπική ημέρα του Ιουλίου ήταν μέχρι 70% υψηλότερο από το αντίστοιχο φορτίο του Μαΐου . Κατά συνέπεια, απαιτείται μία μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για μια πολύ μικρή χρονική περίοδο του καλοκαιριού και παράγεται κυρίως από τα ορυκτά καύσιμα. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας αναφέρει ότι η ευρωπαϊκή κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση, τον εξαερισμό και τον κλιματισμό (HVAC) αυξήθηκε σημαντικά, περίπου στο 50% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια, ιδίως στις νότιες χώρες . Ως εκ τούτου, η μείωση της χρήσης των μηχανικών συστημάτων (ενεργητικών) θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού κι η ανάπτυξη εναλλακτικών, βιώσιμων και αποδοτικών τεχνολογιών δροσισμού είναι ζωτικής σημασίας. Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για να λυθεί το πρόβλημα της Αστικής Θερμικής Νησίδας

και να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια. Μέτρα αντιμετώπισης, όπως η μείωση της ανθρωπογενούς θερμότητας κι ο σωστός αστικός σχεδιασμός προτάθηκαν. Ο περιορισμός του προβλήματος απαιτεί ένα συνδυασμό μέτρων αφού οι τεχνικές μέχρι στιγμής έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η αύξηση της επιφάνειας των πράσινων εκτάσεων ή της επιφάνειας του νερού (π.χ. τεχνητές λίμνες) αποτρέπουν το φαινόμενο της Θερμικής Νησίδας. Ωστόσο, η υψηλή τιμή γης του αστικού χώρου περιορίζει την ευρεία εφαρμογή των μεθόδων αυτών. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για σκοπούς ψύξης είναι πολύ ελκυστική, δεδομένου ότι το φορτίο αιχμής για ψύξη συμπίπτει με το μέγιστο της ηλιακής ενέργειας και η αποτελεσματικότητα του μετασχηματισμού μπορεί να είναι υψηλή. Αν και έχουν αναπτυχθεί πολλά ενεργητικά και παθητικά ηλιακά σχέδια για την ψύξη, έχουν γενικά τους δικούς τους περιορισμούς. Οι ενεργητικές ηλιακές τεχνολογίες πρέπει να εξελιχθούν σε απλούστερα συστήματα μικρότερης χωρητικότητας, με χαμηλό κόστος και σε πιο φιλικά συστήματα στη συντήρηση και λειτουργία. Επιπλέον, ένα ηλιακό σύστημα ψύξης μπορεί να εφαρμοστεί ευκολότερα εάν ενσωματωθεί στο κέλυφος του κτιρίου, ακόμη και από τη φάση του σχεδιασμού. Ως εκ τούτου, τα συστήματα ψύξης ενσωματωμένα στο κτίριο και τα κτιριακά φωτοβολταϊκά θεωρούνται οι πιο ελπιδοφόρες λύσεις. Σε αυτή την κατεύθυνση, έχει υπάρξει σημαντική ερευνητική πρόοδος στην ενσωμάτωση των λεγόμενων «ψυχρών» υλικών στα κτίρια με ποικίλες και διαφορετικές ιδιότητες όπως υψηλή αντανάκλαστικότητα και διαπερατότητα στην υπέρυθρη ακτινοβολία. Επίσης υπάρχουν αναφορές για την ενσωμάτωση υλικών αλλαγής φάσης σε ανακλαστικές επιστρώσεις με περαιτέρω αύξηση της επιφανειακής ψύξης. Η διατήρηση μιας λεπτής μεμβράνης νερού σε υπερ-υδρόφιλες TiO<sub>2</sub>-επικαλυμμένες επιφάνειες έχει βρεθεί ότι μειώνει επίσης τις επιφανειακές θερμοκρασίες από την απελευθέρωση της λανθάνουσας θερμότητας που οφείλεται στην εξάτμιση του νερού. Οι προτεινόμενες μέθοδοι παθητικής ψύξης έχουν περιορισμένη ικανότητα για μείωση της θερμοκρασίας και παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ως παράδειγμα, αύξηση του albedo με υλικά ψύξης μειώνει επίσης τη θερμοκρασία της επιφάνειας στη διάρκεια του χειμώνα, ενώ η απόδοση μειώνεται μέχρι και 15% κατά το πρώτο έτος της χρήσης των υλικών λόγω καιρικών συνθηκών. Σε υπερ-υδρόφιλη επικάλυψη, η κυκλοφορία του νερού είναι απαραίτητη και έτσι αυξάνεται το κόστος της εφαρμογής. Σε αντίθεση, έχει προταθεί ότι με τη χρήση υλικών για την κάλυψη μιας επιφάνειας κτιρίου, είναι δυνατόν να μειωθεί η θερμοκρασία της επιφάνειας του από την αξιοποίηση των

ιδιοτήτων της προσρόφησης και εξάτμισης της υγρασίας. Πρόσφατα πειράματα αποκάλυψαν ότι η λανθάνουσα θερμότητα που εκλύεται από την υγρασία που προσροφάται σε νανοσύνθετες αργίλους του αλουμινίου κατά την υψηλή υγρασία τη νύχτα, μειώνει την επιφανειακή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια των ωρών της ημέρας . Επιπλέον, με την ενσωμάτωση  $TiO_2$  στο σηπιόλιθο που παρουσιάζει υψηλή προσροφητική ικανότητα υγρασίας, είναι εφικτή η πολυλειτουργικότητα με την αποικοδόμηση ρύπων επιπλέον της εξατμιστικής ψύξης . Αν και το δυναμικό της χρήσης πορωδών υλικών για την κατασκευή συστημάτων ψύξης και εξοικονόμηση ενέργειας είναι σημαντικό, το κύριο μειονέκτημα τους είναι η έλλειψη διαφάνειάς τους για ψύξη με εξάτμιση των παραθύρων και του γυαλιού αίθριων χώρων .

## Ταξινόμηση των PCM

### Γενικά

Το πλέον γνωστό υλικό αλλαγής φάσης είναι το νερό που κατά την αλλαγή φάσης του σε πάγο μπορεί να αποθηκεύσει πολύ μεγάλα ποσά θερμότητας. Όμως μερικές από τις ιδιότητές του, όπως η θερμοκρασία πήξης του στους  $0^{\circ}C$ , η μεγάλη μεταβολή της πυκνότητάς του με τη θερμοκρασία κ.λπ., δημιουργούν σημαντικά προβλήματα κατά τη χρήση του ως PCM. Έτσι, η ιδέα ήταν να αναπτυχθούν υλικά με βάση το νερό, ώστε να παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματά του (μεγάλη αγωγιμότητα, μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας) αλλά όχι τα υπόλοιπα προβλήματα της χρήσης του και ιδιαίτερα τη θερμοκρασία τήξης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν τα πρώτα PCM που είναι τα ένυδρα άλατα, μια κατηγορία υλικών που αναπτύσσεται και τελειοποιείται ακόμη και σήμερα. Ανάλογα με τις τεχνικές εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται τα PCM, πολλές διαφορετικές κατηγορίες υλικών έχουν μελετηθεί στο παρελθόν. Η ομαδοποίηση των υλικών αλλαγής φάσης μπορεί να γίνει με βάση πολλούς διαφορετικούς παράγοντες. Πρώτος και σημαντικότερος είναι η σύσταση, σύμφωνα με την οποία χωρίζονται σε οργανικά και ανόργανα υλικά. Άλλοι παράγοντες είναι οι εφαρμογές που καλύπτουν καθώς επίσης και το εύρος θερμοκρασιών που λαμβάνει χώρα η αλλαγή φάσης τους. Η κατηγοριοποίηση ως προς τη σύσταση, επειδή είναι η συνηθέστερη και πιο σημαντική, αναλύεται περισσότερο παρακάτω.

## Ανόργανα υλικά

Τα ανόργανα υλικά καλύπτουν μια ευρεία θερμοκρασιακή κλίμακα. Περιλαμβάνουν το νερό στους 0oC, υδατικά διαλύματα αλάτων σε θερμοκρασίες μικρότερες από 0oC, ένυδρα άλατα μεταξύ 5oC και 130oC και τέλος διάφορα άλατα από 150oC περίπου και πάνω. Λόγω της μεγάλης τους πυκνότητας, συνήθως μεγαλύτερης από 1g/cm<sup>3</sup>, παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές αποθήκευσης ενέργειας ανά μονάδα όγκου σε σχέση με τα οργανικά. Ωστόσο, η συμβατότητά τους με άλλα υλικά, όπως τα μέταλλα, είναι προβληματική, καθώς πολλοί από τους συνδυασμούς τους προκαλούν σοβαρές διαβρώσεις. Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνονται: το φαινόμενο subcooling (υπόψυξη), ο διαχωρισμός φάσεων, η έλλειψη θερμικής σταθερότητας και το υψηλό κόστος πώλησης λόγω της επιβεβλημένης ενσωμάτωσής τους σε προστατευτικό κάλυμμα και της χρήσης πρόσθετων ουσιών σταθεροποίησης των ιδιοτήτων τους. Οι επιπλέον πληροφορίες που δίδονται σε ορισμένα από αυτά, οφείλονται σε τυπικές αποκλίσεις της βιβλιογραφίας.

Αξίζει να αναφερθεί ξεχωριστά το άλας του θειικού νατρίου, γνωστό και ως άλας του Glauber, καθώς αποτελεί ένα από τα πιο πολυμελετημένα υλικά αλλαγής φάσης. Ο χημικός του τύπος είναι Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10H<sub>2</sub>O, συνίσταται κατά βάρος από 44% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και 56% H<sub>2</sub>O, ενώ εμφανίζει θερμοκρασία τήξης 32.4oC και λανθάνουσα θερμότητα 254kJ/kg. Αν και είναι από τα φθηνότερα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση ενέργειας, το πρόβλημα διαχωρισμού των φάσεων, ο σχηματισμός ιζήματος και η εμφάνιση του φαινομένου υπόψυξης περιορίζουν τις εφαρμογές του.

Οι προσπάθειες που έγιναν για τον περιορισμό των μειονεκτημάτων του αλάτος κατά τη χρήση του σε εφαρμογές είναι πολλές. Ερευνητές πρότειναν την προσθήκη επιπλέον νερού για την αποφυγή σχηματισμού ιζήματος, μέθοδος όμως που προκαλεί μείωση της πυκνότητας αποθήκευσης του υλικού.

Αντί αυτής της πρωταρχικής ιδέας, σήμερα χρησιμοποιούνται πολλών ειδών ουσίες ως πρόσθετα σταθεροποίησης με προσπάθεια ταυτόχρονης αύξησης του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας. Έτσι, το άλας του Glauber κατάφερε να γίνει ένα ικανοποιητικά χρήσιμο υλικό αλλαγής φάσης, που χρησιμοποιείται σε αρκετές εφαρμογές.

Η ανάμιξη δυο ή περισσότερων ανόργανων συστατικών μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενός νέου PCM με βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με τα συστατικά του. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, η προσθήκη μικρών ποσοτήτων NaCl και KCl έχουν ως αποτέλεσμα καλύτερη



συμπεριφορά ως προς την τήξη, χωρίς σημαντική αλλαγή της θερμοκρασίας στην οποία αυτή πραγματοποιείται .

### Οργανικά υλικά

Τα οργανικά υλικά, καλύπτουν μικρότερο θερμοκρασιακό εύρος, περίπου από 0oC έως 150oC. Περιλαμβάνουν κυρίως τις παραφίνες, τα λιπαρά οξέα και τις σακχαρώδεις αλκοόλες. Στις περισσότερες περιπτώσεις εμφανίζουν μικρές πυκνότητες, μικρότερες από 1g/cm<sup>3</sup>. Για το λόγο αυτό, έχουν μικρότερες τιμές λανθάνουσας θερμότητας ανά όγκο σε σύγκριση με τα ανόργανα. Ακόμη, παρουσιάζουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και είναι εύφλεκτα. Ωστόσο, πλεονεκτούν ως προς τη συμβατότητά τους με άλλα υλικά, γιατί είναι μη τοξικά, εμφανίζουν λίγο ή καθόλου υπόψυξη, έχουν χημική και θερμική σταθερότητα ενώ παράλληλα είναι αρκετά φθηνότερα. Ως κύριοι εκπρόσωποι της κατηγορίας, οι παραφίνες και τα λιπαρά οξέα αναπτύσσονται περισσότερο στις επόμενες παραγράφους.

### Παραφίνες

Οι παραφίνες αποτελούν τις απλούστερες οργανικές ενώσεις και ανήκουν στην ομάδα των αλκανικών υδρογονανθράκων με μεγάλο μοριακό βάρος. Χαρακτηρίζονται από το γενικό μοριακό τύπο C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>, όπου n ο αριθμός των ατόμων άνθρακα που περιέχονται στο μόριο κάθε ένωσης. Η ίδια ονομασία επικράτησε προσδιορίζοντας γενικότερα τα αλκάνια, όμως τις περισσότερες φορές αναφέρεται στα αλκάνια με γραμμική ανθρακική αλυσίδα. Εκτός των απλών παραφινών, υπάρχουν τα ισοαλκάνια (ισοπαραφίνες), δηλαδή αλκάνια των οποίων οι ανθρακικές αλυσίδες περιέχουν διακλαδώσεις και τα κεριά παραφίνης που είναι αλκάνια στερεής μορφής με  $20 \leq n \leq 40$ .

Η πιο απλή παραφίνη που συναντάται, είναι το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) με ένα άτομο άνθρακα, το οποίο σε θερμοκρασία δωματίου βρίσκεται σε αέρια φάση. Τα βαρύτερα μόρια παραφινών με 5 έως 19 άτομα άνθρακα, όπως το οκτάνιο (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>), εμφανίζονται ως υγρά σε συνήθεις θερμοκρασίες ενώ τα κεριά παραφίνης με 20 έως 40 άτομα άνθρακα στο μόριό τους, σχηματίζουν στερεά σώματα. Η φυσική ιδιότητα των παραφινών που ενδιαφέρει κυρίως τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, είναι το σημείο τήξης τους, κι αυτό γιατί θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται η αλλαγή φάσης τους μέσα στο εύρος θερμοκρασιών που απαιτείται από την εκάστοτε εφαρμογή. Το σημείο αυτό ακολουθεί ένα είδος γραμμικής μεταβολής, καθώς εξαρτάται από το μοριακό βάρος του μορίου και πιο συγκεκριμένα όσο

μεγαλύτερο το μόριο της ένωσης τόσο υψηλότερο είναι και το σημείο τήξης της τελευταίας. Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει το σημείο τήξης, πέραν του μοριακού μεγέθους, είναι και η σταθερότητα της μοριακής δομής της ένωσης. Αλκάνια με περιττό αριθμό ατόμων άνθρακα σχηματίζουν χαλαρές δομές στη στερεή τους φάση, σε αντίθεση με τα αλκάνια άρτιου αριθμού που σχηματίζουν καλά οργανωμένες στερεές δομές. Για το λόγο αυτό, κατά τη μετάβασή τους στην υγρή φάση απαιτούν λιγότερη ενέργεια για τη διάσπαση της δομής τους, άρα εμφανίζουν και χαμηλότερα σημεία τήξης.

Οι παραφίνες, ως οργανικές ενώσεις, είναι φθηνές και άφθονες.

Παρουσιάζουν άριστη συμπεριφορά στην κυκλική καταπόνηση χωρίς καμία υποβάθμιση των ιδιοτήτων τους. Δεν εμφανίζουν προβλήματα διάβρωσης με κανένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μέταλλο. Δεν πλήττονται από φαινόμενα, όπως ο διαχωρισμός των φάσεων ή η υπόψυξη, άρα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Επιπλέον χαρακτηρίζονται από χημική και θερμική σταθερότητα. Τέλος, η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα που εμφανίζουν, μπορεί εύκολα να ξεπεραστεί μέσω εμπλουτισμού του υλικού με μεταλλικά αντικείμενα διαφόρων σχημάτων ή με χρήση ειδικά διαμορφωμένων πτερυγίων.

Για τους παραπάνω λόγους, οι παραφίνες αποτελούν ιδανικά υλικά αλλαγής φάσης στα συστήματα αποθήκευσης θερμότητας. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο γεγονός ότι πραγματοποιούν ολοκληρωμένα την αλλαγή φάσης τους σε θερμοκρασιακό εύρος περίπου 10K (~ 9K πριν το σημείο τήξης και ~1K μετά).

Ένα τέτοιο φαινόμενο αν δεν ληφθεί υπόψη μπορεί να οδηγήσει σε μη σωστή εκλογή υλικού με αποτέλεσμα μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές. Τέλος, θα πρέπει να υπάρχει προσοχή κατά τη χρήση τους, καθώς είναι εύφλεκτα υλικά.

### Λιπαρά Οξέα

Σύμφωνα με την οργανική χημεία, λιπαρό οξύ ονομάζεται ένα καρβοξυλικό οξύ, με μακρά, μη-διακλαδισμένη, ανθρακική αλυσίδα, η οποία είναι είτε

κορεσμένη, είτε ακόρεστη. Γενικότερα, τα λιπαρά οξέα προέρχονται από φυσικά λίπη ή έλαια με τουλάχιστον 8 άτομα άνθρακα στην αλυσίδα τους, όπως το καπριλικό οξύ. Όμως ορισμένα από αυτά με μικρό μοριακό βάρος, όπως το βουτυρικό (με 4 άτομα άνθρακα), μπορούν να συμπεριληφθούν στην ίδια κατηγορία. Τα περισσότερα από τα φυσικά λιπαρά οξέα, εμφανίζουν άρτιο αριθμό ατόμων στην ανθρακική τους αλυσίδα, καθώς η βιοσύνθεσή τους περιλαμβάνει ακετυλικό CoA, συνένζυμο που φέρει μια δυατομική ανθρακική ομάδα. Τα λιπαρά οξέα παράγονται από την υδρόλυση των εστερικών δεσμών ενός λιπαρού ή βιολογικού ελαίου, με αφαίρεση της γλυκερόλης και μπορεί να είναι είτε κορεσμένα είτε ακόρεστα. Η βασική διαφορά των δυο κατηγοριών είναι ότι τα κορεσμένα οξέα δεν περιέχουν καθόλου διπλούς δεσμούς ή άλλα λειτουργικά σύνολα κατά μήκος της ανθρακικής τους αλυσίδας, αντίθετα με τα ακόρεστα που περιέχουν. Παραδείγματα κορεσμένων λιπαρών οξέων είναι : το βουτυρικό, το μυριστικό, το παλμιτικό, το στεαρικό κλπ. Αντίστοιχα, ορισμένα παραδείγματα ακόρεστων οξέων είναι : το άλφα-λινολεϊκό, το λινολεϊκό, το ολεϊκό κλπ.

Ως προς την αποθήκευση θερμότητας, τα λιπαρά οξέα εμφανίζουν καλές προοπτικές, καθώς συγκεντρώνουν όλα τα πλεονεκτήματα των οργανικών υλικών αλλαγής φάσης. Το μεγάλο εύρος θερμοκρασιών τήξης, η έλλειψη του φαινομένου υπόψυξης και του διαχωρισμού των φάσεων, η αποθηκευτική ικανότητα, η χημική σταθερότητα, η μη-τοξικότητα και η συμβατότητά τους με τα περισσότερα υλικά είναι μερικές μόνο από τις αξιοσημείωτες πτυχές τους. Βεβαίως, οι συγκεκριμένες ενώσεις χαρακτηρίζονται και από ορισμένα μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι η αυτό-οξειδωση, μια χημική αντίδραση στην οποία υπόκεινται, όταν βρίσκονται σε θερμοκρασία δωματίου. Αποτέλεσμα της αντίδρασης είναι η διάσπαση του αρχικού οξέος σε υδατάνθρακες, κετόνες, αλδεΐδες και μικρότερες ποσότητες αλκοολών και εποξικών. Άλλο μειονέκτημα των λιπαρών οξέων είναι η κακοσμία, ιδιότητα που περιορίζει δραματικά τη χρηστικότητα του χώρου στον οποία εγκαθίστανται τα υλικά. Και τα δυο προβλήματα που αναφέρθηκαν, μπορούν να αντιμετωπιστούν με χρήση ειδικής συσκευασίας που θα περιέχει το εκάστοτε λιπαρό οξύ. Παρόλα αυτά, σε σχέση με τις παραφίνες, συνεχίζουν να είναι ακριβότερα .

Τα οργανικά, όπως και τα ανόργανα υλικά, είναι δυνατό να αναμιχθούν μεταξύ τους για τη δημιουργία ενός νέου PCM με το επιθυμητό σημείο τήξης.

### 2.2.1 Εύτηκτα μίγματα οργανικών και ανόργανων υλικών

Εύτηκτο ονομάζεται ένα μίγμα δυο ή περισσότερων συστατικών, το οποίο έχει σημείο τήξης χαμηλότερο από οποιοδήποτε από τα συστατικά του. Τέτοιου είδους μίγματα δεν εμφανίζουν διαχωρισμό φάσεων ούτε κατά την τήξη αλλά ούτε κατά την πήξη τους, λόγω της σύνθετης κρυσταλλικής δομής που αναπτύσσουν στις διεργασίες αυτές.

Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να μελετάται η ανάμιξη οργανικών και ανόργανων υλικών για τη δημιουργία εύτηκτων μιγμάτων για χρήση ως PCM με βελτιωμένες ιδιότητες. Τα μίγματα αυτά συμπεριφέρονται και αντιμετωπίζονται σαν ένυδρα άλατα. Συγκεντρώνουν πολλά πλεονεκτήματα ως υλικά αλλαγής φάσης. Το βασικό τους μειονέκτημα όμως είναι το κόστος τους, το οποίο μπορεί να είναι έως και τριπλάσιο από αυτό των οργανικών και ανόργανων PCM.

### 2.3 Προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισης

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ένα υλικό που χρησιμοποιείται ως PCM σπάνια συγκεντρώνει όλες τις απαραίτητες ιδιότητες ώστε να είναι πλήρως αποδοτικό. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι επίλυσης ή αποφυγής των ενδεχόμενων προβλημάτων που παρουσιάζονται. Στη συνέχεια της ενότητας γίνεται αναφορά τόσο στα προβλήματα όσο και στους πιθανούς τρόπους επίλυσής τους.

#### 2.3.1 Διαχωρισμός Φάσεων

Ο διαχωρισμός φάσεων, αλλιώς γνωστός και ως δυσαρμονική τήξη, είναι πρόβλημα για τα PCM που αποτελούνται από διαφορετικά συστατικά.

Το ένυδρο άλας αποτελείται από δυο συστατικά, το αλάτι και το νερό. Αρχικά η απλή φάση του άλατος θερμαίνεται από το σημείο 1 (στερεό) έως το 2. Από το σημείο 3 και πάνω, όπου η γραμμή του υγρού ξεπερνιέται, το υλικό είναι εξ ολοκλήρου υγρό. Ανάμεσα στα σημεία 2 και 3 έχουμε το σχηματισμό 2 φάσεων, της υγρής και μιας μικρής ποσότητας φάσης με λιγότερο νερό (σημείο 4). Το αποτέλεσμα της διαφορετικής πυκνότητας των

2 αυτών φάσεων είναι ο μακροσκοπικός διαχωρισμός τους, άρα και οι διαφορές στις συγκεντρώσεις των χημικών που σχηματίζουν το PCM (σημείο 5).

Μειώνοντας τη θερμοκρασία του μίγματος τόσο ώστε να φτάσει κάτω από τη θερμοκρασία τήξης, η λανθάνουσα θερμότητα που στερεοποιεί το PCM πολλές φορές δεν απελευθερώνεται. Αντιθέτως, για να απελευθερωθεί και να σχηματιστεί ξανά το στερεό PCM, θα χρειαζόταν σωστή συγκέντρωση των χημικών συστατικών σε ολόκληρο το μίγμα. Αυξάνοντας τη θερμοκρασία του μίγματος τόσο ώστε να μεταπέσει εξ ολοκλήρου στην υγρή περιοχή (σημείο 3), οι διαφορετικές φάσεις αναμιγνύονται μεταξύ τους ξανά μέσω του φαινομένου της μοριακής διάχυσης. Η ανάμιξη του μίγματος μπορεί να πραγματοποιηθεί μετά από ώρες ή ακόμη και μέρες, αν δεν γίνει με τεχνητό τρόπο.

Ο διαχωρισμός φάσεων, τις περισσότερες φορές, μπορεί να ξεπεραστεί με τη χρήση ειδικών πρόσθετων υλικών υελοειδούς μορφής. Τα τελευταία σχηματίζουν λεπτά πλέγματα μέσα στο PCM χτίζοντας έτσι μικρούς θαλάμους που περιορίζουν το μακροσκοπικό διαχωρισμό των φάσεων με διαφορετικές πυκνότητες. Μίγματα αυτού του είδους, όταν θερμανθούν σε θερμοκρασία υψηλότερη της απαιτούμενης για τήξη, ομογενοποιούνται κανονικά μέσω μοριακής διάχυσης. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την προσθήκη χημικών στο αρχικό PCM. Τα χημικά αυτά αλλάζουν το διάγραμμα φάσεων του PCM με τέτοιο τρόπο ώστε τελικά να αποτρέπουν εντελώς την εμφάνιση των διαφορετικών φάσεων.

### 2.3.2 Υπόψυξη / Υπέρψυξη (subcooling / supercooling)

Θεωρητικά, η θερμοκρασία τήξης και η θερμοκρασία στερεοποίησης ενός ιδανικού υλικού αλλαγής φάσης ταυτίζονται. Πρακτικά όμως, πολλά PCM δεν στερεοποιούνται αμέσως, όταν η θερμοκρασία γίνει μικρότερη από αυτήν της στερεοποίησης. Το φαινόμενο αυτό, κατά το οποίο ένα ρευστό ψύχεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τη θερμοκρασία στερεοποίησής του χωρίς να στερεοποιείται, ονομάζεται υπόψυξη (subcooling ή supercooling) και κατά τη διάρκειά του το PCM είναι σχετικά ασταθές,

δηλαδή δεν βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία. Γενικά, ένα υγρό κάτω από το σημείο στερεοποίησής του διαμορφώνει κρυσταλλική δομή γύρω από έναν παράγοντα διαμόρφωσης κρυσταλλικής δομής (πυρήνα κρυστάλλου). Στην περίπτωση που αυτοί οι παράγοντες λείπουν, το υγρό παραμένει στην ίδια φάση μέχρι τη θερμοκρασία όπου παρατηρείται η ομογενής κρυσταλλική δομή της στερεής φάσης, δηλαδή πολύ χαμηλότερα από τη θερμοκρασία στερεοποίησής του. Η υπόψυξη εμφανίζεται κυρίως στα ανόργανα υλικά αλλαγής φάσης. Ερμηνεύοντας την καμπύλη ψύξης του PCM με υπόψυξη, παρατηρείται σαφώς η πτώση της θερμοκρασίας του υλικού κάτω από την αντίστοιχη θερμοκρασία στερεοποίησής του, πριν ακόμη ξεκινήσει η διαδικασία αλλαγής φάσης. Η μερική ή πλήρης καταστολή του φαινομένου επιτυγχάνεται με την προσθήκη ενός μέσου πυρήνωσης στο PCM, ο οποίος εξασφαλίζει το σχηματισμό της στερεής φάσης με ελάχιστη υπόψυξη. Οι πιθανοί προς χρήση πυρήνες μπορεί να είναι:

- Εγγενείς πυρήνες: σωματίδια στερεού PCM. Θα πρέπει να διατηρούνται ξεχωριστά από το PCM διαφορετικά θα λιώσουν μαζί του κατά την τήξη και θα γίνουν αναποτελεσματικά.
- Ξένοι πυρήνες: χημικά που έχουν παρόμοια κρυσταλλική δομή με το στερεό PCM. Αυτό σημαίνει ότι έχουν παραπλήσια θερμοκρασία τήξης μ' εκείνο και απενεργοποιούνται σε θερμοκρασίες κοντά σε αυτήν.

Για τα περισσότερα, καλά μελετημένα PCM έχουν βρεθεί κατάλληλοι πυρήνες που περιορίζουν το φαινόμενο της υπόψυξης, για τα νεότερα όμως υλικά, η αναζήτηση ενός πυρήνα είναι συνήθως χρονοβόρα και ανεπιτυχής. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν έχει αναπτυχθεί ακόμη καμία αξιόπιστη προσέγγιση για τον τρόπο αναζήτησής τους.

### 2.3.3 Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα

Η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα είναι γενικότερα μια φυσική ιδιότητα των αμέταλλων υγρών. Κατά τη χρήση, όμως, τέτοιων υλικών ως PCM είναι απαραίτητη η επίτευξη μεγάλων τιμών θερμικής αγωγιμότητας κι αυτό γιατί η θερμότητα που αποθηκεύουν τα PCM σε μικρό όγκο θα πρέπει να μεταφέρεται από την επιφάνεια του όγκου στο εξωτερικό περιβάλλον εύκολα, ώστε να χρησιμοποιείται στα διάφορα συστήματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν δυο τρόποι βελτίωσης της μεταφοράς θερμότητας:

- Με χρήση μεταφοράς μάζας, δηλαδή συναγωγής. Η τελευταία συμβαίνει κατά την υγρή φάση και γι' αυτό ενεργεί μόνο όταν η θερμοότητα μεταφέρεται στο PCM. Όταν αφαιρείται, η στερεοποίηση συμβαίνει στην επιφάνεια συναλλαγής θερμοότητας.
- Με αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη αντικειμένων μεγαλύτερης αγωγιμότητας στο PCM. Παραδείγματα αποτελούν τα πτερύγια, τα μεταλλικά πλέγματα, οι μεταλλικές πλάκες κλπ.

## Γενικά

Ένας σημαντικός τομέας εφαρμογής των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με PCM αποτελούν αναμφισβήτητα τα κτίρια. Η μελέτη αποθήκευσης της λανθάνουσας θερμοότητας για μετέπειτα χρήση της στη θέρμανση και ψύξη των χώρων ενός κτιρίου, προσελκύει ολοένα και περισσότερους ερευνητές. Κι αυτό γιατί παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα:

- 1) Παρέχει τη δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης της ηλεκτρικής ζήτησης. Αυτό οφείλεται στο ότι η ενέργεια, αφού μπορεί να αποθηκευτεί, χρησιμοποιείται μόνον όταν είναι αναγκαία. Έτσι, μειώνεται το χάσμα ανάμεσα στα ενεργειακά φορτία που απαιτούνται από τα κτίρια σε ώρες αιχμής και σε ώρες χαμηλής ζήτησης.
- 2) Προσφέρει εξοικονόμηση στα λειτουργικά έξοδα. Σε όλες σχεδόν τις χώρες, λόγω εποχικών και άλλων συνθηκών, η ηλεκτρική κατανάλωση διαφέρει κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για να εξισορροπηθεί αυτή η διαφορά, ακολουθείται ειδική πολιτική τιμολόγησης του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό σημαίνει πως το ρεύμα που καταναλώνεται σε περιόδους χαμηλής ζήτησης μπορεί να στοιχίζει από 1/3-1/5 της τιμής του ρεύματος αιχμής. Έτσι, αποθηκεύοντας την ενέργεια και χρησιμοποιώντας την σε ώρες χαμηλού κόστους, μειώνονται σημαντικά τα λειτουργικά έξοδα του κτιρίου.
- 3) Βελτιώνει το βαθμό θερμικής άνεσης ενός κτιρίου. Αυτό επιτυγχάνεται λόγω της δυνατότητας συνεχούς αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η ενέργεια αυτή αποθηκεύεται σε κατάλληλες μονάδες και απελευθερώνεται τη νύχτα, για να θερμαίνεται ο χώρος. Αποτέλεσμα αυτού είναι η εξομάλυνση των ημερήσιων θερμοκρασιακών διακυμάνσεων του χώρου άρα και η βελτίωση της θερμικής του άνεσης.
4. Τέλος, συμβάλλει στη μείωση των ψυκτικών φορτίων του κλιματισμού κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Πιο συγκεκριμένα η δροσιά, που δημιουργείται από τη φυσική κυκλοφορία του αέρα τη νύχτα, αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται την ημέρα μειώνοντας τη θερμοκρασία του δωματίου. Αυτό συνεπάγεται μικρότερα ψυκτικά φορτία για τον κλιματισμό του χώρου, δηλαδή εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων.

## Ενσωμάτωση PCM στα δομικά υλικά

Μεγάλο ενδιαφέρον προκαλεί τις τελευταίες δεκαετίες η ενσωμάτωση υλικών αλλαγής φάσης στην τοιχοποιία. Οι τρόποι ενσωμάτωσης που μελετώνται στη βιβλιογραφία είναι ποικίλοι. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι η άμεση ενσωμάτωση, η απορρόφηση και η συσκευασία. Επιπροσθέτως αναφέρεται ότι τα PCM μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τη μορφή απλής πολυστρωματικής σανίδας και σε συνδυασμό με άλλα δομικά συστατικά.

### Άμεση ενσωμάτωση (Direct Incorporation)

Η μέθοδος της άμεσης ενσωμάτωσης είναι η οικονομικότερη απ' όλες τις μεθόδους ενσωμάτωσης μιας και απαιτεί ελάχιστο επιπρόσθετο εξοπλισμό για να πραγματοποιηθεί. Κατά τη διαδικασία παραγωγής δομικών υλικών, όπως ο γύψος και το τσιμέντο, το υλικό αλλαγής φάσης, είτε ως υγρό είτε σε σκόνη, προστίθεται σε αυτά και αναμιγνύεται μαζί τους. Έτσι πραγματοποιείται η ενσωμάτωσή του άμεσα στα οικοδομικά υλικά. Ένα παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου, σε εργαστηριακό ακόμη επίπεδο, είναι η παραγωγή γυψοσανίδας που μπορεί να αποθηκεύει ενέργεια. Αυτό γίνεται με άμεση ενσωμάτωση εμπορικού βουτυλικού εστέρα, αναλογίας 21-22%, στο στάδιο ανάμιξης κατά την παραγωγή της συμβατικής γυψοσανίδας .

### Απορρόφηση (Immersion)

Η διαδικασία της απορρόφησης πραγματοποιείται ως εξής: Αρχικά, το υλικό αλλαγής φάσης θερμαίνεται και λιώνει. Στη συνέχεια, τα πορώδη δομικά υλικά (γυψοσανίδες, τούβλα, τσιμεντόλιθοι) εμβαπτίζονται στο λιωμένο PCM με αποτέλεσμα το τελευταίο, λόγω των τριχοειδών φαινομένων που αναπτύσσονται, να απορροφάται από τους πόρους. Ακολούθως, τα δομικά υλικά απομακρύνονται από το ρευστό PCM και αφήνονται να κρυσώσουν, διατηρώντας πλέον το PCM στους πόρους τους. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής έναντι των υπολοίπων, είναι ότι δίνει τη δυνατότητα μετατροπής της απλής γυψοσανίδας σε γυψοσανίδα με PCM όποτε χρειάζεται, καθώς η ενσωμάτωση αυτού του είδους μπορεί να λάβει χώρα οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Παρ' όλα αυτά, όπως επισημαίνει στη μελέτη του ο Schossig και άλλοι , ο κίνδυνος διαρροής του PCM από το πορώδες υλικό με το πέρασμα των χρόνων παραμένει ένα σημαντικό πρόβλημα .

### Συσκευασία (Encapsulation)

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένας τρόπος αποφυγής των προβλημάτων, που δημιουργούνται από τη συνεργασία των PCM με άλλα υλικά,



είναι η συσκευασία τους. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και στην περίπτωση ενσωμάτωσης των PCM στα δομικά υλικά. Τα είδη συσκευασίας είναι αυτά που παρουσιάστηκαν ήδη, δηλαδή η μακρο-συσκευασία (macro-encapsulation) και η μικρο-συσκευασία (micro-encapsulation).

Κατά τη μακρο-συσκευασία, το υλικό αλλαγής φάσης συσκευάζεται σε σωλήνες, σακούλες, σφαίρες, πλαίσια ή άλλα δοχεία, τα οποία με τη σειρά τους τοποθετούνται στα δομικά υλικά. Μια πειραματική εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιήθηκε από τον ερευνητή Zhang και άλλους με ένα πλαίσιο τοίχου σε συνεργασία με παραφίνη υψηλής κρυστάλλωσης. Τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου ως προς τη μείωση της θερμοροής διαμέσου του τοίχου είναι ικανοποιητικά αγγίζοντας το ποσοστό του 38%, όμως δεν παύουν να υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι τα διάφορα δοχεία, που περιέχουν το PCM, χρήζουν προστασίας από καταστροφές. Αυτό συνεπάγεται περισσότερη εργασία για την ενσωμάτωσή τους στην κτιριακή δομή, άρα υψηλότερο κόστος. Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι ο μειούμενος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας κατά τη διαδικασία στερεοποίησης, λόγω των μικρών συντελεστών μεταφοράς θερμότητας του PCM στη στερεή κατάσταση.

Η μικρο-συσκευασία είναι η διαδικασία κατά την οποία μικρά σωματίδια του PCM εγκλείονται σε λεπτή, υψηλού μοριακού βάρους, πολυμερική μεμβράνη, συμβατή τόσο με το υλικό αλλαγής φάσης όσο και με τα οικοδομικά υλικά. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η εύκολη εφαρμογή της, η καλή μετάδοση θερμότητας λόγω της αυξημένης επιφάνειας συναλλαγής, και το γεγονός πως δεν χρειάζεται προστασία έναντι καταστροφής όπως η μακρο-συσκευασία. Βασικό της μειονέκτημα ότι μπορεί να επηρεάσει τη μηχανική αντοχή της κατασκευής. Οι ερευνητές Hawlader και άλλοι εξέτασαν την επίδραση διαφόρων παραγόντων στα χαρακτηριστικά και τις επιδόσεις ενός μικρο-συσκευασμένου PCM, όπως είναι για παράδειγμα η αποδοτικότητα της συσκευασίας, η αποθήκευση και απελευθέρωση της ενέργειας. Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους απέδειξαν ότι οι μικροκάψουλες της παραφίνης, που μελετήθηκε, παρουσιάζουν πολύ καλές προοπτικές χρήσης σε ηλιακές εφαρμογές, λόγω της μετρούμενης θερμοχωρητικότητάς τους (145-240 kJ/kg).

Τα τελευταία χρόνια, ένα νέο είδος σύνθετου PCM έχει αρχίσει να προσελκύει το ενδιαφέρον των μελετητών. Ονομάζεται υλικό αλλαγής φάσης σταθερού σχήματος ή Shape-Stabilized PCM (SSPCM) και αποτελείται από παραφίνη (δισπαρμένο PCM), και υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE) ή άλλο υλικό (υποστηρικτικό υλικό). Επειδή η σύσταση της παραφίνης αγγίζει μέχρι και το 80%, η συνολική ενέργεια που αποθηκεύεται στο SSPCM είναι συγκρίσιμη με αυτή που αποθηκεύεται στα παραδοσιακά PCM. Οι μελέτες που έγιναν από ερευνητές, όπως ο Zhang και άλλοι, με το συγκεκριμένο υλικό δείχνουν ότι η χρήση του στα κτίρια αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνική.

Πολυστρωματική σανίδα από PCM (Laminated PCM-board)

Τα υλικά αλλαγής φάσης μπορούν να ενσωματωθούν σε πολυστρωματικές οικοδομικές σανίδες και να χρησιμοποιηθούν ως στοιχεία ενταγμένα στο κτιριακό κέλυφος, για παράδειγμα στην εσωτερική επένδυση του τοίχου. Πολλοί ερευνητές χρησιμοποίησαν αυτές τις πολυστρωματικές σανίδες σε πειράματα και κατέληξαν στα παρακάτω θετικά συμπεράσματα:

- Η διάρκεια θερμικής επαναφοράς του συγκεκριμένου συστήματος μειώθηκε περίπου 17% σε σχέση με άλλα συστήματα.
- Η θερμική ροή στο σύστημα σημείωσε αύξηση 20-50% συγκριτικά με τα υπόλοιπα.
- Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας του συστήματος ήταν αυξημένος 7-18% σε σχέση με τα συμβατικά.

Σε τελική ανάλυση, η ενσωμάτωση πολυστρωματικών σανίδων PCM στα οικοδομικά υλικά, και συγκεκριμένα στην τοιχοποιία, φαίνεται να επιφέρει πολύ καλά θερμικά αποτελέσματα .

### Εφαρμογές

Η χρήση των PCM στα κτίρια έχει ως τελικό στόχο την παραγωγή θέρμανσης και ψύξης σε αυτά. Υπάρχουν, όμως, δυο διαφορετικοί μέθοδοι επίτευξης του στόχου αυτού. Ο πρώτος είναι η εκμετάλλευση φυσικών πηγών, όπως η ηλιακή ενέργεια και ο νυχτερινός δροσισμός ενώ ο δεύτερος είναι η χρήση τεχνητών πηγών θέρμανσης και ψύξης. Σε κάθε περίπτωση, η αποθήκευση της ενέργειας θα πρέπει να γίνεται έτσι, ώστε να ανταποκρίνεται στην υπάρχουσα ζήτηση και διαθεσιμότητα. Διακρίνονται τρεις τρόποι χρήσης των PCM για θέρμανση και ψύξη: 1) χρήση στην τοιχοποιία, 2) χρήση σε άλλα δομικά υλικά και 3) χρήση σε θερμικές και ψυκτικές αποθηκευτικές μονάδες. Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συγκεκριμένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με χρήση υλικών αλλαγής φάσης, που έχουν μελετηθεί και πραγματοποιηθεί στον κτιριακό τομέα.

### Ηλιακοί τοίχοι

Ένα σύστημα αποθήκευσης θερμότητας με PCM που συναντάται στην τοιχοποιία, είναι οι «ηλιακοί τοίχοι» (solar walls). Μοιάζουν με τους τοίχους Trombe, όμως η ιδιότητά τους να απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται, οφείλεται στο υλικό αλλαγής φάσης που εμπεριέχουν. Με λίγα λόγια, ένας ηλιακός τοίχος είναι στην ουσία ένας τοίχος Trombe στον οποίο έχει αντικατασταθεί η λιθοδομή με υλικό αλλαγής φάσης. Για να γίνει πλήρως κατανοητή η λειτουργία των ηλιακών τοίχων, καλό θα ήταν να προηγηθεί μια σύντομη περιγραφή των τοίχων Trombe.

Ο τοίχος Trombe αποτελεί ένα θεμελιώδες παράδειγμα έμμεσου ενεργειακού κέρδους στις κτιριακές εφαρμογές. Στην ουσία πρόκειται για έναν πλίνθινο τοίχο που τοποθετείται στη νότια πλευρά ενός οικοδομήματος. Σε απόσταση περίπου 4 ιντσών μπροστά από την επιφάνειά του τοποθετείται γυάλινη ή πλαστική, μονή ή διπλή,

υαλοκατασκευή. Η δέσμευση της ηλιακής ενέργειας πραγματοποιείται στο δημιουργούμενο κενό μεταξύ τοίχου και υαλοκατασκευής. Η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου φέρει μαύρο χρωματισμό προς απορρόφηση της θερμότητας, η οποία με τη σειρά της αποθηκεύεται στη μάζα του. Η θερμική συνεισφορά του τοίχου προς το χώρο που είναι εγκατεστημένος, ολοκληρώνεται μέσα σε ένα χρονικό διάστημα ωρών, ξεκινώντας τη στιγμή που η εσωτερική θερμοκρασία του τελευταίου γίνει μικρότερη αυτής στην επιφάνεια του τοίχου. Οι παραδοσιακοί τοίχοι Trombe βασίζουν τη λειτουργία τους στην εκμετάλλευση της αισθητής θερμότητας που λαμβάνουν μέσω δέσμευσης της ηλιακής ενέργειας. Η χρήση υλικών αλλαγής φάσης σε συνεργασία με τους τοίχους Trombe δίνει τη δυνατότητα μεγαλύτερης ενεργειακής αποθήκευσης ανά μονάδα μάζας, καθώς εκμεταλλεύεται εκτός της αισθητής και τη λανθάνουσα θερμότητα. Η αρχική αυτή σκέψη οδήγησε στην τροποποίηση των τοίχων Trombe, ενσωματώνοντας τα υλικά αλλαγής φάσης και δημιουργώντας τους ηλιακούς τοίχους .

Οι ηλιακοί τοίχοι αποτελούνται από έξι κύρια τμήματα. Ξεκινώντας από την έξω πλευρά του, ο ηλιακός τοίχος φέρει γυάλινη επιφάνεια (1) ακολουθούμενη από διαφανές μονωτικό υλικό (2). Τα δυο αυτά υλικά επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος να τα διαπεράσει, αποτρέποντας ταυτόχρονα τη μετάδοση θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία. Επόμενο στη σειρά συστατικό είναι το PCM (3). Τοποθετημένο σε διαφανές πλαστικό (πολυεστέρας) δοχείο, απορροφά και αποθηκεύει την ενέργεια ως επί τω πλείστον με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας. Ακολουθεί ένα διάκενο (4) από το οποίο διέρχεται και θερμαίνεται ο αέρας για τον αερισμό και οδηγείται στο χώρο. Στο τέλος, έχοντας φτάσει στην εσωτερική πλευρά του τοίχου, βρίσκονται δυο ακόμη βασικά δομικά συστατικά του, η μόνωση (5) και ο σοβάς (6). Συχνά χρησιμοποιούμενα PCM στους τοίχους αυτούς είναι τα ένυδρα άλατα και οι υδρογονάνθρακες. Πολλές φορές γίνεται χρήση ειδικών μεταλλικών πρόσθετων για την αύξηση της συνολικής αγωγιμότητας και αποδοτικότητας.

Οι ηλιακοί τοίχοι παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα συστήματα:

- Καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο και είναι πολύ ελαφρύτεροι για δεδομένη ποσότητα αποθηκευμένης θερμότητας, σε σχέση με άλλους τοίχους αποθήκευσης ενέργειας, λόγω μεγάλης θερμοχωρητικότητας των PCM.
- Χαρακτηρίζονται από υψηλής αποδοτικότητας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε λανθάνουσα θερμότητα. Αυτό ουσιαστικά οφείλεται στη χρήση του γυαλιού και του διαφανούς μονωτικού υλικού που ακολουθεί. Το πρώτο επιτρέπει την άμεση διέλευση και απορρόφηση της ακτινοβολίας από το PCM ενώ το δεύτερο εξασφαλίζει μηδενικές απώλειες συναγωγής και ακτινοβολίας στον περιβάλλοντα χώρο.
- Συντελούν στη μείωση των θερμικών απωλειών του χώρου. Μετά από πειράματα διαπιστώθηκε ότι οι απώλειες αγωγής είναι μειωμένες στις επιφάνειες όπου βρίσκεται εγκατεστημένος κάποιος ηλιακός τοίχος.

Πολλοί μελετητές διεξήγαγαν πειράματα, για να επιβεβαιώσουν τη θετική συμβολή των υλικών αλλαγής φάσης σε ήδη υπάρχοντα παθητικά ηλιακά συστήματα, όπως ο τοίχος Trombe. Ο Castellon και άλλοι διερεύνησαν, αν η προσθήκη PCM σε ήδη υπάρχοντα τοίχο Trombe, νότιου προσανατολισμού, θα μπορούσε να μειώσει τις απαιτήσεις θερμικού και ψυκτικού φορτίου στα μεσογειακά κλίματα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Ο Bourdeau δοκίμασε δυο ηλιακούς τοίχους με χλωρίδιο του ασβεστίου έξι νερών (σημείου τήξης 29 οC) ως PCM. Τα αποτελέσματα των δοκιμών του έδειξαν ότι ο τοίχος με το PCM, πάχους 8.1 cm, είχε ελαφρώς καλύτερες θερμικές επιδόσεις σε σχέση με έναν απλό πλίνθινο τοίχο, πάχους 40 cm.

Ο Knowler με τη σειρά του διεξήγαγε τις δικές του έρευνες χρησιμοποιώντας παραφίνη εμπορίου αναμεμιγμένη με μεταλλικά πρόσθετα προς αύξηση της συνολικής αγωγιμότητας, άρα και απόδοσης, του τοίχου Trombe στον οποίο ενσωματώθηκε.

Οι Buddhi και Sharma μελέτησαν την εκπομπή ηλιακής ακτινοβολίας μέσω PCM για διαφορετικές θερμοκρασίες και ποικίλα πάχη. Ως υλικό αλλαγής φάσης χρησιμοποίησαν το στεατικό οξύ. Τα αποτελέσματα της μελέτης τους απέδειξαν ότι η εκπομπή ακτινοβολίας είναι υψηλότερη μέσω PCM παρά μέσω γυαλιού του ίδιου πάχους, πράγμα που τα καθιστά ιδανικά ως μονωτικά υλικά τοίχων ή ακόμη και παραθύρων.

Μια ακόμη εφαρμογή ηλιακού τοίχου σχεδιάστηκε από τους Stiritih και Novak . Οι δυο μελετητές κατασκεύασαν έναν πειραματικό τοίχο, που περιείχε μαύρη παραφίνη ως PCM για την αποθήκευση της θερμότητας. Η αποθηκευμένη ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για τη θέρμανση και τον αερισμό μιας κατοικίας. Τα αποτελέσματα, σύμφωνα με τους μελετητές, ήταν για μια ακόμη φορά, πολύ ενθαρρυντικά.

Τέλος, πολλά είναι τα πειράματα και οι θεωρητικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για τη διερεύνηση της αξιοπιστίας του θειικού νατρίου δέκα νερών (σημείου τήξης 32 οC) ως PCM σε τοίχο Trombe νοτίου προσανατολισμού. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων ήταν ικανοποιητικά, επιβεβαιώνοντας την άποψη ότι η χρήση ηλιακού τοίχου παρέχει αποδοτικότερη ενεργειακή αποθήκευση σε σχέση με τον απλό .

Τοίχοι PCM

Ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, που συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της θερμικής άνεσης των κτιρίων, είναι οι τοίχοι PCM. Πρόκειται για τοίχους που κατασκευάζονται από δομικά υλικά (γύψος, τσιμέντο) στα οποία έχουν προηγουμένως ενσωματωθεί υλικά αλλαγής φάσης. Τα τελευταία δίνουν τη δυνατότητα στον τοίχο να αποθηκεύσει ενέργεια με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας και να την αποδώσει στο χώρο, όταν η θερμοκρασία του μειωθεί. Οι τρόποι ενσωμάτωσης των PCM στα δομικά υλικά, συζητήθηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο υποκεφάλαιο και είναι οι εξής τρεις: 1) άμεση ενσωμάτωση, 2) απορρόφηση, 3) συσκευασία και 4) ενσωμάτωση σε πολυστρωματικές σανίδες. Μερικές εφαρμογές τέτοιων συστημάτων, που σχεδιάστηκαν από διάφορους μελετητές, περιγράφονται παρακάτω.

Ο Ρεϊρρο και άλλοι ήταν από τους πρώτους που μελέτησαν τη χρήση τοίχων PCM για σύντομης διάρκειας αποθήκευση θερμότητας σε παθητικά ηλιακά συστήματα άμεσου κέρδους. Τα υλικά αλλαγής φάσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα λιπαρά οξέα. Σκοπός των μελετητών ήταν η εξεύρεση της βέλτιστης θερμοκρασίας αλλαγής φάσης και το βέλτιστο πάχος του τοίχου. Τα αποτελέσματα έδειξαν άμεση εξοικονόμηση ενέργειας 5-20%.

Ο Feldman διεξήγαγε εκτενείς έρευνες σχετικά με τη χρήση και σταθερότητα των οργανικών υλικών αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας, συμπεριλαμβανομένου των λιπαρών οξέων, του βουτυλικού εστέρα, της δωδεκανόλης και της πολυαιθυλικής γλυκόλης 600. Εκτός από την έλεγχο των προαναφερθέντων υλικών, η έρευνά του επεκτάθηκε και σε άλλα υλικά που δρουν ως απορροφητές των PCM, παραδείγματος χάρι ο γύψος και κάποια είδη τσιμέντου. Πιο συγκεκριμένα, εξέτασε την ικανότητα ενεργειακής αποθήκευσης ενός τοίχου από γύψο και εμπορικό βουτυλικό εστέρα (BS), σύστασης 21-22%, κατασκευασμένου με άμεση ενσωμάτωση κατά το στάδιο παραγωγής της γυψοσανίδας. Τελικά παρατηρήθηκε δεκαπλάσια αύξηση της ικανότητας αποθήκευσης ενέργειας αυτού του τοίχου σε σχέση με τους συμβατικούς.

Ο Athienities και άλλοι διεξήγαγαν μια πειραματική, αριθμητική προσομοίωση ενός εξ' ολοκλήρου υπαίθριου δωματίου με τοίχους από γυψοσανίδα, εσωτερικά επενδυμένους με PCM βουτυλικό εστέρα, σύστασης 25% κατά βάρος. Ένα σαφές μοντέλο πεπερασμένων διαφορών αναπτύχθηκε για να προσομοιώσει το μεταβατικό φαινόμενο μεταφοράς θερμότητας στους τοίχους. Αποδείχθηκε ότι η χρήση του τοίχου με υλικό αλλαγής φάσης συντελεί στη μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας του δωματίου κατά 4oC την ημέρα. Ακόμη, μειώνει σημαντικά το θερμικό φορτίο και κατά τη νύχτα.

Ο Neeper εξέτασε το θερμικό δυναμικό γυψοσανίδας, εμποτισμένης με λιπαρά οξέα και παραφίνες ως υλικά αλλαγής φάσης, όταν αυτή εκτίθεται στην ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας δωματίου. Διαπίστωσε ότι ,πρακτικά, η αποθηκευτική ικανότητα της γυψοσανίδας στο διάστημα μιας μέρας περιορίζεται στα 300-400 kJ/m<sup>2</sup>, ακόμη κι αν η θεωρητική θερμοχωρητικότητά της είναι πολύ μεγαλύτερη. Ακόμη φάνηκε ότι όσο μεγαλύτερο το εύρος πραγματοποίησης της αλλαγής φάσης τόσο μικρότερη της βέλτιστης είναι η αποθήκευση ενέργειας που επιτυγχάνεται. Παρόλα αυτά, μεγάλο εύρος αλλαγής φάσης σημαίνει καλύτερη συμβατότητα του ίδιου PCM σε περισσότερες εφαρμογές τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό κέλυφος του οικοδομήματος.

Οι Heim και Clarke ανέπτυξαν αριθμητικά μοντέλα προσομοίωσης ενός παθητικού ηλιακού κτιρίου, πολλαπλών ζωνών, με τζάμια και φυσικό εξαερισμό. Σε αυτό το σύστημα χρησιμοποιήθηκε γυψοσανίδα με ενσωματωμένο PCM ως εσωτερικό χώρισμα μεταξύ των δωματίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αποθηκευμένη στα γύψινα πλαίσια ηλιακή ενέργεια μπορεί να μειώσει την ενεργειακή απαίτηση μέχρι και 90% κατά τη διάρκεια της περιόδου θερμικής ζήτησης.

Οι Stoval και Tomlinson μελέτησαν τις διακυμάνσεις των θερμικών και ψυκτικών φορτίων του ηλεκτρισμού κοινής ωφέλειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Διαπίστωσαν ότι η χρήση υλικών αλλαγής φάσης στην τοιχοποιία εξοικονομεί ενέργεια και χρήματα, ενώ η τελική απόσβεση της εγκατάστασης των PCM επιτυγχάνεται σε διάστημα 3-5 χρόνων.

Οι Kalousek και Hirs προσομοίωσαν τη χρήση τοίχων PCM στο υπερώο μιας κατοικίας. Συγκεκριμένα, σύγκριναν τη θερμική άνεση δυο διαφορετικών δωματίων του υπερώου το καλοκαίρι, εκ των οποίων το ένα διέθετε συμβατική τοιχοποιία και το άλλο τοίχους από PCM. Το υλικό αλλαγής φάσης, που έλαβε μέρος στην προσομοίωση, ήταν το TH29 με σημείο τήξης τους 29 οC. Η προσομοίωση έδειξε ότι το δωμάτιο με τους τοίχους PCM κατάφερε να διατηρήσει τη θερμική άνεση στο εσωτερικό του παρά τις καλοκαιρινές εξωτερικές συνθήκες, ενώ οι θερμοκρασίες επιφάνειας του τοίχου και του αέρα δωματίου μειώθηκαν κατά 3.5 και 2.5 οC αντίστοιχα.

Πολλές ακόμη μελέτες τέτοιων συστημάτων έχουν πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων από πλήθος ερευνητών. Οι περισσότερες από αυτές χρησιμοποίησαν τα υλικά αλλαγής φάσης είτε σε μακρο-κάψουλες είτε μέσω άμεσης ενσωμάτωσης στην τοιχοποιία, εμφανίζοντας αρκετές αδυναμίες. Λόγω αυτών των προβλημάτων κανένα από τα παραπάνω προϊόντα δεν καθιερώθηκε επιτυχώς στην ευρύτερη αγορά. Ωστόσο, μια αποτελεσματικότερη επιλογή χωρίς ιδιαίτερα μειονεκτήματα, που άρχισε να μελετάται την τελευταία 5ετία, είναι η χρήση του PCM, μικρο-συσκευασμένου. Το εγχείρημα αυτό πραγματοποιείται από τη γερμανική εταιρία Fraunhofer ISE με τη βοήθεια κυβερνητικής χρηματοδότησης και επεκτείνει τις προσομοιωτικές κτιριακές μελέτες σε πραγματικές μετρήσεις κανονικών

δωματίων εφοδιασμένων με PCM. Τα αποτελέσματα, σύμφωνα με τον ερευνητή Schossig, είναι θετικά δίνοντας κίνητρο για την κατασκευή κατάλληλων προϊόντων.

### Ενεργειακά αποδοτικά παράθυρα

Η μετατροπή ενός απλού παραθύρου σε ενεργειακά αποδοτικό μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Ένας από αυτούς είναι η χρήση παραθυρόφυλλων, που περιέχουν υλικό αλλαγής φάσης. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι γρίλιες παραμένουν ανοιχτές έτσι ώστε η εξωτερική τους πλευρά να είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία. Το PCM απορροφά την ακτινοβολία, την αποθηκεύει ως λανθάνουσα θερμότητα και λιώνει. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι γρίλιες κλείνουν και μέσω του παραθύρου, η αποθηκευμένη θερμότητα μεταδίδεται στους εσωτερικούς χώρους. Αυτό το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας παρουσιάστηκε από το μελετητή H. Mehling, ο οποίος το εφάρμοσε και κατέληξε στο ότι η χρήση πατζουριών με PCM στα παράθυρα μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του δωματίου μέχρι και 2οC. Ένα άλλο είδος ενεργειακού παραθύρου παρουσιάστηκε από το Weinlader και άλλους, οι οποίοι πρότειναν τη χρήση δυο υαλοπινάκων με τοποθετημένο ένα PCM στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ τους. Σε σύγκριση με ένα διπλό υαλοπίνακα χωρίς υλικό αλλαγής φάσης, το ενεργειακό αυτό παράθυρο πέτυχε 30% μείωση θερμικών απωλειών κατά την τοποθέτησή του σε προσόψεις κτιρίων νότιου προσανατολισμού. Επίσης, παρατηρήθηκε 50% μείωση των θερμικών κερδών ηλιακής ενέργειας του κτιρίου, πράγμα πολύ σημαντικό για την επίτευξη θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του.

Ένας ακόμη τρόπος δημιουργίας ενεργειακών παραθύρων προτάθηκε από τον ερευνητή Ismail και άλλους και αφορά στη χρήση παραθύρων που περιέχουν PCM. Το παράθυρο αποτελείται από δυο γυάλινες επιφάνειες, ανάμεσα στις οποίες υπάρχει κενό, καθώς επίσης και από έναν αεραγωγό στην επάνω γωνία. Η βάση και οι πλευρές του παραθύρου είναι σφραγισμένες. Εξαιρούνται δυο τρύπες στη βάση, που είναι συνδεδεμένες μέσω πλαστικού αγωγού με μια αντλία και μια δεξαμενή γεμάτη από PCM, αντίστοιχα. Η αντλία με τη σειρά της συνδέεται και αυτή με τη δεξαμενή που περιέχει το PCM σε υγρή μορφή. Η λειτουργία της αντλίας ελέγχεται από έναν αισθητήρα θερμοκρασίας. Όταν η διαφορά θερμοκρασίας φτάσει σε μια προκαθορισμένη τιμή, η αντλία τίθεται σε λειτουργία και το υγρό PCM, με τη βοήθειά της, πληρώνει τον κενό χώρο μεταξύ των δυο επιφανειών του παραθύρου. Λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας που επικρατεί στην εξωτερική επιφάνεια, το PCM αρχίζει να κρυσταλλώνεται, σχηματίζοντας ένα στερεό στρώμα, που με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται σε πάχος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος να διατηρείται σταθερή, χωρίς να μειώνεται. Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται έως ότου το υλικό αλλαγής φάσης μετατραπεί εξ' ολοκλήρου σε στερεό. Ο καλός σχεδιασμός του συγκεκριμένου συστήματος μπορεί να εξασφαλίσει ότι η εξωτερική θερμοκρασία θα αρχίσει και πάλι να αυξάνεται πριν την πλήρη στερεοποίηση του χρησιμοποιούμενου PCM.

Διαφορετικά, υπάρχει κίνδυνος η εσωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος να μειωθεί, κάτι που φυσικά είναι ανεπιθύμητο. Σύμφωνα με τους μελετητές, το σύστημα αυτό είναι βιώσιμο και θερμικά πολύ αποδοτικό. Η πλήρωση του παραθύρου με PCM βοηθάει στο φιλτράρισμα της θερμικής ακτινοβολίας και μειώνει

τις θερμικές απώλειες, αφού το μεγαλύτερο μέρος της μεταφερόμενης ενέργειας απορροφάται κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης. Το διπλό γυάλινο παράθυρο γεμισμένο με PCM είναι πολύ πιο αποδοτικό θερμικά σε σχέση με το ίδιο παράθυρο γεμισμένο με αέρα. Επίσης, η χρήση χρωματιστού PCM, ιδίως πράσινου χρώματος, είναι πιο αποδοτική ως προς τη μείωση των ενεργειακών απωλειών.

## Ενδοδαπέδια συστήματα θέρμανσης με PC

Εκτός από τους τοίχους και τα παράθυρα, ένα ακόμη κτιριακό στοιχείο που μπορεί να αξιοποιηθεί για την αποθήκευση ενέργειας είναι το δάπεδο. Οι Athienities και Chen μελέτησαν το μεταβατικό φαινόμενο μεταφοράς θερμότητας στα ενδοδαπέδια συστήματα θέρμανσης. Επικεντρώθηκαν στη συμβολή που έχουν τόσο η προσπίπτουσα ακτινοβολία όσο και η επένδυση του πατώματος στη θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος αυτού και στην κατανάλωση ενέργειας. Ακόμη, μελέτησαν την επίδραση της χρήσης χαλιών, πλήρους ή μερικής κάλυψης, και της ξύλινης επένδυσης πατώματος πάνω από τσιμέντο ή μίγμα γύψου-τσιμέντου. Υλικά, όπως το τσιμέντο ή μίγματα αυτού, αποτελούν τη θερμική μάζα του δαπέδου και είναι τα μέσα αποθήκευσης της ενέργειας. Τα αποτελέσματα πειραμάτων και προσομοιώσεων αποκάλυψαν ότι η θερμοκρασία, που προκαλείται από την εκπεμπόμενη ηλιακή ακτινοβολία στην προσπίπτουσα φωτισμένη περιοχή του δαπέδου, είναι αυξημένη κατά 80C σε σχέση με τη θερμοκρασία της σκιασμένης περιοχής. Η χρήση χαλιού αυξάνει αυτή τη θερμοκρασιακή διαφορά στους 150C. Η ηλιακή ακτινοβολία, που αποθηκεύεται στη θερμική μάζα του δαπέδου, συμβάλλει στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση κατά 30% και περισσότερο. Παρόλα αυτά, η εύρεση και εφαρμογή εξελικτικών αλγορίθμων συνεχίζει να είναι απαραίτητη για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής εξοικονόμησης ενέργειας σε συνδυασμό με τη διατήρηση της θερμικής άνεσης.

Γενικότερα, η θέρμανση μέσω ακτινοβολίας εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη θέρμανση μέσω συναγωγής. Ένα από αυτά είναι η εξοικονόμηση ζωτικού χώρου, καθώς η ακτινοβολία απορροφάται άμεσα από το κτιριακό κέλυφος, και στην περίπτωση των ενδοδαπέδιων συστημάτων θέρμανσης, από το πάτωμα. Η θερμική μάζα του πατώματος με τη σειρά της αποθηκεύει την ενέργεια της ακτινοβολίας, κάνοντας δυνατή την καλύτερη κατανομή των ενεργειακών φορτίων κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όσο πυκνότερη, όμως, είναι η θερμική μάζα του δαπέδου (π.χ. τσιμέντο) τόσο μεγαλύτερες είναι και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του εσωτερικού περιβάλλοντος του χώρου. Η χρήση υλικών αλλαγής φάσης αντί άλλων υλικών εγγυάται μεγάλη αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας μέσα στο στενό εύρος των θερμοκρασιών που συναντώνται τυπικά στα κτίρια, βελτιώνοντας έτσι το επίπεδο θερμικής άνεσης. Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα ενδοδαπέδιου συστήματος θέρμανσης, με πλάκες PCM σταθερού σχήματος, που περιλαμβάνει τις εξής στοιβάδες: μόνωση πολυστυρενίου, ηλεκτρικούς θερμαντήρες, PCM, διάκενο αέρα και ξύλινο πάτωμα. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν η τιμή του ρεύματος είναι φθηνότερη, οι ηλεκτρικοί θερμαντήρες θερμαίνουν και λιώνουν το υλικό αλλαγής φάσης. Με αυτόν τον τρόπο το σύστημα αποθηκεύει ενέργεια. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι θερμαντήρες κλείνουν και το PCM στερεοποιείται απελευθερώνοντας την αποθηκευμένη θερμότητα. Η συμβολή



των συγκεκριμένων συστημάτων στην εξοικονόμηση ενέργειας και χρήματος είναι, όπως φαίνεται, αξιοσημείωτη.

Πολλοί διακεκριμένοι ερευνητές πρότειναν και μελέτησαν συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης με ενσωματωμένα υλικά αλλαγής φάσης. Οι Farid και Kong μελέτησαν τη συμπεριφορά δυο τσιμεντένιων πλακών, που περιείχαν το PCM  $\text{CaCl}_2 @ 6\text{H}_2\text{O}$ . Παρατηρήθηκε ότι, σε αντίθεση με την απλή, η διπλή τσιμεντένια πλάκα με το PCM εμφάνιζε μικρότερες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Επίσης, διατηρούσε αποδεκτή επιφανειακή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, παρόλο που η διαδικασία θέρμανσης διήρκεσε μόνο 8 ώρες. Άλλος μελετητής, ο Amir, ασχολήθηκε με τη θερμική συμπεριφορά δυο ενδοδαπέδιων συστημάτων θέρμανσης, αποτελούμενων από νερό και παραφίνη αντίστοιχα, τοποθετημένων εντός τσιμεντένιας κατασκευής. Αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα με το PCM, αν και μικρότερο σε διαστάσεις (134mm πάχος έναντι 152mm), αποθήκευσε περισσότερη λανθάνουσα θερμότητα (2880 έναντι 2415 kJ/m<sup>2</sup>) και παρείχε μεγαλύτερη θερμική άνεση.

Αξιοσημείωτη είναι κι η μελέτη του ερευνητή Nagano. Παρουσίασε ένα ενδοδαπέδιο σύστημα κλιματισμού με λανθάνουσα θερμότητα στα κτίρια. Το εμβαδό του πειραματικού δαπέδου ήταν 0.5m<sup>2</sup>. Χρησιμοποιήθηκε ως υλικό αλλαγής φάσης, μίγμα παραφίνης σε μορφή κόκκων. Το συσκευασμένο PCM πάχους 3cm τοποθετήθηκε κάτω από πάτωμα με πολλαπλές μικρές οπές. Στο τέλος μετρήθηκαν οι θερμοκρασιακές αλλαγές του δωματίου και η ποσότητα της αποθηκευμένης ενέργειας. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά, καθώς απέδειξαν ότι μια τέτοιου είδους διάταξη μπορεί να επιτύχει διαχείριση των ενεργειακών φορτίων ενός χώρου, αν εφαρμοστεί.

Μια ακόμη καινοτόμα μελέτη ήταν αυτή των Lin και άλλων, οι οποίοι παρουσίασαν ένα νέο είδος ενδοδαπέδιας θέρμανσης με χρήση πλακών PCM σταθερού σχήματος (SSPCM). Οι ερευνητές διεξήγαγαν τα πειράματά τους σε μια υπαίθρια κατοικία στο Πεκίνο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η θερμοκρασία των πλακών διατηρήθηκε σταθερή στην τιμή της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά από την παύση των θερμαντήρων. Περισσότερη από τη μισή ποσότητα της ολικής ηλεκτρικής ενέργειας μετατοπίστηκε από τις ώρες αιχμής στις ώρες χαμηλής ζήτησης, επιφέροντας αξιοσημείωτα οικονομικά οφέλη. Στην επόμενη μελέτη τους ανέπτυξαν ένα μοντέλο προς ανάλυση των θερμικών επιδόσεων του ίδιου συστήματος θέρμανσης και των επιρροών διαφόρων παραγόντων, υποδεικνύοντας τη δυνατότητα χρήσης του σε ποικίλα κλίματα, με την προϋπόθεση ενός σωστού σχεδιασμού κάθε φορά. Ο Xu, εν συνεχεία, επέκτεινε ακόμη περισσότερο τη συγκεκριμένη μελέτη, βελτιστοποιώντας παραμέτρους του συστήματος, όπως η θερμοκρασία τήξης, η θερμική αγωγιμότητα του PCM, η θερμότητα τήξης, το πάχος των πλακών PCM, το είδος του μονωτικού υλικού και τέλος, το στρώμα του αέρα μεταξύ πλακών και δαπέδου.

## Οροφές PCM

Η έννοια της «οροφής» χαρακτηρίζει την εσωτερική επένδυση μιας σκεπής, είναι με απλούστερα λόγια το ταβάνι ενός δωματίου. Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό τμήμα της σκεπής, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για δροσισμό στα κτίρια με τη βοήθεια των PCM. Μερικές από τις μελέτες διαφόρων επιστημόνων που αξίζει να αναφερθούν, παρατίθενται στη συνέχεια.

Ο Bruno ανέπτυξε ένα σύστημα δροσισμού με τη βοήθεια των υλικών αλλαγής φάσης. Η αποθήκευση της ενέργειας γινόταν κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης και η χρήση της κατά τις ώρες αιχμής. Το PCM, που χρησιμοποιήθηκε, είχε σημείο τήξης με εύρος 20-30°C, εύρος που περιλαμβάνει την κατάλληλη θερμοκρασία θερμικής άνεσης του συγκεκριμένου δωματίου.

Ακόμη, ο Benard μελέτησε στο Περού μια ηλιακή στέγη λανθάνουσας θερμότητας ως προς την ικανότητά της να διατηρεί ισοθεμικές τις συνθήκες ενός πειραματικού εκκολαπτηρίου πτηνών. Το τελευταίο ήταν χωρισμένο σε δυο συνδεδεμένα μεταξύ τους τμήματα, μια αυλή και μια θερμαινόμενη περίφραξη. Δυο ημικυκλικές δεξαμενές, οι επιφάνειες των οποίων ήταν καλυμμένες με γυαλί, γεμάτες με 42kg παραφίνης βρισκόνταν τοποθετημένες κάτω από αεροστεγή, γυάλινη σκεπή. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, για να διατηρηθεί η θερμοκρασία της περίφραξης μεταξύ 22 και 30°C, τοποθετούνταν μεταξύ γυάλινης οροφής και δεξαμενών παραφίνης, κατάλληλοι, μεγάλου πάχους μονωτές πολυουρεθάνης.

Ένα σύστημα θέρμανσης χώρου, που περιλαμβάνει την τοποθέτηση PCM στο διάκενο της οροφής, αναπτύχθηκε και από τους Gutherz και Schiler . Σε αυτό το σύστημα, ηλιακά κάτοπτρα χρησιμοποιήθηκαν για την καθοδήγηση της ηλιακής ακτινοβολίας από το παράθυρο προς τα PCM. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του συστήματος είναι η δυνατότητά του να εκμεταλλεύεται μια μεγάλη περιοχή για την αποθήκευση της θερμότητας, χωρίς την ανάγκη τεράστιων όγκων μέσου αποθήκευσης, πράγμα απαραίτητο σε ένα σύστημα αποθήκευσης αισθητής θερμότητας. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης έδειξαν ότι με τη χρήση του συστήματος μπορούν να ανακτηθούν από 17% έως και 36% της χαμένης θερμότητας από τα αρχικά κέρδη.

Ο Turnpenny και άλλοι μελέτησαν με τη σειρά τους μια διάταξη αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας, αποτελούμενης από σωλήνες ενσωματωμένους σε υλικό αλλαγής φάσης. Σκοπός της λειτουργίας της ήταν η αποθήκευση της δροσιάς κατά τη διάρκεια της νύχτας και η απελευθέρωσή της κατά τη διάρκεια της ημέρας. Με τη βοήθεια ενός μονοδιάστατου μοντέλου προσομοίωσης της μεταφοράς θερμότητας από τον αέρα στο PCM, οι μελετητές κατάφεραν να πραγματοποιήσουν τη διαστασιολόγηση της πειραματικής διάταξης. Μια τελευταία μελέτη, που αξίζει να αναφερθεί, είναι αυτή των ερευνητών Kodo και Ibamoto ως προς την επίδραση της χρήσης PCM σε συστήματα κλιματισμού, εγκατεστημένα στις οροφές κτιρίων με

γραφεία. Στα συγκεκριμένα κτίρια, η μονωτική επένδυση της σανίδας οροφής εμπλουτίστηκε με μικρο-συσκευασμένο PCM, σημείου τήξης γύρω στους 25 οC, όπου είναι και η θερμοκρασία θερμικής άνεσης του χώρου.

Κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο ψυχρός αέρας από τη μονάδα διαχείρισης αέρα (AHU) εισέρχεται στο χώρο της οροφής ψύχοντας τη σανίδα με το PCM, με αποτέλεσμα το τελευταίο να αποθηκεύει ψυκτική ενέργεια στο εσωτερικό του. Η ενέργεια αυτή αποδίδεται στο δωμάτιο, κατά τη διάρκεια των ωρών που το θερμικό φορτίο γίνεται μέγιστο, κρατώντας το δροσερό. Από την πειραματική μελέτη αποδείχθηκε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας δωματίου στις ώρες αιχμής είναι της τάξης των 2οC σε αντίθεση με τους 6οC, που παρατηρούνται όταν δεν χρησιμοποιηθεί σανίδα οροφής με PCM. Σε γενικές γραμμές, το συγκεκριμένο σύστημα παρουσιάζει τα επόμενα πλεονεκτήματα:

Αποτελεσματικότερη αποθήκευση θερμότητας, λόγω της υψηλής πυκνότητας του ψυχρού αέρα που έρχεται σε επαφή με τη σανίδα οροφής PCM.

- Μεγαλύτερη επιφάνεια αποθήκευσης θερμότητας, λόγω της απρόσκοπτης ροής του ψυχρού αέρα στο εσωτερικό του χώρου οροφής, χωρίς την επίδραση οποιασδήποτε ακτινοβολίας.
- Αύξηση του επιπέδου θερμικής άνεσης του δωματίου, καθώς η θερμοκρασία της σανίδας οροφής διατηρείται στο σημείο τήξης του PCM για μια αρκετά εκτεταμένη χρονική περίοδο.

### Ηλιακά συστήματα θέρμανσης αέρα με PCM

Μια από τις πρώτες προσπάθειες χρήσης PCM σε ενεργητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης κτιρίων, πραγματοποιήθηκε το 1949 στην Αμερική από τους Telkes και Raymond . Επρόκειτο για τη μελέτη μιας μονώροφης ιδιωτικής κατοικίας 5 δωματίων, συνολικής έκτασης 135m<sup>2</sup>, μήκους 23m και πλάτους ενός δωματίου. Η συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας γινόταν με τη βοήθεια 18 ηλιακών συλλεκτών, κατασκευασμένων από γαλβανισμένες απορροφητικές πλάκες λεπτού πάχους, βαμμένες μαύρες και καλυμμένες με διπλά γυάλινα πλαίσια διαστάσεων 1.2 x 3.0m. Η ηλιακή ενέργεια, αφού αρχικά δεσμευόταν από τους συλλέκτες, μεταφερόταν, με τη βοήθεια ανεμιστήρα, κατά μήκος ενός αγωγού, καταλήγοντας σε τρία δοχεία αποθήκευσης, τοποθετημένα στις πλευρές των δωματίων. Τα δοχεία αποθήκευσης, με τη σειρά τους, περιείχαν κάδους χωρητικότητας 5 γαλονιών, γεμάτους με άλας του Glauber (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10H<sub>2</sub>O), δηλαδή με υλικό αλλαγής φάσης. Για το συγκεκριμένο σύστημα, η συνολική χρήση 21 τόνων από το PCM δημιουργεί δυναμικό θερμικής αποθήκευσης 11 GJ, ποσό που αντιστοιχεί στο θερμικό φορτίο 12 ημερών, για διακύμανση θερμοκρασίας από αυτήν του δωματίου έως αυτήν της τήξης (32 οC). Η κατοικία κατασκευάστηκε το 1948 με κόστος 20000\$, ενώ το κόστος εγκατάστασης του ηλιακού συστήματος ήταν 3000\$. Η λειτουργία του διατηρήθηκε για 2 χρόνια,

παρέχοντας θερμική άνεση 21 οC, χωρίς την ανάγκη χρήσης δευτερεύοντος βοηθητικού συστήματος θέρμανσης. Παρόλα αυτά, το πείραμα τελείωσε ανεπιτυχώς, λόγω της διάσπασης του ένυδρου άλατος, μιας και οι μέθοδοι αποφυγής της δεν είχαν προλάβει να αναπτυχθούν εκείνη την εποχή.

Μια ακόμη εφαρμογή PCM σε ηλιακά συστήματα θέρμανσης αέρα με PCM πραγματοποιήθηκε από τους Καναδούς επιστήμονες Hodgins και Hoffman . Η μελέτη τους έγινε σε διώροφη κατοικία 111m<sup>2</sup>, ενώ το σύστημα θερμικής αποθήκευσης περιλάμβανε 12 τόνους άλατος Glauber, ενισχυμένου με πυριτικό νάτριο και περιέχοντος χρωμικό άλας ως ανασταλτικό μέσο διάβρωσης. Όπως και στο προγενέστερο σύστημα, το υλικό αλλαγής φάσης αποτελούσε το περιεχόμενο χαλύβδινων δοχείων, τοποθετημένων κάθετα. Παρ' όλες τις προσθήκες, το πείραμα και πάλι απέτυχε, αφού η διάσπαση του άλατος δεν αποφεύχθηκε.

Η αποτυχία των δυο παραπάνω προσπαθειών δημιούργησε την ανάγκη αριθμητικής μοντελοποίησης των ηλιακών συστημάτων θέρμανσης αέρα με χρήση PCM. Το εγχείρημα έγινε από τους Jurinak και Abdel-Khalik . Η επίδραση παραγόντων, όπως οι διαστάσεις και τα θερμικά χαρακτηριστικά της μονάδας αποθήκευσης, η επιφάνεια και η τοποθεσία των συλλεκτών, και πως αυτοί οι παράγοντες επιδρούν στη λειτουργικότητα του συστήματος, ερευνήθηκαν μέσω κατάλληλων πειραμάτων. Στα πειράματα αυτά τα υλικά αλλαγής φάσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το άλας Glauber και η παραφίνη. Το κύριο συμπέρασμα, στο οποίο κατέληξαν οι ερευνητές, ήταν ότι το συγκεκριμένο σύστημα απαιτεί περίπου το ¼ του όγκου αποθήκευσης μιας κλίνης χαλκικών και το ½ μιας απλής δεξαμενής νερού, άρα ως προς το θέμα του όγκου η χρήση του είναι αρκετά συμφέρουσα.

Ο Epib σχεδίασε και μελέτησε επιτυχώς τη συμπεριφορά ενός ηλιακού θερμαντήρα αέρα φυσικής κυκλοφορίας, με αποθήκευση της ενέργειας μέσω υλικού αλλαγής φάσης. Κατά τη διάρκεια της ημέρας εξετάστηκε η απόκριση του συστήματος κάτω από φυσιολογικές, χωρίς φόρτιση, περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας περιορίστηκαν μεταξύ 19-41 οC ενώ η ημερήσια ολική ακτινοβολία κυμάνθηκε στα 4.9-19.9 MJ/m<sup>2</sup>. Η μέγιστη θερμοκρασιακή αύξηση του θερμαινόμενου αέρα παρατηρήθηκε ίση με 15 K, ενώ η ολική απόδοση του συστήματος έφτασε το 50%. Σε γενικές γραμμές, το σύστημα κρίθηκε κατάλληλο για χρήση ως ηλιακός θάλαμος ζήρασης γεωργικής σοδειάς, καθώς σε αυτή την περίπτωση δεν απαιτείται άμεση έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.

### Ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού με PCM

Η χρήση ηλιακών θερμαντήρων νερού για τη θέρμανση κτιριακών εγκαταστάσεων είναι πολύ διαδεδομένη, καθώς οι τελευταίοι αποτελούν μια σχετικά φθηνή και απλή λύση ως προς την κατασκευή και τη μετέπειτα συντήρησή τους. Για το λόγο αυτό, πολλοί ερευνητές βρήκαν ενδιαφέρουσα την ενσωμάτωση υλικών αλλαγής φάσης σε

τέτοιου είδους συστήματα, έτσι ώστε η απορροφόμενη από τον ήλιο θερμότητα να αποθηκεύεται και να χρησιμοποιείται όποτε κρίνεται απαραίτητο.

Πρώτος που ασχολήθηκε με τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού με PCM ήταν ο Prakash . Αυτός και η ομάδα του ανέλυσαν τη λειτουργία ενός ηλιακού θερμαντήρα νερού, στον οποίο η αποθήκευση ενέργειας πραγματοποιούταν από ένα στρώμα PCM, τοποθετημένο στον πυθμένα του θερμαντήρα. Η λειτουργία του έχει ως εξής: Κατά τη διάρκεια ωρών με ηλιοφάνεια, το νερό ζεσταίνεται μεταφέροντας θερμότητα στο υλικό αλλαγής φάσης κάτω από αυτό. Τις υπόλοιπες ώρες το ζεστό νερό απομακρύνεται και αντικαθίσταται με κρύο, το οποίο απορροφά την αποθηκευμένη στο PCM θερμότητα, προκαλώντας την αλλαγή της φάσης του, από υγρή σε στερεή. Το συγκεκριμένο είδος συστήματος δεν ήταν τόσο αποδοτικό, λόγω ανεπαρκούς μετάδοσης της θερμότητας μεταξύ νερού και PCM.

Οι Bansal και Buddhi μελέτησαν θεωρητικά τη φόρτιση και αποφόρτιση μιας κυλινδρικής μονάδας αποθήκευσης θερμότητας σε κλειστό βρόχο με έναν επίπεδο συλλέκτη. Τα υλικά αλλαγής φάσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η παραφίνη και το στεατικό οξύ.

Μια συγκριτική μελέτη ανάμεσα σε ηλιακά συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας πραγματοποιήθηκε από το Chaurasia και άλλους με στόχο να διερευνηθεί, αν και για πόσο χρονικό διάστημα το ζεσταμένο από τον ήλιο νερό διατηρείται θερμό κατά τη διάρκεια της νύχτας. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δυο πανομοιότυπες μονάδες αποθήκευσης. Η μια περιείχε ως υλικό αλλαγής φάσης 17.5 kg παραφίνης (σημείο τήξης 54oC), τοποθετημένα στο εσωτερικό της σε σωλήνες αλουμινίου, ενώ η άλλη περιείχε απλώς νερό σε μια δεξαμενή. Κατά τη διάρκεια της μέρας οι δυο μονάδες φορτίστηκαν χωριστά με τη βοήθεια επίπεδων ηλιακών συλλεκτών, ίδιας επιφάνειας απορρόφησης. Τα αποτελέσματα της μελέτης απέδειξαν ότι η αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας αποφέρει περισσότερο ζεστό νερό σε σύγκριση με την αισθητή.

Αρκετοί ερευνητές ασχολήθηκαν με τη σύγκριση δοχείων αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας διαφορετικών μεγεθών. Τα δοχεία αυτά αποτελούνται από έναν αριθμό κλειστών κυλινδρικών σωλήνων γεμάτων με το υλικό αλλαγής φάσης. Οι σωλήνες με τη σειρά τους περιβάλλονται από το ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Μια σχηματική απεικόνιση αυτών των δοχείων φαίνεται ακολούθως:

Επόμενο παράδειγμα μελέτης ενός ηλιακού συστήματος θέρμανσης με νερό είναι αυτή που διεξήχθη από τον Kaygusuz στην πόλη Trabzon της Τουρκίας το 1991. Το σύστημα αυτό σχεδιάστηκε για τη θέρμανση εργοστασιακών εγκαταστάσεων και αποτελείται από έναν ηλιακό συλλέκτη, μια δεξαμενή αποθήκευσης ενέργειας, έναν εναλλάκτη θερμότητας νερού-αέρα, έναν εφεδρικό ηλεκτρικό θερμαντήρα, μια αντλία διακίνησης του νερού στο κύκλωμα σωληνώσεων και τέλος εξοπλισμούς μέτρησης και αυτομάτου ελέγχου. Η ηλιακή ενέργεια, που δεσμεύεται από τους συλλέκτες, μεταφέρεται στη δεξαμενή αποθήκευσης με τη βοήθεια νερού, που διαρρέει τις σωληνώσεις του κυκλώματος. Στο εσωτερικό της δεξαμενής περιέχονται

μικρότεροι σωλήνες από χλωριούχο πολυβινύλιο, οι οποίοι με τη σειρά τους φιλοξενούν 1500kg χλωριούχου ασβεστίου 6 μορίων νερού. Έτσι, η αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με τη βοήθεια του PCM της δεξαμενής και η θερμότητα αποδίδεται ή απομακρύνεται από το χώρο του κτιρίου, ανάλογα με τις ανάγκες του τελευταίου κάθε φορά. Στην περίπτωση που απαιτείται θερμικό φορτίο, το σύστημα μπορεί να το αποδώσει με τη βοήθεια τόσο της δεξαμενής όσο και του εφεδρικού θερμαντήρα. Κατά την καλοκαιρινή περίοδο, συγκρίθηκαν οι αποδόσεις του απλού ηλιακού συλλέκτη και του συγκεκριμένου ηλιακού συστήματος με PCM. Η διαφορά ήταν σημαντική, καθώς στην πρώτη περίπτωση ο βαθμός απόδοσης ήταν 0.6 ενώ στη δεύτερη 0.7, οφείλεται δε στην αδυναμία του απλού συλλέκτη να αποθηκεύσει τη θερμότητα κατά τη διάρκεια ημερών με συννεφιά. Εκτός της πειραματικής διαδικασίας, η μελέτη του συγκεκριμένου συστήματος περιλάμβανε και θεωρητική διερεύνηση, με την κατασκευή αριθμητικών προσομοιωτικών μοντέλων. Τελικά, αποδείχθηκε ότι το συγκεκριμένο ηλιακό σύστημα θέρμανσης μπορεί να εφαρμοστεί αποδοτικά για την αποθήκευση θερμότητας οικιακής χρήσης, ειδικά όταν ως υλικό αλλαγής φάσης χρησιμοποιηθεί είτε το άλας Glauber είτε το χλωριούχο ασβέστιο 6 μορίων νερού.

Οι Esen και Ayhan ανέπτυξαν την αριθμητική προσομοίωση συστήματος βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης θερμότητας, του οποίου η δεξαμενή αποθήκευσης περιέχει υλικό αλλαγής φάσης. Τα αποτελέσματα της μελέτης τους έδειξαν ότι οι ιδιότητες του PCM, η ακτίνα των κυλίνδρων που το περιέχουν, η παροχή μάζας και η θερμοκρασία εισόδου του υγρού μεταφοράς θερμότητας, είναι παράγοντες που πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά, έτσι ώστε η λειτουργία της δεξαμενής να είναι η βέλτιστη δυνατή. Δυο χρόνια αργότερα, οι ίδιοι ερευνητές εξέτασαν συγκριτικά δυο διαφορετικά είδη δεξαμενών αποθήκευσης με σκοπό την παρουσίαση της μεταβατικής συμπεριφοράς της καθεμιάς κατά την αλλαγή φάσης. Στην πρώτη περίπτωση, η δεξαμενή περιείχε το PCM, τοποθετημένο στο εσωτερικό κυλίνδρων, ενώ το ρευστό μεταφοράς θερμότητας έρρεε παράλληλα σε αυτούς. Αντίθετα στη δεύτερη περίπτωση, το ρευστό μεταφοράς θερμότητας ήταν αυτό που έρρεε στο εσωτερικό των σωλήνων της δεξαμενής, οι οποίοι με τη σειρά τους περιβάλλονταν από το PCM. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης των δυο ειδών δεξαμενών απέδειξαν ότι η εκλογή του κατάλληλου για την εφαρμογή PCM και η διάταξη της δεξαμενής αποθήκευσης είναι παράμετροι που πρέπει να εξετάζονται ταυτόχρονα. Ακόμη, φάνηκε ότι οι θερμοφυσικές ιδιότητες του επιλεγμένου PCM παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του χρόνου τήξης του. Τέλος, διαπιστώθηκε ότι το δεύτερο είδος δεξαμενής ήταν πολύ πιο αποδοτικό ως προς την αποθήκευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με το πρώτο. Μια ακόμη έρευνα του Esen αφορούσε στην πειραματική και θεωρητική μελέτη της μεταφοράς θερμότητας σε κυλινδρική δεξαμενή αποθήκευσης με PCM, συνδυασμένης με ηλιακό σύστημα θέρμανσης. Το ίδιο σύστημα χρησιμοποιήθηκε και από τον Kaygusuz σε πειράματα, κατά τα οποία μια δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας όγκου 4.25m<sup>3</sup>, πληρώθηκε με 1090kg συσκευασμένου χλωριούχου ασβεστίου 6 μορίων νερού. Οι ηλιακοί συλλέκτες, που χρησιμοποιήθηκαν, βασίζουν τη λειτουργία τους στην κυκλοφορία νερού στις σωληνώσεις του συστήματος. Τοποθετήθηκαν προσανατολισμένοι προς τον ισημερινό και υπό γωνία 48ο ως προς την επιφάνεια του ορίζοντα. Το βασικό συμπέρασμα από την παραπάνω πειραματική διαδικασία ήταν μάλλον αρνητικό, καθώς διαπιστώθηκε ότι η αποθηκευμένη από το σύστημα θερμότητα ήταν ανεπαρκής για θερμική χρήση.

Μια ακόμη μελέτη ηλιακού θερμικού συστήματος αντλιών με τη χρήση PCM για οικιακή θέρμανση έγινε από τον Kaygusuz .

Το συγκεκριμένο σύστημα θέρμανσης, όπως φαίνεται από τις προηγούμενες εικόνες, αποτελεί το συνδυασμό ενός ηλιακού συστήματος αποθήκευσης θερμότητας με PCM και ενός συστήματος θερμικών αντλιών. Αποτελείται από επίπεδους, υδρόψυκτους, ηλιακούς συλλέκτες, μια δεξαμενή αποθήκευσης ενέργειας με PCM, μια θερμική αντλία (εξατμιστής), έναν αερόψυκτο συμπυκνωτή, μια αντλία κυκλοφορίας του νερού, έναν εναλλάκτη θερμότητας υγρού-αέρα για άμεση ηλιακή θέρμανση, έναν εφεδρικό θερμαντήρα και μερικά ακόμη μέρη συμβατικού εξοπλισμού. Η μελέτη του ερευνητή επικεντρώθηκε σε δυο είδη λειτουργίας του συστήματος, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των αντλιών και της δεξαμενή αποθήκευσης μεταξύ τους. Οι δυο αυτοί τρόποι είναι είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν ότι, κατά τη σύνδεση σε σειρά, μια σχετικά υψηλή απόδοση συλλεκτών, της τάξης του 60-68%, μπορούσε να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας επίπεδους, υδρόψυκτους, ηλιακούς συλλέκτες συνολικής επιφάνειας 30 m<sup>2</sup>. Στην παράλληλη σύνδεση, η απόδοση των συλλεκτών φάνηκε να ποικίλει ως προς την τιμή της, εκτεινόμενη σε ένα εύρος της τάξης του 48-60%. Παρόλα αυτά, και στις δυο περιπτώσεις η απόδοση της ενεργειακής αποθήκευσης ήταν πολύ μικρότερη από αυτή των συλλεκτών. Σε γενικές γραμμές τα συμπεράσματα από τη μελέτη του συστήματος συνοψίζονται στα εξής σημεία:

- Η χρήση του ηλιακού συστήματος θέρμανσης με PCM, χωρίς τη συνεργασία του συστήματος αντλιών, αδυνατεί να καλύψει επαρκώς τις ανάγκες θέρμανσης κτιριακών εγκαταστάσεων για τις δεδομένες κλιματικές συνθήκες διεξαγωγής της μελέτης.
- Η χρήση θερμικών αντλιών σε συνδυασμό με ηλιακές ή άλλου τύπου θερμικές πηγές έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση αξιοσημείωτων ποσών ενέργειας.
- Η λειτουργία του συστήματος σε παράλληλη σύνδεση χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με τη σύνδεση σε σειρά. Κι αυτό γιατί στην παράλληλη σύνδεση το σύστημα χρησιμοποιεί ταυτόχρονα τόσο τον αέρα όσο και τον ήλιο ως πηγές θερμότητας του εξατμιστή, αντίθετα με τη σύνδεση σε σειρά, που χρησιμοποιεί μονάχα την αποθηκευμένη στη δεξαμενή ηλιακή θερμότητα.
- Η ποσότητα της αποθηκευμένης ενέργειας στη δεξαμενή του συγκεκριμένου συστήματος είναι μικρότερη αυτής, που είχε εκτιμηθεί από τους θεωρητικούς υπολογισμούς. Αυτό οφείλεται στο υλικό κατασκευής της δεξαμενής, δηλαδή το χλωριούχο πολυβινύλιο, το οποίο παρουσιάζει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Ως αποτέλεσμα, η ηλιακή ενέργεια, που απορροφάται από τους συλλέκτες κατά τη διάρκεια της μέρας, δεν επαρκεί για την πλήρη τήξη του PCM της δεξαμενής. Έτσι, η ενέργεια, που τελικά αποθηκεύεται σε αυτήν, είναι λιγότερη από την θεωρητικά αναμενόμενη.
- Ανάμεσα στα υλικά αλλαγής φάσης που δοκιμάστηκαν, το χλωριούχο ασβέστιο 10 μορίων νερού ήταν το βέλτιστο για χρήση στη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Ο ερευνητής Canbazoglou και άλλοι παρουσίασαν τα αποτελέσματα μελετών πάνω στην αποθήκευση ηλιακής ενέργειας με χρήση θειώδους νατρίου 5 μορίων νερού ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ως PCM, σε ένα συμβατικό σύστημα ηλιακής θέρμανσης. Στη μελέτη αυτή, χρησιμοποιήθηκε ένα πειραματικό, ανοιχτού βρόχου, παθητικό ηλιακό σύστημα φυσικής κυκλοφορίας για την παροχή ζεστού νερού οικιακής χρήσης. Το σύστημα αποτελείται από ηλιακούς συλλέκτες, δεξαμενές κρύου και ζεστού νερού, ενώ παράλληλα είναι εφοδιασμένο με ειδικούς αισθητήρες για τη διεξαγωγή μετρήσεων. Σε ένα πείραμα που διεξήχθη σε μία δεξαμενή τοποθετήθηκαν σε τρεις σειρές φιάλες πολυαιθυλενίου 0.44l, καθεμιά από τις οποίες περιείχε 0.735kg του PCM που προαναφέρθηκε. Ο όγκος του υλικού αλλαγής φάσης και του νερού μέσα στη δεξαμενή μετρήθηκαν 107.8 και 82.2l αντίστοιχα, ενώ η ολική μάζα του PCM ήταν 180 kg. Συνολικά, η ποσότητα της συσσωρευμένης θερμότητας στη δεξαμενή με PCM του συγκεκριμένου συστήματος ήταν περίπου 2.6-3.5 φορές μεγαλύτερη από αυτήν των συμβατικών ηλιακών συστημάτων με απλές δεξαμενές αποθήκευσης. Το επιπλέον κόστος εγκατάστασης του συστήματος με το PCM υπολογίστηκε ίσο με 0.4€/l όγκου της δεξαμενής.

Οι Mettawee και Assassa ερεύνησαν την αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας σε έναν σύνθετο ηλιακό συλλέκτη με υλικό αλλαγής φάσης. Η ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου συστήματος έγκειται στο ότι η πλάκα απορρόφησης του συλλέκτη - αποθηκευτική μονάδα εκτελεί ταυτόχρονα τόσο την δέσμευση όσο και την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας, κάτι που οφείλεται στην ιδιαίτερη κατασκευή της. Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων, το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ως PCM για την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας ήταν το κερί παραφίνης. Στις περιπτώσεις που κρίθηκε απαραίτητη, η αποφόρτιση της παραφίνης έγινε διαμέσου ροής κρύου νερού μέσω κατάλληλων σωλήνων, τοποθετημένων στο εσωτερικό της μάζας του PCM. Η αποδοτική επιφάνεια του συλλέκτη μετρήθηκε ίση με 1 m<sup>2</sup>, ενώ ο ολικός του όγκος χωρίστηκε σε 5 τομείς. Η τελική πειραματική διάταξη σχεδιάστηκε έτσι ώστε να προσομοιώνει έναν τομέα του συλλέκτη με επιφάνεια απορρόφησης 0.2 m<sup>2</sup>. Η έρευνα περιλάμβανε τη διεξαγωγή υπαίθριων πειραμάτων στα οποία ελέγχθηκε η δυνατότητα χρήσης των σύνθετων συλλεκτών για τη θέρμανση νερού. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας καταγράφηκαν οι θερμοκρασίες φόρτισης και αποφόρτισης του PCM σε σχέση με το χρόνο, καθώς επίσης κι η ηλιακή ένταση. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν για διάφορες παροχές νερού από 8.3 έως 21.7 kg/h και η απόκριση του συστήματος κάθε φορά εξετάστηκε σχολαστικά. Στους υπολογισμούς που έγιναν θα πρέπει να συμπεριληφθεί κι η εκτίμηση των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας, κατά τη θερμική φόρτιση του συστήματος. Τέλος, μελετήθηκε η εξάπλωση του μετώπου τήξης και πήξης κατά τις διαδικασίες θερμικής φόρτισης και αποφόρτισης, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των παραπάνω πειραμάτων απέδειξαν ότι κατά τη θερμική φόρτιση, ο μέσος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας αυξάνεται απότομα, όσο προχωρά η διαδικασία της συναγωγής και αυξάνεται το πάχος του τηγμένου PCM. Κατά την αποφόρτιση, το χρήσιμο θερμικό κέρδος φάνηκε να αυξάνεται, όταν η παροχή μάζας του νερού αυξήθηκε και αυτή. Μια τελευταία μελέτη εφαρμογής, που αξίζει να αναφερθεί, είναι η κατασκευή δοκιμαστικής ηλιακής εγκατάστασης σε πανεπιστήμιο της Ισπανίας με σκοπό τον έλεγχο της συμπεριφοράς του PCM σε πραγματικές συνθήκες. Η συγκεκριμένη κατασκευή μελετήθηκε από τους Cabeza και άλλους και είχε τη δυνατότητα λειτουργίας είτε με τη βοήθεια ηλιακής ενέργειας είτε ηλεκτρικού θερμαντήρα. Η διάταξη της μονάδας αποθήκευσης, που υιοθετήθηκε, περιλάμβανε τη χρήση αρκετών κυλίνδρων γεμάτων με PCM στην κορυφή μιας δεξαμενής νερού.



Ακολούθησε σειρά πειραμάτων σε αυτή τη διάταξη με 2, 4 και 6 μονάδες PCM τη φορά. Το υλικό αλλαγής φάσης, που χρησιμοποιήθηκε σε μορφή σκόνης, ήταν σύνθετο με γραφίτη, σύστασης 90% κατ' όγκο οξικού νατρίου 3 μορίων νερού και 10% κατ' όγκο γραφίτη. Τα συμπεράσματα των ερευνητών ήταν ενθαρρυντικά, ανάγοντας την ενσωμάτωση μονάδων PCM σε δεξαμενές νερού για την τροφοδοσία ζεστού νερού οικιακής χρήσης σε μια πολλά υποσχόμενη τεχνική.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΠΑΤΑΛΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΕΡΦΩΤΙΣΜΟΥ ΧΩΡΩΝ

#### 3.1 ΤΙ ΟΝΟΜΑΖΟΥΜΕ ΥΠΕΡ ΦΩΤΙΣΜΟ (73,74,75,76)

Φωτορύπανση ή ρύπανση τεχνητού φωτισμού ονομάζεται το φαινόμενο το οποίο σημειώνεται στον ουρανό πάνω από αστικά κέντρα και γενικά τοποθεσίες με πολλά φώτα, κατά το οποίο ο ουρανός είναι πιο φωτεινός από το κανονικό με αποτέλεσμα να υπάρχει μειωμένη αντίθεση μεταξύ των αστερών και του φόντου του ουρανού. Το φαινόμενο αυτό συνεπάγεται περιορισμένη απόδοση των τηλεσκοπίων και γενικότερα υποβάθμιση των αστρονομικών παρατηρήσεων, καθώς ο τεχνητός φωτισμός αποκρύπτει τα ουράνια σώματα, με εξαίρεση τα φωτεινότερα. Σύμφωνα με ένα γενικότερο ορισμό, φωτορύπανση είναι κάθε υπερβολικός, άστοχα κατευθυνόμενος ή ενοχλητικός τεχνητός φωτισμός.

#### 3.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΥΠΕΡΦΩΤΙΣΜΟΥ ΧΩΡΩΝ(75, 76,77,78)

Αρχικά πρέπει να γίνει η καταγραφή των πραγματικών αναγκών σε φωτισμό. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των χώρων που πρέπει να φωτίζονται, τον προσδιορισμό του πότε είναι αναγκαίος ο φωτισμός καθώς και τον προσδιορισμό της έντασης του φωτισμού που απαιτείται. Επιλογή των χώρων που έχουν ανάγκη να φωτίζονται. Συχνό φαινόμενο αποτελεί ο φωτισμός χώρων που δεν έχουν ανάγκη φωτισμού είτε διότι πιστεύεται ότι ο φωτισμός αυξάνει το επίπεδο ασφάλειας είτε διότι υπάρχει η αίσθηση ότι ένας φωτισμένος χώρος αναδεικνύεται καλύτερα αισθητικά. Παρόλο που ο φωτισμός των δημόσιων χώρων είναι ισχυρά συνδεδεμένος με το αίσθημα ασφάλειας στη συνείδηση του κόσμου, οι στατιστικές δεν επιβεβαιώνουν μια τόσο ισχυρή συσχέτιση. Ναι μεν ο φωτισμός κάποιων δημόσιων χώρων μπορεί να μειώσει ορισμένου τύπου εγκλήματα ωστόσο κάποιες στατιστικές δείχνουν ότι απλά το έγκλημα μεταφέρεται σε άλλες, λιγότερο καλά φωτισμένες περιοχές ενώ η βελτίωση σταματάει από ένα συγκεκριμένο επίπεδο φωτισμού και πάνω. Επίσης, ο φωτισμός μπορεί ακόμα και να βοηθήσει ή να ενθαρρύνει κάποιου τύπου εγκλήματα όπως οι βανδαλισμοί. Επίσης, γνωστό είναι και το φαινόμενο του εξωτερικού φωτισμού κατά τη διάρκεια της απουσίας των ιδιοκτητών που υποδεικνύει στους διαρρήκτες ποια σπίτια είναι άδεια. Πολύς αχρείαστος φωτισμός οφείλεται και στη διάθεση πολιτών αλλά και δημόσιων φορέων να αναδείξουν

αισθητικά έναν χώρο με το φωτισμό του. Παρόλο που αναμφίβολα ο φωτισμός μπορεί να έχει αισθητικό αποτέλεσμα, η χρήση του φωτισμού για τέτοιους λόγους είναι κατά κανόνα υπερβολική και γίνεται σε βάρος της αισθητικής του γενικότερου περιβάλλοντος. Το συμπέρασμα είναι ότι πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή των χώρων που έχουν ανάγκες φωτισμού, των χώρων δηλαδή όπου ο φωτισμός χρειάζεται ώστε να εξυπηρετηθεί η κίνηση και η παρουσία των ανθρώπων ή η εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών. Η επιλογή των φώτων ασφαλείας πρέπει να είναι προσεκτική και περιορισμένη ενώ και ο φωτισμός για αισθητικούς λόγους πρέπει να περιοριστεί σε λιτά επίπεδα. Επιλογή του χρόνου κατά τον οποίο πρέπει να υπάρχει ο φωτισμός. Συχνά υπάρχουν χώροι όπου όντως ο φωτισμός είναι απαραίτητος ωστόσο μόνο για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία λύσεων που μπορεί κανείς να εφαρμόσει για να περιορίσει το φωτισμό μόνο όταν είναι απαραίτητος, για παράδειγμα φωτοκύτταρα, χρονοδιακόπτες κ.ά. Χώροι που χρησιμοποιούνται για μικρό χρονικό διάστημα, δημόσιοι χώροι όπου υπάρχει παρουσία ανθρώπων μόνο το βραδάκι και όχι αργά τη νύχτα ή χώροι που για οποιοδήποτε λόγο δε χρειάζονται φωτισμό συνέχεια καλό είναι να εξοπλιστούν με κάποια αυτόματη διάταξη που να περιορίζει το φωτισμό στις απαραίτητες χρονικές στιγμές. Φυσικά, απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία είναι η σωστή εγκατάσταση τέτοιου εξοπλισμού, δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο φωτοκύτταρα να ανάβουν με το παραμικρό ή να στοχεύουν λάθος. Επιλογή της έντασης του αναγκαίου φωτισμού Η ένταση του φωτισμού σε ένα χώρο είναι ιδιαίτερα σημαντική όχι μόνο για το ζήτημα της φωτορύπανσης αλλά και για την εξυπηρέτηση της ίδιας της λειτουργίας του χώρου. Διαφορετικοί χώροι έχουν ανάγκη διαφορετικής έντασης φωτός καθώς αυτό εξαρτάται από τη λειτουργία που επιτελείται σε κάθε χώρο. Οι υπερφωτισμένοι χώροι είναι κάτι το συνηθισμένο. Πέρα από την προφανή επίπτωση στη φωτορύπανση, ο υπερφωτισμός οδηγεί και στη μείωση της λειτουργικότητας του χώρου. Μετά από μεγάλη έρευνα και με τη βοήθεια του Rod Mc Connell (ένας από τους υπεύθυνους για την μεγάλη αλλαγή 11.500 φώτων στο Edmonton του Καναδά , και την αλλαγή της πολιτικής του δήμου του) παρουσιάζουμε ένα από τα κατάλληλα φώτα για τους δρόμους μας κατά της φωτορύπανσης κατηγορίας LED με πιστοποίηση IDA (International Darksky Association). Είναι η σειρά : Philips Roadstar Series with customizable LED light control

### 3.3 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΠΕΡΦΩΤΙΣΜΟΥ

Ο έντονος και διαρκής τεχνητός φωτισμός στους δρόμους και τις γειτονιές όλη τη νύχτα μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη νοητική και ψυχική υγεία των ανθρώπων, σύμφωνα με μια νέα αμερικανική επιστημονική έρευνα, η οποία επιβεβαιώνει ότι όταν οι άνθρωποι δεν μπορούν να «δραπετεύσουν» στο σκοτάδι, μπορεί να έχουν σημαντικά προβλήματα υγείας, μέχρι και να εμφανίσουν κατάθλιψη. Ο υπερβολικός φωτισμός των πόλεων έχει επιπτώσεις στη ζωή του ανθρώπου στη νύχτα. Οι κυριότεροι τρόποι με τους οποίους η φωτορύπανση επιδρά στη ζωή του ανθρώπου είναι οι εξής: Θάμβωση και οπτική όχληση Συχνό φαινόμενο στις πόλεις είναι ο υπερβολικός φωτισμός να προκαλεί όχληση στους πολίτες. Ενώ οι σωστές ποσότητες φωτισμού βοηθούν να βλέπουμε καλύτερα τις ώρες που έχουμε σκοτάδι, οι

υπερβολικές ποσότητες φωτισμού προκαλούν θάμβωση και μείωση της δυνατότητας της όρασής μας. Συχνό φαινόμενο είναι οι δυνατοί προβολείς που χρησιμοποιούνται για διαφημιστικές πινακίδες ή άλλα δυνατά φώτα που χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς με πιο συχνά τα φώτα "ασφαλείας". Ο εκθαμβωτικός φωτισμός και η οπτική όχληση μειώνουν την ποιότητα ζωής στο αστικό περιβάλλον, από αισθητική αλλά και πρακτική άποψη. Πρόκληση ατυχημάτων ή πρόκληση τροχαίων ατυχημάτων είναι μια συχνή επίπτωση του υπερβολικού φωτισμού. Σε αυτή την περίπτωση η σωστή ποσότητα φωτισμού είναι χρήσιμη και καθοριστικής σημασίας για την οδική ασφάλεια, ιδιαίτερα σε επικίνδυνα σημεία του οδικού δικτύου. Ωστόσο, ο υπερβολικός ή ο λανθασμένος φωτισμός μπορεί να οδηγήσει σε πρόκληση ατυχημάτων. Η θάμβωση του οδηγού κατά την οδήγηση μειώνει την οπτική του αντίληψη ενώ οι απότομες εναλλαγές σκοτεινών και πολύ φωτεινών σημείων δε δίνουν στο ανθρώπινο μάτι τη δυνατότητα προσαρμογής της ίριδος με αποτέλεσμα τη μείωση της οπτικής αντίληψης του οδηγού. Επίδραση στην ψυχολογία και την υγεία. Ο υπερβολικός φωτισμός μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Διάφορα συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι και αϋπνίες έχουν αποδοθεί μεταξύ άλλων και στον υπερβολικό φωτισμό. Το ανθρώπινο σώμα έχει ανάγκη από χρόνο παραμονής στο σκοτάδι για να συντελεστούν διάφορες λειτουργίες του ωστόσο το σύγχρονο "διαρκώς φωτεινό" αστικό περιβάλλον μειώνει αυτή τη δυνατότητα.

Επιρροές της φωτορύπανσης στον άνθρωπο:

Το πολύ φως δεν κάνει τον άνθρωπο να βλέπει καλύτερα! Επίσης υπαρχουν επιρροές της φωτορύπανσης στη φύση! • Η φωτορύπανση έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, ειδικά στην πανίδα αλλά και στη χλωρίδα αλλά και έμμεσα από την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Ο υπερβολικός τεχνητός φωτισμός μπορεί να επηρεάσει τα οικοσυστήματα με διάφορους τρόπους.

Ενδεικτικά αναφέρουμε τους εξής:

- Δυσκολία προσανατολισμού των ζώων. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα των χελωνών *careta careta* όπου τα νεογέννητα προσανατολίζονται προς τη θάλασσα με οδηγό την ανάκλαση φωτός στη θάλασσα. Αν υπάρχουν φώτα στη παραλία πηγαίνουν προς τα φώτα και πεθαίνουν. Το ίδιο ισχύει και για πουλιά που παραπλανούνται από φωτεινά και ψηλά κτίρια.

- Επιπτώσεις σε συμπεριφορά και φυσιολογία νυχτόβιων ζώων αλλά και επίδραση σε φυτά που ανθίζουν τη νύχτα.

Επίσης η καθυστερημένη απώλεια των φύλλων στα δέντρα, η ταχεία ανάπτυξη των κλαδιών και η άνθιση των λουλουδιών ακόμη και το Φθινόπωρο.

- Επίδραση στο ζωοπλαγκτόν με έμμεσες επιδράσεις σε οικοσυστήματα λιμνών αλλά και στους υδάτινους πόρους

- Εμμέσως, η φωτορύπανση επηρεάζει το περιβάλλον από την ενεργειακή σπατάλη που την προκαλεί. Η σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας συνεπάγεται άμεσα αυξημένη παραγωγή καυσαερίων και αερίων που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η σπατάλη ενέργειας για φωτισμό είναι και αυτή ένα κομμάτι της σύγχρονης υπερκατανάλωσης ενέργειας που οδηγεί στην εξάντληση των ενεργειακών πόρων της Γης αλλά και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

#### 3.4 ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ-ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΥΠΕΡΦΩΤΙΣΜΟΥ ΧΩΡΩΝ

3.4.1 ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ-ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΥΠΕΡΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ(78,79,80)

3.4.2 ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ-ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΥΠΕΡΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΓΡΑΦΕΙΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ(78,79,80)

Η ποιότητα του φωτισμού επιδρά άμεσα στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε, κινούμαστε, αισθανόμαστε και γενικότερα τον τρόπο που ζούμε και εργαζόμαστε. Για το λόγο αυτό, είναι επιτακτική η ανάγκη για το σαφή και λεπτομερή προσδιορισμό της πολυχρησιμοποιημένης έννοιας του «καλού» φωτισμού και πως αυτός σχετίζεται με το χώρο και τη χρήση του. Τα διεθνή πρότυπα και η τεχνική νομοθεσία σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, ορίζει μια σειρά μετρήσιμους «ποσοτικούς» κανόνες που θα πρέπει να τηρούνται, αυτό όμως δεν προεξοφλεί και μια ποιοτική εγκατάσταση φωτισμού, καθώς ο μόνος παράγοντας που θα πρέπει να επιτευχθεί είναι η ελάχιστη φωτεινότητα ανάλογα με τη χρήση του χώρου. Σε ειδικές δε περιπτώσεις λαμβάνονται επίσης υπόψη παράγοντες όπως η θάμβωση και η ομοιομορφία. Στην πραγματικότητα είναι ελάχιστες οι φορές που τηρούνται ακόμη και αυτά τα υποτυπώδη πρότυπα και ως εκ τούτου η προσπάθεια για καλύτερο τεχνητό φωτισμό εστιάζεται στην ένταση του φωτός. Αυτό κατά κανόνα οδηγεί σε οπτική υπερβολή, με χώρους υπερφωτισμένους και ταυτόχρονα αδιάφορους καθώς κάθε λεπτομέρεια εξαφανίζεται στο πολύ φως. Εκτός από το «αισθητικό» μέρος υπάρχουν βέβαια και μια σειρά από πρόσφατα τεκμηριωμένες επιστημονικά επιπτώσεις του φωτός στην ανθρώπινη υγεία, τη διάθεση και τη ψυχολογία. Παρόλο που αυτές γίνονται άμεσα αντιληπτές, καμία πρόβλεψη δεν υπάρχει για το τρόπο που θα πρέπει να σχεδιαστεί ο τεχνητός φωτισμός για να ανταποκριθεί αποτελεσματικά και στις απαιτήσεις αυτές.

Ένας χώρος όπου ο φωτισμός εξασφαλίζει απλά οπτική άνεση έτσι ώστε οι δραστηριότητες να πραγματοποιούνται με άνεση και ασφάλεια, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σήμερα ως χώρος με ποιοτικό φωτισμό. Απαιτείται μια νέα ολιστική προσέγγιση με γνώμονα τον καταλληλότερο ή ιδανικό φωτισμό ενός χώρου ως αποτέλεσμα μιας επαγγελματικής μελέτης φωτισμού, η οποία επιπλέον να είναι φωτομετρικά τεκμηριωμένη.





Η κατανομή των λαμπροτήτων μέσα στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή

Η λαμπρότητα αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό από τα μεγέθη της φωτοτεχνίας. Λαμπρότητα ( $L$ ) είναι η ποσότητα φωτός που φτάνει στο ανθρώπινο μάτι ύστερα από αντανάκλαση σε μια δοσμένη επιφάνεια και αποτελεί το αντικειμενικό μέτρο αίσθησης φωτεινότητας μιας επιφάνειας. Ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής έντασης ( $I$ ) της φωτεινής πηγής προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής ( $A$ ) δηλαδή  $L=I/A$  ή  $S_b=Cd/Cm^2$ . Μονάδα μέτρησης αυτής είναι: Candela per square metre ( $cd/m^2$ ).

Η αίσθηση της φωτεινότητας μιας επιφάνειας εξαρτάται εν μέρει από την κατάσταση προσαρμογής του ματιού και εν μέρει από την ποσότητα φωτός που φτάνει στο μάτι ύστερα από αντανάκλαση στην επιφάνεια αυτή. Η κατανομή της λαμπρότητας σε ένα εσωτερικό χώρο είναι σημαντικό κριτήριο για την ποιότητα της οπτικής εμπειρίας. Μια ισορροπημένη και αρμονική κατανομή λαμπρότητας κάνει ένα χώρο ευχάριστο και με οπτικό ενδιαφέρον. Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους της επαγγελματικής μελέτης αρχιτεκτονικού φωτισμού είναι ακριβώς αυτή η ισορροπημένη κατανομή της λαμπρότητας των επιφανειών που ορίζουν ένα χώρο.

Σε πολύ υψηλές τιμές λαμπρότητας ή σε μεγάλες διαφορές λαμπρότητας το μάτι υποφέρει και αδυνατεί να ανταποκριθεί, οπότε έχουμε το φαινόμενο της θάμβωσης. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποφευχθεί όταν η λαμπρότητα  $L_{max}$  του περισσότερο λαμπρού σημείου και η λαμπρότητα  $L_{min}$  του λιγότερο λαμπρού σημείου ικανοποιούν τη σχέση:

$$L_{max}-L_{min}/L_{max} \leq 10$$

Μεγάλες όμως διαφορές στις τιμές λαμπρότητας μεταξύ του πεδίου εργασίας του κοντινότερου και πιο μακρινού περιβάλλοντος χώρου, εξαναγκάζουν την κόρη του ματιού σε διαδοχικές αναπροσαρμογές του μεγέθους της, με αποτέλεσμα την κόπωση του εργαζόμενου και ενδεχομένως βλάβη της όρασης του. Πρέπει λοιπόν εκτός των άλλων να αποφευχθεί η μεγάλη ανομοιογένεια στις τιμές λαμπροτήτων μέσα στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή. Συνιστάται από προδιαγραφές η τήρηση αναλογιών των τιμών λαμπρότητας μεταξύ της επιφάνειας εργασίας του κοντινού και πιο μακρινού περιβάλλοντος χώρου. Η χρήση αποκλειστικά τοπικού φωτισμού

χωρίς τη συνύπαρξη γενικού φωτισμού ανατρέπει μια τέτοια αναλογία και πρέπει να αποφεύγεται.

Η τιμή της λαμπρότητας καθορίζεται από το προσπίπτον φως και από το βαθμό ανάκλασης της κάθε φωτιζόμενης επιφάνειας. Η μελέτη φωτισμού επιδιώκει την επίτευξη τιμών λαμπροτήτων εντός των παραδεκτών ορίων και ως εκ τούτου επιλέγονται οι κατάλληλοι βαθμοί ανάκλασης ( $\rho$ ) των διαφόρων επιφανειών του φωτιζόμενου χώρου ως ακολούθως:

- α) Επιφάνειες γραφείων, πάγκων εργασίας  $\rho = 30\% - 50\%$
- β) Οροφές  $\rho = 60\% - 70\%$
- γ) Τοίχοι (ανάλογα με τη στάθμη φωτισμού)  $\rho = 40\% - 70\%$
- δ) Δάπεδο  $\rho = 10\% - 20\%$

#### 5. Περιορισμός της θάμβωσης

Το φαινόμενο της θάμβωσης αναφέρεται στις ενοχλήσεις που δέχεται ο ευρισκόμενος σε ένα χώρο, είτε από υψηλές τιμές λαμπρότητας, είτε από μεγάλες διαφορές λαμπρότητας μέσα στο οπτικό του πεδίο. Η θάμβωση διακρίνεται σε άμεση και έμμεση. Την άμεση θάμβωση προκαλούν τα φωτιστικά σώματα ή οι επιφάνειες του φωτιζόμενου χώρου. Την έμμεση θάμβωση οι απεικονίσεις των φωτεινών πηγών σε στιλπνές επιφάνειες στις οποίες τυχαία κατευθύνεται το βλέμμα. Από τη θάμβωση έχουμε μείωση της διακριτικής ικανότητας και συχνά προκαλείται κόπωση στο εργαζόμενο και πονοκέφαλοι.

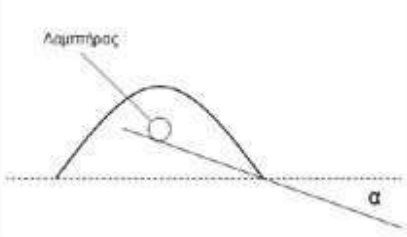
Με διάφορες τεχνικές υπάρχει η δυνατότητα περιορισμού της άμεσης θάμβωσης σε επιθυμητά επίπεδα επεμβαίνοντας πχ. με περσίδες, ανταυγαστήρες κλπ. στη γωνία διάφραξης των φωτιστικών σωμάτων ή επιλέγουμε άλλα πιο κατάλληλα.

Στην περίπτωση της έμμεσης θάμβωσης (είδωλα των φωτεινών πηγών απεικονίζονται σε στιλπνές επιφάνειες) εξαναγκάζεται η κόρη του οφθαλμού σε εναλλασσόμενες συστολές - διαστολές στην προσπάθεια εστίασης αφενός μεν στην απόσταση του υπό εξέταση αντικειμένου, αφετέρου δε στην απόσταση του ειδώλου της φωτεινής πηγής.

Η έμμεση θάμβωση μπορεί να αποφευχθεί με την κατάλληλη διάταξη των φωτιστικών σωμάτων στο χώρο (ιδανική θεωρείται η πλάγια κατεύθυνση πρόσπτωσης του φωτός στο επίπεδο εργασίας) καθώς και με την επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων ειδικότερα σε χώρους εργασίας με H/Y. Στην περίπτωση αυτή η προδιαγραφή DIN 5035 υποδεικνύει αφενός τη τήρηση αυστηρότερων ορίων για τη γωνία διάφραξης του φωτιστικού, αφετέρου δε τη χρήση αντιθαμβωτικών περσίδων να περιοριστεί η λαμπρότητα των φωτιστικών σημείων σε τιμές  $\leq 200 \text{ cd/m}^2$  για γωνίες εκπομπής μεγαλύτερες της οριακής εκείνης γωνίας εκπομπής φωτός που μόλις απαγορεύει την απεικόνιση του φωτιστικού σώματος επί της οθόνης του H/Y.

Η θάμβωση από το σύστημα φωτισμού εκτιμάται με τη βοήθεια του βαθμού συνδυασμένης θάμβωσης UGR (Unified Glare Rating). Σημειώνεται ότι ο

δείκτης δεν αποτελεί αξιόπιστη παράμετρο εκτίμησης της θάμβωσης, όταν οι φωτεινές πηγές είναι μεγάλων ή πολύ μικρών διαστάσεων. Εξαρτάται από την λαμπρότητα των φωτιστικών, το μέγεθος τους, την σχετική θέση τους με την κατεύθυνση παρατήρησης και τέλος από την λαμπρότητα υποβάθρου. Το πρότυπο EN 12464-1 προβλέπει μια στοιχειώδη κάλυψη των λαμπτήρων με βάση την λαμπρότητα της φωτεινής πηγής όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω πίνακα.

|  | Λαμπρότητα λαμπτήρα (cd/m <sup>2</sup> ) |                 | Ελάχιστη τιμή για τη γωνία α |
|---|--|-----------------|------------------------------|
|   | 20000 < < 50000                          | 15 <sup>ο</sup> |                              |
|   | 50000 < < 500000                         | 20 <sup>ο</sup> |                              |
|   | ≥ 500000                                 | 30 <sup>ο</sup> |                              |

Με χρήση των φωτομετρικών δεδομένων του φωτιστικού υπολογίζεται ο πίνακας UGR ο οποίος παρουσιάζει τον δείκτη UGR σε τυπικούς χώρους με διάφορες ανακλαστικότητες επιφανειών. Τυπική εξέταση του συγκεκριμένου δείκτη (UGR) γίνεται σε δύο κατευθύνσεις παρατήρησης (εγκάρσια και διαμήκη) σε χώρο 4Hx8H με ανακλαστικότητες οροφής, τοίχων, δαπέδου 70,50 και 20% αντίστοιχα και SHR = 0.25 (H : το ύψος των φωτιστικών πάνω από την επιφάνεια εργασίας). Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η έξοδος από πρόγραμμα φωτοτεχνικής ανάλυσης του πίνακα UGR για SHR= 0.25.

| <b>Αξιολόγηση θάμβωσης κατά UGR</b> |     |  |      |      |      |      |   |      |      |      |      |
|-------------------------------------|-----|--|------|------|------|------|---|------|------|------|------|
| ρ Οροφή                             |     | 70   | 70   | 50   | 50   | 30   | 70  | 70   | 50   | 50   | 30   |
| ρ Τοίχοι                            |     | 50   | 30   | 50   | 30   | 30   | 50  | 30   | 50   | 30   | 30   |
| ρ Δάπεδο                            |     | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20  | 20   | 20   | 20   | 20   |
| Μέγεθος χώρου                       |     | Οπτική κατεύθυνση εγκάρσια προς τον άξονα λάμπας |      |      |      |      | Οπτική κατεύθυνση παράλληλα προς τον άξονα λάμπας |      |      |      |      |
| X                                   | Y   |  |      |      |      |      |   |      |      |      |      |
| 2H                                  | 2H  | 17.3   | 18.3 | 17.6 | 18.5 | 18.7 | 16.9  | 17.9 | 17.2 | 18.1 | 18.3 |
|                                     | 3H  | 17.2   | 18.0 | 17.5 | 18.3 | 18.5 | 16.8  | 17.7 | 17.1 | 17.9 | 18.2 |
|                                     | 4H  | 17.1   | 17.9 | 17.4 | 18.2 | 18.4 | 16.7  | 17.5 | 17.0 | 17.8 | 18.1 |
|                                     | 6H  | 17.0   | 17.8 | 17.4 | 18.1 | 18.3 | 16.7  | 17.4 | 17.0 | 17.7 | 18.0 |
|                                     | 8H  | 17.0   | 17.7 | 17.3 | 18.0 | 18.3 | 16.6  | 17.3 | 17.0 | 17.6 | 17.9 |
| 4H                                  | 12H | 17.0   | 17.6 | 17.3 | 17.9 | 18.3 | 16.6  | 17.2 | 16.9 | 17.6 | 17.9 |
|                                     | 2H  | 17.2   | 18.0 | 17.5 | 18.3 | 18.6 | 16.8  | 17.6 | 17.2 | 17.9 | 18.2 |
|                                     | 3H  | 17.1   | 17.8 | 17.4 | 18.1 | 18.4 | 16.7  | 17.4 | 17.0 | 17.7 | 18.0 |
|                                     | 4H  | 17.0   | 17.6 | 17.4 | 17.9 | 18.3 | 16.6  | 17.2 | 17.0 | 17.5 | 17.9 |
|                                     | 6H  | 16.9   | 17.4 | 17.4 | 17.8 | 18.2 | 16.5  | 17.0 | 17.0 | 17.4 | 17.8 |
| 8H                                  | 8H  | 16.9   | 17.4 | 17.3 | 17.7 | 18.1 | 16.5  | 17.0 | 16.9 | 17.3 | 17.8 |
|                                     | 12H | 16.9   | 17.3 | 17.3 | 17.7 | 18.1 | 16.5  | 16.9 | 16.9 | 17.3 | 17.7 |
|                                     | 4H  | 16.9   | 17.4 | 17.3 | 17.7 | 18.1 | 16.5  | 17.0 | 16.9 | 17.3 | 17.8 |
| 8H                                  | 6H  | 16.8   | 17.2 | 17.3 | 17.6 | 18.1 | 16.4  | 16.8 | 16.9 | 17.2 | 17.7 |
|                                     | 8H  | 16.8   | 17.1 | 17.2 | 17.5 | 18.0 | 16.4  | 16.7 | 16.9 | 17.1 | 17.6 |
|                                     | 12H | 16.7   | 17.0 | 17.2 | 17.5 | 18.0 | 16.3  | 16.6 | 16.8 | 17.1 | 17.6 |
|                                     | 4H  | 16.9   | 17.3 | 17.3 | 17.7 | 18.1 | 16.5  | 16.9 | 16.9 | 17.3 | 17.7 |
| 12H                                 | 6H  | 16.8   | 17.1 | 17.2 | 17.5 | 18.0 | 16.4  | 16.7 | 16.9 | 17.1 | 17.6 |
|                                     | 8H  | 16.7   | 17.0 | 17.2 | 17.5 | 18.0 | 16.3  | 16.6 | 16.8 | 17.1 | 17.6 |
|                                     | 4H  | 16.9   | 17.3 | 17.3 | 17.7 | 18.1 | 16.5  | 16.9 | 16.9 | 17.3 | 17.7 |

| Παραλλαγή της θέσης παρατηρητή για αποστάσεις φωτιστικών S |              |              |
|--|--------------|--------------|
| S = 1.0H   | +2.0 / -5.8  | +2.0 / -4.9  |
| S = 1.5H   | +3.6 / -17.7 | +3.1 / -24.1 |
| S = 2.0H   | +5.5 / -23.4 | +4.8 / -27.3 |
| Στάνταρ πίνακας  | BK00         | BK00         |
| Προσθετός διόρθωσης  | -2.4         | -2.8         |

Διαρθρωμένοι δείκτες εκτύπωσης αναφορικά με 6600lm Συνολική φωτεινή ροή

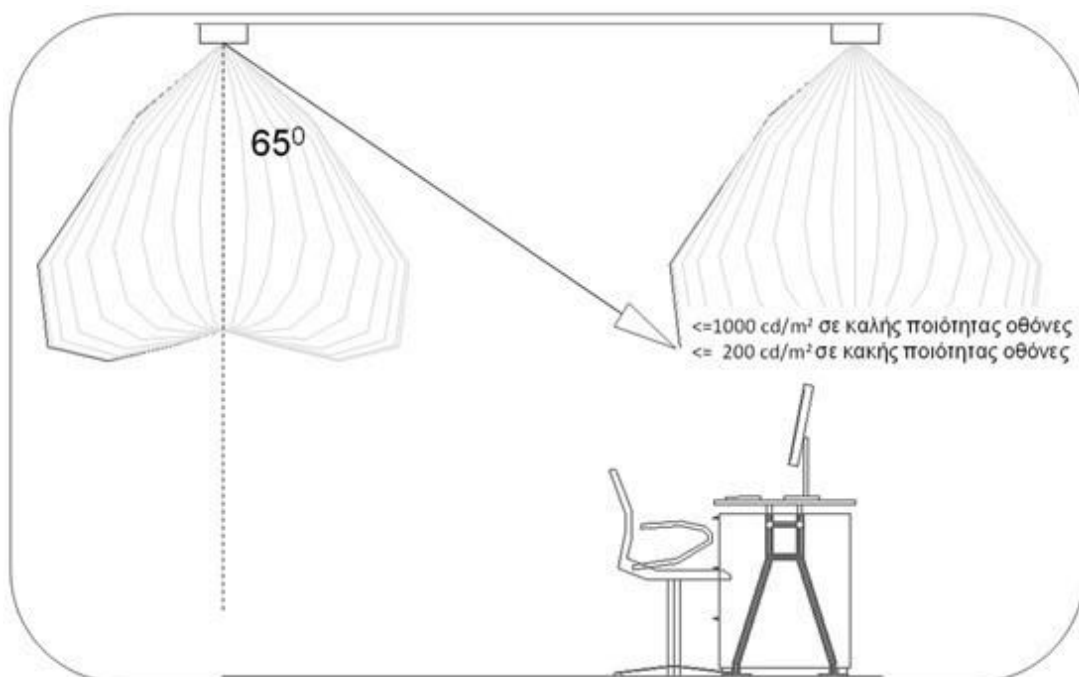
Οι τιμές UGR υπολογίζονται σύμφωνα με το CIE δημοσ. 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25.

Προφανώς η απόσταση των φωτιστικών όπως ορίστηκε κατά τον υπολογισμό του προαναφερθέντος πίνακα είναι μικρή σε σχέση με την απόσταση που πιθανόν να υιοθετηθεί στον σχεδιασμό. Όμως αν ικανοποιείται η απαίτηση για τον δείκτη UGR όπως αυτή ορίζεται στο EN 12464-1 τότε θα ικανοποιείται και στον κανονικό σχεδιασμό. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τιμές για τον δείκτη UGR σε διαφορετικούς χώρους. Δραστηριότητες με σχετική δυσκολία στην εκτέλεση τους απαιτούν συνήθως μικρές τιμές του δείκτη θάμβωσης.



|                              | UGR |
|------------------------------|-----|
| Περιοχές γενικής κυκλοφορίας | 28  |
| Σκάλες                       | 25  |
| Εστιατόρια                   | 22  |
| Γραφεία                      | 19  |
| Αίθουσες διδασκαλίας         | 19  |
| Γραφεία (σχεδίαση)           | 16  |
| Εργαστήρια ηλεκτρονικών      | 16  |

Πρέπει να τονισθεί ότι ο παραπάνω δείκτης δεν εφαρμόζεται στις περιπτώσεις πολύ μικρών ή πολύ μεγάλων διαστάσεων φωτιστικών. Στις περιπτώσεις εργασίας σε οθόνες Η/Υ θα πρέπει τα φωτιστικά να έχουν μικρότερες τιμές λαμπροτήτων από αυτές που εμφανίζονται στο σχήμα (ανάλογα με την ποιότητα της οθόνης) σε όλες τις γωνίες > 65ο από την κατακόρυφο (ανάλογα με τη δραστηριότητα ή την αλλαγή της κλίσης της οθόνης η προαναφερθείσα απαίτηση μπορεί να ισχύσει και από μικρότερες γωνίες π.χ. 55ο).



## Ενεργειακή απόδοση των συστημάτων φωτισμού

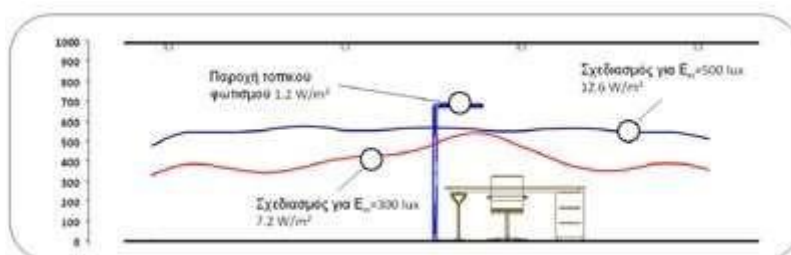
Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης τα πρότυπα που καθορίζουν τις αρχές σχεδιασμού του συστήματος φωτισμού σε εσωτερικούς χώρους και τις συνιστώμενες τιμές καταναλώσεων είναι τα EN 12464-1: 2002 και EN 15193 : 2007 αντίστοιχα. Επιπρόσθετα στα πλαίσια των εθνικών κανονισμών για ενεργειακή αποδοτικότητα έχουν υιοθετηθεί διάφορες προσεγγίσεις από τα κράτη μέλη. Το πρότυπο EN 12464-1 καθορίζει απαιτήσεις που πρέπει του σύστημα φωτισμού να ικανοποιεί και σχετίζονται με τη δημιουργία συνθηκών οπτικής άνεσης με την επίτευξη συγκεκριμένων τιμών φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας ανάλογα με τη δραστηριότητα, τη διαβάθμιση αυτών των τιμών σε αυτή, τον περιορισμό της θάμβωσης με τον καθορισμό ανώτατης τιμής για τον δείκτη θάμβωσης καθώς επίσης και τον καθορισμό ελάχιστης τιμής για τον δείκτη χρωματικής απόδοσης των λαμπτήρων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται μια τυπική περίπτωση απαιτήσεων όπως εμφανίζονται στο πρότυπο.

| Κατηγορία : Γραφεία   |             |     |       |   |
|---|-------------|-----|-------|---|
|   | $E_m$ (lux) | UGR | $R_a$ | Σχόλια  |
| <b>Δραστηριότητα:</b><br>Γραφή, ανάγνωση,<br>επεξεργασία<br>δεδομένων | 500         | 19  | 80    | Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται οθόνες υπάρχει περιορισμός της λαμπρότητας του φωτιστικού |

Επιπρόσθετα ανφέρονται και σημεία στα οποία χρειάζεται να προσεχθούν γιατί επηρεάζουν την ποιότητα του σχεδιασμού όπως η τρισδιάστατη ανάδειξη, η αποφυγή φωτεινής μαρμαρυγής στους λαμπτήρες, η χρήση φυσικού φωτισμού και προφανώς η μείωση της κατανάλωσης χωρίς να παρουσιάζονται συγκεκριμένες τεχνικές.



Σημαντική παράμετρος στον Κανονισμό είναι η δυνατότητα επίτευξης των απαιτούμενων επιπέδων φωτισμού στην περιοχή που εκτελείται το έργο (π.χ. επιφάνεια γραφείου) ενώ η περιβάλλουσα επιφάνεια μπορεί να έχει χαμηλότερα επίπεδα φωτισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα διαχωρισμού του γενικού συστήματος φωτισμού από το τοπικό, με σημαντικά ενεργειακά οφέλη.



Θα πρέπει να τονισθεί ότι μόνο η επίτευξη της απαιτούμενης στάθμης φωτισμού δεν συνεπάγεται μονοσήμαντα και καλύτερη ποιότητα σχεδιασμού. Η συγκεκριμένη ποιότητα δεν πρέπει να βασίζεται αποκλειστικά σε φωτομετρικούς όρους αλλά και από την ευχαρίστηση που προκαλεί το εσωτερικό περιβάλλον στον χρήστη και την συμβατότητά της στο είδος

δραστηριότητας που αυτός εκτελεί. Επιπρόσθετα θα πρέπει να τονισθούν και οι βιολογικές επιδράσεις του φωτισμού (για παράδειγμα η επίδραση στον κερκαδιανό ρυθμό).

Σε επίπεδο κόστους, η δαπάνη για την αγορά, εγκατάσταση και λειτουργία συστήματος φωτισμού σε γραφεία αντιπροσωπεύει ελάχιστο ποσοστό σε σχέση με την δαπάνη για μισθοδοσία (0.3% σύμφωνα με Fontoynt M., "Long term assessment of costs associated with lighting and daylighting techniques", Light & Engineering, 16(10), 2008). Επηρεάζει όμως την παραγωγικότητα σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό άρα οι λανθασμένες επιλογές σχεδιασμού που πιθανόν να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση στο σύστημα φωτισμού εξανεμίζονται από απώλειες λόγω παραγωγικότητας. Σε γενικές γραμμές η σύνδεση μεταξύ φωτισμού και παραγωγικότητας δεν μπορεί καθορισθεί με ευκολία λόγω ενός μεγάλου αριθμού παραγόντων (πέραν του φωτισμού) που επηρεάζουν την απόδοση.

| Στάθμη φωτισμού στην περιοχή εκτέλεσης έργου (lux) | Στάθμη φωτισμού στην περιβάλλουσα επιφάνεια (lux) |
|--|---|
| $\geq 750$   | 500   |
| 500  | 300   |
| 300  | 200   |
| $\leq 200$   | Ιση με αυτή στην επιφάνεια εκτέλεσης έργου        |
| <b>Ομοιομορφία (ελάχιστη/μέση)</b>                 | <b>Ομοιομορφία</b>                                |
| $\geq 0.7$   | $\geq 0.5$  |

Η στάθμη φωτισμού  $E_m$  που απαιτείται από το πρότυπο EN 12464-1 στην επιφάνεια εκτέλεσης έργου και την περιβάλλουσα της, αντιπροσωπεύει την ελάχιστη στάθμη στον κύκλο συντήρησης. Συνεπώς το σύστημα φωτισμού στην αρχή της λειτουργίας του παρέχει στάθμη φωτισμού μεγαλύτερη από αυτή του σχεδιασμού. Με την γήρανση των λαμπτήρων, την μείωση της απόδοσης του φωτιστικού και την ελλάτωση της αντανάκλαστικότητας των επιφανειών του χώρου η στάθμη αυτή ελλατώνεται αλλά δεν πρέπει να γίνει μικρότερη της  $E_m$  (χρόνος συντήρησης).

Η επιφάνεια εργασίας περιλαμβάνει την/τις περιοχές εκτέλεσης έργου και τις περιβάλλουσες επιφάνειες οι οποίες είναι τουλάχιστον κατά 0.5 μ. ευρύτερες με διαφορετική απαίτηση για τα επίπεδα φωτισμού και την ομοιομορφία (λόγος ελάχιστης προς μέγιστη τιμή). Οι σχετικές τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα.

Δεν υπάρχει σαφής καθορισμός των διαστάσεων της περιοχής εκτέλεσης έργου. Όταν είναι άγνωστες οι θέσεις εργασίας τότε η στάθμη φωτισμού που απαιτείται θα πρέπει να ισχύει σε όλη την έκταση της επιφάνειας εργασίας με εξαίρεση 0.5μ περιμετρική ζώνη. Η διαφοροποίηση αυτή παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.

Το πρότυπο EN 15193 καθορίζει εύρη τιμών εγκατεστημένης ισχύος για διάφορους τύπους κτηρίων. Στη συνέχεια με τη χρήση των ωρών λειτουργίας εκτιμάται η ετήσια κατανάλωση στην οποία προστίθεται η παρασιτική κατανάλωση (π.χ. αναμονή dimmable ballast) και η κατανάλωση από το σύστημα ασφαλείας. Το σύνολο δια την επιφάνεια του χώρου ονομάζεται LENI (Lighting Energy Numeric Indicator, kwh/m<sup>2</sup>).

Στο πρότυπο ορίζονται τρεις κατηγορίες (\*, \*\* και \*\*\*) ανά είδος χώρου οι οποίες διαφοροποιούνται όσον αφορά την προτεινόμενη εγκατεστημένη ισχύ. Π.χ. για κτήρια γραφείων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι τρεις κατηγορίες ανάλογα με την ικανοποίηση των απαιτήσεων.

|   | Κλάση                                     |   |   |
|---|---|---|---|
|   | *   | **  | ***                                       |
|   | (15 W/ m <sup>2</sup> )                   | (20 W/ m <sup>2</sup> )                   | (25 W/m <sup>2</sup> )                    |
| ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ  | ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ EN 12464-1      | ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ EN 12464-1      | ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ EN 12464-1      |
| ΕΠΑΡΚΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΘΛΙΒΩΣΗΣ (ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ UGR)                                     | ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ EN 12464-1      | ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ EN 12464-1      | ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ EN 12464-1      |
| ΑΠΟΦΥΓΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΜΑΡΜΑΡΥΓΗΣ  | ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ EN 12464-1 | ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ EN 12464-1 | ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ EN 12464-1 |
| ΑΠΟΦΥΓΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΘΛΙΒΩΣΗΣ ΑΠΟ ΑΝΑΚΛΑΣΗ  |   | ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ EN 12464-1 | ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ EN 12464-1 |
| ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΧΡΩΜΑΤΩΝ   |   | ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ EN 12464-1      | ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ EN 12464-1      |
| ΑΠΟΦΥΓΗ ΕΙΤΕ ΕΝΤΟΝΩΝ ΑΝΤΙΘΕΣΕΩΝ ΕΙΤΕ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΑΤΑΡΓΗΣΗΣ ΤΟΥΣ (ΔΙΑΧΥΤΟ ΦΩΣ) ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΔΕΙΞΗ       |   | ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ EN 12464-1 | ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ EN 12464-1 |
| ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΩΝ (ΚΡΙΤΗΡΙΟ Η ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ E <sub>VERTICAL</sub> )                     |   | ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ EN 12464-1 | ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ EN 12464-1 |
| ΙΔΙΑΙΤΕΡΗ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΤΟΝ ΦΩΤΙΣΜΟ ΠΡΟΣΩΠΩΝ (ΟΠΤΙΚΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ) (ΚΡΙΤΗΡΙΟ Η ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ E <sub>SYMMETRICAL</sub> ) |   |   | ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ EN 12464-1 |
| ΙΔΙΑΙΤΕΡΗ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΤΟΝ ΦΩΤΙΣΜΟ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΘΕΜΑΤΑ ΥΓΕΙΑΣ (ΠΙΘΑΝΟ ΝΑ ΑΠΛΑΤΕΙ ΑΥΞΗΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ)          |   |   | ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ EN 12464-1 |

Η TOTEE ορίζει την εγκατεστημένη ισχύ π.χ. για κτήρια γραφείων στα 16 W/m<sup>2</sup>. Η εγκατεστημένη ισχύς που προτείνεται για χώρο γραφείων σύμφωνα ASHRAE 90.1-2007 είναι 11.9 W/m<sup>2</sup>.

Όπως έχει αναφερθεί, η αποδοτικότητα του φωτιστικού (lm/W) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύγκριση όμοιων τύπων φωτιστικών, αλλά δεν καθορίζει από μόνη της το πλέον αποδοτικό ενεργειακά σχεδιασμό. Η επίτευξη συγκεκριμένων επιπέδων φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας κάποιου χώρου δεν εξαρτάται μόνο από την αποδοτικότητα/τύπο του φωτιστικού αλλά και από

την γεωμετρία του χώρου και τις ανακλαστικότητες των επιφανειών του. Δηλ. καθορίζεται από το ποσοστό της φωτεινής ροής του φωτιστικού που «χρησιμοποιείται» στην επιφάνεια εργασίας.

Η πυκνότητα ισχύος ανα 100 lux (NPD, W/m<sup>2</sup>/100 lux) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός συστήματος φωτισμού σε κάποιο χώρο.



### 3.4.3 ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ-ΛΑΜΠΙΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΥΠΕΡΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΩΝ(80)

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο χώρος των καταστημάτων είναι ίσως ο πιο γρήγορα μεταβαλλόμενος και απαιτητικός χώρος από άποψη σχεδιασμού φωτισμού από κάθε άλλο δημόσιο χώρο. Ο φωτισμός έχει έναν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο αφού καλείται όχι μόνο να προσφέρει αξιόπιστες λύσεις σε πρακτικά θέματα όπως η κυκλοφορία και ο προσανατολισμός των πελατών στο χώρο, η ασφάλεια και η ορθολογική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και να συμβάλλει στην αύξηση των πωλήσεων μέσω της αποτελεσματικής προβολής των εμπορευμάτων. Επιπλέον στόχοι είναι η δημιουργία της κατάλληλης ατμόσφαιρας, η πιστή απόδοση των πραγματικών χρωμάτων των εμπορευμάτων καθώς και η ανάδειξη της φόρμας και της υφής τους.



Με τον κατάλληλο σχεδιασμό, ο φωτισμός της πρόσοψης, της βιτρίνας και του εσωτερικού χώρου συνδέονται αρμονικά δημιουργώντας μια συνολικά ελκυστική εικόνα για το κατάστημα. (Πηγή: Lighting Equipment News, Πελάτης: Cartier)

Σε κάθε περίπτωση ο φωτισμός θα πρέπει να λειτουργεί αρμονικά με την αρχιτεκτονική και τη διακόσμηση και η εγκατάσταση θα πρέπει να συντηρείται εύκολα και να προσφέρει ευελιξία σε μελλοντικές αλλαγές στη διάταξη του χώρου. Παράλληλα, το οπτικό αποτέλεσμα του φωτισμού είναι εξίσου σημαντικό με τα μέσα που το υποστηρίζουν (φωτιστικά, φωτεινές πηγές, οπτικά εξαρτήματα κτ) και ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να εκφράζει και να αναδεικνύει το συγκεκριμένο εμπορικό προφίλ της κάθε επιχείρησης μέσα σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο.



Ειδικά φανώματα στην οροφή χρησιμοποιούνται για να ‘κρύψουν’ όσο το δυνατόν περισσότερο τα φωτιστικά τύπου σποτ που χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική προβολή των εμπορευμάτων. (Πηγή: Lighting Equipment News, Αρχιτέκτων: Stanton Williams, Πελάτης: Issey Miyake)



## ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Ενώ στις δεκαετίες του 1980–1990 ο φωτισμός σχεδιαζόταν με βασική επιδίωξη τη σωστή προβολή των εμπορευμάτων, σήμερα οι απαιτήσεις είναι σαφώς πιο σύνθετες. Ο χώρος του καταστήματος ως ένα καλά στημένο σκηνικό θα πρέπει να ανταποκρίνεται και εάν είναι δυνατόν να υπερβαίνει τις προσδοκίες των πελατών. Οι νέες λέξεις-κλειδιά σε κάθε σχεδιασμό είναι: ψυχαγωγία, ενθουσιασμός, εντυπωσιασμός και απόλαυση. Ο πελάτης μεταφέρεται πλέον στο κέντρο της ενδιαφέροντος, όπως ο ηθοποιός στη σκηνή ενός θεάτρου, κάτι που δημιουργεί νέες απαιτήσεις στο σχεδιασμό του χώρου. Το νέο ζητούμενο είναι η δημιουργία χώρων που διευκολύνουν την επικοινωνία μιας άμεσα αναγνωρίσιμης και αυθεντικής εμπορικής εικόνας.

Υπό αυτή την άποψη, οι λύσεις φωτισμού θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένες στις νέες ειδικές απαιτήσεις, να είναι ολοένα και πιο δυναμικές και να καθορίζουν με σαφήνεια την ταυτότητα των νέων χώρων.

## ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΒΙΤΡΙΝΩΝ

Ο φωτισμός των βιτρινών κρίνεται πάντοτε από την επιτυχία του να προσελκύσει το ενδιαφέρον των περαστικών και να τους παροτρύνει να ανακαλύψουν το εσωτερικό του καταστήματος. Σκοπός του φωτισμού δεν είναι μόνο η προβολή των εμπορευμάτων αλλά και η επικοινωνία της εμπορικής πρότασης του καταστήματος. Οι βιτρίνες προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες για τη χρησιμοποίηση ειδικών εφε φωτισμού με χρήση χρώματος, προβολών και άλλων λεγόμενων ‘θεατρικών’ τεχνικών φωτισμού για τη δημιουργία επιπλέον ενδιαφέροντος. Υπάρχουν μια σειρά από θέματα που κάθε μελέτη φωτισμού βιτρινών θα πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπόψη. Το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας υπάρχει ένα ιδιαίτερα υψηλό επίπεδο φυσικού φωτισμού, δημιουργεί προβλήματα ως προς τη φωτεινή ένταση των πηγών του τεχνητού φωτισμού έτσι ώστε να επιτευχθεί ένα ισορροπημένο αποτέλεσμα. Οι λαμπτήρες μεταλλικών ατμών με αλογονίδια προσφέρουν την απαραίτητη ένταση, ειδικά οι νέοι τύποι με τους κεραμικούς καυστήρες (HCl/CDM) και διαθέτουν σταθερότερη χρωματική απόδοση καθ’ όλη τη διάρκεια ζωής τους, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και πολύ υψηλό δείκτη χρωματικής απόδοσης.



Ο φωτισμός ακολουθεί το καμπυλοειδές σχήμα των γυάλινων επιφανειών σε οροφή και πάτωμα και διαχέεται αρμονικά στο χώρο εξασφαλίζοντας ικανοποιητικά επίπεδα γενικού φωτισμού. Επιπλέον φωτισμός ανάδειξης χρησιμοποιείται σε ειδικά διαμορφωμένο στην οροφή φάτνωμα που ακολουθεί το ίδιο καμπυλοειδές σχήμα. (Πηγή: Incontroluce, iGuzzini, Αρχιτέκτων: M.&D.Fuksas, Πελάτης: Emporio Armani)



Ο φωτισμός ακολουθεί την minimal διακόσμηση του χώρου υπογραμμίζοντας την ανάγκη να είναι ορατά τα αποτελέσματα του φωτισμού και όχι οι φωτεινές πηγές. (Πηγή: Incontroluce, iGuzzini, Αρχιτέκτων: M.&D.Fuksas, Πελάτης: Emporio Armani)

Ένα επιπλέον θέμα σχετίζεται με το καθορισμό της ακριβούς θέσης και διάταξης των φωτιστικών τύπου spotlights καθώς και του εύρους των φωτεινών δεσμών τους και τις κατάλληλες γωνίες πρόσπτωσης του φωτισμού στα εμπορεύματα που εκτίθενται στη βιτρίνα. Στην περίπτωση που το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι ο διάχυτος φωτισμός των εκθεμάτων, φωτιστικά με ευρείες δέσμες φωτός (38ο – 60ο) προσφέρουν μέγιστη οπτική πληροφορία για τα προϊόντα αλλά δεν προσθέτουν ενδιαφέρον στη σκηνή. Αντιθέτως η χρήση στενών δεσμών και οι μη-συμβατικές γωνίες πρόσπτωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το φωτισμό ενός μόνο τμήματος του εμπορεύματος (το κεφάλι και το επάνω τμήμα μιας κούκλας για παράδειγμα) και να δημιουργήσουν ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον αποτέλεσμα αλλά πάντοτε εις βάρος της οπτικής πληροφορίας. Η τελική επιλογή έγκειται πάντοτε στο μελετητή φωτισμού και το αποτέλεσμα – ατμόσφαιρα που επιδιώκει να πετύχει.

Η φυσική θέση και ο τρόπος στήριξης των φωτιστικών είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικά αφού επιθυμητό είναι πάντοτε να είναι ορατά τα αποτελέσματα του φωτισμού και όχι οι φωτεινές πηγές. Έτσι μπορούν να κρυφτούν είτε σε ειδικά διαμορφωμένα φατνώματα στα πλαϊνά ή στην οροφή, πίσω από το πλαίσιο του παραθύρου ή να έχουν χρώμα αντίστοιχο με το χρώμα του φόντου. Η τοποθέτηση στις βιτρίνες σειρών από φωτιστικά τύπου spot μπορεί να προκαλέσει θάμβωση στους περαστικούς και να αποσπάσει την προσοχή τους από τα εμπορεύματα.

Υπό ιδανικές συνθήκες όλες οι βιτρίνες καταστημάτων θα πρέπει να έχουν τουλάχιστον δυο κυκλώματα φωτισμού, ένα για την ημέρα και ένα για τη νύκτα.



Πολύ προσεκτικά φωτισμένη εγκατάσταση τέχνης από τον Pae White στο showroom της εταιρίας Tet et Bantine στο Μιλάνο προσθέτει ένα επιπλέον εντυπωσιακό διακοσμητικό στοιχείο στο χώρο. (Πηγή: Domus magazine, n.858, Απρίλιος 2003)

Περισσότερο φως απαιτείται όπως είναι αυτονόητο κατά τη διάρκεια της ημέρας για να εξισορροπηθούν τα υψηλά επίπεδα του φυσικού φωτισμού, αλλιώς θα υπάρχουν ατελείωτες αντανακλάσεις στις γυάλινες επιφάνειες που θα περιορίσουν τη θεά στο εσωτερικό του καταστήματος. Τα επίπεδα φωτισμού που απαιτούνται κατά τις νυκτερινές ώρες είναι σαφώς χαμηλότερα. Ένα εξελιγμένο σύστημα έλεγχου του φωτισμού προσφέρει μια αξιόπιστη λύση στο θέμα αυτό αλλά επιτρέπει και τη δημιουργία των λεγόμενων ‘σκηνών’ φωτισμού, τη δυνατότητα δηλαδή εναλλαγής των τρόπων που ο χώρος της βιτρίνας και τα εμπορεύματα φωτίζονται όσον αφορά τις εντάσεις, τις γωνίες πρόσπτωσης, το χρώμα, δημιουργώντας έτσι εξαιρετικό ενδιαφέρον στη συνολική εικόνα του χώρου.

## ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Το σύστημα φωτισμού σε ένα κατάστημα μπορεί σε γενικές γραμμές να χωριστεί σε τέσσερα ξεχωριστά υπό-συστήματα: το γενικό φωτισμό (ambient lighting), το φωτισμό ανάδειξης (accent lighting), τον αρχιτεκτονικό φωτισμό και το φωτισμό δημιουργίας ειδικών ή ‘θεατρικών’ εφέ. Ο μελετητής φωτισμού είναι υπεύθυνος και η δουλειά του αξιολογείται, ως προς την επίτευξη της ισορροπίας μεταξύ των επιμέρους αυτών στοιχείων, η οποία και θα δημιουργήσει το κατάλληλο αποτέλεσμα και ατμόσφαιρα.



Ο φωτισμός των προθηκών με κοσμήματα απαιτεί πάντοτε ιδιαίτερη μελέτη με σκοπό την αποτελεσματική ανάδειξη των εκθεμάτων και την αποφυγή πρόκλησης θάμβωσης στους πελάτες. (Πηγή: Domus magazine, n.858, Απρίλιος 2003)

## ΓΕΝΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Ο γενικός φωτισμός επιτυγχάνεται τις περισσότερες φορές από μια σειρά συμμετρικά τοποθετημένων στην οροφή φωτιστικών που εξασφαλίζουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο διάχυτου και ομοιόμορφου φωτισμού στο σύνολο του χώρου. Στόχος είναι η εξασφάλιση ικανοποιητικών συνθηκών φωτισμού για την ασφαλή και άνετη κίνηση των πελατών στο χώρο, καθώς και σωστή χρωματική απόδοση. Κατά το παρελθόν επικράτησε λανθασμένα η άποψη ότι όσο πιο υψηλά είναι τα επίπεδα του γενικού φωτισμού σε ένα κατάστημα, τόσο πιο έντονα θα φαίνεται το εμπόρευμα και επομένως αυτό θα έχει θετικό αντίκτυπο στις πωλήσεις.



Η πλήρης ενσωμάτωση του φωτισμού στα δομικά στοιχεία του χώρου στο κατάστημα του Alexander McQueen στη Ν. Υόρκη, ενισχύει τη διακόσμηση του χώρου δημιουργώντας μια απλή και διακριτική ατμόσφαιρα χωρίς οπτικές εντάσεις. (Πηγή: Domus magazine, n.858, Απρίλιος 2003)

Είναι αλήθεια ότι ο διάχυτος γενικός φωτισμός από συμμετρικά τοποθετημένα φωτιστικά με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού σε καναβο 1μ. X 1μ. αποτελεί την πλέον διαδεδομένη λύση φωτισμού στην πλειοψηφία των καταστημάτων στη χώρα μας. Στα θετικά αυτής της προσέγγισης είναι ότι εξασφαλίζει υψηλά επίπεδα φωτισμού (έως και 1000 lux στην οριζόντια επιφάνεια εργασίας ή στο δάπεδο), ικανοποιητική χρωματική απόδοση και κυρίως χρησιμοποιεί ικανοποιητικά την ηλεκτρική ενέργεια (σχέση κατανάλωσης / φωτεινής απόδοσης). Στα αρνητικά της προσέγγισης αυτής είναι ότι δεν είναι πλέον αποδεκτό να υπάρχει μια οροφή γεμάτη φωτιστικά και ότι ο διάχυτος φωτισμός από μόνος του δεν καταφέρνει να δημιουργήσει ατμόσφαιρα στο χώρο.

Επιπλέον, το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος του φωτισμού κατευθύνεται προς τα εκεί όπου δεν απαιτείται, δηλαδή στα υπό παρουσίαση εμπορεύματα, έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση του λειτουργικού κόστους του καταστήματος.

Ένα σημαντικό στοιχείο γενικού φωτισμού σε πολλά καταστήματα είναι η εφαρμογή της τεχνικής του wall-washing, του ομοιόμορφου δηλαδή φωτισμού των κάθετων επιφανειών είτε από πάνω προς τα κάτω με ειδικά φωτιστικά κυκλικής ή γραμμικής μορφής με ασύμμετρους ανακλαστήρες, είτε από κάτω

προς τα πάνω με γραμμικά φωτιστικά τοποθετημένα σε φατνώματα, ως μια προσπάθεια να ορισθεί η περίμετρος του χώρου. Όπου η χρήση αμέτρητων φωτιστικών τύπου downlight δεν είναι επιθυμητή υπάρχει η επιλογή να φωτιστεί η οροφή του καταστήματος ειδικά όταν έχει το ανάλογο ύψος και δεν περιέχει ‘αντισταθμικά’ στόμια κλιματιστικών κλπ. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με απλές τοίχους είτε με κρεμαστά γραμμικά φωτιστικά με άνω / κάτω κατανομή φωτισμού, είτε με έμμεσο φωτισμό σε φατνώματα.



Ο χώρος της βιτρίνας από άποψη σχεδιασμού του φωτισμού έχει πολλές ομοιότητες με το φωτισμό της σκηνής ενός θεάτρου από άποψη της ποικιλίας των δημιουργικών ιδεών που απαιτείται να εφαρμοστούν. (Πηγή: 08 Bright)

Σήμερα, ο γενικός φωτισμός χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο μόνο ως ένα βασικό επίπεδο κυρίως για την ασφαλή κίνηση και προσανατολισμό των πελατών στο χώρο και πάντοτε σε συνδυασμό με αλλά συστήματα φωτισμού. Η σύγχρονη τάση είναι να χρησιμοποιείται δυναμικά το φυσικό φως ως μέρος της συνολικής εγκατάστασης φωτισμού. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα από τη χρήση του φυσικού φωτισμού είναι τα ψυχολογικά πλεονεκτήματα που προσφέρει στους πελάτες, που όλο και περισσότερο αισθάνονται δυσφορία να βρίσκονται σε χώρους μόνο με τεχνητό φωτισμό και χωρίς καμία επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον.

## ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΑΝΑΔΕΙΞΗΣ

Πολύ περισσότερο από το παρελθόν, ο γενικός φωτισμός χρησιμοποιείται ως συμπλήρωμα του φωτισμού ανάδειξης. Η λειτουργία του φωτισμού ανάδειξης, ο οποίος χρησιμοποιεί φωτιστικά τύπου spotlights με επιλογή από στενή έως ευρεία δέσμες φωτός, είναι να κάνει τα αντικείμενα να ξεχωρίσουν από το περιβάλλον τους. Με το τρόπο αυτό δίνει έμφαση στη φόρμα, τη δομή, στην υφή και το χρώμα τους. Δημιουργεί την απαραίτητη λάμψη και ακτινοβολία για να ενδυναμώσει τη σχέση μεταξύ του πελάτη και του προβαλλομένου εμπορεύματος. Δημιουργεί τη φινέτσα εκείνη που κάνει μια παρουσίαση ελκυστική. Στις μέρες μας ο φωτισμός αυτός χρησιμοποιείται ακόμα και σε χώρους μαζικών αγορών όπως οι υπεραγορές ή τεχνικών αγορών όπως τα καταστήματα do-it-yourself ειδικά με λαμπτήρες υψηλής φωτεινής έντασης μεταλλικών ατμών με αλογονίδια γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής.

## ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Στις μέρες μας πολύ περισσότερο από το παρελθόν, οι σχεδιαστές των καταστημάτων επιλέγουν να αναδείξουν συγκεκριμένα αρχιτεκτονικά στοιχεία ή λεπτομέρειες του χώρου με σκοπό τη δημιουργία της επιθυμητής ατμόσφαιρας. Μια κατάλληλα φωτισμένη οροφή για παράδειγμα μπορεί να κάνει ένα χώρο να δείχνει ψηλότερος, ενώ ο φωτισμός των κάθετων επιφανειών (τοιχών) μπορεί να κάνει το μέρος να δείχνει μεγαλύτερο.





## ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΕΦΕ

Ο φωτισμός δημιουργίας ειδικών εφε σε αντίθεση με το φωτισμό ανάδειξης χρησιμοποιείται όπου επιθυμείται μεγαλύτερη προσέλκυση του ενδιαφέροντος των πελατών χωρίς να φωτίζονται όμως άμεσα τα εμπορεύματα. Στο παρελθόν η τεχνική αυτή χρησιμοποιούνταν μόνο από ειδικά καταστήματα, αλλά σήμερα χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σε μια προσπάθεια αύξησης της κυκλοφορίας των πελατών. Η χρησιμοποίηση gobos για την προβολή εικόνων, λογότυπων, παραστάσεων, διαφημιστικών σε μια κατακόρυφη επιφάνεια, η χρήση συστημάτων φωτισμού με οπτικές ίνες και εναλλαγές χρωμάτων αποτελούν επιμέρους τεχνικές για τη δημιουργία ελκυστικών εφε φωτισμού.



## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Ο έλεγχος του φωτισμού θα έχει ένα πολύ πιο κυρίαρχο ρόλο στη δημιουργία τόσο των κατάλληλων επιπέδων φωτισμού όσο και της ατμόσφαιρας στο μέλλον. Σε γενικές γραμμές υπάρχουν τέσσερις παράμετροι φωτισμού οι οποίοι μπορούν να ελέγχουν: τα επίπεδα φωτισμού, το χρώμα του φωτός, η κατεύθυνση της δέσμης και το άνοιγμα της εάν και τα δυο τελευταία μόλις και άρχισαν να εφαρμόζονται με επιτυχία στο χώρο των καταστημάτων. Ο έλεγχος του φωτισμού προσφέρει λύσεις σε τέσσερις πολύ σημαντικές απαιτήσεις των ιδιοκτητών των χώρων και πιο συγκεκριμένα στη:

- Δημιουργία ευελιξίας: Αναφέρεται στη δυνατότητα προσαρμογής του φωτισμού σε αλλαγές στη διάταξη του χώρου μέσω της αύξησης των επιπέδων φωτισμού σε μια συγκεκριμένη περιοχή για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, χωρίς να αλλάξει η εγκατάσταση φωτισμού.

- Δημιουργία διαφορετικών συνθηκών εργασίας: Αναφέρεται στην επιλογή των κατάλληλων επιπέδων φωτισμού ανά περιοχή του καταστήματος και συγκεκριμένες ανάγκες της κάθε περιοχής (πωλήσεις, γύρω χώροι, βιτρίνες, εξωτερικοί χώροι και πρόσωση).
- Δημιουργία δυναμικών εφε φωτισμού: Η εφαρμογή δυναμικών φωτισμών προσθέτει μια νέα διάσταση, αυτή της κίνησης με στόχο να προσελκύσουν την προσοχή των πελατών και να προσθέσουν ενδιαφέρον.
- Εξοικονόμηση ενέργειας Η ύπαρξη ενός κεντρικού συστήματος ελέγχου του φωτισμού σε συνδυασμό με την επιλογή των πιο αποδοτικών λαμπτήρων προσφέρει επιπλέον δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας. Η σύνδεση φυσικού-τεχνητού φωτισμού και η ενεργοποίηση του φωτισμού μέσω ανιχνευτών κίνησης μπορούν να μεγιστοποιήσουν τα οφέλη.



Βασική επιδίωξη είναι να είναι πάντα ορατά τα αποτελέσματα του φωτισμού και όχι οι πηγές φωτισμού και τα μέσα που υποστηρίζουν την εγκατάσταση (φωτιστικά, φωτεινές πηγές, οπτικά εξαρτήματα κα) και ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί να εκφράζει και να αναδεικνύει το συγκεκριμένο εμπορικό προφίλ της κάθε επιχείρησης μέσα σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο. (Πηγή: Bright)

## ΧΡΩΜΑ

Η σωστή απόδοση και αντίληψη του χρώματος είναι κεντρικό θέμα στο φωτισμό καταστημάτων. Οι άνθρωποι κυρίως αγοράζουν με τα μάτια τους, έτσι το χρώμα (και σε μικρότερο βαθμό η υφή) των υφασμάτων και των φαγητών για παράδειγμα είναι σημαντικό μέρος της έλξης που το προϊόν ασκεί στους πελάτες. Συνεπώς η σωστή απόδοση των χρωμάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ουσιαστική προβολή τους, κάτι που περιορίζει τις επιλογές του μελετητή όσον αφορά τις πηγές φωτισμού στους λαμπτήρες αλογόνου χαμηλής τάσης ή τάσης δικτύου, λαμπτήρες μεταλλικών ατμών με κεραμικούς καυστήρες και τους συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού. Παρολαυτα, ενώ οι λαμπτήρες μεταλλικών ατμών με αλογονίδια είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για το φωτισμό καταστημάτων, το φάσμα τους βρίσκεται στην περιοχή του μπλε-πρασίνου και έτσι τείνει να μειώσει το οπτική επίδραση στα ζεστά χρώματα όπως το κόκκινο, κίτρινο και πορτοκαλί.

Σε καταστήματα ενδυμάτων η μίξη λαμπτήρων μεταλλικών ατμών με αλογόνου αποτελεί καλή λύση για την αποφυγή χρωματικών αποκλίσεων. Ενώ οι λαμπτήρες αλογόνου προσφέρουν λαμπρό λευκό φως, άριστη χρωματική απόδοση και δυνατότητα φωτορυθμίσσης, καταναλώνουν ενέργεια και η σχετική χαμηλή φωτεινή τους ένταση, κάνει δύσκολη τη χρησιμοποίησή τους σε εφαρμογές όπου χρειάζεται έντονος φωτισμός ανάδειξης από μεγάλη απόσταση. Αν και το κορεσμένο χρώμα (χρησιμοποιώντας κοινά χρωματιστά φίλτρα, χρωματιστούς λαμπτήρες μεταλλικών ατμών ή διχρωικά χρωματιστά φίλτρα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ένα θεατρικό τρόπο για τη δημιουργία επιπλέον ενδιαφέροντος, θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο έμμεσα σε τοίχους ή στο πάτωμα και όχι άμεσα για το φωτισμό των εμπορευμάτων. Στους Πίνακες 1 και 2 παρουσιάζονται οι πλέον ενδεδειγμένοι τύποι λαμπτήρων για το φωτισμό καταστημάτων καθώς και τα χαρακτηριστικά του φάσματος του φωτός που εκπέμπουν ως προς τη σωστή απόδοση των χρωμάτων.

Στις μέρες μας υπάρχει μια διαρκώς αυξανόμενη γνώση και ευαισθησία των ιδιοκτητών καταστημάτων για τη σημασία της χρησιμοποίησης του φωτισμού ως κυρίου εργαλείου για την προσέλκυση υποψηφίων πελατών και για την αύξηση των πωλήσεων. Μαζί με τους αρχιτέκτονες, τους διακοσμητές και τους μελετητές φωτισμού επιζητούν τη δημιουργία της ατμόσφαιρας που θα προσελκύσει τη συγκεκριμένη ομάδα καταναλωτών στην οποία η επιχείρηση απευθύνεται.



Ο κατάλληλος φωτισμός υπό συγκεκριμένες γωνίες πρόσπτωσης αποκαλύπτει όλη τη λάμψη και την ομορφιά των κοσμημάτων σε μια προθήκη καταστήματος. (Πηγή: Zumtobel Staff)

Στο μέλλον, το ενδιαφέρον θα επικεντρωθεί στη δημιουργία των συνθηκών εκείνων που εξασφαλίζουν την άνεση, ευχάριστη διάθεση και επικοινωνία των πελατών και που υποστηρίζουν ενεργητικά τους βιορυθμούς

#### 3.4.4 ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ-ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΥΠΕΡΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΕΚΘΕΣΕΩΝ, ΜΟΥΣΕΙΩΝ ΚΑΙ ΓΚΑΛΕΡΙ (79,80)

Ο φωτισμός των μουσείων και των γκαλερί τέχνης - προστατεύοντας και φωτίζοντας:

Η προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία είναι υποχρεωτική σε μουσεία τέχνης και γκαλερί. Ο φωτισμός με βάση τα LED πληροί αυτά τα κριτήρια, επίσης παρέχει απεριόριστες επιλογές σε χρωματικούς τόνους και σε ένταση με εξαιρετική χρωματική απόδοση, παρουσιάζοντας έτσι την τέχνη ακριβώς με το σωστό φως. Επιπλέον, οι λύσεις LED εξασφαλίζουν υψηλή σταθερότητα χρώματος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής. Τα μουσεία τέχνης και οι γκαλερί λειτουργούν συνήθως την ημέρα συνδυάζοντας το φυσικό φωτισμό της ημέρας με τον τεχνητό φωτισμό

Ο σχεδιασμός φωτισμού προσανατολισμένος σε συγκεκριμένους χώρους ή αντικείμενα τέχνης μπορεί να εφαρμοστεί ποικιλοτρόπως με φωτισμό εξοικονόμησης

ενέργειας, τεχνολογίας LED – με εύρος από φωτισμό οροφής και κρυφό φωτισμό μέχρι συστήματα φωτισμού με σποτ ράγας.

### **Αντιμετώπιση της φωτορύπανσης (81)**

Η φωτορύπανση είναι ένα πρόβλημα για το οποίο ευθυνόμαστε όλοι και για το οποίο μπορούμε να βοηθήσουμε όλοι.

Ο βασικότερος τρόπος με τον οποίο μπορεί να βοηθήσει κάθε πολίτης είναι ο σωστός φωτισμός των ιδιωτικών εξωτερικών χώρων του. Αυτό είναι κάτι που όλοι οι ευαισθητοποιημένοι πολίτες μπορούν να το εφαρμόσουν άμεσα με την κατάλληλη επιλογή φωτιστικών σωμάτων και λαμπτήρων.

Ωστόσο, είναι απίθανο κάτι τέτοιο να γίνει μόνο με την ευαισθησία των πολιτών ενώ ούτως ή άλλως η πλειοψηφία του εξωτερικού φωτισμού χρησιμοποιείται για το φωτισμό δημόσιων χώρων και εγκαταστάσεων. Γι'αυτό είναι απαραίτητη και η θέσπιση κατάλληλης νομοθεσίας η οποία να καθορίζει τις προδιαγραφές τις οποίες πρέπει να τηρεί ο εξωτερικός φωτισμός τόσο για τους δημόσιους όσο και για τους ιδιωτικούς χώρους.

### **Νομοθεσία και κανονισμοί**

Δεν υπάρχουν ελληνικοί κανονισμοί που να προδιαγράφουν, με ένα συστηματικό τρόπο, τις απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν οι εγκαταστάσεις εξωτερικού φωτισμού. Επομένως, ο μελετητής των εγκαταστάσεων φωτισμού είναι αναγκασμένος ν' ανατρέξει σε διεθνείς κανονισμούς και οδηγίες Στην ελληνική νομοθεσία υπάρχουν διάσπαρτες ρυθμίσεις που περιορίζονται, κυρίως, στον έλεγχο της θάμβωσης.

Σύμφωνα με τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (Κ.Ο.Κ.) απαγορεύεται η τοποθέτηση οποιασδήποτε πινακίδας ή συσκευής η οποία μπορεί να προκαλέσει θάμβωση στους χρήστες των αυτοκινητοδρόμων (Άρθρα 10 και 11 του Κ.Ο.Κ.). Δυστυχώς, όμως, στον Κ.Ο.Κ. δεν υπάρχει ορισμός της θάμβωσης και δεν τίθεται κανένας ποσοτικός περιορισμός όσον αφορά τα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά των πινακίδων και των παρόδιων φωτιστικών γενικότερα. Στην εγκύκλιο του ΥΠΕΧΩΔΕ Δ13/0/281/22/2-3-1990, που αφορά τις απαιτήσεις του φωτισμού κυκλοφοριακών συνδέσεων στο οδικό δίκτυο, υπάρχει η μοναδική ποσοτική προδιαγραφή, σε ολόκληρη την ελληνική τεχνική νομοθεσία, όσον αφορά στη θάμβωση .

Η ίδια η λέξη «φωτορύπανση» απαντάται για πρώτη φορά σε ελληνικό νομοτεχνικό κείμενο στο προεδρικό διάταγμα του 1999 που αφορά την προστασία του Εθνικού Θαλάσσιου Πάρκου Ζακύνθου. Στο διάταγμα αυτό αναφέρεται ότι στο Θαλάσσιο Πάρκο Ζακύνθου «.. επιβάλλεται η λήψη μέτρων για τον περιορισμό... της φωτορύπανσης». Μόνο που ούτε η φωτορύπανση ορίζεται, ούτε τα κατάλληλα μέτρα προσδιορίζονται.

Το παράδοξο είναι ότι η ίδια απουσία εμφανίζεται και στα κείμενα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Δεν υπάρχει καμιά αναφορά σε κανονισμούς και οδηγίες. Η μόνη αναφορά

σε επίσημο κείμενο της Ε.Ε. είναι η γραπτή ερώτηση ενός ευρωβουλευτή . Με την ερώτηση, που απευθυνόταν στην Επιτροπή, ο ευρωβουλευτής ζητούσε να μάθει τι μέτρα λαμβάνει η Ε.Ε. για την καταπολέμηση της φωτορύπανσης .Η Επιτροπή , στην απάντηση της θεωρεί τη φωτορύπανση «ελαφρά ρύπανση» και ότι «στο βαθμό που η ελαφρά ρύπανση αποτελεί πρόβλημα» οι λύσεις πρέπει να λαμβάνουν υπόψη και άλλους παράγοντες , όπως είναι η ασφάλεια, η εξοικονόμηση ενέργειας κλπ.

## Έλεγχος της φωτορύπανσης και ο εξωτερικός φωτισμός

### Εξωτερικός φωτισμός

Ο εξωτερικός φωτισμός προσδιορίζει και χαρακτηρίζει το νυκτερινό περιβάλλον όσον αφορά την ασφάλεια, την αισθητική, τη θέαση του φυσικού περιβάλλοντος και του νυκτερινού ουρανού.

Επιπρόσθετα, όμως, πρέπει :

Να ελαχιστοποιεί τη φωτορύπανση, τη θάμβωση και, γενικότερα, τη φωτεινή όχληση.

-Να εξοικονομεί ενέργεια, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τις ανάγκες νυκτερινής ασφάλειας, πρακτικότητας, χρησιμότητας και πολιτισμικών ή εθιμικών συνηθειών.

-Να αποτρέπει την υποβάθμιση του αστικού νυκτερινού περιβάλλοντος.

Οι προηγούμενες απαιτήσεις είναι, αρκετές φορές, αντικρουόμενες και δεν είναι εύκολο να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα. Επιπρόσθετα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συνήθειες και οι ιδιαιτερότητες κάθε τόπου.

### Πλεονεκτήματα από την εφαρμογή κανονισμού εγκατάστασης εξωτερικού φωτισμού

Από τα προηγούμενα προκύπτει η ανάγκη σύνταξης στη χώρα μας ενός κανονισμού για τις εγκαταστάσεις εξωτερικού φωτισμού. Τα πλεονεκτήματα από την ύπαρξη ενός τέτοιου κανονισμού θα είναι :

1. Ασφαλές, φιλικό και φυσικό περιβάλλον.
2. Κατάλληλα φωτισμένοι δρόμοι χωρίς ενοχλητικό φωτισμό.
3. Αρμονική συνύπαρξη εμπορικών περιοχών και περιοχών κατοικίας.

4. Αποτελεσματικός και αποδοτικός εμπορικός φωτισμός με αποφυγή του ενεργοβόρου και ενοχλητικού ανταγωνισμού του τύπου «το φωτεινότερο είναι το καλύτερο».
5. Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

#### Ζώνες προσδιορισμού μέγιστου φωτισμού

Στα πλαίσια αυτά η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού υποδεικνύει τη χρήση τεσσάρων ζωνών που προσδιορίζουν την ευαισθησία στο οχληρό φως . Το σύστημα αυτό προτείνει τη χρήση 4 επιπέδων, E1 μέχρι E4. Κάθε κανονισμός εξωτερικού φωτισμού θα πρέπει να προσδιορίζει τα μέγιστα επίπεδα φωτισμού. Τα επίπεδα φωτισμού, αλλά και τα ειδικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών και των φωτεινών πηγών, καθορίζονται αφού ληφθούν υπόψη οι διαφορετικές συνήθειες κάθε περιοχής, οι διαφορετικές χρήσεις, η διαφορετική κοινωνική αποδοχή κλπ.

Οι ζώνες αυτές είναι:

- **Ø Ζώνη E1** :Περιοχή με ουσιαστικά σκοτεινές περιοχές. Τέτοιες περιοχές είναι οι εθνικοί δρυμοί, περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλους, περιοχές που περιλαμβάνουν αστρονομικά παρατηρητήρια ή κατοικημένες περιοχές στις οποίες οι κάτοικοι έχουν εκφράσει την ισχυρή επιθυμία για εξαιρετικά περιορισμένη φωτεινή όχληση.
- **Ø Ζώνη E2** :Περιοχές χαμηλής περιβαλλοντικής λαμπρότητας. Αυτές είναι συνήθως αγροτικές και περαστικές περιοχές.
- **Ø Ζώνη E3** : Περιοχές με μέσα επίπεδα περιβαλλοντικού φωτισμού. Αυτές είναι γενικά αστικές περιοχές.
- **Ζώνη E4** :Περιοχές με υψηλά επίπεδα περιβαλλοντικού φωτισμού. Περιλαμβάνουν τις αστικές περιοχές με εμπορικές χρήσεις και έντονες νυκτερινές δραστηριότητες.

Οι προτεινόμενες τώρα ποσότητες χαμένου φωτισμού για κάθε ζώνη είναι οι παρακάτω:.

Αυτά τα υψηλότερα ποσοστά χαμένου φωτισμού βασίζονται στα ποσοστά του παραγόμενου φωτισμού από τα υπάρχοντα εγκατεστημένα φωτιστικά στους εξωτερικούς χώρους. Αν για παράδειγμα ένα εγκατεστημένο φωτιστικό σώμα παράγει 1000 μονάδες, το χαμένο φως δεν πρέπει να είναι παραπάνω από 250 μονάδες.

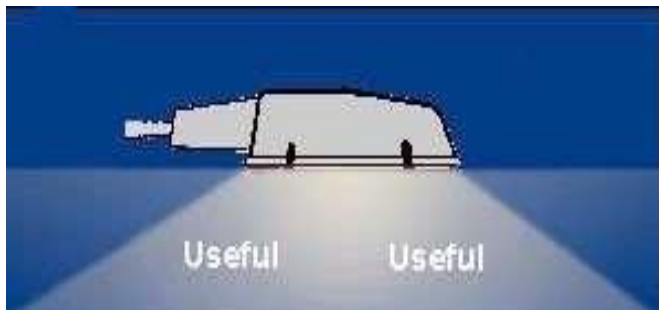


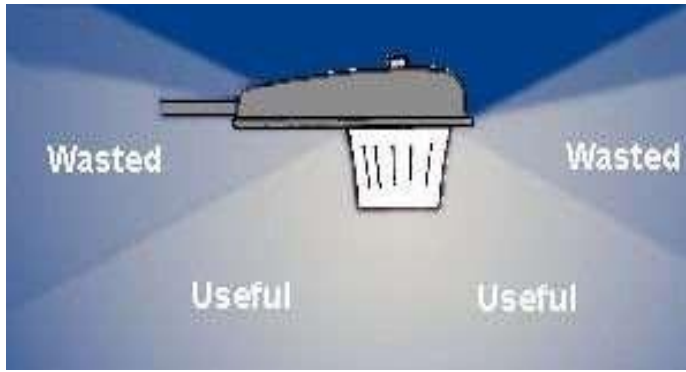
## Αρχές τοποθέτησης εξωτερικού φωτισμού

Μέχρι, όμως, να υπάρξει στη χώρα μας ένα ενιαίο κανονιστικό πλαίσιο για τον εξωτερικό φωτισμό, καλό είναι ο μελετητής της εγκατάστασης να εφαρμόζει ορισμένες απλές αρχές όπως :

- Να χρησιμοποιείται ο αναγκαίος φωτισμός για τη συγκεκριμένη δραστηριότητα, χωρίς υπερφωτισμούς.
- Να χρησιμοποιούνται, κατά κύριο λόγο, καλής ποιότητας φωτιστικά στα οποία είναι δυνατός ο έλεγχος της φωτεινής ροής. Φως που κατευθύνεται πάνω από τον ορίζοντα είναι άχρηστο, αποτελεί την κύρια πηγή φωτορύπανσης και, επιπλέον, είναι ενεργειακή σπατάλη. Γενικότερα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται φωτιστικά με εντελώς περιορισμένη δέσμη (full cutoff), που κατευθύνουν το φως εκεί που χρειάζεται, δηλαδή προς τα κάτω, έναντι των αντίστοιχων χωρίς κανένα έλεγχο της φωτεινής ροής.

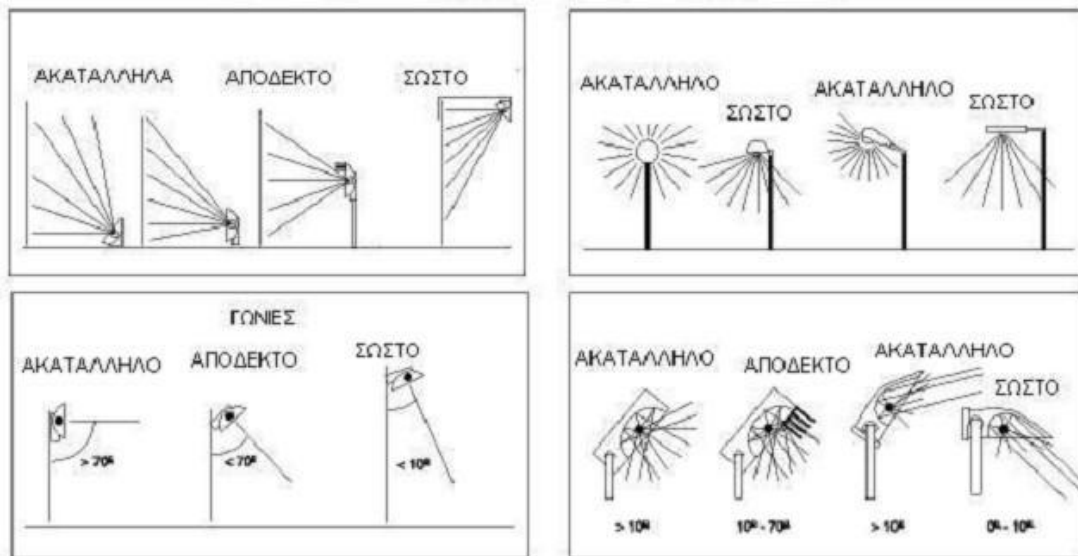






Παραδείγματα φωτιστικών τύπου full cutoff που κατευθύνουν το φως προς τα κάτω και ελαχιστοποιούν τη φωτορύπανση (αριστερή φωτογραφία) καθώς και φωτιστικών χωρίς κανένα έλεγχο της φωτεινής ροής τα οποία εντείνουν το πρόβλημα της φωτορύπανσης(δεξιά φωτογραφία)

Η τοποθέτηση των φωτιστικών να είναι τέτοια ώστε να μεγιστοποιείται η ωφέλεια και να ελαχιστοποιείται η ενόχληση σε γειτονικές θέσεις.



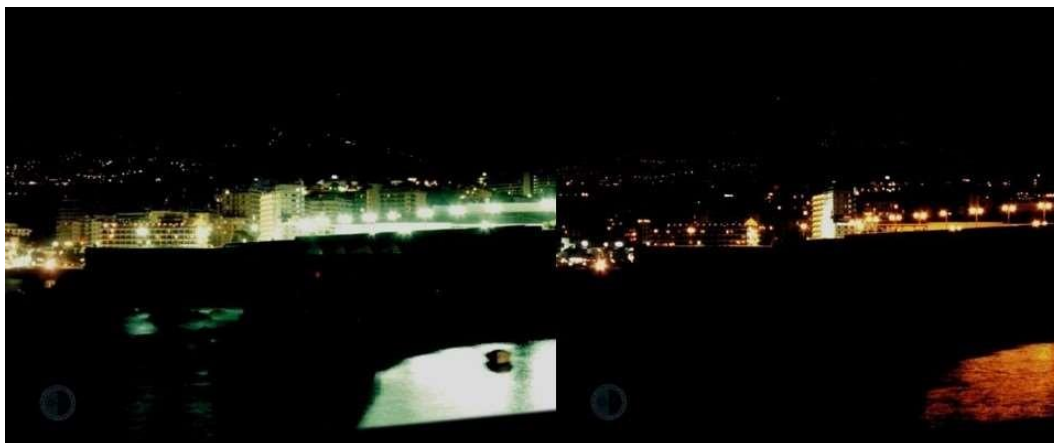
Παραδείγματα σωστού – αποδεκτού και ακατάλληλου φωτισμού

Να χρησιμοποιούνται λαμπτήρες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας όπως για παράδειγμα λάμπες νατρίου χαμηλής πίεσης, οι οποίες έχουν το πλεονέκτημα της μικρότερης κατανάλωσης σε σχέση με το φως που εκπέμπουν, δεν γεμίζουν τον ουρανό με χιλιάδες ανεπιθύμητες συχνότητες και εκπέμπουν σχεδόν καθαρό κίτρινο φως το οποίο φιλτράρεται εύκολα και διεισδύει στην ομίχλη.

- Να αποφεύγονται οι λάμπες εδάφους.

- Να αποφεύγεται η δημιουργία έντονων νησίδων λαμπρότητας, οι οποίες προκαλούν θάμβωση και δυσχεραίνουν τη νυκτερινή όραση.
- Να αποφεύγονται οι πινακίδες με λευκό, κίτρινο ή άλλο φωτεινό υπόβαθρο και σκοτεινά γράμματα. Αυτές παράγουν το μεγαλύτερο ποσό φωτός, προκαλούν όχληση και επιπλέον είναι φτωχές στη μετάδοση πληροφοριών. Πινακίδες ή σήματα με σκοτεινό ή έγχρωμο υπόβαθρο και φωτεινά γράμματα, παράγουν καλύτερα αποτελέσματα με μικρότερη οπτική ενόχληση.
- Έλεγχος των υπερφωτισμένων διαφημίσεων. Πιθανή απαγόρευση τους στους αυτοκινητόδρομους. Είναι γνωστό ότι οι αυτοκινητόδρομοι μας μεταφέρουν ταχύτερα και ασφαλέστερα , γι' αυτό και πρέπει να είναι σωστά φωτισμένοι τη νύχτα , χωρίς όμως να παρενοχλούν τις φυσικές περιοχές από όπου διέρχονται.
- Μείωση της ανακλαστικής ικανότητας των δρόμων.
- Να χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι αυτοματισμοί προκειμένου ο φωτισμός να ενεργοποιείται όταν υπάρχει λόγος και στην ποσότητα που είναι αναγκαίος (φωτοκύτταρα, ωρολογιακοί διακόπτες ανιχνευτές κίνησης κλπ.).

Πολλά βέβαια από τα παραπάνω, όπως για παράδειγμα, η επιλογή κατάλληλων φωτιστικών για εξωτερικούς χώρους, μπορούν να τα εφαρμόσει και ο καθένας από εμάς στην κατοικία του. Και βέβαια ένα πολύ απλό μέτρο, το οποίο συμβάλλει ταυτόχρονα και στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, είναι το να αποφεύγουμε να αφήνουμε αναμμένα τα εξωτερικά , αλλά και τα εσωτερικά, φώτα της κατοικίας μας όταν δεν τα χρειαζόμαστε.



Θεαματική βελτίωση του προβλήματος της φωτορύπανσης μετά τη λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση του.



Το μαγευτικό θέαμα του αμόλυντου από την φωτορύπανση νυχτερινού ουρανού είναι το όνειρο του αστρονόμου.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η φωτορύπανση πλήττει την υγεία του ανθρώπου, των ζώων και των φυτών. Η φωτορύπανση πρέπει να ενταχθεί στις αιτίες που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και έχουν σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις. Δεν πρέπει να θεωρείται μόνον πρόβλημα των αστρονόμων και των ερασιτεχνών αστρονόμων. Μόνον έτσι θα προβληματισθούν όλοι οι πολίτες και θα απαιτήσουν τη λήψη μέτρων από τις κυβερνήσεις και τους δήμους για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Για ένα καλύτερο μέλλον του πλανήτη το αύριο πρέπει να είναι σκοτεινό!!! Για αυτόπαρατίθενται οι παρακάτω προτάσεις .

Προτάσεις:

1. Χρησιμοποίηση των πηγών φωτός στην ελάχιστη ένταση που είναι αναγκαίο για να επιτευχθεί ο σκοπός του φωτισμού. Χρησιμοποιούμε ρυθμιστές έντασης ρεύματος.
2. Σβήσιμο φωτός με χρονοδιακόπτη, αισθητήρα ή με το χέρι, όταν δεν χρειάζεται. Σβήνουμε το φως όταν αλλάζουμε δωμάτιο. Δεν φωτίζουμε άσκοπα του χώρους εργασίας.
3. Βελτίωση των φωτιστικών σωμάτων, έτσι ώστε να κατευθύνουν το φως με μεγαλύτερη ακρίβεια εκεί που αυτό είναι αναγκαίο, και με λιγότερες παρενέργειες.
4. Προσαρμογή του τύπου του φωτός που χρησιμοποιείται, έτσι ώστε τα κύματα φωτός που εκπέμπει να είναι εκείνα που είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα φωτορύπανσης. Φωτίζουμε από πάνω προς τα κάτω και όχι από κάτω προς τα πάνω.
5. Αξιολόγηση των υφιστάμενων σχεδίων φωτισμού, και εκ νέου σχεδιασμό όλων ή μερικών από τα ήδη υπάρχοντα σχέδια ανάλογα με το αν πραγματικά χρειάζεται το υφιστάμενο φως. Παρεμβάσεις στους δήμους.

## ΣΕΝΑΡΙΑ:

### A) Προσανατολισμός

*Αποφυγή υπερθέρμανσης κτιρίου λόγω υπερβολικής έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία σε περιοχές π.χ. της νότιας Ελλάδας με μεγάλα διαστήματα ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια του έτους και συνακόλουθη αποφυγή σπατάλης ενέργειας λόγω μειωμένων ενεργειακών αναγκών δροσισμού του εσωτερικού.*

Ιδανικά αν σε αυτή την περίπτωση ο αρχιτέκτονας (ως ο κύριος ανθρώπινος παράγων στο σενάριο που εξετάζουμε) σχεδιάσει το κτίριο (π.χ. μία κατοικία) ώστε τα υπνοδωμάτια, το καθιστικό και η κουζίνα (δηλαδή οι χώροι στους οποίους οι ένοικοι περνούν τον περισσότερο χρόνο τους) να μην έχουν έκθεση προς νότο (νότια έκθεση μπορούν σε αυτή την περίπτωση να έχουν βοηθητικοί χώροι όπως αποθήκη, λουτρό, χώρος στάθμευσης) συνεπάγεται ότι οι δαπάνες για δροσισμό θα είναι αισθητά μειωμένες ανάλογα και με τους άλλους παράγοντες που συμβάλουν στην κατανάλωση ενέργειας όπως είναι η μόνωση, ο χρωματισμός του κτιρίου, οι συνήθειες των ενοίκων κλπ.

### B) Ζεστό νερό χρήσης

*Το ζεστό νερό χρήσης (στο εξής ζνχ) αποτελεί ενεργοβόρο παράγοντα τόσο αναφορικά με τις ιδιωτικές κατοικίες όσο και σε σχέση με τα ξενοδοχεία, τους χώρους μαζικής εστίασης, τις κατασκηνώσεις, τα στρατόπεδα κλπ.*

*Στο παρόν σενάριο θα υπολογίσουμε- λαμβάνοντας υπ' όψιν ενδεικτικές τιμές- την εξοικονόμηση ενέργειας για τη θερινή περίοδο εάν μία ιδιωτική κατοικία δύο υπνοδωματίων αντικαταστήσει το σύστημα παροχής ζεστού νερού χρήσης που λειτουργεί αποκλειστικά με ηλεκτρικό ρεύμα με ένα που βασίζεται στην ηλιακή ενέργεια (κοινώς λειτουργεί με ηλιακούς συλλέκτες) και επικουρικά λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα.*

Πιο συγκεκριμένα οι ανάγκες ζεστού νερού χρήσης για μία ιδιωτική κατοικία δύο υπνοδωματίων διαμορφώνονται σύμφωνα με το T.E.E. ως εξής:

Σε κάθε υπνοδωμάτιο αντιστοιχούν 1,5 άτομα με μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης 50 λτ/άτομο. Δηλαδή οι συνολικές μέσες ημερήσιες ανάγκες αντιστοιχούν σε  $(1,5 \text{ ατ./υ/δ}) \cdot (2 \text{ *υ/δ}) \cdot 50 \text{ λτ} = 150 \text{ λτ ζεστού νερού χρήσης.}$

Δηλαδή εάν η κατοικία τοποθετείται στο νομό Αττικής οι ανάγκες του ζνχ είναι δυνατό να καλυφθούν για το διάστημα από 15 Μαΐου έως 15 Σεπτεμβρίου (123 ημέρες) σχεδόν αποκλειστικά (λόγω της θερινής ηλιοφάνειας) έστω κατά 90% από τους ηλιακούς συλλέκτες.

Λαμβανομένου υπ' όψιν ότι το νερό του δικτύου είναι σε θερμοκρασία 15°C και ότι η θερμοκρασία ζνχ είναι γύρω στους 50°C η ενέργεια που απαιτείται για τη σχετική ανύψωση της θερμοκρασίας είναι  $Q = 150 \cdot 4,2 \cdot 35 \text{ KJ} = 22050 \text{ KJ} = 6,125 \text{ Kwh}$

Οπότε με την τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών κατά τη θερινή περίοδο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας ίση περίπου με  $6,125 \cdot 123 \cdot 0,9 = 678,0375 \text{ Kwh.}$

Η αναφερόμενη εξοικονόμηση θα επιτευχθεί υπό την προϋπόθεση ότι θα γίνει ορθολογική χρήση του συστήματος με τους ηλιακούς συλλέκτες. Δηλαδή πιο συγκεκριμένα :

Οι χρήστες του συστήματος θα πρέπει να αποφεύγουν τη συνεχή, άσκοπη και μέχρι εξάντλησης κατανάλωση του ζνχ που θερμάνθηκε μέσω των ηλιακών συλλεκτών ώστε να μη χρειαστεί να χρησιμοποιήσουν ηλεκτρική ενέργεια.

Επίσης θα πρέπει να αποφεύγουν την κατανάλωση του ζυγ κατά τις νυχτερινές έως και τις πρώτες πρωινές ώρες οπότε η θερμοκρασία του νερού μειώνεται αρκετά και υπάρχει η ανάγκη για τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος.

### Γ) Φωτισμός

Η δαπάνη ενέργειας για φωτισμό τόσο σε σχέση με τις ιδιωτικές κατοικίες όσο και σε σχέση με τους εργασιακούς χώρους είναι σημαντική.

Στο παρόν σενάριο υποθέτουμε ότι οι υπεύθυνοι ενός γραφείου 40 μ<sup>2</sup> που λειτουργεί σε πενθήμερη βάση ανά εβδομάδα και από τις 6 μ.μ. έως τις 10 μ.μ. (κατά τη χειμερινή περίοδο οπότε και ο διαρκής φωτισμός του χώρου είναι απαραίτητος) αποφασίζουν να αντικαταστήσουν τους λαμπτήρες πυρακτώσεως με λαμπτήρες led.

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως έχουν φωτιστική απόδοση κατά μ.ό 15,5 Lm/watt , ενώ οι λαμπτήρες led έχουν φωτιστική απόδοση κατά μ.ο. 90 Lm/watt.

Αυτό σημαίνει ότι η απαιτούμενη ισχύς στην πρώτη περίπτωση θα είναι

$P = (500 \text{ lx} * 40 \text{ m}^2) / (15,5 \text{ lm/watt}) = 1290,32 \text{ watt}$  και άρα η συνολική δαπανώμενη ενέργεια ανά ημέρα θα είναι  $1290,32 \text{ watt} * 4 \text{ h} = 5,162 \text{ kwh}$  , ενώ στη δεύτερη περίπτωση τα αντίστοιχα μεγέθη θα είναι :  $P = (500 \text{ lx} * 40 \text{ m}^2) / (90 \text{ lm/watt}) = 222,22 \text{ watt}$  και  $222,22 * 4 \text{ h} = 0,89 \text{ kwh}$ .

### Δ) Εξοικονόμηση ενέργειας λόγω ρύθμισης του σταθερού σημείου δροσισμού σε υψηλότερη θερμοκρασία

Έστω ένα γραφείο 50 m<sup>2</sup> για το οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε την εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου (σε σχέση με τις ανάγκες δροσισμού) με τη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας(ανάλογα και με την εξωτερική θερμοκρασία) ,τη μόνωση του χώρου και την παρουσία τριών εργαζομένων.

Υποθέτουμε πως για το δροσισμό του χώρου χρησιμοποιείται κλιματιστικό μηχάνημα ονομαστικής ισχύος 1,5 kW το οποίο χρειάζεται να λειτουργεί 8 ώρες την ημέρα για 90 ημέρες .

Συνεπώς η συνολική κατανάλωση είναι  $1,5 * 8 * 90 = 1080 \text{ kWh}$  εάν δεν λάβουμε υπ' όψιν την εξοικονόμηση ενέργειας λόγω σταθερής ρύθμισης της θερμοκρασίας και λόγω της μόνωσης.

Εάν τώρα το γραφείο είναι μονωμένο καλώς και αν θεωρήσουμε ότι δεν προκύπτουν διαφοροποιημένες ανάγκες δροσισμού λόγω προσανατολισμού\* και δυνατόν να επιτύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30%.(Jorge Lucero-Álvarez , Norma A. Rodríguez-Muñoz and Ignacio R. Martín-Domínguez,2016)

Με την ρύθμιση της θερμοκρασίας σε σταθερό σημείο είναι δυνατόν να επιτύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας κατά 3% περίπου (Ir. M. S Kam,2006)\* όταν αυξάνουμε τη θερμοκρασία του χώρου κατά 1 βαθμό Κελσίου.Εάν για παράδειγμα η θερμοκρασία όπου θα ρυθμισθεί η λειτουργία του κλιματιστικού είναι κατά 2 βαθμούς Κελσίου μεγαλύτερη από ότι πριν (εφ' όσον εξασφαλίζεται η θερμική άνεση του προσωπικού) επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 3%.

Η εξοικονόμηση ενέργειας αναφορικά με την παρουσία προσωπικού ή επισκεπτών έχει νόημα να διερευνηθεί όταν εφαρμόζουμε ρύθμιση πολλαπλών σημείων και οι εργαζόμενοι μπορούν να τροφοδοτήσουν το σύστημα δροσισμού με στοιχεία που αφορούν τη θερμική τους άνεση ώστε να αναπροσαρμόζεται αυτομάτως και κατά τακτά χρονικά διαστήματα η λειτουργία του κλιματιστικού μηχανήματος .)



Έτσι καταλήγουμε σε ένα γραμμικό μαθηματικό μοντέλο που έχει ως εξής:

$C(\Delta T) = A - \beta * A * \Delta T - \gamma * A = (1 - \beta * \Delta T - \gamma) * A$ , όπου  $A$  η κατανάλωση του κλιματιστικού μηχανήματος (χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψιν η εξοικονόμηση ενέργειας),  $\beta$  το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας λόγω της ρύθμισης σε σταθερή θερμοκρασία,  $\gamma$  το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας λόγω της μόνωσης του γραφείου,  $\Delta T$  η μεταβολή της ρύθμισης της θερμοκρασίας και  $C(\Delta T)$  η κατανάλωση ενέργειας.

Αντικαθιστώντας με τα νούμερα του παραδείγματος προκύπτει ότι :

$C(\Delta T) = 1080 - 0,03 * 1080 * 2 - 0,3 * 1080 = 1080 * 0,64 = 691,2$  kWh έναντι 1080 kWh, δηλαδή εξοικονόμηση της τάξης του 36% για αύξηση της ρυθμισμένης θερμοκρασίας από 23°C στους 25°C.

\*Για να επιτύχουμε το maximum της θεωρητικής εξοικονόμησης θα πρέπει το γραφείο να είναι προσανατολισμένο-ει δυνατόν-κατά τον άξονα Ανατολής-Δύσης και όχι Βορά-Νότου έτσι ώστε το καλοκαίρι να είναι μειωμένη η νότια έκθεσή του οπότε και η έκθεσή του στον ήλιο με αποτέλεσμα τις μειωμένες ανάγκες δροσισμού και άρα την εξοικονόμηση ενέργειας.

Αναφορικά με την επίδραση των ανέμων στο υπό εξέταση σενάριο πρέπει να σημειώσουμε τα εξής:

- 1) Απώλειες ενέργειας λόγω του ανέμου μπορεί να οφείλονται τόσο σε φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου στο εσωτερικό όσο και στην αλληλεπίδραση του ανέμου με το εξωτερικό του κτιρίου (λόγω γεωμετρίας του κτιρίου οδηγούμαστε σε τυρβώδη ροή του ανέμου σε σημεία όπως τα παραθύρα και άρα σε απώλειες ενέργειας.)
- 2) Απώλειες ενέργειας λόγω προσανατολισμού του κτιρίου. Εάν για παράδειγμα το γραφείο είναι εκτεθειμένο σε νότιους ανέμους που είναι ως επί το πλείστον θερμοί άνεμοι θα αυξηθούν οι ενεργειακές ανάγκες για το δροσισμό.
- 3) Σε μικρότερο βαθμό οι άνεμοι μπορεί να προκαλέσουν απώλειες λόγω της επίδρασης τους στις εξωτερικές μονάδες των κλιματιστικών.

Επίσης ο εξωτερικός χρωματισμός του κτιρίου πρέπει να είναι τέτοιος που να μην ευνοεί την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και άρα την αύξηση της θερμοκρασίας τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό του κτιρίου.

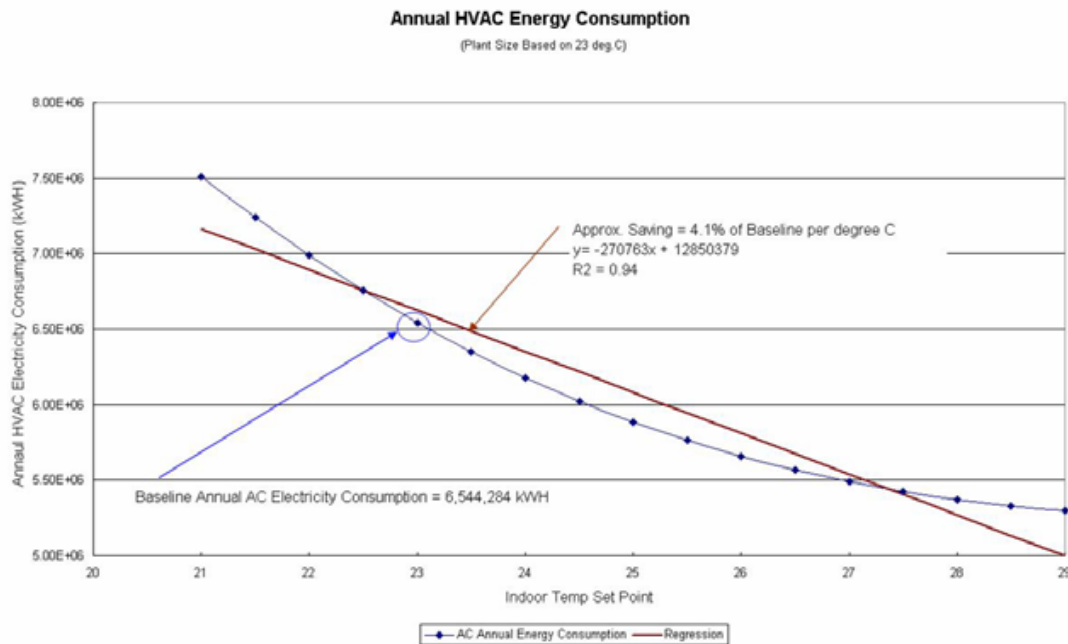
Προκειμένου, πάντως, να γίνει κατανοητό το τι συμβαίνει αναφορικά με την εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση του set-point ανά βαθμό Κελσίου παράθετουμε και το σχετικό διάγραμμα από τη μελέτη του Ir. M. S Kam, 2006.

Σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται πως η δαπάνη ενέργειας δεν μεταβάλλεται στην πραγματικότητα σταθερά ανά βαθμό Κελσίου, δηλαδή δεν απεικονίζεται από μία ευθεία γραμμή (η οποία ευθεία γραμμή προκύπτει από την κατά προσέγγιση περιγραφή του φαινομένου για λόγους απλούστευσης) αλλά από μία καμπύλη με αρνητικές κλίσεις οι οποίες αυξάνονται κατά απόλυτη τιμή όσο η θερμοκρασία του setpoint μειώνεται ειδικά κάτω από τους 24,5°C.

Αυτό πρακτικά συνεπάγεται πως :

Α) για να επιτύχουμε αξιόλογη εξοικονόμηση ενέργειας πρέπει να ρυθμίσουμε το setpoint τουλάχιστον στους 24,5°C γιατί για μικρότερες θερμοκρασίες οι δαπάνες ενέργειας αυξάνονται σημαντικά ανά βαθμό Κελσίου.

Β) Από τους 24,5°C έως τους 26 °C η μεταβολή στη δαπάνη ενέργειας είναι περίπου σταθερή ανά βαθμό Κελσίου , ενώ για μεγαλύτερες θερμοκρασίες οι μεταβολές στη δαπάνη ενέργειας είναι πολύ μικρές ώσπου για πολύ υψηλές θερμοκρασίες πρακτικά μηδενίζονται.



### Ε) Ηλεκτρικές συσκευές- Το παράδειγμα της ηλεκτρικής σκούπας

Εάν υποθέσουμε πως μία νοικοκυρά για τις ανάγκες της ιδιωτικής της κατοικίας χρειάζεται μία ηλεκτρική σκούπα και καταλήγει σε δύο τύπους. Ο μιν ένας έχει κινητήρα ισχύος 2000 watt και ο άλλος 1000 watt αντιστοίχως .

Επίσης υποθέτουμε πως για τις διάφορες ανάγκες θα χρησιμοποιήσει την ηλεκτρική σκούπα περίπου 40 φορές ανά έτος για 1,5 h κάθε φορά και πως το τελικό αποτέλεσμα δεν διαφέρει επί της ουσίας.

Εάν επιλεγεί η ηλεκτρική σκούπα μικρότερης ισχύος τότε αυτό συνεπάγεται πως θα εξοικονομηθούν στη διάρκεια ενός έτους  $(2000-1000) \text{ watt} * 40 * 1,5 \text{ h} = 60 \text{ kWh}$ .

### ΣΤ) Αλλαγή πηγής ενέργειας για τη θέρμανση κατοικίας

Στο υπό εξέταση σενάριο θα δείξουμε σε τι ποσοστό (αλλά και σε απόλυτους αριθμούς) επιτυγχάνεται η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> εάν επιλέξουμε για τη θέρμανση μίας κατοικίας ως πηγή ενέργειας το φυσικό αέριο έναντι του πετρελαίου θέρμανσης ή του ηλεκτρικού ρεύματος.

Στο απόσπασμα του πίνακα που ακολουθεί (όπως δημοσιεύθηκε από το TEE) αναγράφονται οι εκλυόμενοι ρύποι ανά kWh ανάλογα με την πηγή ενέργειας.

| Πηγή ενέργειας      | Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (kg CO <sub>2</sub> / kWh) |
|---------------------|--|
| Φυσικό αέριο        | 0,196  |
| Πετρέλαιο Θέρμανσης | 0,264  |
| Ηλεκτρικό ρεύμα     | 0,989  |

Αν υποθέσουμε ότι για τη θέρμανση μίας κατοικίας απαιτούνται 10 kWh ημερησίως και για διάστημα 120 ημερών (από 15 Νοεμβρίου έως 15 Μαρτίου), δηλαδή απαιτούνται 1200 kWh συνολικά αυτό σημαίνει ότι με τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος εκλύονται  $0,989 \cdot 1200 = 1186,8$  Kg CO<sub>2</sub>, με τη χρήση Πετρελαίου θέρμανσης  $0,264 \cdot 1200 = 316,8$  Kg CO<sub>2</sub> και τέλος με τη χρήση φυσικού αερίου  $0,196 \cdot 1200 = 235,2$  kg CO<sub>2</sub>.

Τα αντίστοιχα ποσοστά εξοικονόμησης εκπομπών CO<sub>2</sub> (τα οποία δεν είναι ευκαταφρόνητα) είναι κατά σειρά:

$$(0,989 - 0,196) / 0,989 = 80,18 \%$$

$$(0,264 - 0,196) / 0,264 = 25,75\%$$

### **Συμπέρασμα**

Εν κατακλείδι συμπεραίνουμε ότι στο σύνολο των σεναρίων που παρουσιάστηκαν πως η εξοικονόμηση ενέργειας και κατά συνέπεια η μείωση των εκπομπών του CO<sub>2</sub> δεν συνεπάγεται απαραίτητα αποστέρηση των ανέσεων μας αλλά αντιθέτως είναι εφικτή αρκεί ο άνθρωπος παράγοντας να χρησιμοποιήσει τα τεχνολογικά μέσα που είναι διαθέσιμα παράλληλα με την υιοθέτηση ορθολογικής αντιμετώπισης των αναγκών του.

\*According to simulation of the energy consumption of a typical office building with central air-conditioning, for every 1 deg C increase in temperature setting, the reduction of electricity consumption in the air-conditioning equipment is about 3%.

### **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. ANSI/ASHRAE. (2013). Standard 55 Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, GA: American National Standards Institute and American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers.
2. Armstrong, B. G., Chalabi, Z., Fenn, B., Hajat, S., Kovats, S., Milojevic, A., ... Wilkinson, P. (2011). Association of mortality with high temperatures in a temperate climate: England and Wales. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 65(4), 340–345. doi:10.1136/jech.2009.093161
3. Beizaee, A., Lomas, K. J., & Firth, S. K. (2013). National survey of summertime temperatures and overheating risk in English homes. *Building and Environment*, 65, 1–

17. doi:10.1016/j.buildenv.2013.03.011
4. Bordass, W., & Leaman, A. (1997). Design for manageability Building Research & Information, 25(3), 148–157.
5. British Standard EN 1251. (2007). Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment Lighting and Acoustics. Brussels: British Standards Institute.
6. Brown, C., & Gorgolewski, M. (2015). Understanding the role of inhabitants in innovative mechanical ventilation strategies. Building Research & Information, 43(2), 210–221.
7. CCC. (2014). Managing climate risk to well-being and the economy, Adaptation Sub-Committee. London: Committee on Climate Change.
8. CIBSE. (2002). Guide J – Weather, solar and illuminance data. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
9. CIBSE. (2006). Guide A. Environmental design. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
10. CIBSE. (2015). Guide A. Environmental design (8th ed). London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
11. CIBSE. (2016). CIBSE Weather Data Sets. Retrieved October 28, 2016
12. CIBSE TM52. (2013). The limits of thermal comfort: avoiding overheating in European Buildings. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
13. CLG. (2007). Building a greener future: Policy statement. London: Communities and Local Government.
14. Cohen, R. R., Munro, D. K., & Ruyssevelt, P. (1993). Overheating Criteria for Non-air conditioned Buildings. Proceedings of CIBSE National Conference, UK.
15. Arrhenius, Svante (1896). «On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground». London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. 541: 237–276.

16. Α. Ζερβός, “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2007.
17. Halime O. Paksoy “Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption – Fundamentals, Case Studies and Design”, NATO Science Series, Springer publications (2007).
18. Α. Pasupathy, R. Velraj, R. V. Seeniraj, “Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 12, Issue 1, January 2008.
19. Χ. Τζιβανίδης, “Σημειώσεις μαθήματος: Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Μάιος 2006.
20. G.A. Lane, “Solar Heat Storage: Latent Heat Materials”, Volume I: Background and Scientific Principles, Florida: CRC Press, Inc. (1983).
21. Zhang Yinping, Jiang Yi, Jiang Yi, “A simple method, the T-history method, of determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase-change materials”, Measurement Science and Technology 10, 201-205, (1999).
22. H. Hong, C.H. Park, J.H. Choi, J.H. Peck, “Improvement of the T-history method to measure heat of fusion for phase change materials”, International journal of Air-Conditioning and Refrigeration Vol. 11, 2003; 1:32-39.
23. H. Hong, S.K. Kim, Y.S. Kim, “Accuracy improvement of T-history method for measuring heat of fusion of various materials”, International journal of Refrigeration 2004; 27:360-366
24. L.F Cabeza, J. Roca, M. Noques, H. Mehling, S. Hiebler: “Immersion corrosion tests on metal-salt hydrate pairs used for latent heat storage in the 48 to 58°C temperature range”, Materials and Corrosion 2002; 53: 902 – 907.
25. L.F. Cabeza, J. Roca, M. Nogues, H. Mehling, S. Hiebler: “Long term immersion corrosion tests on metal-PCM pairs used for latent heat storage in the 24 to 29°C temperature range”, Materials and Corrosion, vol.56, No. 1, 2005.
26. D. Feldman, D. Banu, D. Hawes, E. Ghanbari, “Obtaining an energy storing building material by direct incorporation of an organic phase change material in gypsum wallboard”, Solar energy materials 1991;22(2-3):231-42.

27. P. Schossig H. M. Henning, S. Gschwander, T. Haussmann, “Microencapsulated phase-change materials integrated into construction materials”, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2005; 89: 297-306.
28. M. Zhang, A.M. Mario, B.K. Jennifer, “Development of a thermally enhanced frame wall with phase-change materials for on-peak air conditioning demand reduction and energy savings in residential buildings”, *International Journal of Energy Research* 2005; 29: 795-809.
29. AM. Khudhair, MM. Farid, “A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials”, *Energy Conservation and Management* 2004;45(2):263-75.
30. M.N.A Hawlader, M.S Uddin, M.M Khin, “Microencapsulated PCM thermal-energy storage system”, *Applied Energy* 2003; 74: 195–202.
31. V.V. Tyagi, D. Buddhi, “PCM thermal storage in buildings: A state of art”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2007; 11: 1146-1166.
32. C. Eiamworawutthikul, J. Strohbehn, C. Harman, “Investigation of phase change thermal storage in passive solar design for light-construction building in the south eastern climate region. A research program to promote energy conservation and the use of renewable energy”.
33. LE. Bourdeau, “Study of two passive solar systems containing phase change materials for thermal storage”, *Proceedings of fifth national passive solar conference, October 19–26, Amherst. Newark, Delaware: American Solar Energy Society* 1980; 297–301.
34. T. Knowler, “Proportioning composites for efficient-TSWs”, *Solar Energy* 1983; 31: 319–26.
35. D. Buddhi, S.D. Sharma, “Measurements of transmittance of solar radiation through stearic acid: latent heat storage material”, *Energy Convers Manage* 1999; 40: 1979-1984.

36. U. Stritih, P. Novak, "Solar heat storage wall for building ventilation", World renewable energy congress (WREC) 1996; 268–71.
37. K. Peippo, P. Kauranen, PD. Lund, "Multicomponent PCM wall optimized for passive solar heating", Energy and Buildings 1991;17(4):259-70.
38. D. Banu, D. Feldman, F. Haghghat, J. Paris, D.Hawes, "Energy-storing wallboard: flammability tests", Journal of Materials in Civil-Engineering 1998;10(2):98-105.
39. AK. Athienities, C. Liu, D. Hawes, D. Banu, D. Feldman, "Investigation of the thermal performance of a passive solar test-room with wall latent heat storage", Building and Environment 1997;32(5):405-10.
40. D.A. Neeper, "Thermal dynamics of wallboard with latent heat storage", Sol Energy 2000; 68: 393-403.
41. T.K. Stovall, J.J. Tomlinson, "What are the potential benefits of including latent heat storage in common wall board", Trans ASME 1995; 117: 318-325.
42. M. Kalousck, J. Hirs, "Simulation of the summer indoor thermal comfort by using wallboard with phase change material", Eurosun, Bologna 2002.
43. H. Weinlader, A. Beck, J. Fricke, "PCM–facade-panel for day lighting and room heating", Solar Energy 2005; 78: 177–86.
44. KAR Ismail, JR Henriquez, "Thermally effective windows with moving phase change curtains", Appl. Thermal Engineering 2001; 21: 1909-1923.
45. AK Athienities, Y. Chen, "The effect of solar radiation on dynamic thermal performance of floor heating systems", Solar Energy 2000;69(3):229-37.
46. M. Amir, M. Lacroix, N. Galanis, "Thermal analysis of electric heating floor panels with daily heat storage", International Journal of Thermal Science 1999;38(2):121-31.
47. K. Nagano, T. Mochida, K. Iwata, H. Hiroyoshi, R. Domanski, M. Rebow, "Development of new PCM for TES of the cooling system, Terrastock", In: M. Benner, Hahne EWP, editors. 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage 2000.p. 345-50.

48. KP. Lin, YP Zhang, X. Xu, HF Di, R. Yang. PH Qin, “Experimental study of under-floor electric heating system with shape-stabilized PCM plates”, *Energy and Buildings* 2005; 37: 215-220.
49. KP. Lin, YP Zhang, X. Xu, HF Di, R. Yang. PH Qin, “Modeling and simulation of under-floor electric heating system with shape-stabilized PCM plates”, *Building and Environment* 2004; 39: 1427-1434.
50. X Xu, YP Zhang, KP Lin, HF Di, R. Yang, “Modeling and simulation on the thermal performance of shape-stabilized phase change material floor used in passive solar buildings”, *Energy and Buildings* 2005; 37: 1084-1091.
51. Bruno Frank, “Phase change material for space heating and cooling”, Sustainable Energy Centre: University of South Australia; Presentation 2002.
52. C. Benard, D. Gobin, M. Gutierrez, “Experimental results of a latent heat solar roof used for breeding chickens”, *Solar Energy* 1981; 6(4): 347–54.
53. JM Gutherz, ME Schiler, “A passive solar heating system for the perimeter zone of office buildings”, *Energy Sources* 1991; 13: 39–54.
54. JR Turnpenny, DW Etheridge, DA Reay, “Noval ventilation cooling system for reducing air conditioning in buildings”, Part I: Testing and theoretical modelling, *Appl. Therm. Engineering* 2000; 20: 1019–37.
55. T. Kodo, T. Ibamoto, “Research on using the PCM for ceiling board”, IEA ECESIA, Annex 17, 3rd workshop, Tokyo, Japan. October 1–2, 2002.
56. M. Telkes, E. Raymond, “Storing solar heat in chemicals - a report on the Dover house”, *Heat Vent* 1949; 46(11): 80–6.
57. GA Lane, “Solar heat storage: latent heat materials”, vol. 1, Background and scientific principles, Boca Raton, FL: CRC Press; 1983.



58. JJ Jurinak, SI Abdel-Khalik, "Properties optimization for phase change energy storage in air-based solar heating systems", *Sol Energy* 1978; 21(5): 377–83.
59. JJ Jurinak, SI Abdel-Khalik, "Sizing phase change energy storage units for air-based solar heating systems", *Sol Energy* 1979; 22(4): 355–9.
60. DJ Morrison, SI Abdel-Khalik, "Effect phase change energy storage on the performance of air-based and liquid-based solar heating systems", *Sol Energy* 1998; 20(1): 57–67.
61. SO Enibe, "Performance of a natural circulation solar air heating system with phase change material energy storage", *Renew Energy* 2002; 27: 69–86.
62. J. Prakash, HP Garg, G. Datta, "A solar water heater with a built-in latent heat storage", *Energy Convers Manage* 1985; 25(1): 51–56.
63. NK Bansal, D. Buddhi, "An analytical study of a latent heat storage system in a cylinder", *Solar Energy* 1992; 33(4): 235–242.
64. PBL. Chaurasia, "Phase change material in solar water heater storage system", In: *Proceedings of the 8th international conference on thermal energy storage*; 2000.
65. K. Kaygusuz, "Performance of solar-assisted heat-pump system", *Appl. Energy* 1995; 51: 93–109.
66. Murat Kenisarin, Khamid Mahkamov, "Solar energy storage using phase change materials", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2007; 11: 1913-1965.
67. M. Esen, T. Ayhan, "Development of a model compatible with solar assisted cylindrical energy storage tank and variation of stored energy with time for different phase change materials", *Energy Convers Manage* 1996; 37: 1775– 1785.

68. M. Esen, A. Durmus, “Geometric design of solar-aided latent heat store depending on various parameters and phase change materials”, *Sol. Energy* 1998; 62(1): 19–28.
69. M. Esen, “Thermal performance of a solar-aided latent heat store used for space heating by heat pump”, *Sol Energy* 2000; 69(1): 15–25.
70. K. Kaygusuz, “Combined solar heat pump system for residential heating -part 1: experimental results”, *Int. J. Energy Res* 1999; 23: 1213–1223.
71. K. Kaygusuz, “Experimental and theoretical investigation of latent heat storage for water based solar heating systems”, *Energy Convers Manage* 1995; 36(5): 315–323.
72. K. Kaygusuz, “Phase change energy storage for solar heating systems”, *Energy Source* 2003; 25: 791–807.
73. Benya J., Clanton N., *Dark skies are coming, Mondo arc*, July 2003.
74. Commission Internationale de l’Eclairage (CIE), *Guidelines for Minimizing Sky Glow*, Report 126, Vienna, 1997.
75. Commission Internationale de l’Eclairage (CIE), *Guide on the limitation on the effects of obstructive light from outdoor lighting installations*, Report TC5.12, Vienna.
76. Commission Internationale de l’Eclairage (CIE), *Guide to the lighting of urban areas*, Report 136, Vienna, 2000.
77. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), *Recommended Practise for Outdoor and Environmental Lighting*, NY, 1999.
78. Institution of Lighting Engineers (ILE) / CIBSE, *Lighting the environment – A guide to good urban lighting*, UK, 1995.. Institution of Lighting Engineers (ILE), *Guidance notes for the reduction of light pollution*, UK, 2003.
79. Τσαγκρασούλης Άρης, Φωτισμός: Η σύνδεση σχεδιασμού - εξοικονόμησης ενέργειας στα πλαίσια των ενεργειακών κανονισμών, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
80. <http://www.greekarchitects.gr/gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%>
81. <http://aegeanastronomy.com/aegeanastronomy/pe/page005.htm>

## ΣΕΝΑΡΙΩΝ

[https://www.emsd.gov.hk/.../HKIE\\_Environment\\_Annu...](https://www.emsd.gov.hk/.../HKIE_Environment_Annu...)

<http://www.mdpi.com/2071-1050/8/7/590/htm>

<portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-1-Final-mee-2nd.pdf>

<http://www.level.org.nz/passive-design/location-orientation-and-layout/>

<http://www.level.org.nz/passive-design/location-orientation-and-layout/room-layout/>